

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії  
Кафедра «Машинобудування та прикладної механіки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до дипломної роботи

Бакалавр

*(освітньо-кваліфікаційний рівень)*

на тему: Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі  
«Вал проміжний» з програмою випуску 5000 од./рік

Студента IV курсу групи ГМ-17дб  
напряму підготовки: 133 Галузеве машинобудування

Ліпко В.О.

*(прізвище та ініціали)*

*(підпис)*

Керівник роботи

к.т.н. Шабрацький С.В.

*(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)*

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра машинобудування та прикладної механіки

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрямок підготовки 133 – Галузеве машинобудування

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

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ліпко Вадим Олександрович

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

1. Тема роботи **Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал проміжний» з програмою випуску 5000 од./рік**

керівник роботи **Шабрацький Сергій Володимирович**

*(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом по університету від «26» травня 2021 року Протокол №9

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані роботи **Діаметри деталі  $d_{o1}$ ,  $d_{o2}$ , мм. Довжина деталі  $l_{o}$ , мм.**

Матеріал деталі. Маса деталі  $M_{o}$ , кг.

Програма випуску деталей на рік,  $N$ , штук/рік.

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

Реферат. Вступ. Опис технологічного обладнання. Розробка технологічного процесу деталі «Вал». Проектно-конструкторський розрахунок деталей технологічного обладнання. Висновки. Список використаної літератури.

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

1. Робоче креслення деталі «Вал». 2. Маршрутний технологічний процес. 3. Операційна карта технологічного процесу. 4. Робоче креслення заготовки. 5. Вал коробки швидкостей.

6. Загальний вид верстату.

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Згідно з календарним планом – графіком, затвердженим кафедрою машинобудування та прикладної механіки, що до виконання бакалаврських робіт		

Студент

.....  
(підпис)

Ліпко В.О.

.....  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

.....  
(підпис)

Шабрацький С.В.

.....  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до бакалаврської роботи на тему: «Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі "Вал проміжний" з програмою випуску 5000 од./рік» містить:

сторінок 108, таблиць 13, рисунків 47.

Перемішування є одним з найпоширеніших процесів в хімічній та суміжних з нею галузях промисловостях. Апаратурне оформлення процесу перемішування включає в себе апарат, оснащений валом на якому закріплений перемішувачий пристрій. Окрім цього в апараті можуть розміщуватися пристрої для подачі газового реагенту, вимірювання температури, змішувачи тощо. Для регулювання частоти обертання валу застосовується редуктор. Складова частина якого, а саме вал є предметом розрахунку даної кваліфікаційної роботи.

Розроблено технологічний процес механічної обробки деталі «Вал проміжний». Обрано тип заготовки, метод її отримання та розраховано основні розміри заготовки з виконанням робочого креслення, визначено тип виробництва. Розроблено маршрутний технологічний процес обробки деталі, виконано розрахунок режимів різання аналітичним та табличним методом;

Виконано проектно-конструкторський розрахунок. Проведений розрахунок деталі «Вал проміжний»

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АПАРАТІВ ПЕРЕМІШУЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ	3
1.1 Загальні відомості про апарати з перемішуючими пристроями	9
1.2 Ступінь перемішування	11
1.3 Інтенсивність перемішування	12
1.4 Ефективність перемішування	14
1.5 Вплив основних параметрів на інтенсивність і ефективність перемішувальних пристроїв	15
1.6 Безперервно діючі реактори повного змішування	18
1.7 Реактори повного витіснення безперервної дії	22
1.8 Реактори періодичної дії	24
1.9 Задача оптимального розрахунку місткості реактора	25
1.10 Вибір місткості апарата	27
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	28
2.1 Службове призначення та особливості конструкції технологічного обладнання	28
2.2 Передаточні числа редукторів	29
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	33
3.1 Загальні положення	33
3.2 Проектно-конструкторські розрахунки	38
3.3 Методика розробки тривимірних моделей та креслень	48
3.3.1 Попередні налаштування програми	49
3.3.2 Створення основи деталі	50
3.3.3 Створення шпонкових пазів	53
3.3.4 Створення шліців	56
3.3.5 Створення отворів	58

3.3.6 Створення канавок, скруглень та фасок	61
3.3.7 Генерація креслення з тривимірної моделі	63
3.3.8 Налаштування стандарту	64
3.3.9 Створення креслення	65
3.3.10 Створення головного виду	66
3.3.11 Створення виносного виду	68
3.3.12 Створення розрізів	69
3.3.13 Встановлення анотацій	72
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ ПРОМІЖНИЙ»	76
4.1 Опис службового призначення деталі, аналіз креслення і технічних умов на її виготовлення	77
4.2 Визначення маси деталі	79
4.3 Визначення типу виробництва	79
4.4 Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання	80
4.5 Особливості вибору та обґрунтування методів обробки поверхонь деталей. Розробка маршрутного технологічного процесу	81
4.6 Проектування карт технологічних наладок	85
РОЗДІЛ 5 ПРОЕКТУВАННЯ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ ПРОМІЖНИЙ»	87
5.1 Розрахунок припусків та операційних розмірів на механічну обробку на діаметральні розміри деталі	87
5.2 Розрахунок припусків та операційних розмірів на механічну обробку на лінійні розміри деталі	91
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ	95
ВИСНОВКИ	101
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	104

## ВСТУП

Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства. Безперервне вдосконалення та розвиток машинобудування пов'язано з прогресом верстатобудування, оскільки металорізальні верстати разом з деякими іншими видами технологічних машин забезпечують виготовлення будь-яких нових видів обладнання.

Метою випускної кваліфікаційної роботи є:

1. Освоєння процесу створення та теоретичного обґрунтування конструкції машин, механізмів та їх елементів на основі методів машинобудування та прикладної механіки, загальних принципів конструювання, теорії взаємозамінності, стандартних методик розрахунку деталей машин.

2. Набуття навичок конструювання вузлів обладнання, розробки робочих та складальних креслень виробів машинобудування, відповідно до діючих норм конструювання, з урахуванням технологічності конструкції, технологічних можливостей підприємства-виробника та згідно вимог ЄСКД.

3. Набуття навичок виконання геометричне моделювання деталей, механізмів і конструкцій у вигляді просторових моделей і проєкційних зображень та оформлювати результат у виді технічних і робочих креслень.

4. Набуття практичних навичок використання комп'ютеризованих систем проєктування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE).

5. Набуття практичного досвіду здійснювання оптимального вибору технологічного обладнання, комплектації технічних комплексів, набуття базових знань про правила їх експлуатації.

6. Набуття практичного досвіду в вирішенні наступні типових задач: визначення раціональних режимів різання для отримання заданої якості продукції; визначення різальних інструментів, верстатів та оснащення з урахуванням закономірності процесу різання.

7. Набуття навичок представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

8. Набуття навичок застосовування нормативних та довідкових даних для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам.

В даній бакалаврській роботі розглядається процес розробки тихохідного валу редуктора, а сам редуктор використовується в схемах з апаратом з перемішуючим пристроєм.



## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АПАРАТІВ З ПЕРЕМІШУЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ

### 1.1 Загальні відомості про апарати з перемішуючими пристроями

Апарати об'ємного типу із перемішувальними пристроями широко застосовують як реактори для синтезу різних високомолекулярних сполук для проведення різних процесів із рідинною фазою. Їх використовують як хімічні реактори для отримання емульсій, суспензій, розчинення твердої фази, змішування рідин, а також для деяких допоміжних цілей, наприклад, для зберігання суспензій, що легко осідають.

Особливо численна група процесів, що проходять у різних неоднорідних системах, таких, як рідина-рідина, рідина-газ або рідина-тверде тіло.

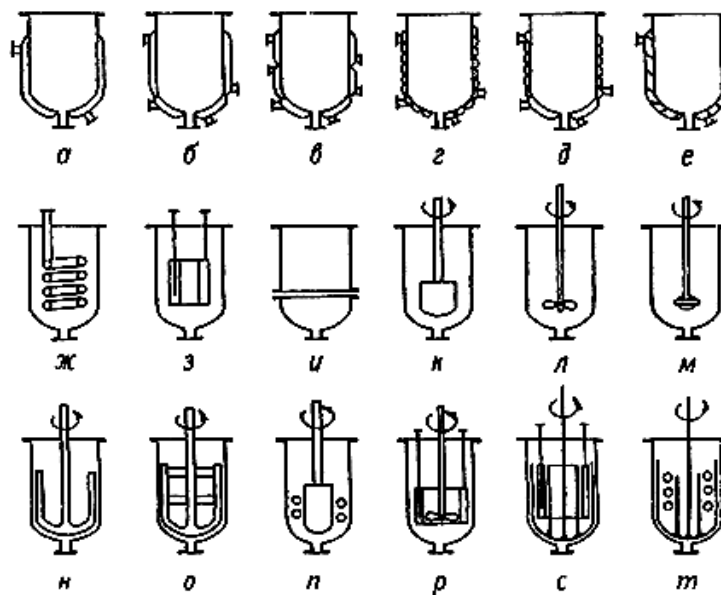


Рисунок 1.1 — Конструкція корпусів, охолодних пристроїв і перемішувальних пристроїв, застосовуваних у об'ємних реакторах  
а) –е) апарати с підігрівом через сорочку; ж,п,т) обігрів за допомогою змійовиків; з,р,с) підігрів за допомогою порожнистих циліндрів; к,л,м,н,о) типи мішалок

У промисловості найчастіше застосовуються реактори із перемішувальними пристроями. В окремих випадках ці апарати можуть називатися реактором, автоклавом або більш специфічно – нітратором, хлоратором, сульфуратором і т.п.

Більшість вертикальних циліндричних реакторів із мішалкою розрізняються конструкцією корпусу, типом мішалки й пристроєм для нагрівання або охолодження реакційної суміші.

На рис. 1.1 показані варіанти виконання корпусів перемішувальних пристроїв і способів нагрівання й охолодження, застосовуваних у реакторах [1].

Апарати із перемішувальними пристроями застосовують під час проведення як періодичних, так і безперервних процесів.

У наш час розроблено багато конструкцій перемішувальних пристроїв. Найпоширеніші з них – це механічні мішалки з обертовим рухом органів, що перемішують. Поряд із цим здійснюються перемішування газом або паром, перемішування циркуляцією рідини, вібраційне й пульсаційне перемішування.

Відповідно до ГОСТ 22577-77 рекомендована така класифікація перемішувальних пристроїв:

- 1 Лопатева мішалка.
- 2 Трилопатева мішалка.
- 3 Шестилопатева мішалка.
- 4 Спірально-лопатева мішалка.
- 5 Гвинтова мішалка.
- 6 Відкрита турбінна мішалка.
- 7 Закрита турбінна мішалка.
- 8 Листова мішалка.
- 9 Дискова мішалка.
- 10 Шнекова мішалка.
- 11 Стрічкова мішалка.

12 Клітинна мішалка.

Перемішування застосовується для:

- а) створення однофазних розчинів, емульсій і суспензій;
- б) інтенсифікації процесу теплообміну;
- в) інтенсифікації процесів масообміну (у т.ч. хімічних реакцій).

Для порівняння й оцінки різних конструкцій із перемішувальними пристроями введені такі поняття, як ступінь перемішування, інтенсивність і ефективність дії перемішувального пристрою.

## 1.2 Ступінь перемішування

Під *ступенем перемішування* у загальному випадку варто розуміти взаємний розподіл двох або більшої кількості речовин після зробленого перемішування всієї системи [2]. Ступінь перемішування, таким чином є, свого роду, показником ефективності перемішування, а також може бути використаний для оцінки інтенсивності перемішування. У літературі можна також знайти інші назви цієї величини, наприклад, ступінь однорідності, показник перемішування й т.д.

Для розрахунку ступеня перемішування  $I$  на основі аналізу взятих проб застосовуються різні формули. Найчастіше використовується формула Хіксона й Тені [3]:

$$I = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \quad (1.1)$$

де  $n$  - число взятих проб;  $X_1, X_2$  - відносні концентрації взятих проб, що розраховують за формулами:

$$X_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{i0}} \quad (\Phi_i < \Phi_{i0}), \quad (1.2)$$

$$X_i = \frac{1 - \Phi_i}{1 - \Phi_{i0}} \quad (\Phi_i > \Phi_{i0}), \quad (1.3)$$

де  $\Phi_i$ ,  $\Phi_{i0}$  - об'ємні частки аналізованого компонента в  $i$ -й пробі й у всьому апараті відповідно.

Крім того, існує багато статистичних методів для оцінки ступеня перемішування даної суміші на основі аналізу взятих проб.

Для випадку, коли рідини взаємно розчиняються, оригінальне визначення ступеня перемішування запропонували Хоблер і Стренк:

$$I = \frac{\Delta S}{\Delta S_{\max}}, \quad (1.4)$$

де  $\Delta S$  і  $\Delta S_{\max}$  - збільшення ентропії перемішувальних рідин, після проходження часу  $\tau$  і після повного перемішування ( $\tau = \infty$ ).

Автори визначили конкретну форму цієї функції для турбінних мішалок на основі експериментальних досліджень перемішування двох обсягів однієї й тієї самої рідини з різними початковими температурами:

$$I = 1 - e^{-k\tau}, \quad (1.5)$$

де  $\tau$  - час перемішування;  $k$  - коефіцієнт, що залежить для даної системи від критерію Рейнольдса і є мірою інтенсивності перемішування (чим більший  $k$ , тим коротший час, необхідний для досягнення однакового ступеня перемішування).

### 1.3 Інтенсивність перемішування

Інтенсивність дії перемішувального пристрою визначається часом досягнення конкретного технологічного результату при постійній частоті обертання або частотою обертання перемішувального пристрою при постійній тривалості процесу.

Більш інтенсивним буде дія того з порівнюваних перемішувальних пристроїв, з яким заданий технологічний результат досягається за більш короткий час при однаковій частоті обертання або з меншою частотою обертання при однаковому часі перемішування.

Поняття інтенсивності перемішування, вживане досить часто, не має ще точного визначення. Як правило, інтенсивність перемішування визначається за допомогою таких величин:

- а) числа обертів мішалки  $n$ ;
- б) колової швидкості кінця лопат мішалки  $u$ ;
- в) критерію Рейнольдса для процесів перемішування  $Re = nd^2\gamma/\eta$  (де  $d$  - діаметр мішалки;  $\gamma$  - густина;  $\eta$  - динамічний коефіцієнт в'язкості);
- г) потужності, що витрачається на перемішування,  $N$ , зведеної до одиниці об'єму  $V$  рідини, що перемішують,  $(N/V)$  або до одиниці маси рідини, що перемішують  $(N/V\gamma)$ .

Кожна із перелічених вище величин є відповідною мірою інтенсивності перемішування для конкретного апарата з мішалкою, що працює на конкретній системі (даної рідини). Відомо, наприклад, якщо при  $n_2 > n_1$ , то інтенсивність перемішування при  $n_2$  буде вищою, ніж при  $n_1$ . Аналогічний висновок можна зробити, якщо  $u_2 > u_1$ ,  $Re_2 > Re_1$  і т.д. Справа ускладнюється під час порівняння інтенсивності перемішування у двох різних апаратах. У таких випадках жодна із перелічених вище величин не є досить надійним критерієм для порівняння інтенсивності перемішування. Найменш точні дані будуть у цьому випадку отримані з обертів  $n$ . Якщо  $n_2 > n_1$ , то це аж ніяк не означає, що інтенсивність перемішування в апараті 2 буде вищою, ніж в апараті 1, тому що  $d_1$  може бути настільки більше  $d_2$ , що мішалка 1 буде працювати більш інтенсивно.

Краще для цього порівняння використати величини  $u$  і  $Re$ , але й вони не будуть універсальною мірою інтенсивності, оскільки може виявитися, що  $u_2 > u_1$  і  $Re_2 > Re_1$ , а інтенсивність мішалки в апараті 1 буде більша (якщо взяти, наприклад, турбінну мішалку в апараті 1 і гладкий диск в апараті 2).

Більш точно про інтенсивність перемішування дозволяють робити висновок значення  $N/V$  і  $N/V\gamma$ , але й вони не є універсальним критерієм перемішування. Ускладнювальним тут є факт, що енергія в об'ємі розсіюється нерівномірно, а ця нерівномірність для різних апаратів з мішалками різна.

Знаходження універсального критерію інтенсивності перемішування є однією з найбільш складних проблем техніки перемішування, що не повністю вирішена на сьогодні, незважаючи на багато досліджень. Відсутність такого критерію не дає можливості описати універсальними рівняннями такі процеси, як теплопередача, масовіддача і т.д. Доводиться задовольнятися рівняннями для окремих апаратів.

Очевидно, критерій інтенсивності перемішування повинен бути визначений як швидкість змін ступеня перемішування в часі  $d^2/d\tau$  або  $I/\tau$  [2]. Виявлення конкретної форми такої функції для різних апаратів з мішалками вимагає проведення подальших досліджень.

#### **1.4 Ефективність перемішування**

Ефективність перемішування визначається кількістю енергії, затрачуваної на перемішування для досягнення необхідного технологічного ефекту. Таким чином, із двох апаратів з мішалками більш ефективно працює той, у якому досягається певний технологічний ефект при більш низькій витраті енергії. Ефективність перемішування є також основою для оцінки роботи того самого апарата (для вибору оптимального режиму роботи апарата й оптимальних його розмірів). Однак для того щоб розрахувати ефективність перемішування, необхідно знати рівняння, що визначають потужність, яка витрачається на перемішування, тепловіддачу, масовіддачу і т.д., не тільки для типових систем, але й при змінних геометричних параметрах системи. Ця проблема останніми роками набуває все більшого значення.

Відповідно до прийнятої у вітчизняній літературі термінології ефективність дії перемішувального пристрою визначається витратами енергії для отримання даного технологічного результату.

## 1.5 Вплив основних параметрів на інтенсивність і ефективність перемішувальних пристроїв

Інтенсивність і ефективність дії перемішувальних пристроїв залежать від конструкції й параметрів перемішувального пристрою (тип і розмір, частота обертання, розміщення в апараті) і конструктивних особливостей апарата (форма днища, наявність внутрішніх пристроїв і т.п.).

Перемішування - гідродинамічний процес. Дія перемішувальних пристроїв визначається гідродинамічним станом в апараті, що істотно залежить від фізичних властивостей перемішувального середовища.

Швидкість потоків в апараті визначається частотою обертання перемішувального пристрою  $n$ . Тому із збільшенням частоти обертання інтенсивність більшості технологічних процесів зростає (до певних меж).

Наприклад, зі зростанням швидкості обертання збільшується швидкість розчинення твердих частинок у рідині, зменшується розмір частинок при емульгуванні й т.п.

Оскільки інтенсивність перемішування залежить від розмірів перемішувального пристрою, то вона пов'язана із величиною симплекса

геометричної подібності діаметра  $\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$  посудини, де  $D$  і  $d$  відповідно діаметри апарата (зовнішній або внутрішній) і перемішувального пристрою.

При гомогенізації легкокорухомих середовищ інтенсивність перемішування приблизно пропорційна величині  $\Gamma_D^{-2}$ .

Таким чином, у деяких випадках доцільно використовувати апарати з меншим  $\Gamma_D$ , тобто відносно більшим діаметром перемішувального пристрою.

Варто мати на увазі, що при перемішуванні в більших обсягах (понад 25 м<sup>3</sup>) відносне збільшення діаметра перемішувального пристрою викличе значне збільшення потужності. Тому в таких апаратах доцільніше встановлювати перемішувальні пристрої з високим значеннями  $\Gamma_D$ .

Інтенсифікація процесу за рахунок збільшення частоти обертання або зміни конструкції перемішувальних пристроїв звичайно супроводжується збільшенням потужності, що витрачається на перемішування. При цьому в деяких випадках ефективність перемішування може зменшитися.

Для орієнтовної оцінки можна брати потужність, прямо пропорційну ширині лопати й п'ятому ступеню діаметра перемішувального пристрою.

При проектуванні апарата важливо правильно вибрати тип перемішувального пристрою і частоту його обертання.

У цей час є аналітичні вирази, що дозволяють у ряді випадків знайти раціональні частоти обертання перемішувальних пристроїв.

Для процесів суспендування й емульгування такими частотами є визначальні частоти обертання — частоти, при яких спостерігається практично рівномірний розподіл внутрішньої фази по всьому об'єму середовища.

Для зазначених процесів визначальна частота залежить від різниці щільності середовища й фази, діаметрів апарата й перемішувального пристрою, а також від діаметра частин або коефіцієнта поверхневого натягу.

У деяких випадках на процес перемішування впливає розміщення перемішувального пристрою в апараті, зокрема відстань від днища —  $h$ .

При помутнінні, зважуванні й деяких інших процесах варто застосовувати перемішувальні пристрої, з відносно малим  $h$ .

Слід зазначити, що зміна величини відстані від днища апарата до перемішувальних пристроїв не позначається на витратах потужності, що витрачається на перемішування.

Висота рівня рідини в апараті  $H_0$  також впливає на хід технологічного процесу. Наприклад, при розчиненні газу в рідині швидкість процесу зростає зі збільшенням висоти рівня рідини в апараті.

При зростанні висоти рівня збільшується споживана потужність. Для лопатевих перемішувальних пристроїв збільшення висоти від  $H_0=D$  до  $H_0=1,5D$  приводить до зростання споживаної потужності на 20 - 40%. Для



більшості процесів досягнення рівномірного перемішування при мінімальних витратах енергії спостерігається при висоті рівня рідини в апараті, що дорівнює його діаметру, -  $H_0=D$ .

При більших значеннях  $H_0$  можуть застосовуватися багаторядні перемішувальними пристроями.

У цих випадках величина потужності, затрачувана на роботу перемішувальних пристроїв, істотно зростає. У системах газ — рідина при встановленні на валу двох турбінних перемішувальних пристроїв відбувається збільшення споживаної потужності приблизно в 1,7 раза, при встановленні трьох пристроїв — у 2,2 раза.

У процесах зважування твердих частинок і емульгування при використанні двох лопатевих або двох гвинтових перемішувальних пристроїв витрата потужності зростає в 1,5 раза.

При використанні багаторядних лопатевих перемішувальних пристроїв для одержання рівномірної суспензії рекомендується відстань між ними (вздовж осі вала) брати такою, що дорівнює  $0,5d$ .

Для турбінних перемішувальних пристроїв ця відстань може дорівнювати  $(1-1,5)d$ .

На поля швидкостей в апаратах із перемішувальними пристроями впливають конструктивні особливості апарата. Це знаходить своє відображення у величині потужності, споживаної перемішувальними пристроями.

Наявність внутрішніх пристроїв (гільз, термометрів, труб перетискання) збільшує споживану потужність на 10-20%. Встановлення зміювиків у ряді випадків приводить до дворазового збільшення витрати потужності.

Особливо сильно впливає на величину потужності, споживаної перемішувальними пристроями, наявність відбивних перегородок в апараті. Для лопатевих і турбінних мішалок на деяких режимах споживана потужність в 3-7 разів більша, ніж в апараті без перегородок. Однак перегородки встановлюють в апаратах для усунення утворення воронки, а іноді для

підвищення інтенсивності процесу (емульгування, зважування, розчинення газів і змішування рідин).

## 1.6 Безперервно діючі реактори повного змішування

Під безперервно діючим реактором повного (ідеального) змішування, як правило, розуміється ємнісний апарат із мішалкою (рис. 1.2), у нижню частину якого безупинно вводять вихідні реагенти, а зі зливного патрубку безупинно відводять реакційну суміш. Частинки, що завантажують у реактор (молекули, іони, кристали), швидко перемішуються із частинками, що перебувають у реакторі, і час перебування окремих частинок у реакторі коливається у широких межах.

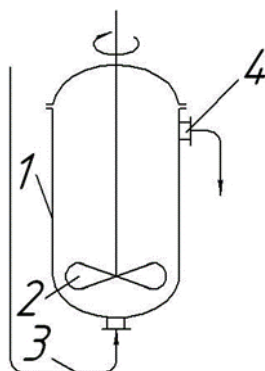


Рисунок 1.2 — Безперервно діючий реактор повного змішування:  
1 – корпус; 2 – мішалка; 3 – завантажувальна труба; 4 – зливний патрубок

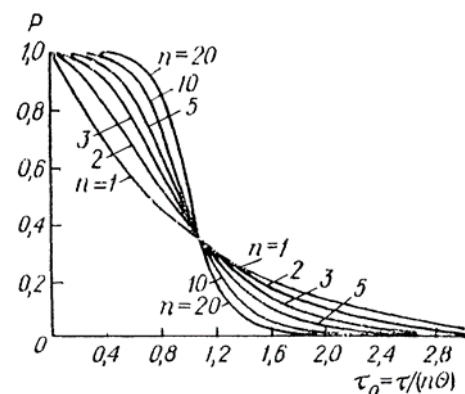


Рисунок 1.3 — Залежність  $P$  від  $\tau_0$  для безперервно діючих реакторів повного змішування при різному числі ступенів  $n$

Імовірність часу перебування окремих частинок в одиничному реакторі повного змішування, тобто такому, в якому завантажують частинки, що миттєво й рівномірно перемішуються із частинками, які заповнюють реактор, розраховується за рівнянням

$$P = \frac{N}{N_0} = e^{-\frac{Q\tau}{V}} \quad (2.1)$$

де  $P$  – частка числа частинок  $N$ , що залишилися у реакторі після закінчення часу  $\tau$ , від числа частинок  $N_0$ , завантажених у реактор;  $Q$  – об'ємна швидкість потоку (живлення) із постійною концентрацією частинок, що завантажує в реактор, м<sup>3</sup>/с;  $V$  — об'єм зони реакції в одиничному реакторі, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – дійсний час від початку завантаження, с;  $e$  – основа натуральних логарифмів.

Рівняння (1.6) отримано на основі математичної моделі для ізотермічного процесу.

Номінальний (середній) час перебування частинок в одиничному реакторі

$$\theta = V/Q. \quad (1.6)$$

Відносний час перебування частинок

$$\tau_0 = \tau/\theta = \tau Q/V. \quad (1.7)$$

Підставивши в рівняння (2.1) значення  $Q$  з рівняння (1.7) і значення  $\tau$  з рівняння (1.8), одержимо

$$P = e^{-\tau/\theta} = e^{-\tau_0}. \quad (1.8)$$

Частка завантажених частинок, винесених із реактора за час  $\tau_0$ :

$$1 - P = 1 - e^{-\tau_0}. \quad (1.9)$$

При проходженні потоку ( $\tau Q$ ) по об'єму, що дорівнює об'єму зони реакції в одиничному реакторі ( $V$ ), з рівняння (1.8) маємо  $\tau_0=1$ . Тоді за рівнянням (1.9) при  $\tau_0=1$  одержимо  $P=e^{-1}\approx 0,37$ . Це означає, що до моменту часу  $\tau=0$  близько 37% введених частинок затримується в реакторі, а інші ~ 63% уже будуть із нього винесені.

На рис. 3 наведена залежність  $P$  від  $\tau_0$  для одиничного (одноступінчастого) реактора повного змішування й каскаду цих реакторів [6]. В одиничному реакторі ( $n=1$ ) уже при  $\tau_0=0,5$  з апарата буде винесене ~40%, а при  $\tau_0=1,5$  у ньому ще затримається ~20% частинок. Отже, в одиничному

реакторі повного змішування має місце дуже велика нерівномірність часу перебування окремих частинок.

У каскаді безперервно діючих одиничних реакторів повного змішування (рис. 1.4 а) і багатоступінчастих реакторах (рис. 1.4 б і в) значно знижується нерівномірність часу перебування частинок порівняно з одноступінчастим реактором.

Залежність часу перебування окремих частинок від числа ступенів у каскаді одиничних ізотермічних реакторів при однаковому їх об'ємі й постійному загальному об'ємі каскаду (або, що рівнозначно, постійному загальному часі перебування потоку в каскаді) описується рівнянням [6]:

$$P_n = e^{-\tau_0} \left[ 1 + \tau_0 + \frac{\tau_0^2}{2!} + \frac{\tau_0^3}{3!} + \dots + \frac{\tau_0^{n-1}}{(n-1)!} \right], \quad (1.10)$$

де  $n$  — число ступенів у каскаді;  $\tau_0 = \frac{\tau}{n}$  — належить до каскаду реакторів, а  $0$  — до одиничного реактора;  $\tau$  — дійсний час від початку надходження потоку в каскад. Наприклад, для шести ступенів

$$P_6 = e^{-\tau_0} \left[ 1 + \tau_0 + \frac{\tau_0^2}{1 \cdot 2} + \frac{\tau_0^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{\tau_0^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} + \frac{\tau_0^5}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} \right].$$

Суттєвий недолік реакторів повного змішування — нерівномірність часу перебування окремих частинок. Цей недолік порівняно легко долається при використанні таких реакторів для проведення хімічних реакцій за рахунок збільшення реакційного об'єму. Під час застосування каскаду реакторів повного змішування для збільшення частинок продукту, що осаджений, тобто процесу кристалізації, зазначений недолік, що впливає на якість продукту, не усунений. Він може бути знижений за рахунок збільшення числа ступенів у каскаді. Число виступів у каскаді необхідно визначати виходячи із допустимого відхилення тривалості часу перебування основної маси частинок від оптимального часу.

На рис. 1.5 наведена залежність  $P$  від числа ступенів  $n$  при  $\tau$ , що відповідає  $0,8\tau_0$ .

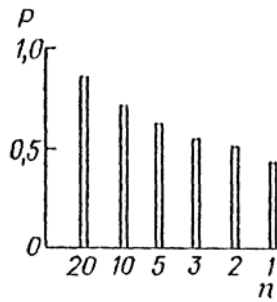


Рисунок 1.4 — Залежність  $P$  від числа ступенів  $n$  при  $\tau$ , що відповідає  $0,8\tau_0$

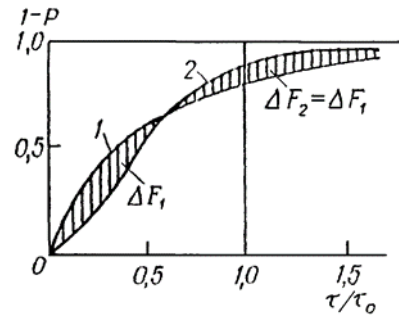


Рисунок 1.5 — Залежність частки частинок, винесених із реактора ( $1-P$ ), від  $\tau/\tau_0$ :

- 1 – ідеальний реактор;
- 2 – дослідний реактор

Наведені вище розрахункові рівняння й графіки ґрунтуються на математичних моделях ідеальних реакторів. У реальних реакторах, особливо великих розмірів, миттєве й рівномірне перемішування суміші практично недосяжне. На рис. 6 наведена залежність частки частинок, винесених із реактора ( $1-P$ ), від  $\tau/\tau_0$  [7]. Бачимо, що в дослідному апараті винесення частинок у межах  $\tau/\tau_0$  від 0 до 0,6 менше, ніж в ідеальному реакторі, а при  $\tau/\tau_0 > 0,6$  — більше. Тому застосовують мішалки, що забезпечують найбільш рівномірне й інтенсивне перемішування вмісту реактора.

Особливості каскаду (і багатоступінчастих) реакторів повного змішування: 1) за необхідності ступеневого або порційного завантаження реагуючих речовин для кожної речовини або порції необхідний окремий ступінь; 2) температура реакційної суміші може змінюватися тільки ступенево; 3) при сталому режимі роботи каскаду склад суміші (розміри й полідисперсність частинок при кристалізації) постійний на кожному ступені, і, отже, він змінюється не плавно, а ступенево.

При синтезі хімічних продуктів безперервним методом на першій стадії синтезу — осадженні продуктів зливанням розчинів — необхідно інтенсивне перемішування реакційної суміші. Для проведення цієї стадії можна ефективно використати безперервно діючий одиничний реактор повного

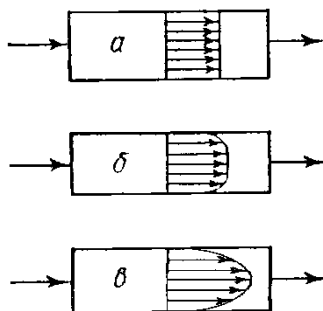
змішування (ємнісний із швидкісною мішалкою або ежекційний), але з малим часом перебування у ньому реакційної суміші (0,1—1 хв) для того, щоб нерівномірність часу перебування окремих частинок реакційної суміші не могла помітно вплинути на їх загальний час зростання.

Друга стадія синтезу — витримка суспензії осадженого продукту для зростання частинок — залежно від виду продукту триває 10—60 хв. За відсутності жорстких вимог до рівномірності часу перебування окремих частинок для проведення цієї стадії може бути застосований безперервно діючий багатоступінчастий реактор повного змішування (як правило, у тому випадку, якщо більш простий за конструкцією реактор повного витіснення у цьому випадку менш ефективний).

Для третьої стадії синтезу — стабілізації розміру частинок — також ефективний реактор повного змішування.

### 1.7 Реактори повного витіснення безперервної дії

У безперервно діючих реакторах повного (ідеального) витіснення під час руху потоку реакційної суміші (суспензії при кристалізації) відсутнє перемішування в напрямку, зворотному руху потоку. Як реактори повного витіснення найбільш часто використовуються трубчасті, плівкові й колонні апарати, черв'ячні й лопатеві змішувачі.



Для ідеального трубчастого реактора вважаємо, що швидкість потоку однакова за його перерізом і такий режим течії називають поршневим.

Під час руху потоку в реальному трубчастому реакторі тертя об стінки й внутрішнє тертя викликають градієнт швидкостей за перерізом труби, що залежить від режиму течії. Розрізняють два режими течії потоку: турбулентний і ламінарний.

Трубочасті реактори можуть бути використані для проведення другої стадії синтезу — збільшення частинок осадженого продукту. Щоб уникнути осадження частинок у трубчастому реакторі з горизонтально розміщеними трубами, застосовується розвинений турбулентний режим ( $Re \geq 10000$ ). Розподіл часу перебування окремих частинок у цьому реакторі при турбулентному режимі розглядається нижче.

Максимальна швидкість потоку досягається на осьовій лінії труби ( $w_{oc}$ ). Цій швидкості відповідає мінімальний час перебування частинок у реакторі  $\tau_{oc}$ :

$$\tau_{oc} = L/w_{oc}, \quad (1.11)$$

де  $L$  — довжина трубчастого реактора.

Відносний час перебування частинок у трубчастому реакторі  $\tau_0$  визначається за формулою

$$\tau_0 = \tau / \tau_{oc}. \quad (1.12)$$

При турбулентному режимі руху потоку й значеннях критерію Рейнольдса від 2300 до  $10^6$  для гладких і шорсткуватих труб відносний час перебування частинок становить порівняно невелику величину — 1,2—1,4. Турбулентна дифузія створює поперечне (радіальне) перемішування потоку, наближаючи його до поршневого. Установлено, що при розвиненому турбулентному режимі ( $Re \geq 10000$ ) і  $L/D > 50$  (де  $L$  — довжина реактора,  $D$  — його діаметр) у трубчастому реакторі з горизонтально розміщеними трубами час перебування однаковий для всіх частинок [6].

Крім рівномірності часу перебування частинок, ці реактори мають такі особливості: 1) склад реакційної суміші (розмір і ступінь полідисперсності частинок при кристалізації) плавно змінюється по довжині реактора й у кожному його поперечному перерізі постійний; 2) температура суміші може плавно змінюватися вздовж реактора.

Трубочасті реактори ефективні для проведення другої стадії синтезу (збільшення частинок осадженого продукту), особливо коли потрібний однаковий час перебування частинок і при їх блокуванні із трубчастими

змішувачами можуть бути застосовані для всіх стадій синтезу. Вони прості за конструкцією, і тільки в тих випадках, коли велика їх довжина викликає економічно неприйнятну витрату металу на виготовлення труб або може виникнути осадження частинок у трубі, використання таких реакторів для проведення другої стадії синтезу недоцільне.

Крім того, трубчасті реактори часто застосовуються при проведенні процесів під тиском (наприклад, при гідролізі розчинів сульфату титану під підвищеним тиском і при розкладанні ільменітового концентрату з використанням відхідної гідролізної кислоти під тиском 2—3 МПа).

### 1.8 Реактори періодичної дії

При синтезі осадових і осадково–прогартовуваних речовин як реактори застосовують ємнісні апарати із перемішувальними пристроями і до попередньо завантаженого у реактор розчину одних первісних речовин доливають розчин інших.

На першій стадії синтезу — осадженні продукту — при зіткненні розчинів вихідних реагентів продукт осаджується відразу, тому час перебування частинок у реакторі різний — від максимального для частинок, що утворилися на початку осадження, до мінімального — до кінця осадження. На другій стадії синтезу — зростання частинок осажденного продукту — після зливання розчинів час перебування в реакторі однаковий для всіх частинок.

У промислових реакторах періодичної дії час зливання розчинів ( $\tau_{зл}$ ) коливається в межах 10—30 хв, час витримки після зливання розчинів ( $\tau_{вит}$ ) — 10—60 хв. Бачимо, наскільки нерівномірним може бути час росту окремих частинок у реакторі періодичної дії зі збільшенням  $\tau_{зл}$  і зниженням  $\tau_{вит}$ . Тому під час проведення кристалізаційних процесів реактор періодичної дії не забезпечує однакового часу перебування всіх частинок.

Особливості реакторів періодичної дії: 1) можливість проведення у них всіх стадій синтезу; 2) зміна в часі складу реакційної суміші (розмірів і



полідисперсності частинок під час кристалізації); 3) легкість переходу на інші режими синтезу.

Недоліки реакторів періодичної дії: 1) труднощі, а іноді й неможливість точної підтримки  $pH$  суміші під час зливання розчинів; 2) неможливість швидкого зливання розчинів; 3) труднощі точного відтворення всіх параметрів синтезу і, як наслідок, нестабільність властивостей отримуваного продукту; 4) труднощі високоінтенсивного перемішування внаслідок великого об'єму; 5) обмежена продуктивність.

Перелічені недоліки реакторів періодичної дії обумовили перехід на безперервні методи синтезу в реакторах безперервної дії не тільки в багатотоннажних, але й у середньотоннажних виробництвах. Реактори періодичної дії використовуються в малотоннажних виробництвах і в тих випадках, коли випускається велика кількість марок продукту, що відрізняються рецептурою й параметрами синтезу. Винятками, наприклад, у багатотоннажних пігментних виробництвах є гідроліз розчинів сульфату титану й поверхнева модифікація пігментів, які через складний режим їх проведення у цей час здійснюють у реакторах періодичної дії.

### **1.9 Задача оптимального розрахунку місткості реактора**

При розрахунку місткості реакторів об'ємного типу необхідно виходити з того, що число одиниць реакційного обладнання на кожній стадії повинне бути задане (хоча б приблизно) і що відомі залежності між конструктивними особливостями реактора, наприклад, поверхневого обігрівання, й типом елементів, що гріють, і тривалістю процесу в даному апараті. Крім того, варто враховувати можливість виробництва різних продуктів у тому самому апараті й розраховувати місткість реактора відносно до  $i$ -го продукту з мінімальним «зніманням»  $q_{mi}$ .

Для ряду високомолекулярних речовин, наприклад, лакових смол, не відбувається виділення готового продукту з реакційної маси після проведення синтезу. Для кожного з таких продуктів для даного  $j$ -го апарата маємо

$$q_{ij} = \frac{V_i \rho_i}{\zeta_j V_j \tau_{ij}}, \quad (1.13)$$

де  $V_i$  – об'єм у реакторі, займаний реакційною масою після синтезу;  $\rho_i$  – густина отриманого продукту;  $\zeta_j$  – коефіцієнт заповнення реактора;  $V_j$  – номінальна місткість реактора;  $\tau_{ij}$  – тривалість циклу.

Якщо відомі  $q_{ij}$  для всіх намічених до виробництва продуктів відносно серійних реакторів, то задача розрахунку оптимальної місткості реактора може бути сформульована таким чином.

Розрахувати місткості реакційних апаратів таким чином, щоб забезпечити заданий випуск продукції (як за об'ємом, так і за асортиментом) при мінімальних капітальних витратах  $KЗ$ , тобто

$$KЗ = \sum_{j=1}^M n_j \{c_j\} \rightarrow \min \quad (1.14)$$

при таких обмеженнях:

$$B_i = \min \{v_j q_{ij}\}, \quad (1.15)$$

$$\tau_{ii} = \max \{\tau_{ij} / n_j\}, \quad (1.16)$$

$$\sum_{i=1}^M (G_i \tau_{ii} / B_i) \leq \sum T_j, \quad (1.17)$$

де  $n_j$  — число апаратів  $j$ -го типу;  $v_j$  — місткість апарата  $j$ -го типу;  $c_j$  — вартісна функція для  $j$ -го типу апаратів;  $B_i$  — обсяг виробництва  $i$ -го продукту в апараті  $j$ -го типу за цикл;  $G_i$  — необхідний річний випуск  $i$ -го продукту;  $T_j$  — виробничий річний резерв часу  $j$ -го типу реакторів.

Вартісна функція являє собою залежність вартості апарата від його основної характеристики. Для реакторів об'ємного типу ця функція має вигляд

$$c_j = a_j v_j^{b_j}, \quad (1.18)$$

де  $a_j, b_j$  — коефіцієнти вартісної функції обладнання.

## 1.10 Вибір місткості апарата

Існують різні розрахункові методи вибору реакторів такої місткості, щоб виконувалася умова (1.11) [8]. Один із методів полягає в тому, що безліч можливих рішень розбивається на підмножину («розгалуження») і для кожної підмножини обчислюється так звана гранична оцінка, що порівнюється із цільовою функцією [див. умова (2.11)]; якщо гранична оцінка гірша за значення цільової функції, то дана підмножина не розглядається. Якщо вважати, що вибираються всі реактори однієї місткості і вибір вести з  $N$  стандартних розмірів [9], то число можливих варіантів залежить тільки від числа однакових реакторів, що задані,  $n_j$ , тобто число можливих варіантів дорівнює  $n_j \times N$ . Звичайне число  $n_j$  реакторів не перевищує 10, і, отже, число варіантів залежить від набору розмірів реакторів. Однак розв'язання задачі зовнішнього теплообміну має додаткові труднощі в розв'язанні розглянутої задачі, тому що швидкість проходження реакції, а отже, і знімання продукції для багатьох синтезованих хімічних речовин істотно залежать від ефективності системи обігрівання реактора. Однак для стандартних апаратів значення знімання можуть варіюватися в певних межах, що спрощує задачу.

Після вибору оптимальної місткості [10] задача зводиться до вибору одного з типів стандартного апарата даної місткості з мішалкою відповідної конструкції й певної частоти обертання, а також з відповідною конструкцією й розмірами елементів обігрівання реакторів об'ємного типу [9].

У подальших розділах наведені методи розрахунку для вибору тих чи інших мішалок і елементів обігрівання. При цих розрахунках реактори об'ємного типу з механічною мішалкою розглядаються як об'єкти із зосередженими параметрами, що й визначає вибір методів розрахунку й розрахункові залежності.

## РОЗДІЛ 2

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 2.1 Службове призначення та особливості конструкції технологічного обладнання

Тематикою випускної кваліфікаційної роботи бакалавра є питання розрахунку та конструювання деталі «Вал» технологічного обладнання.

В якості технологічного обладнання, що розглядається в бакалаврській роботі виступає двохступінчастий циліндричний редуктор.

Редуктором називають механізм, що складається із зубчастих або черв'ячних передач, виконаний у вигляді окремого агрегату, що служить для передачі обертання від валу двигуна до валу робочої машини. Кінематична схема приводу може включати, окрім редуктора, відкриті зубчасті передачі, ланцюгові або ремінні передачі.

Призначення редуктора — пониження кутової швидкості і відповідно підвищення крутного моменту веденого валу в порівнянні з ведучим. Механізми для підвищення кутової швидкості, виконані у вигляді окремих агрегатів, називають прискорювачами або мультиплікаторами.

Редуктор складається з корпусу (литого чавунного або зварного сталевого), в якому поміщують елементи передачі — зубчасті колеса, вали, підшипники і т. д. В окремих випадках у корпусі редуктора (наприклад, усередині корпусу редуктору може бути поміщений шестерінчастий масляний насос) або пристрої для охолодження (наприклад, змійовик з охолоджувальною рідиною в корпусі черв'ячного редуктора).

Редуктор проектують або для приводу певної машини, або за заданим навантаженням (моментом на вихідному валу) і передаточному числу без вказівки конкретного призначення. Другий випадок більш характерний для спеціалізованих заводів, в яких організовано серійне виробництво редукторів.

Редуктори класифікують за наступними основними ознаками:

- а) тип передачі (зубчаті, черв'ячні, зубчато-черв'ячні);
- б) число ступенів (одноступінчасті, двоступінчасті і т. д.);
- в) тип зубчастих коліс (циліндричні, конічні, конічно-циліндричні і т. д.);
- г) відносному розташуванні валів редуктора в просторі (горизонтальні, вертикальні);
- д) особливості кінематичної схеми (розвернена, співвісний, з роздвоєним ступенем і т. д.).

## 2.2 Передаточні числа редукторів

Маса і габарити зубчастого редуктора значною мірою залежать від того, як розподілено його загальне передаточне відношення за ступенями передачі. Кращі показники мають такі редуктори, у яких діаметри коліс (а не шестерень) усіх ступенів близькі за значенням. Для такої конструкції редукторів виконуються умови змащення передачі зануренням коліс у загальну масляну ванну. Глибина занурення швидкохідних коліс - не більша, ніж подвійна висота зубів, а тихохідних коліс - не більша, ніж  $1/3$  їх радіуса.

Так як швидкохідний ступінь навантажений менше, ніж тихохідний, то для одержання близьких діаметрів коліс передаточне відношення першого швидкохідного ступеня  $u_1$  необхідно брати більшим порівняно із передаточним відношенням другого ступеня  $u_2$ , при одночасному збільшенні коефіцієнта ширини коліс  $\psi_{ba}$  від першого до другого ступеня. Орієнтовні значення передаточних відношень першого швидкохідного  $u_1$  і другого тихохідного  $u_2$  ступенів для найбільш поширених кінематичних схем такі:

- для двоступінчастого циліндричного редуктора за розгорнутою схемою і при роздвоєному першому ступені.

$$u_{mix} = 0,88\sqrt{u_p} \quad u_{шв} = \frac{u_{ред}}{u_{mix}} \quad (2.1)$$

- для двоступінчастого співвісного циліндричного редуктора

$$u_{mix} = 0,95\sqrt{u_p} \quad u_{ув} = \frac{u_{ред}}{u_{mix}} \quad (2.2)$$

- для двоступінчастого конічно-циліндричного редуктора

$$u_{mix} = 1,1\sqrt{u_p} \quad u_{ув} = \frac{u_{ред}}{u_{mix}} \quad (2.3)$$

- для двоступінчастого циліндрично-черв'ячного редуктора

$$u_{mix} = 1,6...3,5 \quad u_{ув} = \frac{u_{ред}}{u_{mix}} \quad (2.4)$$

В триступінчастих редукторах: у зв'язку із обмеженням граничних передаточних чисел в парі, діаметри коліс швидкохідного ступеню звичайно роблять меншими, а проміжного і тихохідного ступеню – близькими один до одного.

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) зубчастих передач залежить від втрат потужності на тертя в зачепленні, тертя в підшипниках, розбризкування і перемішування мастила (гідрравлічні втрати).

К.к.д. закритих циліндричних передач  $\eta=0,97...0,99$ , відкритих  $\eta=0,95...0,96$ , закритих конічних передач  $\eta=0,95...0,98$ , відкритих  $\eta=0,94...0,95$ .

У багатоступінчастих передачах к.к.д. знаходиться як добуток

$$\eta_{заг} = \eta_1\eta_2\eta_3 \dots \quad (2.5)$$

Найменшу масу і габарити мають планетарні редуктори завдяки багатопотоковому розподіленню навантаження через сателіти і внутрішнє зачеплення. Завдяки цим перевагам планетарні передачі широко використовують в авіації, верстато- і приладобудуванні, в серійних мотор-редукторах.

Кожен тип стандартного редуктора характеризується такими параметрами: передаточне число, момент на тихохідному валу, допустиме радіальне навантаження на кінці вихідного вала, к.к.д. і маса. За цими параметрами забезпечується вибір необхідного типорозміру стандартного редуктора чи мотор-редуктора.

Основні силові параметри стандартних редукторів визначені для номінальної частоти обертання швидкохідного (вхідного) вала  $n = 1500$  об/хв. Допускається використання стандартних редукторів за більшої частоти обертання, але при цьому колова швидкість зубчастих коліс не має перевищувати 16 м/с, а для черв'ячних редукторів – швидкість ковзання не більша 10 м/с. Використання стандартних редукторів і мотор-редукторів за частот обертання понад 1500 об/хв має бути узгодженим із заводом-виробником.

Всі стандартні редуктори і мотор-редуктори розраховані на тривалий постійний режим навантаження і можуть працювати в будь-якому напрямі обертання. 90% ресурс зубчастих передач стандартних редукторів становить 36000 год, черв'ячних – 20000 год, підшипників кочення – 10000 годин.

#### *Конструктивні особливості стандартних редукторів*

1 В одному й тому ж корпусі редуктора у разі складання шляхом підбору зубчастих пар можна реалізувати широкий діапазон передаточних чисел. Така універсальність виправдана масовістю виробництва, але вона не завжди забезпечує оптимальність за масою, габаритами і розподіленням навантаження за шириною зубчастих коліс.

2 У стандартних редукторах можна комбінувати взаємне положення вхідних і вихідних валів.

3 Кінці вихідних валів стандартних редукторів можуть мати різне виконання: циліндричні, конічні, у вигляді зубчастої чи кулачкової півмуфти, порожнисті шліцьові, а також з формою, пристосованою до приєднання приладів управління. Кінці перших трьох виконань можуть сприймати крім обертального моменту, також і радіальне навантаження, величина якого

задається в характеристиці редуктора. Точкою прикладення цього навантаження є середина посадочної довжини консолі. На циліндричних і конічних кінцях валів передбачається шпонкове з'єднання.

4 Циліндричні і черв'ячні двоступінчасті редуктори призначені для роботи в горизонтальному положенні опорною поверхнею вниз. У разі реверсивної роботи редуктора допустимий момент необхідно зменшити на 20...30%.

*Стандартні циліндричні редуктори випускають в таких виконаннях:*

- одноступінчасті універсальні (позначення ЦУ);
  - двоступінчасті з евольвентним зачепленням (Ц2У);
  - двоступінчасті з зачепленням Новікова (Ц2У-Н);
  - двоступінчасті співвісні (Ц2С);
- триступінчасті (Ц3У).



## РОЗДІЛ 3

### ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Загальні положення

*Визначення.* Згідно із термінологією словника-довідника із визначення механізмів, вал – це деталь машин, яка встановлюється в опорах так, що може обертатися, та призначена для передачі крутного моменту між деталями, закріпленими на ній. Разом з передачею крутного моменту уздовж своєї осі вали призначені для підтримки деталей машин, що обертаються. На валах встановлюють зубчасті колеса, шківви, зірочки та інші деталі машин, що обертаються. При роботі вал відчуває деформації кручення та вигину, іноді – розтягування-стиснення.

*Класифікація валів.* Прості прямі вали мають форму тіл обертання і можуть бути постійного або змінного діаметра – гладкі або ступінчасті. За формою поперечного перерізу вали підрозділяються на суцільні та порожнисті (з осьовим отвором).

По зовнішньому контуру поперечного перерізу вали розділяють на шліцьові і шпонкові, що мають на деякій довжині шліцьовий профіль або профіль з пазом шпонки.

Широке застосування шліцьових валів в технологічному обладнанні (нарізаних або по всій довжині, окрім опорних шийок, або на її частині) пояснюється такими їхніми перевагами перед валами зі шпонками:

- кращим центруванням деталей, що сидять на валу;
- кращим напрямом деталей, що пересуваються уздовж валу;
- меншим питомим тиском на гранях шліців при одній і тій же величині передавального крутного моменту і однакових діаметрах шліцьового валу і валу зі шпонкою.

У машинобудуванні найбільш поширені шліцьові з'єднання з прямокутними (прямобічними) шліцями, грані яких паралельні, притому головним чином шестишліцьові (для валів з  $D = 25 \dots 90$  мм). Для більшого діаметра використовуються десятишліцьові вали.

Вали класифікують також за умовними ознаками, наприклад, за відносною швидкістю обертання у вузлі (у коробці швидкостей):

- швидкохідний;
- середньошвидкісний;
- тихохідний;

або за розташуванням у вузлі:

- вхідний (ведучий);
- проміжний;
- вихідний (ведений).

Опорні частини валів називають цапфами або шийками. Цапфи валів для підшипників кочення виконують найчастіше циліндричними. В окремих випадках застосовують конічні цапфи з малою конусністю – для регулювання зазорів в підшипниках пружною деформацією кілець. Внутрішнє кільце підшипника зазвичай закріплюється на цапфі за допомогою кінцевої шайби з болтом або круглою шліцьовою гайкою. В останньому випадку разом з цапфою виконується менша за діаметром різьбова ділянка валу під гайку.

*Конструювання валу.* Форма валу технологічного обладнання визначається:

- а) числом і положенням деталей, які мають бути розміщені на ньому;
- б) необхідними посадками розміщуваних деталей;
- в) способами кріплення нерухомих деталей (шпонки, шліцьові з'єднання, буртики);
- г) напрямом пересувних деталей (направляючі шпонки, шліцьова ділянка);
- д) способом регулювання радіального і осьового положення валу або шпинделя;

- е) типом і розмірами підшипників;
- є) технологією термо- або хіміко-термічної обробки.

Тому форма валу має бути погоджена в кожному випадку з названими чинниками, які частково відомі заздалегідь, частково вибираються в процесі проектування вузла (рис. 3.1).

При виборі форми валу рекомендується користуватися такими загальними правилами:

1) при установці на одному валу декількох деталей з різними посадками форма валу має бути такою, аби кожна деталь при її знятті проходила по валу без натягу;

2) висота буртику  $t$ , рис. 3.3, б), з одного боку, має бути мінімальною, аби понизити концентрацію напруги, а з іншого – достатньою, аби забезпечити осьову фіксацію деталі (вузла), для якої (якого) буртик є упором;

3) кількість рівнів різного діаметра має бути мінімальною (це спрощує технологію виготовлення і знижує концентрацію напруги на валу);

4) у разі декількох різних посадок на валу з одним номінальним діаметром вал слід виготовляти із проточками між посадками (рис. 3.1, а).

Перехідні ділянки валу між двома рівнями різних діаметрів виконуються у вигляді:

- 1) канавок для виходу шліфувальних кругів;
- 2) галтелів постійного радіусу  $\rho$ .

Для шийок під підшипники кочення рекомендують відношення  $\rho/d = 0,02...0,04$  і  $t/\rho \approx 3$  (менші значення для великих діаметрів); тут  $d$  – діаметр меншого з рівнів, що сполучаються;  $t$  – висота буртику, тобто піврізниця діаметрів ступенів;  $\rho$  – радіус закруглення галтелів.

Бажано, аби радіус закруглення в важко навантажених валах був більший або дорівнював  $0,1 \cdot d$ . Коли радіус галтелі обмежується радіусом закруглення кромки насаджуваних деталей, ставлять кільця (рис. 3.1, в).

Галтелі спеціальної форми мають змінний радіус (із збільшенням в зоні переходу до рівня меншого діаметра). Змінність радіуса підвищує втомлену міцність валу на 10 %.

Ще однією спеціальною формою перехідної поверхні є галтель з піднутренням (рис. 3.1, г), що дозволяє збільшити довжину базування маточин. Крім того, піднутрення буртику зменшує його жорсткість і, як наслідок, знижує концентрацію напруги на цій ділянці валу.

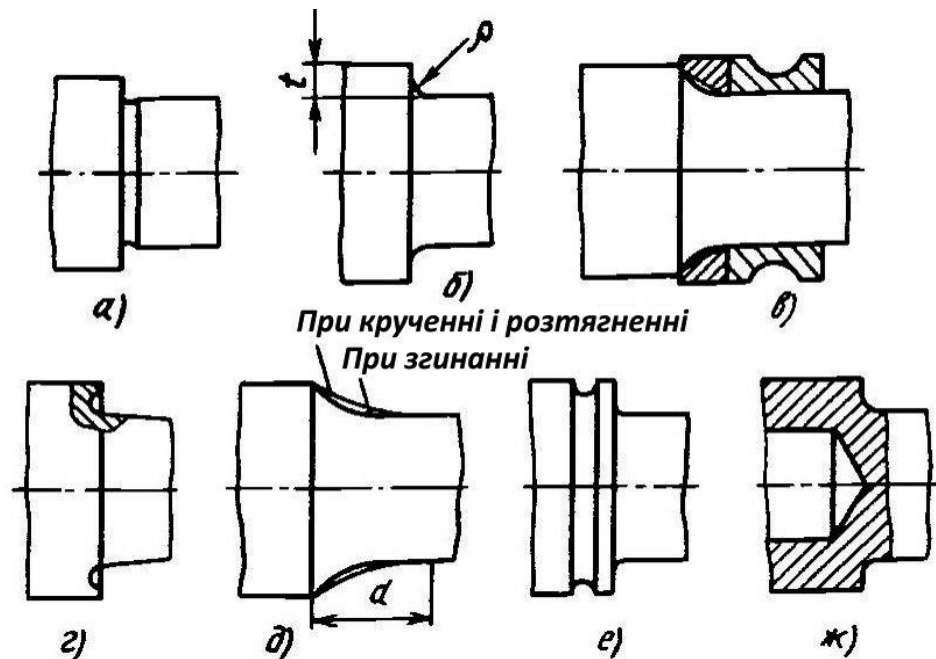


Рис. 3.1. Варіанти перехідних ділянок в ступінчастих валах

Галтель оптимальної форми можливо підібрати на довжині  $(0,75...1) \cdot d$  (рис. 3.1, д), аби практично позбавитися від концентрації напруги. Таку форму можна використовувати на вільних ділянках сильнонавантажених валів.

Розвантажувальні канавки (рис. 3.1, е) дозволяють підвищити втомну міцність валу в перехідних перерізах (усування малонапруженого матеріалу).

*Матеріали валів.* Вибір матеріалу і способу термо- і хіміко-термічної обробки валу залежить від умов його роботи у технологічному обладнанні і визначається:

а) необхідними величинами меж витривалості при вигині та при крученні, особливо для валів, які працюють в умовах різкого навантаження або з ударами;

б) швидкістю зношення поверхонь, що допускається;

в) формою валу і обумовленими нею можливими залишковими напругами в результаті термо- та хіміко-термічних обробок.

У випадках, коли перерізи валу виходять більшими, ніж вимагає розрахунок (через експлуатаційні або технологічні вимоги) і напруги в них невеликі, вал може бути виготовлений з простої вуглецевої сталі. Інколи в таких випадках використовується щільний дрібнозернистий перлітовий чавун типу СЧ20 ДСТУ EN 1561:2010 (ГОСТ 1412-85).

Якщо вал обертається в підшипниках кочення, то в особливій твердості шийок необхідності немає, і достатнє поліпшення (загартовування з високим відпуском). У подібних випадках підходить сталь 45 ДСТУ 7809:2015 (ГОСТ 1050-88) із гартуванням і відпуском до НВ=230...260, або сталь 40Х ДСТУ 7806:2015 (ГОСТ 4543-71) при твердості НВ=240...280.

Найкращі результати щодо підвищення зносостійкості дає азотування, за допомогою якого досягається не лише надзвичайно висока (до 1000 за Віккерсом), але й дуже однорідна твердість поверхневого шару.

Азотовані вали можна рекомендувати для високоточного обладнання і обладнання з частотами обертання валу (шпинделя) понад 2000 об/хв. Азотуванню добре піддаються хромоалюмінієві сталі типу 40ХЮ і 35ХЮА і хромомолібденові типу 38ХМЮА (сортовий прокат за ДСТУ 7806:2015 (ГОСТ 4543-71)). Вали, піддані азотуванню, мають мінімальне викривлення, оскільки при такому зміцненні загартування не потрібне. Недоліками азотування є тривалість цього процесу (до 40...60 годин), мала товщина зміцнюючого шару (0,2...0,5 мм).

Для важконавантажених валів, які повинні володіти разом з гарною зносостійкістю ще й високою міцністю, використовуються цементовані сталі

– хромонікелеві 12ХН3А, 13ХН3А, 18ХН3А та ін. ДСТУ 7806:2015 (ГОСТ 4543-71), загартовані та відпущені до HRC 56...63.

Основний розрахунок валів слід вести за визначенням запасів міцності по відношенню до межі витривалості в імовірно небезпечних перерізах, тобто, на опір втоми. Необхідність цього підтверджується спостереженнями за руйнуванням валів технологічного обладнання, що зазнавали під час роботи змінної напруги (в бакалаврській роботі не розглядається).

### 3.2 Проектно-конструкторські розрахунки

Здійснити проектний розрахунок валу приводу технологічного обладнання, побудувати його тривимірну модель в САПР та виконати креслення конструкції валу.

*Вхідні дані.* Вхідними даними для проектно-конструкторського розрахунку валу приводу головного руху є кінематична схема коробки швидкостей (рис. 3.2) та розрахункова схема валу (рис. 3.3). Вхідні дані для проектно-конструкторського розрахунку ведучого валу приводу головного руху фрезерувального верстата 2-3 типорозміру наступні:

- тип електродвигуна V112S;
- потужність електродвигуна, що передається  $5,5 \text{ N, кВт}$
- номінальна частота обертання електродвигуна,  $1500 \text{ n, хв}^{-1}$
- діаметр ведучого шківів  $d_{p1} = 100 \text{ мм}$ ;
- діаметр веденого шківів  $d_{p2} = 200 \text{ мм}$ .

Електродвигун постійного струму з двозонним регулюванням типу V112S з потужністю  $5,5 \text{ кВт}$  призначені для приводів головного руху металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням.

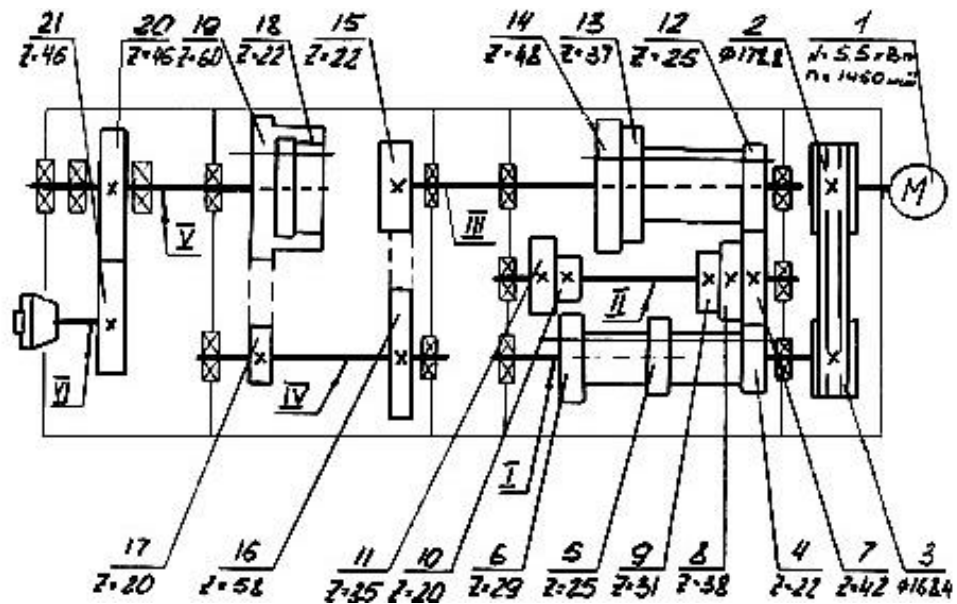


Рисунок 3.2 – Принципова кінематична схема привода головного руху

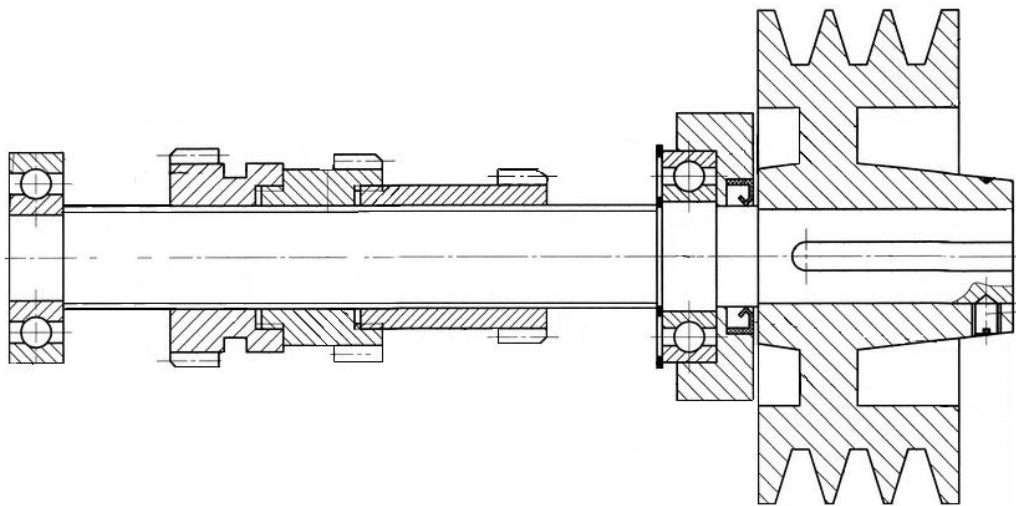


Рисунок 3.3 – Ескіз вузлу «Вал»

В процесі проектування валу розрізняють проектний та перевірочний розрахунки валів. Перевірочні розрахунки виконуються після розробки конструкції валу і виявлення на ньому імовірно небезпечних перерізів (при виконанні бакалаврської роботи не розглядається).

*Розрахунок силового параметру приводу.*

Проектувальний розрахунок виконують з умови статичної міцності з метою орієнтовного визначення діаметрів окремих рівнів. На початку

розрахунку відомий тільки крутний момент  $T$  ( $H \cdot m$ ). Згинальні моменти  $M$  ( $H \cdot m$ ) можливо визначити лише після розробки конструкції валу, коли згідно із загальною компоновкою виявляють його довжину і місця прикладання діючих навантажень.

Крутний момент  $T$  залежить від потужності двигуна  $N$ ,  $kW$  та частоти обертання електродвигуна  $n$ ,  $хв^{-1}$  та визначається як:

$$T = \frac{N}{n} \cdot 9550$$

Крутний момент на вхідному валу:

$$T = \frac{N}{n} \cdot 9550 = \frac{5,5}{1500} \cdot 9550 = 35,355 Hm$$

Для визначення діаметра,  $d$ , мм розрахункового перерізу валу скористуємося відомою формулою:

$$d \geq 10 \cdot \sqrt[3]{T / (0,2 \cdot [\tau]_k)},$$

де  $T$  – крутний момент ( $H \cdot m$ ) який діє в розрахунковому перерізі валу;

$[\tau]_k$  – допустима напруга кручення,  $MPa$ .

Для сталевих валів приймають:  $[\tau]_k = 20 \dots 35 MPa$  при визначенні діаметра кінця вхідного (вихідного) валу;  $[\tau]_k = 12 \dots 20 MPa$  – для діаметра ділянки проміжного валу в місці установки зубчастого колеса. Отриманий діаметр валу округляють до найближчого значення з ряду нормальних лінійних розмірів, ГОСТ 6636-69. Стандартний ряд діаметрів валів за ГОСТ 6636-69: 16; 18; 19; 20; 22; 24; 25; 28; 30; 32; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50 мм.

При виконанні проектного розрахунку валу коробок передач зазвичай визначають діаметр перерізу характерної ділянки: кінців вхідного і вихідного валів, місця розташування зубчастого колеса на проміжному валу. Діаметри інших ділянок призначаються при розробці конструкції валу з урахуванням їхнього функціонального призначення, технології виготовлення і складання вузлу.



Перша ступінь валу, як правило, призначається для монтажу відкритої передачі. Часто в цій якості виступає клинопасова передача. Після розрахунку діаметра першого ступеня (по крутному моменту) його значення треба узгодити з посадковим діаметром шківів пасової передачі.

Конструктивні елементи шківів (рис. 3.4) та їх значення вибираються згідно ДСТУ ISO 22:2009 (ГОСТ 20889-88).

Значення параметра ширини шківів  $M$  обчислюється за формулою:

$$M = (n - 1) \cdot e + 2f,$$

де  $n$  – кількість пасів в передачі;  $e$  – відстань між осями канавок, мм;

$f$  – відстань між віссю крайньої канавки та найближчим кінцем валу, мм.

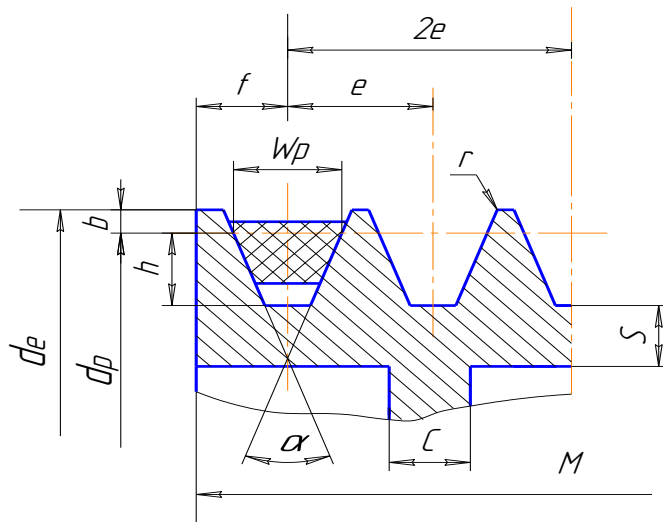


Рисунок 3.4 – Профіль шківів клинопасової передачі

Стандартний ряд розрахункових діаметрів шківів за ДСТУ ISO 22:2009 (ГОСТ 20889-88): 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200 мм.

Діаметри і довжини інших ступенів валів  $d$  і  $l$  округлити до найближчих стандартних чисел, визначаючи діаметр кожної наступної ступені за стандартним значенням діаметра попередньої.

Діаметр другої ступені  $d_2$  під підшипник визначається в залежності від значення діаметру першої ступені  $d_1$  під відкриту передачу:

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot t,$$

де  $t$  – перехід діаметра валу по відношенню до попереднього діаметра (табл. 2.3).

Стандартні значення  $d_2$  і  $d_4$  під підшипники кочення прийняти рівними діаметру внутрішнього кільця підшипника. Стандартні значення діаметрів і довжин інших ступенів прийняти по ГОСТ 6636-69.

Найбільше поширення серед підшипників кочення в опорних вузлах валів металорізальних верстатів отримали кулькові радіальні однорядні, 0000 (ДСТУ 8338-75) і кулькові радіальні дворядні сферичні, 1000, (ДСТУ 5720-75) підшипники. Для цих підшипників основним навантаженням є радіальна ( $F_r$ ), але вони можуть сприймати і невелике осьове навантаження ( $F_a$ ). Вони також допускають осьову фіксацію валу. При проектуванні верстатів підшипники кочення вибираються із каталогу по діаметру цапфи валу, який вже сконструйований. Вибрані підшипники потім перевіряються розрахунком за відповідним критерієм працездатності. Як правило, це критерій динамічної вантажопідйомності, методика та приклад розрахунку приведені в підручнику [1].

Діаметр підшипникової шийки необхідно погоджувати з діаметром отвору внутрішнього кільця підшипника. У діапазоні від 20 мм до 100 мм діаметри отворів в підшипниках найбільш поширених типів легкого та середнього серій утворює послідовний ряд чисел кратних п'яти. Діаметри валу під підшипниками обох опор валу часто приймаються однаковими. Для конструктивного варіанту, коли діаметр валу під ущільненням  $d_y$  збігається з діаметром під підшипник  $d_n$  ( $d_2, d_4$ ) треба узгоджувати як з підшипниками, так і з ущільненням валу (ГОСТ 8752-79).

Для проміжних валів коробок передач металорізальних верстатів, які не мають кінцевих ділянок, обчислене орієнтовне значення  $d$  призначається на ділянці посадки зубчастого колеса. Діаметр під підшипник  $d_n < d$  з округленням до найближчого діаметра обраного типу підшипника кочення.

Перевірочний розрахунок обраної конструкції здійснюється за методикою, викладеною у підручнику [1].

Матеріал валу, що розглядається в бакалаврській роботі. Для валів приводу головного руху верстатів застосовують сталі 45, 50, 40Х, піддані термічному поліпшенню (гарт з високим відпуском).

Приймаємо, що матеріалом валу є сталь 40Х ( $[\tau_{кр}] = 25 \text{ МПа}$ ).

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

$$d_1 = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{T}{(0,2 [\tau_{кр}] )}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{35,355}{(0,2 \cdot 25)}} = 19,19 \text{ мм},$$

де  $T$  – крутний момент на вхідному валу,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;

$[\tau_{кр}]$  – допустима напруга на кручення,  $\text{МПа}$  (згідно п. 2.2.2 для вихідного кінця валу приймаємо  $[\tau_{кр}] = 25 \text{ МПа}$ ).

Отримане розрахункове значення  $d_1$  діаметру валу округлюють до найближчого стандартного значення згідно ГОСТ 12080-66.

Приймаємо  $d_1 = 20 \text{ мм}$ .

При проектному розрахунку валу довжина першої ступені вхідного валу, на якій розташовано шків клинопасової передачі, приймаємо рівним ширині шківа, тобто  $l_1 = l_m = M$ .

Розрахуємо ширину шківу  $M$  перерізу  $B$  (ДСТУ ISO 22:2009 (ГОСТ 20889-88)) з трьома канавками (див. табл. 2.3):

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

В прикладі, що розглядається, ескіз шківа перерізу  $B$  виконано в САПР «АРМ WinMachine» та представлено на рис. 2.5. Для виконання графічних креслень та тривимірних моделей деталей, що проектуються в бакалаврській роботі допустимо використання будь якої з САД систем, що ви володієте.

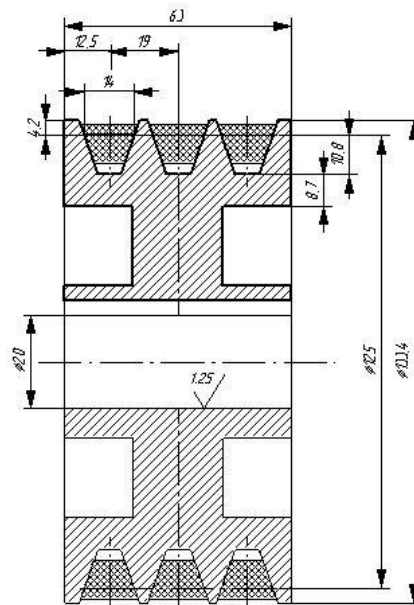


Рис. 2.5. Ескіз шківу клинопасової передачі

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

Виходячи з розрахунків приймаємо наступні розміри першої ступені: діаметр –  $d_1 = 20$  мм; довжина –  $l_1 = 63$  мм.

На першій ступені, для з'єднання валу з шківом клинопасової передачі, розташовано відкритий шпонковий паз. Розміри поперекового перерізу призматичної шпонки вибираються згідно з ГОСТ 23360-78 (DIN 6885) в залежності від діаметра ділянки валу, на якому встановлюється шків. Довжина шпонкового пазу визначається згідно довжини маточини, що насаджується та округляється до стандартного ряду довжин  $Rz 40$ . Отримане значення довжини шпонок повинне відповідати нормальному ряду: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 220; 250 (мм). Приклад умовного позначення шпонки виконання 1 для першої ступені валу під шків клинопасової передачі з розмірами:  $b = 6$  мм,  $h = 6$  мм,  $l = 56$  мм виконується як: шпонка  $6 \times 6 \times 56$  ГОСТ 23360-78.

*Розрахунок діаметру другої ступені валу*, на якій розташовані опори, у вигляді підшипників.

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot t = 20 + 2 \cdot 2 = 24 \text{ мм},$$

де  $t$  – перехід діаметра валу по відношенню до попереднього діаметра.

Значення висоти буртику  $t$ , визначаються по таблиці 2.3. в залежності від діаметру суміжної з ним ступені  $d_1$ . Для нашого випадку  $t = 2 \text{ мм}$ .

Необхідно враховувати, що значення посадочного діаметру підшипника кратне 5, тому і діаметр ступені валу приймаємо:  $d_2 = 25 \text{ мм}$ .

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

*Визначення розмірів другої ступені валу.* Довжина другої ступені валу під підшипник дорівнює ширині підшипника  $l_2 = B = 15 \text{ мм}$ .

Отримане значення довжини другої ступені перевіряємо згідно ряду нормальних лінійних розмірів за ГОСТ 6636-69. Розмір  $l_2 = 15 \text{ мм}$  відповідає нормальному ряду  $R_a 5$ .

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

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

$$d_3 = d_2 + 3,2 \cdot r = 25 + 3,2 \cdot 2 = 31,4 \text{ мм},$$

Округляємо згідно ряду нормальних чисел  $d_3 = 32 \text{ мм}$ .

Обираємо параметри зубчастого шліцьового прямобічного з'єднання легкої серії згідно ГОСТ 1139-58 для внутрішнього діаметру  $d = 32$  мм: число зубів  $z = 8$ ; зовнішній діаметр  $D = 36$  мм; ширина зуба  $b = 6$  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.

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

де  $l_k$  – довжина корпусу, мм.

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 –  $d_2 = 25$  мм; довжина –  $l_2 = 16$  мм.

Зведені розміри ступенів валу приведені в табл. 2.6.

Таблиця 3.6

Зведені розміри ступенів валу

Розмір	Ступінь валу			
	I	II	III	IV
$d$ , мм	20	25	32	25
$l$ мм	63	16	105	16

При формуванні технічних вимог до валу, що проектується слід визначитися з:

1. Граничними відхиленнями довжин циліндричної частини кінця валу згідно з ГОСТ 25346-89.

2. Допуск на радіальне биття циліндричних поверхонь валу відносно осі обертання валу вибирається з таблиці 5 ГОСТ 24643-81.

3. Шорсткість поверхонь валу:

- для внутрішніх діаметрів шліцьових з'єднань (нешліфованих і вільних, несполучуваних торцевих поверхонь валів і втулок) значень  $Rz$  40;
- для торцевих поверхонь під підшипники кочення, неробочих торців валів і втулок  $Rz$  40;
- для канавок під ущільнювальні гумові кільця і радіуси заокруглення на силових валах  $Ra$  2,5;
- для зовнішніх діаметрів шліцьового з'єднання, отворів, підшипників з допуском зазору-натягу 25-40 мкм значення шорсткості поверхонь не нижче  $Ra$  1,25;
- для посадочні поверхні 7 квалітету, зубчасті колеса  $Ra$  0,63;
- для шийки валів 5 квалітету, вали шпинделів з допуском зазору-натягу 4-7 мкм значення шорсткості поверхонь не нижче  $Ra$  0,32.

Посадки деталей, на валах приймають значення:

- для змінних зубчастих коліс і шківів в верстатах H7/h6;
- для посадки для нерухомо закріплених деталей, зубчасті колеса, муфти, шківви, що з'єднуються з валом шпонкою H8/h8, H9/h8;
- в підшипниках при високій частоті обертання і для блоків зубчастих коліс в верстатах застосовують посадки H7/e7, H7/e8;
- в підшипниках при незначному проміжку (1-5 мкм) і хорошому центруванні застосовують посадки H7/k6;
- в підшипниках при великих середніх зазорах і поліпшеною збірки застосовують посадки H7/js6.

Визначення допуску круглості та допуску профілю поздовжнього перерізу здійснюється за ГОСТ 24642-81. Так для діаметрів в діапазоні 18...30 мм допуски круглості та допуски профілю поздовжнього перерізу призначають в діапазоні 0,8 ... 3,5 мкм, а допуск на мінливість діаметрів в поздовжньому і поперечному перерізі становлять 1,6 ... 7,0 мкм [17, с. 166, табл.97].

Допуски на торцеве биття заплічок валу в залежності від класу точності підшипників становлять від 2,5 до 21 мкм [17, с. 167, табл.99]. Більш детальна

інформація про допуски форми і взаємного положення поверхонь валу знаходиться в довідковій літературі [17]. Коротка інформація про термообробку і покриттях приведена в розділі 2.2 методичних вказівок.

### **3.3 Методика розробки тривимірних моделей та креслень**

У робочих кресленнях на деталі проставляються всі розміри і їх граничні відхилення, види термообробки, шорсткість поверхонь, їх покриття, матеріал деталі й особливі технічні вимоги. Маса деталі в основному напису проставляють у кілограмах без вказівки одиниці виміру.

Робоче креслення заготовки виконується за допомогою САД системи. Рекомендується автоматична генерація креслення з тривимірної моделі. При визначенні розмірів конструктивних елементів валу (шпонкові пази, проточки, центрові отвори, фаски та ін.) слід користуватися довідковою літературою. Так при виборі шпонкових пазів слід скористатися ГОСТ 23360-78 (DIN6885), для вибору геометричних параметрів проточки – ГОСТ 10549-80 (ДСТУ 2691-94), для центрових отворів – ГОСТ 14034-74 (ДСТУ ГОСТ 14034: 2008), для фасок – ГОСТ 10948-64, також можна скористатися даними, що наведено в [1, 2, 16]. Допуски форми та розташування поверхонь вказуються на кресленнях відповідно до ГОСТ 2.308-79.

Слід також пам'ятати, що більшість САД систем мають у своєму складі бібліотеку стандартних елементів та дозволяють переносити їх у тривимірну модель та на креслення.

Наявність тривимірної моделі дозволяє використовувати засоби САМ (computer – aided manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення) і САЕ (computer – aided engineering – комп'ютерна підтримка інженерних розрахунків), створювати креслення та фотореалістичні зображення об'єкту, що проектується. Форма деталі «вал» є досить простою для тривимірного моделювання, її тривимірна модель може бути побудована практично в будь-якій САД системі.



Вал, за винятком шпонкових пазів, є тілом обертання. Класичним способом побудови таких деталей є побудова ескізу половини поздовжнього перетину валу з наступним застосуванням операції обертання. Можлива побудова моделі валу шляхом декількох послідовних застосувань операції витягування. Такий підхід є більш гнучким, тому що редагувати кілька простих операцій простіше, ніж одну складну. При зміні розміру в складному ескізі часто виникають проблеми через неправильно задані взаємозв'язки розмірів, тобто залежні розміри міняються не так, як було задумано. Крім того, знайти просту тривимірну операцію для редагування простіше, тому що в дереві побудови вона перебуває «на поверхні».

Для побудови шпонкових пазів потрібно побудувати дотичну допоміжну площину до циліндричної поверхні валу, побудувати на ній ескіз шпонкового паза і застосувати до нього операцію витягування.

У всіх CAD системах існують окремі операції для фасок та скруглень, а в багатьох – бібліотеки стандартних елементів, таких як отвори та різьблення, які можуть прискорити та спростити побудову валу. Наприклад, у системі КОМПАС – 3D присутній додаток «Вали та механічні передачі 3D», у якому вал може бути побудований з елементарних ділянок із заданням їх параметрів.

Не існує одного єдиного правильного порядку дій для побудови моделі в цілому і для кожної операції зокрема. Завжди будуть існувати декілька варіантів.


Нижче показаний приклад можливої послідовності дій при побудові моделі валу у CAD системі важкого класу Creo Parametric.

### **3.3.1 Попередні налаштування програми**

Перед початком конструювання моделі необхідно створити файл моделі, використовуючи команду Створити. У вікні, що відкрилося, потрібно залишити перемикачі в положенні Деталь і Тверде тіло.

Далі слід визначити головну систему одиниць виміру в Creo Parametric. Використовуючи команду Файл (File) > Підготувати (Prepare) > Властивості моделі (Model Properties), відкрийте діалогове вікно Властивості моделі (Model Properties). Потім слід натиснути кнопку змінити (Change), щоб відкрити діалогове вікно Диспетчер одиниць виміру (Units Manager). Замініть дюйми – фунти – метри за секунду на міліметри – кілограми – метри за секунду.

### 3.3.2 Створення основи деталі

На вкладці Модель (Model) клацніть  Обертати (Revolve) у групі Форми (Shapes). Відкриється вкладка Обертати (Revolve).

У дереві моделі виберіть опорну площину TOP. Відкриється вкладка Ескіз (Sketch).

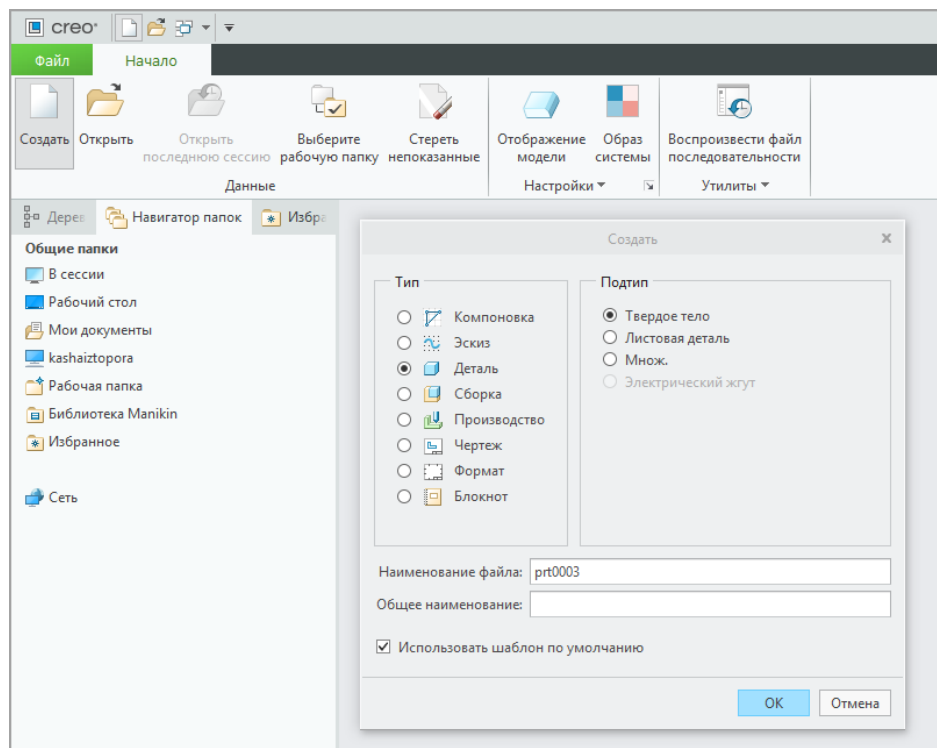


Рисунок 3.6 – Меню створення документа

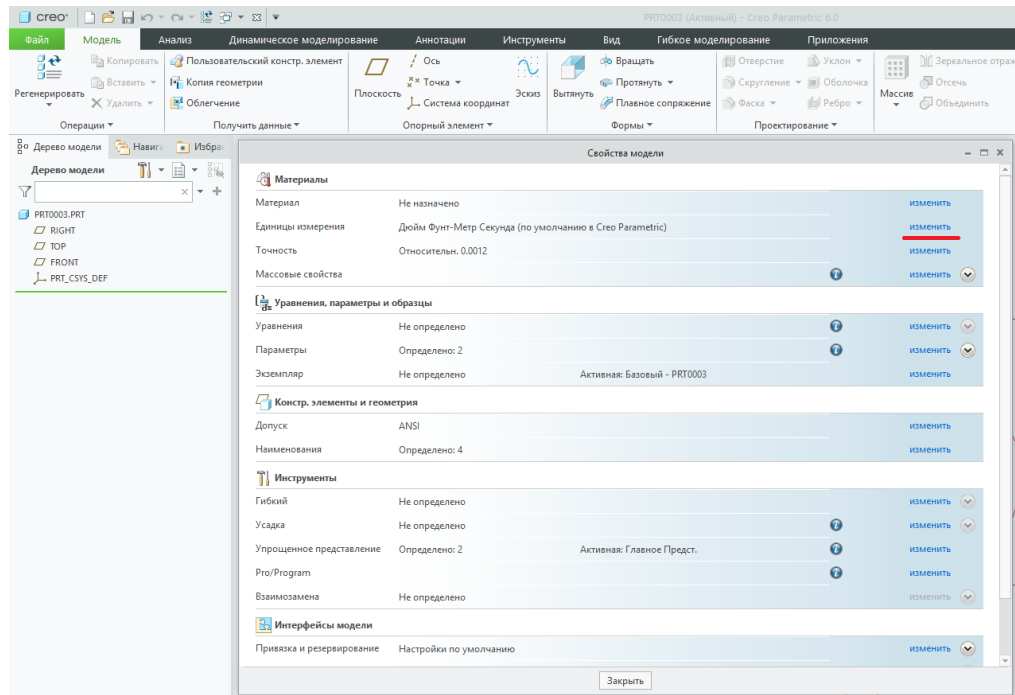



Рисунок 3.7 – Меню параметрів моделі

На панелі графічних інструментів клацніть значок Вид ескізу (Sketch View) . Вид стане паралельним площини ескізу:

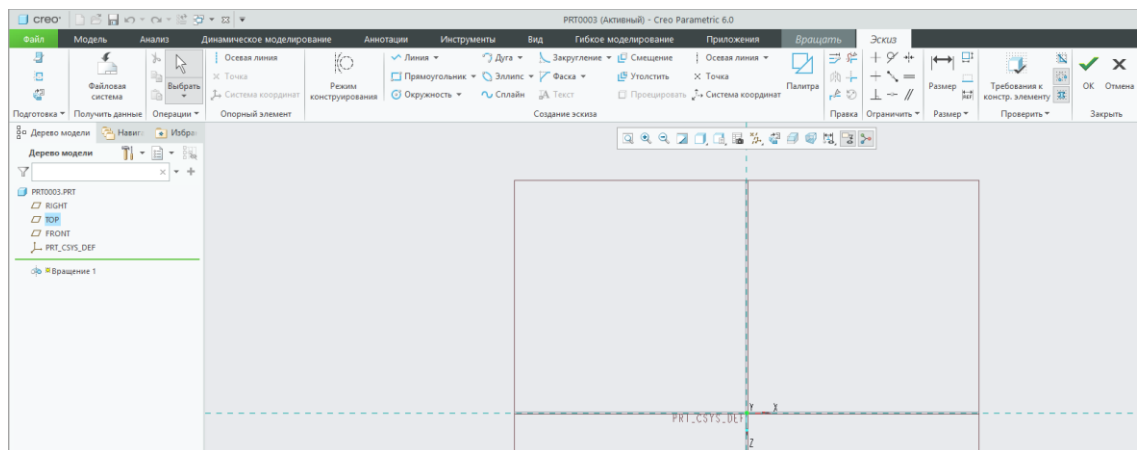




Рисунок 3.8 – Вибір площини для ескізу

Клацніть  **Осьова лінія (Centerline)** у групі **Опорний елемент (Datum)**. Клацніть у будь-якому місці горизонтальної пунктирної лінії, щоб визначити початок осевої лінії.

Перемістите покажчик і клацніть ще раз горизонтальну пунктирну лінію, щоб завершити визначення положення вертикальної осьової лінії.

Клацніть  Лінія (Line) у групі Створення в групі Створення ескізу (Sketching).

Створіть ескіз перетину валу відповідно до заданих розмірів. Ескіз звичайно малюють із приблизними розмірами, які потім коректують у такий спосіб: клацніть  Розмір (Dimension) у групі Розмір (Dimension). У графічному вікні з'являться розміри для ескізу.

Двічі клацніть наявні розміри й скорегуйте їхні значення,

Новий розмір можна встановити так: виділіть один елемент лівою кнопкою миші й клацніть середньою кнопкою миші по місту, де буде відображений розмір.

Розмір між двома елементами, наприклад, крапками або лініями, встановлюють у такий спосіб: виділіть два елементи лівою кнопкою миші при натиснутій клавіші Shift, а потім клацніть середньою кнопкою миші по місту, де буде відображений розмір.

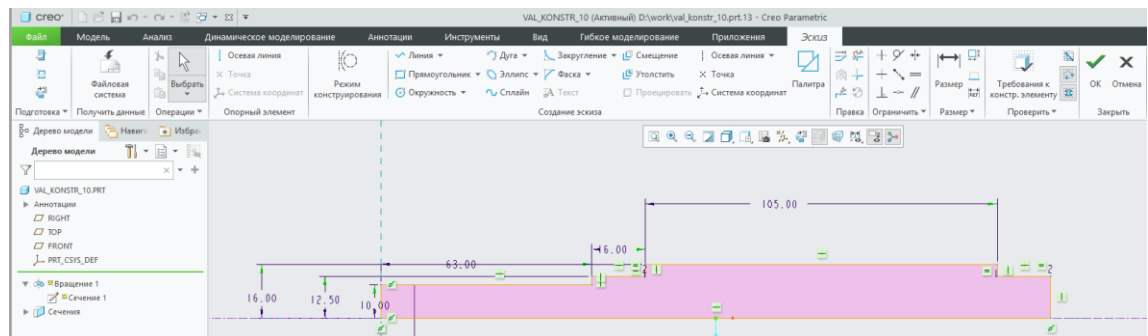


Рисунок 3.9 – Ескіз з розмірами для операції обертання

Клацніть правою кнопкою миші графічне вікно й виберіть Зберегти ескіз і вийти (Save the sketch and exit).

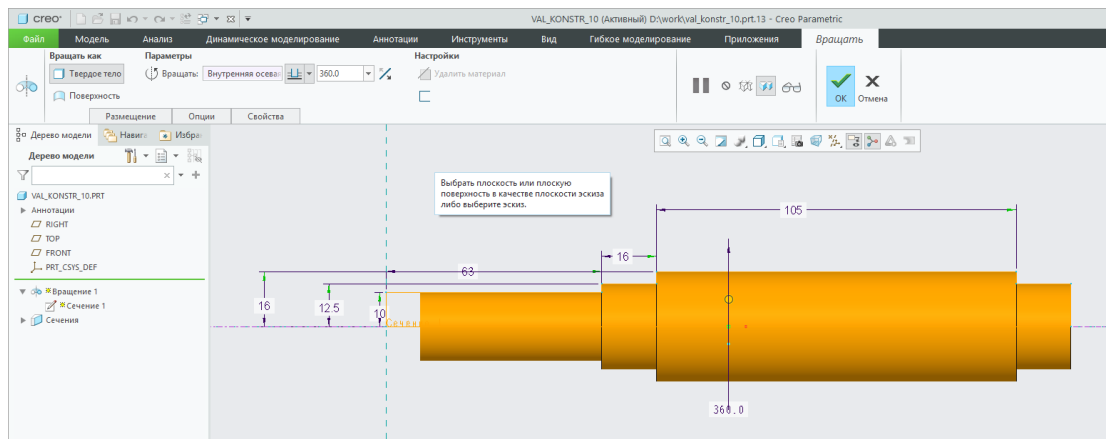




Рисунок 3.10 – Операція обертання

На вкладці Обернути (Revolve) клацніть .

### 3.3.3 Створення шпонкових пазів


Для шпонкового паза потрібно створити опорну площину.



Клацніть Модель (Model) >  Площина (Plane). Відкриється діалогове вікно Опорна площина (Datum Plane).

Клацніть колектор Прив'язки (References) і виберіть у графічному вікні прив'язки розміщення для нової опорної площини.

Нова площина має бути дотичною до циліндричної поверхні валу та паралельною до горизонтальної площини.

Щоб визначити площину ескізу, у дереві моделі виберіть створену опорну площину.

На вкладці Модель (Model) клацніть  Витягнути (Extrude) у групі Форми (Shapes). Відкриються вкладки Витягнути (Extrude) і Ескіз (Sketch).

Для відображення розмірів ескізу на панелі графічних інструментів вкладки Ескіз (Sketch) клацніть  Фільтри показу середовища ескізу (Sketcher Display Filters) і встановіть прапорець  Відображення розмірів (Dimensions Display).

Щоб створити ескіз окружності, виконаєте наступні дії.

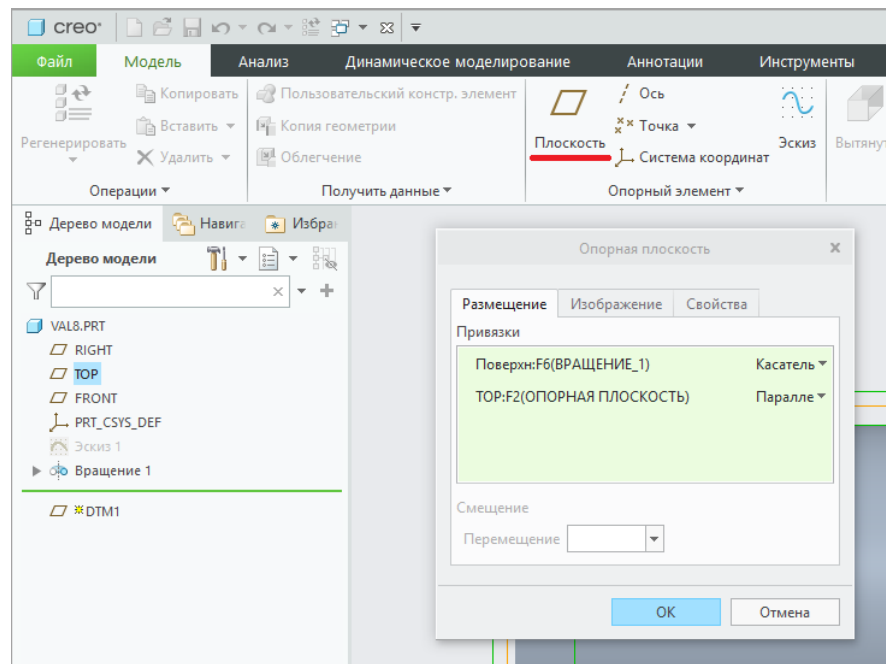




Рисунок 3.11 – Створення опорної площини

На вкладці Ескіз (Sketch) клацніть  Центр і крапка (Center and Point) у групі Створення ескізу (Sketching).

Щоб визначити центр окружності, наведіть покажчик на крапку або перетинання ліній і клацніть.

Щоб визначити діаметр окружності, перетягніть покажчик від центру й клацніть. Не має значення, на яку відстань ви перетягнете покажчик.

Щоб вийти з інструмента створення ескізу  Центр і крапка (Center and Point), двічі клацніть середньою кнопкою миші. З'явиться розмір діаметра.

Щоб відредагувати діаметр окружності, двічі клацніть розмір діаметра, змініть значення на потрібне та натисніть клавішу ENTER.

Для видалення зайвих внутрішніх дуг окружності потрібно скористатися інструментом Вилучити сегмент групи Виправлення панелі Ескіз у такий спосіб: вибрати інструмент, підвести курсор до лінії, що віддаляється, затиснути ліву клавішу миші та перетнути лінію.

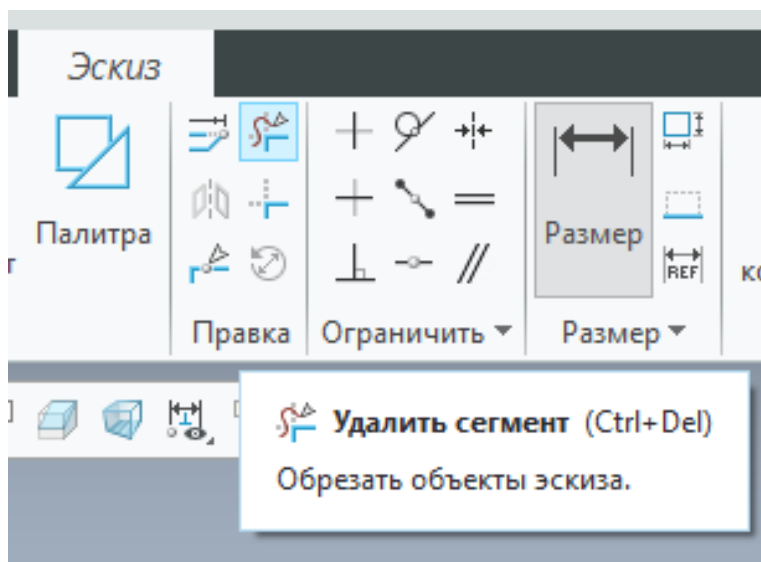


Рисунок 3.12 – Інструмент видалення зайвих ліній.

Щоб завершити ескіз, на вкладці Ескіз (Sketch) натисніть кнопку  ОК.  
Вкладка Ескіз (Sketch) закриється.

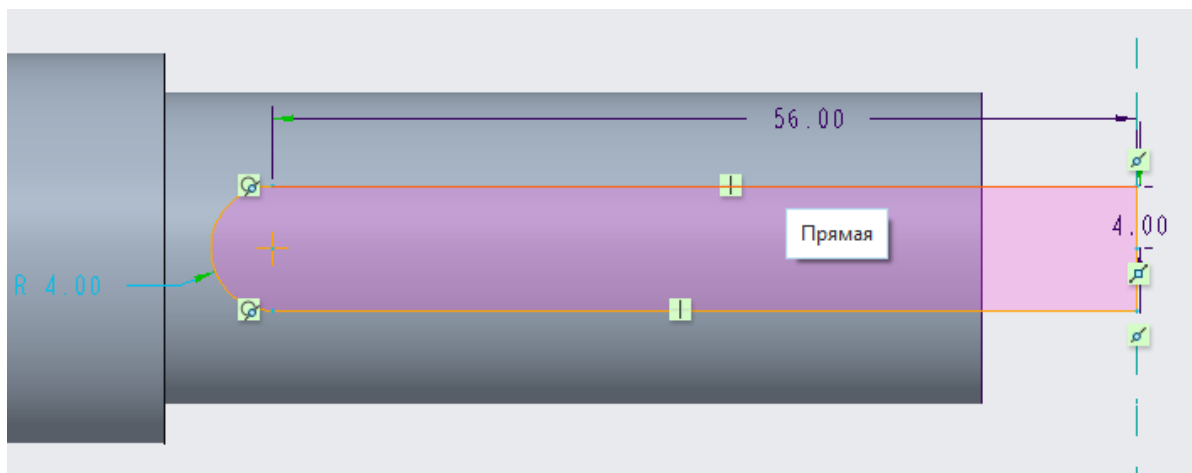


Рисунок 3.13 – Ескіз шпонкового пазу

На вкладці Витягнути (Extrude) змініть значення глибини на потрібну та натисніть клавішу ENTER.

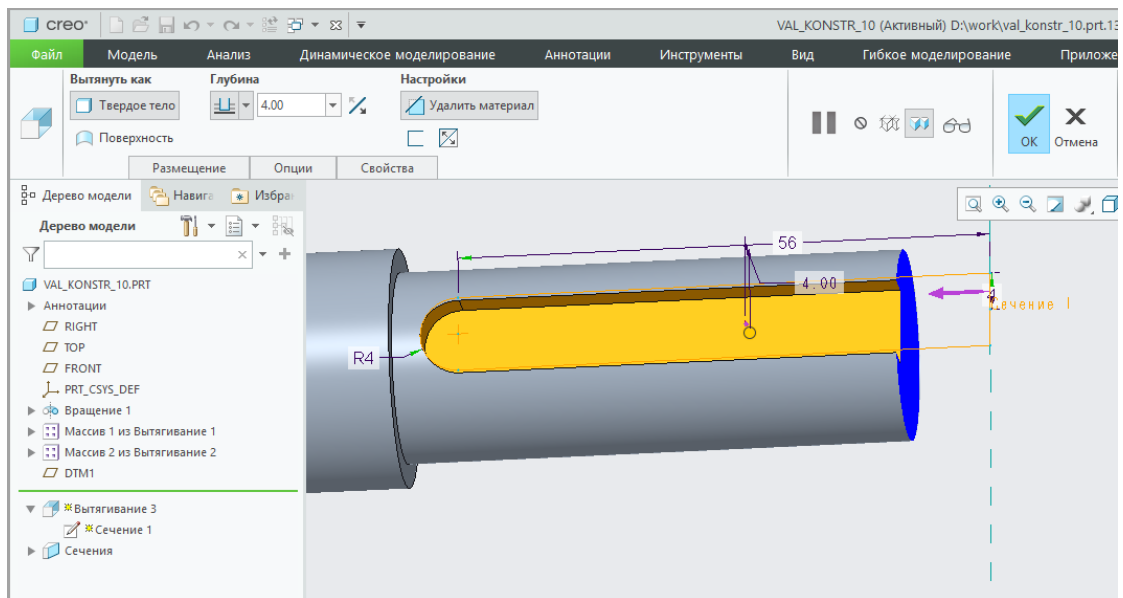



Рисунок 3.14 – Операція створення шпонкового пазу


На вкладці Витягнути (Extrude) клацніть .

### 3.3.4 Створення шліців

Для створення шліців необхідно створити 1 зуб, а потім розмножити його за допомогою операції Масив (Pattern).

Для формування зуба створіть ескіз на перпендикулярній до осі валу площини й застосуйте до нього операцію витягування.

Далі зуб слід розмножити.

Виберіть створену операцію витягування зуба у дереві моделі та клацніть Модель (Model) >  Масив (Pattern). Відкриється вкладка Масив (Pattern).

Виберіть ось (Axis) зі списку типів масивів. Відкриється вікно опцій осевого масиву.

Виберіть або створіть базову вісь, яка повинна бути центром масиву. Відобразиться попередній перегляд масиву за замовчуванням з кутовим напрямком, члени якого позначені чорними крапками.



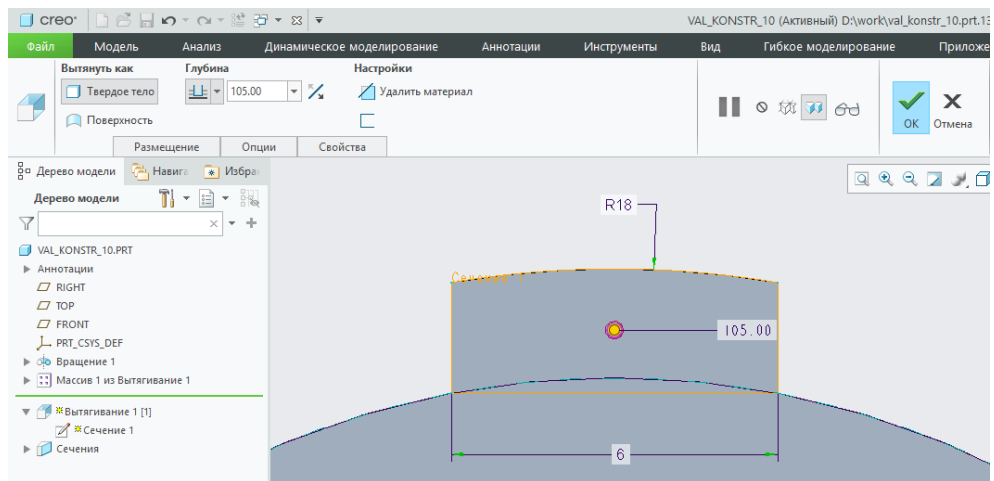


Рисунок 3.15 – Операція створення основи зуба шліців

Щоб задати кількість елементів масиву в кутовому напрямку, введіть число в текстовому полі на вкладці Масив (Pattern).

Для установки відстані між членами масиву введіть у поле кут між елементами масиву.

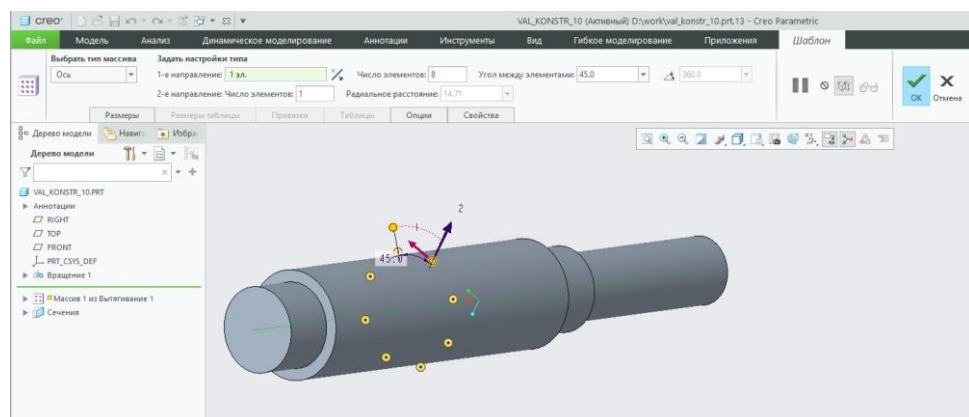




Рисунок 3.16 – Створення масиву

Щоб додати члени масиву в кутовому напрямку, введіть кількість членів у поле 2.

Для зміни напрямку масиву на протилежний клацніть  для кожного напрямку або введіть від'ємне значення збільшення.

Клацніть . Масив буде створений. Для спрощення ескізів створення фасок і вирізів на шліцах винесені в окрему операцію. Отримані елементи також слід розмножити за допомогою кругового масиву.

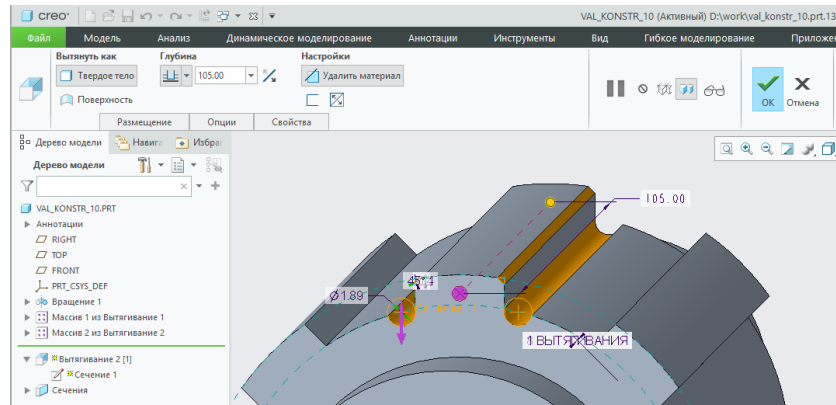



Рисунок 3.17 – Створення фасок та вирізів

### 3.3.5 Створення отворів

Для створення отвору потрібно вибрати бічну грань та клацнути Модель (Model) >  Отвір (Hole). Відкриється вкладка Отвір (Hole) і геометрія отвору буде показана для попереднього перегляду.

Для точного позиціонування отвору потрібно задати прив'язки. Використані відстані до двох базових площин.

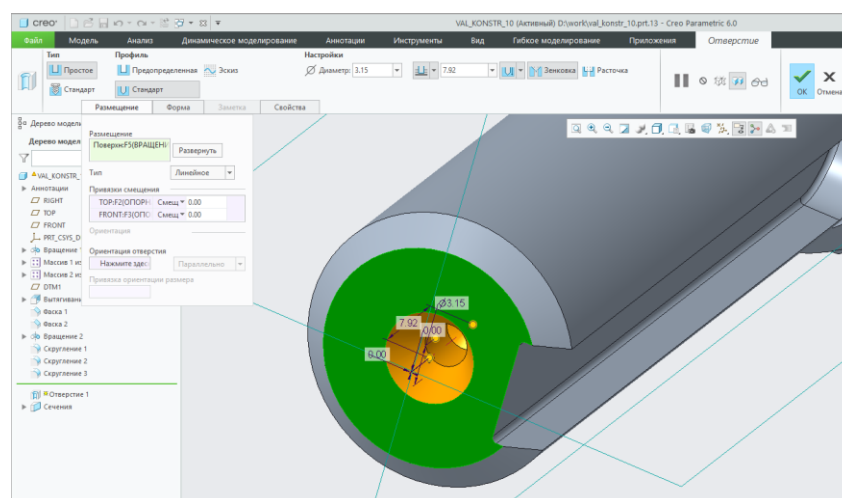



Рисунок 3.18 – Визначення розташування отвору

Клацніть , щоб створити стандартний отвір. Відобразяться опції стандартного отвору.

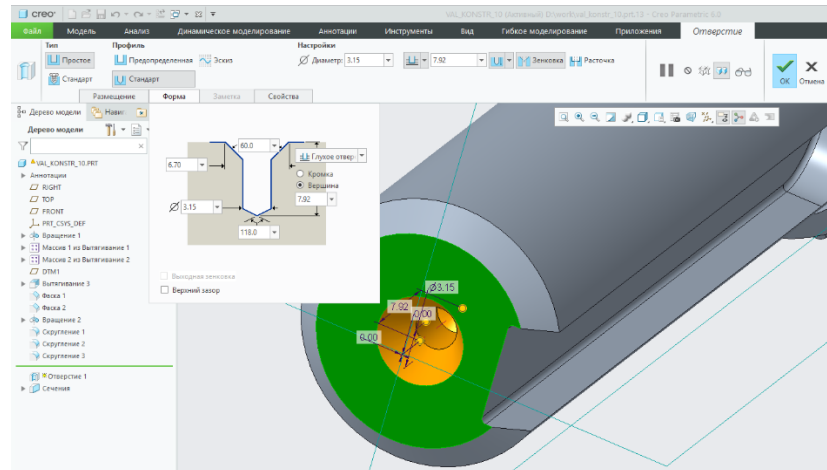






Рисунок 3.19 – Опції створення отвору


Щоб створити різьбовий отвір, виберіть .


Щоб створити конічний отвір, виберіть .

Різьбовий та конічний отвори доступні тільки за умови вибору .

Для створення отвору із зазором клацніть , щоб скасувати вибір опції, а потім клацніть .






Для створення просвердленого отвору клацніть , щоб скасувати вибір опції, а потім клацніть .

Виберіть потрібну таблицю отворів у поле поруч із  «Тип різьблення» (Thread Type) на вкладці Отвір (Hole). Поле «Тип різьблення» (Thread Type) дозволяє вибирати таблиці отворів, відповідні до виробничих стандартів (ISO, ISO\_7/1, NPT, NPTF, UNC або UNF).

У полі напроти  введіть або виберіть розмір гвинта. При введенні розміру гвинта, відсутнього в списку, система вибирає найближчий розмір

гвинта. Щоб вибрати розмір різьблення, можна також перетягнути маркер діаметра отвору.


Для завдання глибини отвору виберіть опцію глибини в списку «Опції глибини» (Depth Options) або перетягнете маркер глибини в графічному вікні. Для завдання нової глибини шляхом переміщення маркера, уведення або вибору нового значення необхідно вибрати опцію глибини «На задану глибину» (Blind). Доступні наступні опції глибини:

-  На задану глибину (Blind) – свердління отвору від прив'язки розміщення до зазначеної глибини. Ця опція використовується за замовчуванням.
-  До наступної (To Next) – свердління отвору до наступної поверхні твердого тіла. Ця опція недоступна в складанні.
-  Наскрізь (Through All) – свердління отвору з перетинанням усіх поверхонь.
-  Свердління отвору до перетинання з обраною поверхнею. Колектори "Прив'язка глибини" (Depth Reference) можна активізувати на вкладках Отвір (Hole) і Форма (Shape). Ця опція глибини не є доступною в складанні.
-  До обраної (To Selected) – свердління отвору до обраної складеної поверхні. Колектори «Прив'язка глибини» (Depth Reference) можна активізувати на вкладках Отвір (Hole) і Форма (Shape).

Щоб додати до отвору зенківку, клацніть  на вкладці Отвір (Hole).

Щоб визначити діаметр і кут зенківки, клацніть вкладку Форма (Shape) і введіть або виберіть новий діаметр або кут зенківки у відповідних полях. При одночасному додаванні до стандартного отвору зенківки й цековки діаметр зенківки обчислюється по наступній формулі:

$$CSINKDIAM = (CBOREDIAM + TAP\_DR) / 2.$$

Щоб додати до отвору цековку, клацніть  на вкладці Отвір (Hole).

Щоб визначити діаметр і глибину цековки, клацніть вкладку Форма (Shape), потім введіть або виберіть новий діаметр або глибину цековки у відповідних полях.

Щоб забезпечити перетинання верхньої частини отвору поза твердотільної геометрії, перейдіть на вкладку Форма (Shape) і переконаєтеся, що встановлений прапорець Верхній зазор (Top Clearance).

Клацніть .

Другий отвір моделюється аналогічно.

### 3.3.6 Створення канавок, скруглень та фасок

Створення канавок винесене в окрему операцію обертання, тому що їхнє включення в основну операцію обертання сильно ускладнило б побудову розмірних ланцюгів в ескізі. Ескіз будується на тій же горизонтальній площині, у якості прив'язок ліній ескізу використовуються вже побудовані грані.

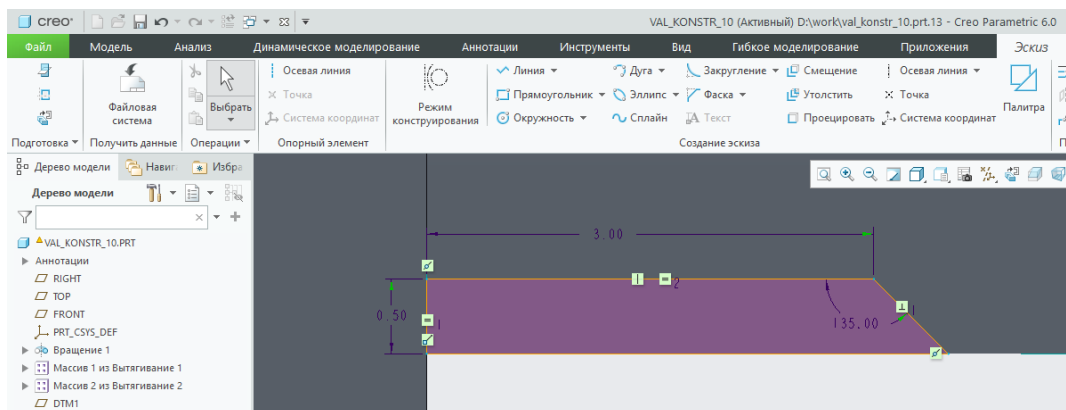


Рисунок 3.20 – Ескізи канавки

При виконанні операції обертання активується опція Вилучити матеріал.

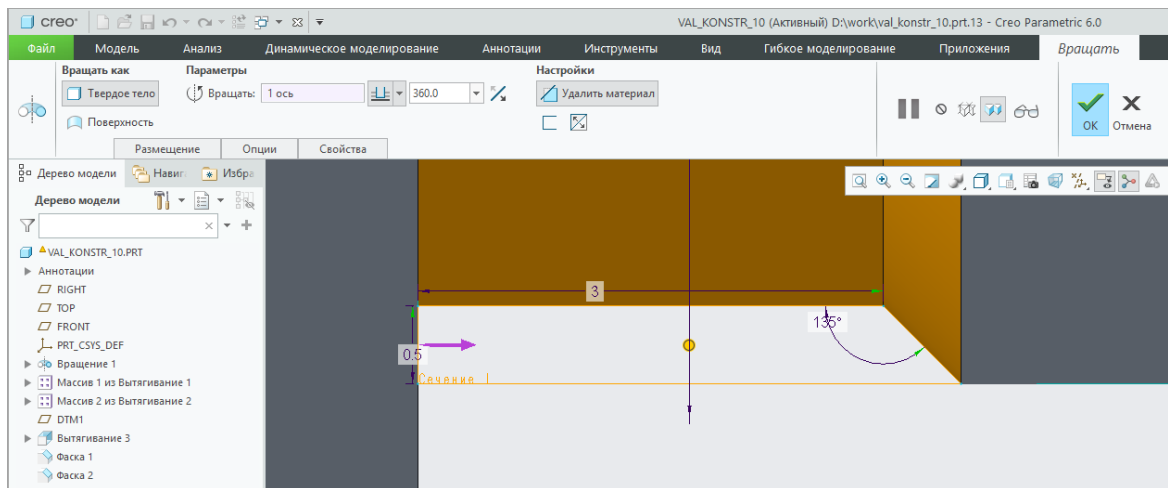


Рисунок 3.21 – Створення канавки

Скругління канавок також виділені в окрему тривимірну операцію.

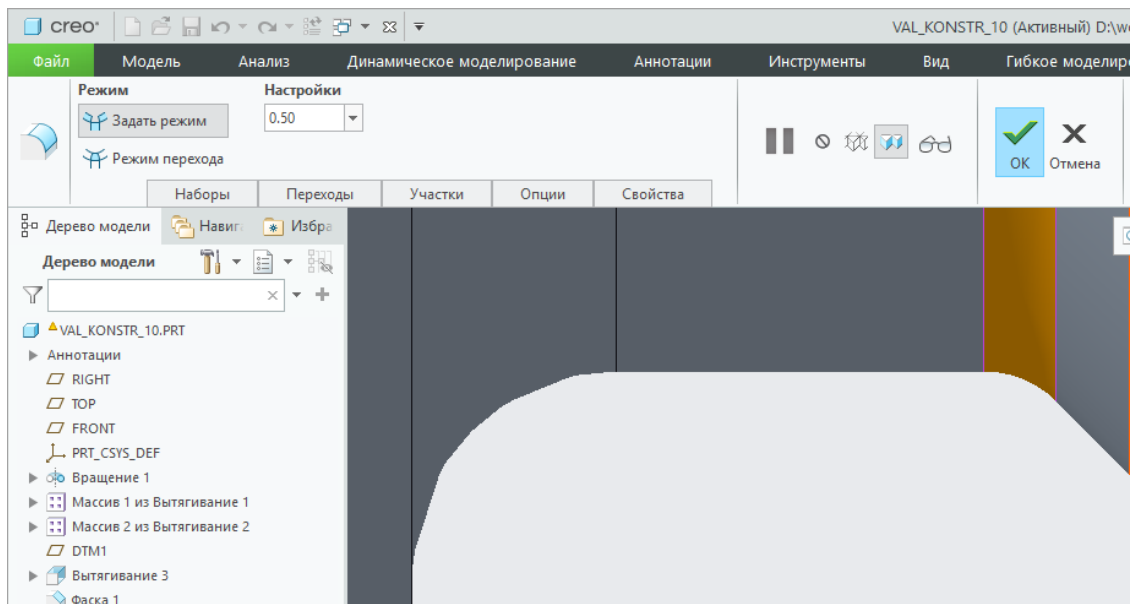


Рисунок 3.22 – Створення скруглень

Для виконання скругління достатньо задати кромку та радіус, але в загальному випадку ця операція надає дуже багато опцій і дозволяє виконувати скругління змінного радіуса, задавати цей радіус функцією, формувати набори й таке інше.

Фаски також виконуються за допомогою спеціальної тривимірної операції. Варіантів завдання розмірів фасок досить багато.

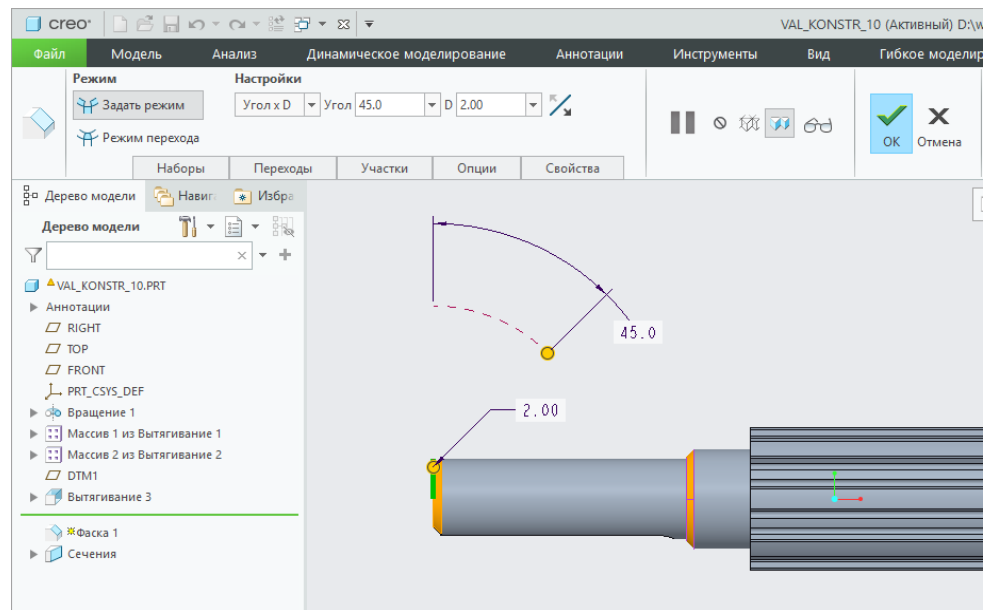


Рисунок 3.23 – Створення фасок

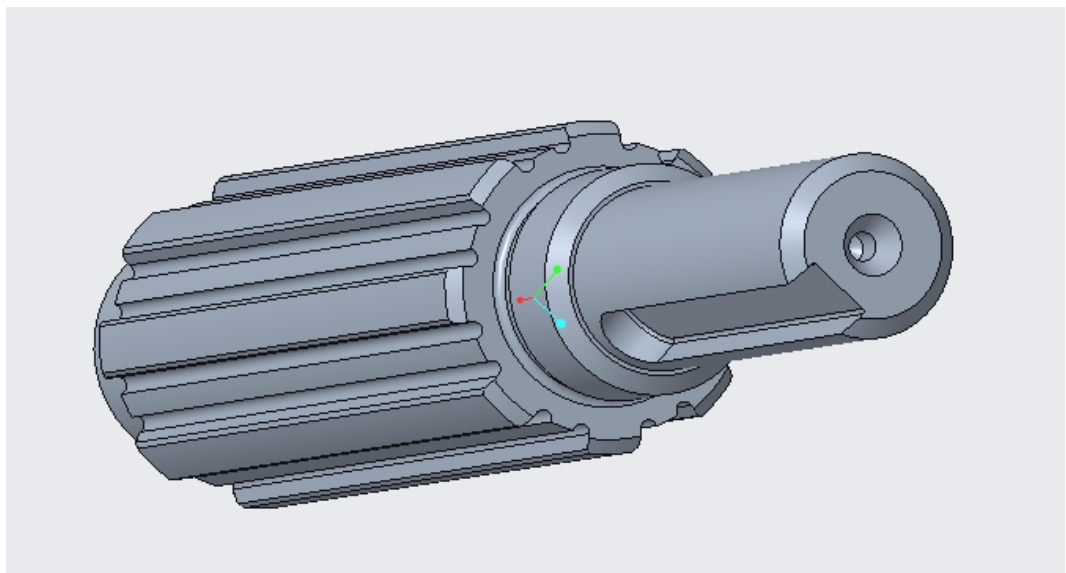


Рисунок 3.24 – Тривимірна модель валу

### 3.3.7 Генерація креслення з тривимірної моделі

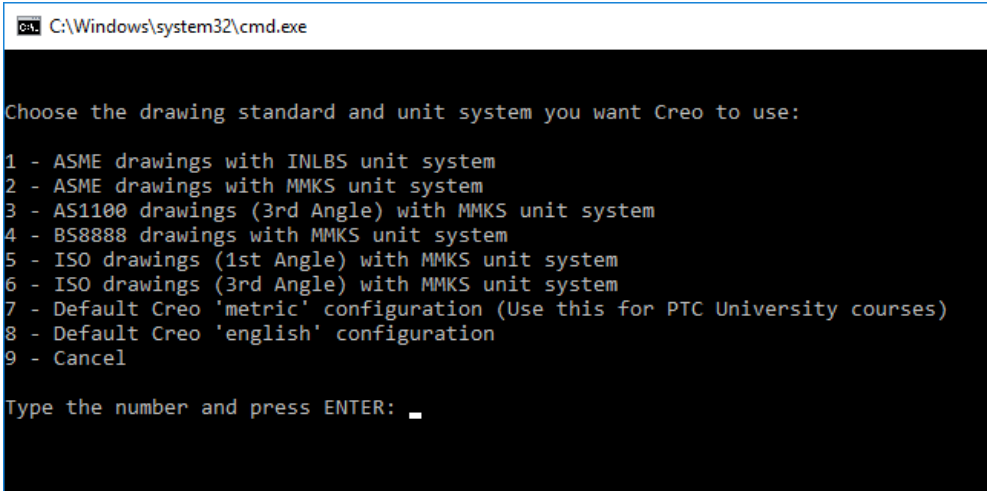
Усі сучасні CAD системи дозволяють одержати креслення деталі або збірки по тривимірній моделі. Розміри на кресленні будуть відповідати розмірам моделі. Можлива побудова креслення по імпортованій моделі, експорт креслення та створення декількох однотипних креслень на основі таблиці параметрів.

Можливості системи Creo Parametrics, яка використана в прикладі, надзвичайно великі, і для побудови креслення використовується лише незначна їх частина, але побудова креслення напряму, без моделі, у загальному випадку не передбачається, вбудований двовимірний редактор має досить обмежений набір можливостей і призначений для внесення невеликих змін у креслення.

### 3.3.8 Налаштування стандарту

Creo Parametrics дозволяє згенерувати креслення відповідно до різних необхідних стандартів, залежно від внутрішніх правил країни, підприємства чи установи. Скрипти для пакетного застосування налаштувань перебувають у папці PTC\Creo 6.0.1.0\Common\_Files\creo\_standards.

Рекомендується запустити скрипт `configure.bat` та обрати варіант 5.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe

Choose the drawing standard and unit system you want Creo to use:

1 - ASME drawings with INLBS unit system
2 - ASME drawings with MMKS unit system
3 - AS1100 drawings (3rd Angle) with MMKS unit system
4 - BS8888 drawings with MMKS unit system
5 - ISO drawings (1st Angle) with MMKS unit system
6 - ISO drawings (3rd Angle) with MMKS unit system
7 - Default Creo 'metric' configuration (Use this for PTC University courses)
8 - Default Creo 'english' configuration
9 - Cancel

Type the number and press ENTER: _
```

Рисунок 3.25 – Установка налаштувань стандартів креслень

У випадку невдачі операції необхідно встановити дозволи на запис файлів у папку, в яку встановлена система Creo в системі Windows.

Файли з додатковими шрифтами, наприклад `gost_b.ttf`, при необхідності слід скопіювати в папку PTC\Creo 6.0.1.0\Common Files\text\fonts.



Доступ до налаштувань креслення в Creo Parametrics здійснюється за шляхом Файл (File) > Підготувати (Prepare) > Властивості креслення (Drawing settings).

### 3.3.9 Створення креслення

При створенні нового креслення вказується відповідна йому тривимірна модель, файл, у якому буде зберігатись креслення, і, не обов'язково, шаблон і формат листа, на якому буде розміщено види креслення.

Клацніть Файл (File) > Новий (New). Відкриється діалогове вікно Новий (New).

Клацніть Креслення (Drawing) та введіть найменування в поле Найменування файлу (File name) або використовуйте найменування за замовчуванням. Натисніть кнопку ОК. Відкриється діалогове вікно Нове креслення (New Drawing).

У діалоговому вікні Модель за замовчуванням (Default Model) введіть ім'я моделі в поточній робочій папці. Якщо процедура створення файлу почата з відкритого файлу моделі, за замовчуванням підставляється ім'я цього файлу. Обрана модель задається як поточна модель креслення.

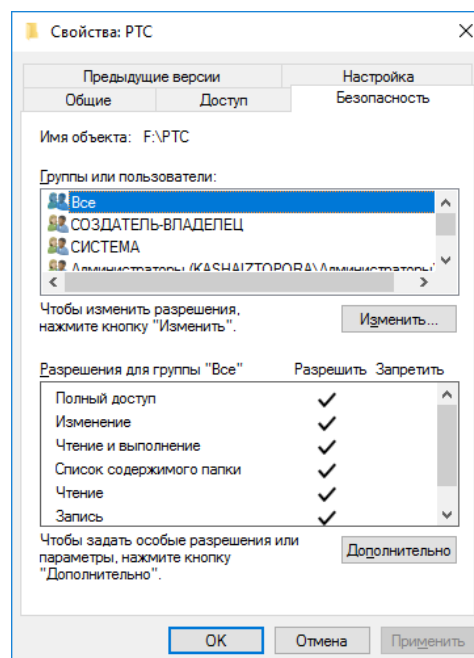


Рисунок 3.26 – Дозволи на зміну файлів в Windows

У розділі Задати шаблон (Specify Template).

Для створення креслення без шаблону, але з існуючим форматом, клацніть Порожній з форматом (Empty with format). У поле Формат (Format) укажіть формат, який слід використовувати.

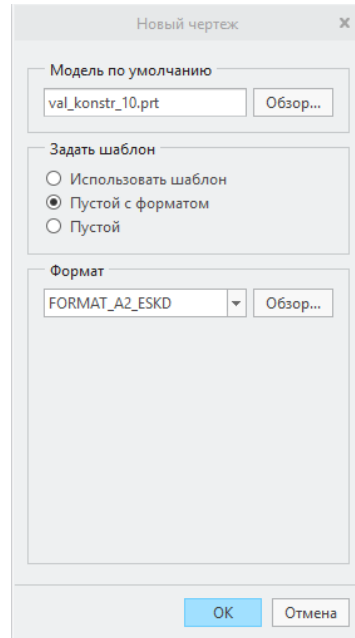


Рисунок 3.27 – Створення файлу креслення  
Натисніть кнопку ОК. Відкривається нове креслення.

### 3.3.10 Створення головного виду

У графічному вікні клацніть правою кнопкою миші й виберіть Загальний вид (General View). Відкриється діалогове вікно Вибрати комбінований стан (Select Combined State).

Переконайтеся, що обрана опція Немає комбінованого стану (No Combined State), і натисніть кнопку ОК.

Клацніть у графічному вікні, щоб визначити розташування центру нового виду креслення. Відкриється діалогове вікно Вид креслення (Drawing View).

У розділі Орієнтація виду (View Orientation) виберіть ЗВЕРХУ (TOP) у списку Найменування видів моделі (Model view names) і натисніть кнопку ОК.

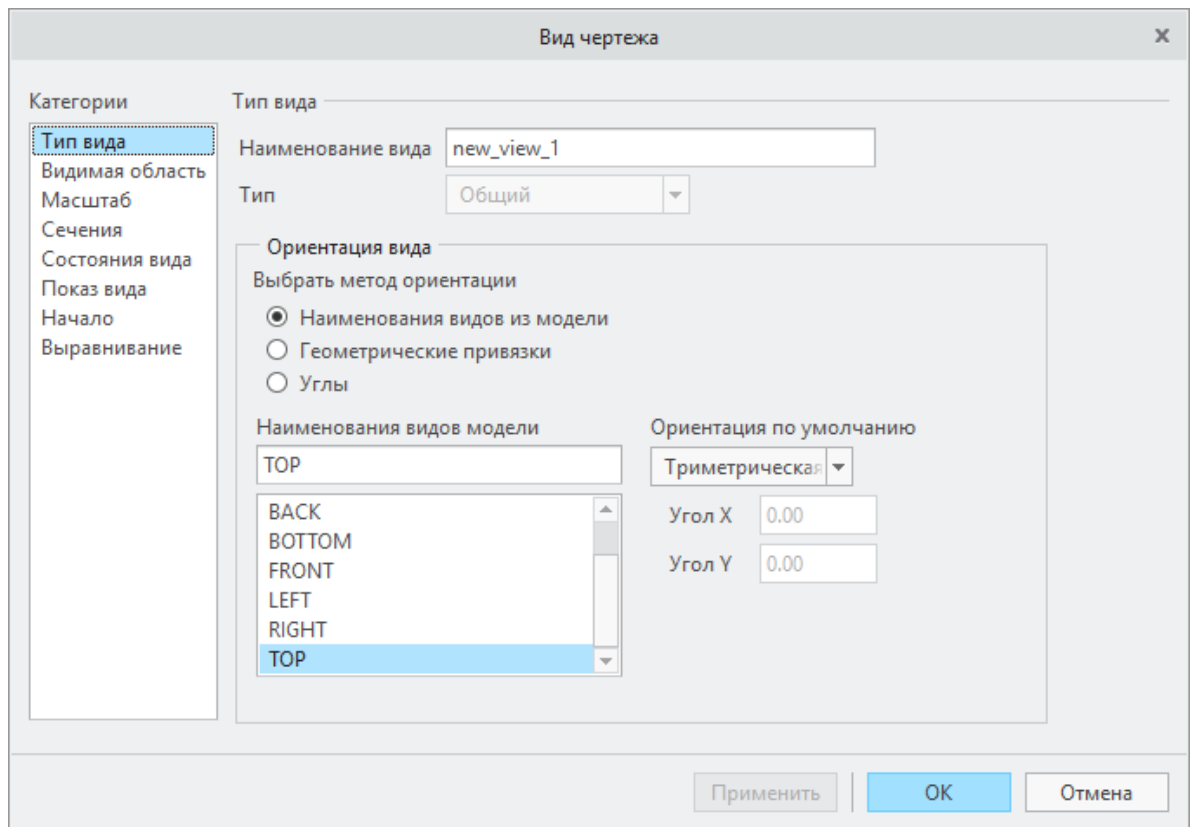



Рисунок 3.28 – Налаштування головного виду креслення

У розділі Масштаб (Scale) задайте необхідний масштаб (1:2).

У розділі Показ виду (View settings) встановіть стиль показу Сховані (Hidden).

Якщо буде потреба розвороту виду на кресленні виберіть метод орієнтації Кути (Angles) та установіть значення 180 градусів щодо прив'язки обертання Вертикально, Горизонтально або Нормаль.

Якщо опорні елементи відображаються, на панелі графічних елементів клацніть значок фільтрів показу опорних елементів  та зніміть прапорець (Вибрати все) ((Select All)), щоб відключити відображення всіх опорних елементів.

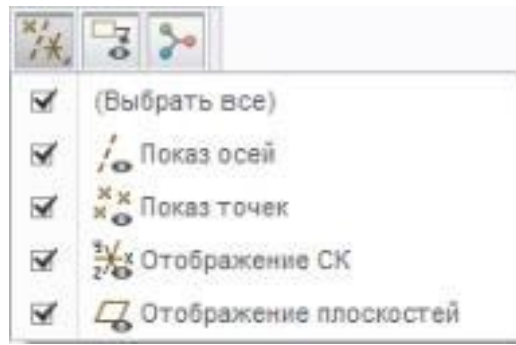



Рис.2.29. Панель керування показом опорних елементів

### 3.3.11 Створення виносного виду

На вкладці Компонування (Layout) клацніть  Виносний вид (Detailed View) у групі Види моделі (Model Views).

На основному виді виберіть край канавки, як показано на наступному малюнку.

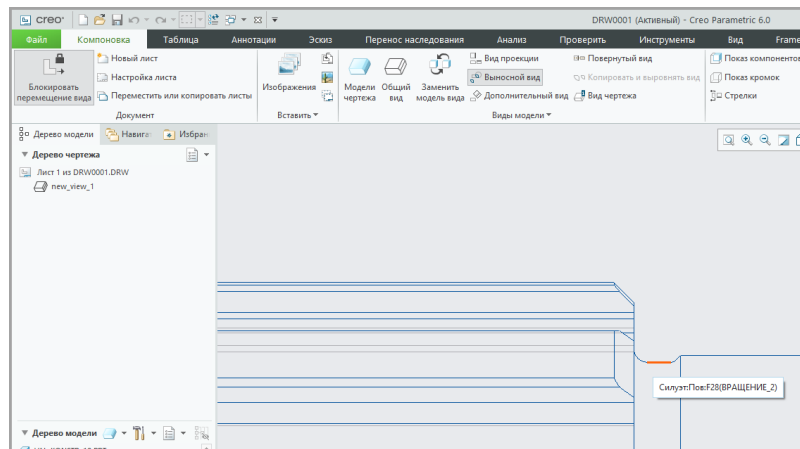


Рисунок 3.30 – Вибір елемента для створення виносного виду

Клацніть лівою кнопкою миші в графічному вікні й створіть за допомогою декількох клацань лівою кнопкою миші ескіз замкненого сплайну навколо обраної канавки, як показано на наступному малюнку.

Клацніть середньою кнопкою миші, щоб вийти з інструмента сплайну.

Клацніть у графічному вікні, щоб визначити розташування центру для виносного виду креслення.

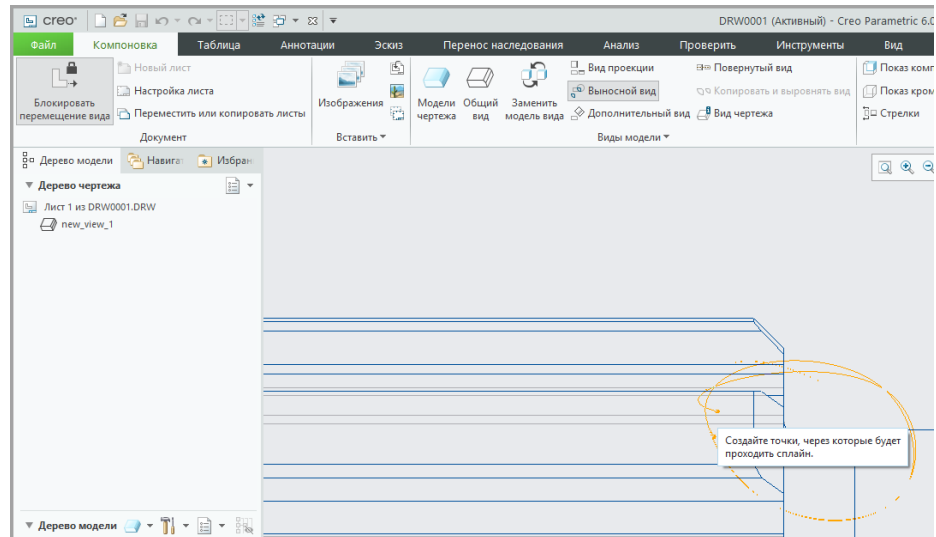


Рисунок 3.31 – Створення сплайну для виносного виду

Під новим виносним видом двічі клацніть значення масштабу й змініте 2 на 10.


Щоб перемістити види, виберіть будь-який вид, клацніть правою кнопкою миші та зніміть прапорець Блокувати переміщення виду (Lock View Movement).

Клацніть ОК.

### 3.3.12 Створення розрізів

Можливо створити розріз із креслення, але набагато зручніше буде перейти в модель, створити там необхідні розрізи, а потім відобразити їх у кресленні.

Відкрийте деталь.

На вкладці Вид (View) клацніть елемент  Розріз (Section) і виберіть Плоский (Planar). Відкриється вкладка Розріз (Section).

Виберіть плоску поверхню, опорну площину або прив'язку осей системи координат для перетинання моделі. Поперечний розріз буде створений автоматично. У центрі площини, що відтинає, з'явиться покажчик для

перетягування. Показчик для перетягування є перпендикулярним до площини, що відтинає, і вказує напрямок відсікання.


У колекторі Прив'язка розрізу (Section reference) на вкладці Прив'язки (References) відображається ім'я прив'язки, використаної для створення поперечного розрізу. Або можна спочатку вибрати плоску поверхню, опорну площину або вісь системи координат, а потім запустити інструмент розрізу.


Виберіть тип обмеження в списку, що розкривається:

Зсув (Offset) - створення розрізу на зазначеній відстані від обраної прив'язки. Клацніть і введіть значення для відстані зсуву.

Через (Through) - створення розрізу уздовж обраної прив'язки.

Щоб змінити напрямок відсікання, клацніть значок .

Змініте розташування поперечного розрізу за допомогою показчика для перетаскування або клацніть значок , щоб дозволити вільну установку площини, що відтинає. Якщо дозволене вільне позиціонування, площина відсікання можна пересувати й повертати, використовуючи показчик для перетаскування.

Клацніть значок  або натисніть середню кнопку миші. Поперечний розріз буде додано у дерево моделі.

Змініте назву розрізу на А або Б.

При необхідності клацніть на піктограмі штриховки в дереві побудови й змініте крок і вид штриховки.

Збережіть модель і поверніться в креслення.

Вставте в креслення основний вид. Орієнтацію вкажіть Left, масштаб 2:1.

Додайте у властивостях виду розріз А.

Додайте у властивостях розрізу показ стрілок, клацніть на головний вид, на якому будуть показані стрілки.

Перемкніть видимість крайок моделі на Область.

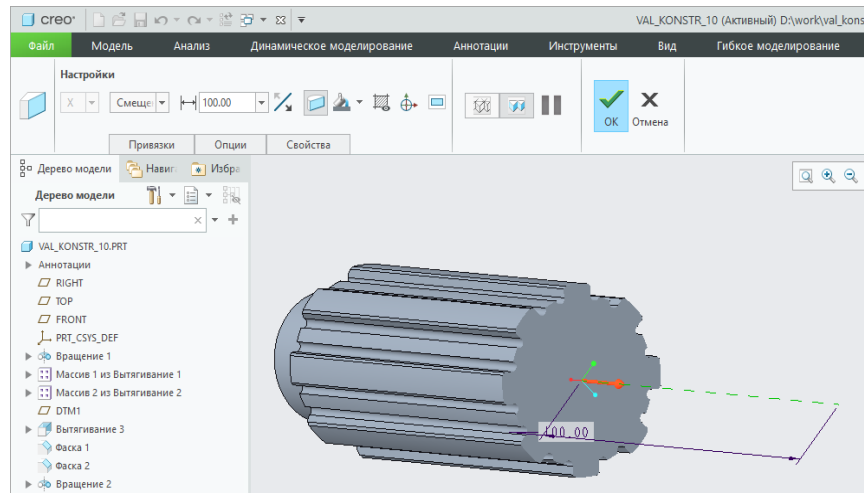


Рисунок 3.32 – Створення розрізу

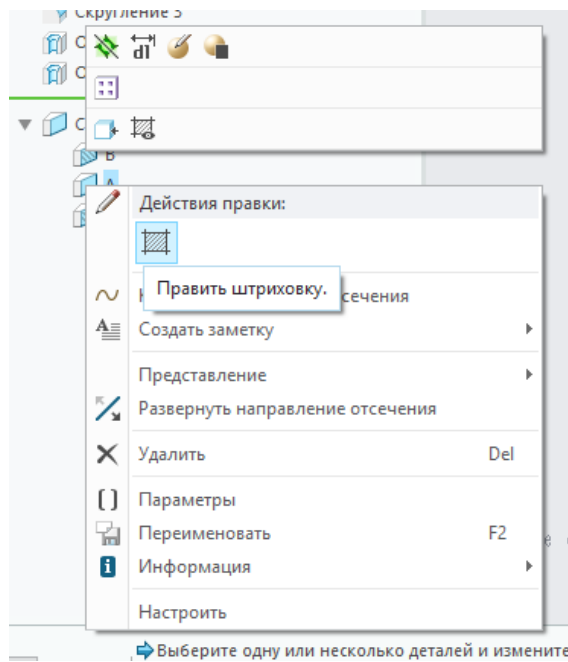


Рисунок 3.33 – Доступ до налаштувань штриховки

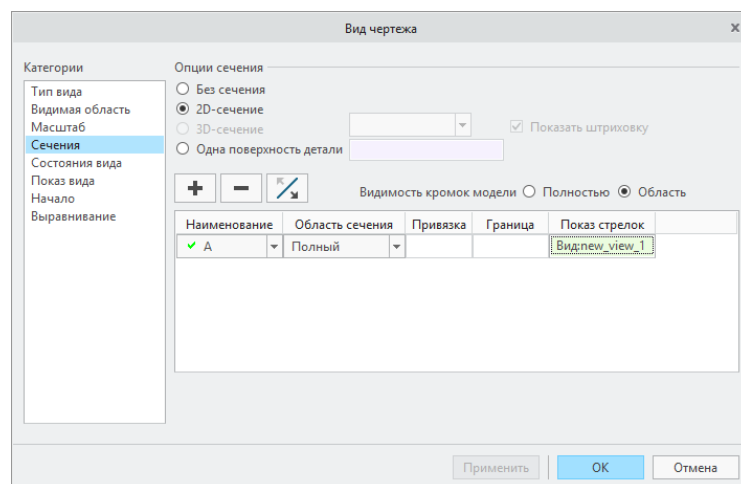


Рисунок 3.34 – Налаштування виду з розрізом на кресленні

Клацніть ОК.

### 3.3.13 Встановлення анотацій

Розміри можуть бути проставлені автоматично.

Перейдіть на вкладку Анотації (Annotate).

Оберіть Показати анотації моделі.

Оберіть вид – клацніть по ньому.

Відобразяться всі розміри на виді. Їх дуже багато, для полегшення знаходження й вибору потрібного розміру виберіть операцію в дереві побудови, відобразяться тільки розміри, що ставляться до цієї операції.

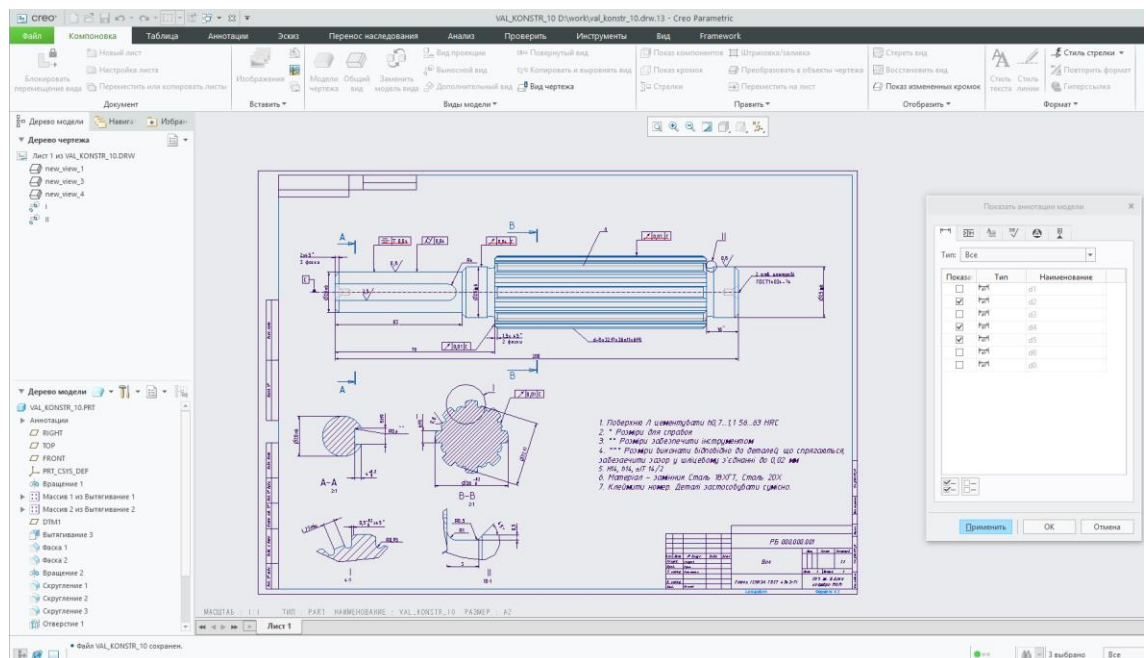



Рисунок 3.35 – Перенесення розмірів з моделі у креслення

Виберіть потрібні для відображення розміри та натисніть ОК.

Можливе проставляння розмірів у ручному режимі.

Клацніть  Розмір (Dimension) у групі Анотації (Annotate).

На детальному виді натисніть клавішу CTRL і виберіть дві крайки.

Клацніть середньою кнопкою миші, щоб розмістити розмір.

За допомогою панелі Вибрати Прив'язку перемикайте відображення розміру від центру дуги окружності або від самої дуги.



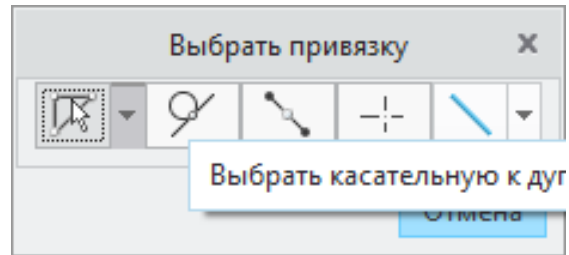


Рисунок 3.36 – Перемикання прив'язок розміру

За допомогою інструментів панелі Розмір (Dimension) Допуск (Tolerance) встановіть допуски на розміри.

За допомогою інструментів панелі Розмір (Dimension) Текст (Text) розміру встановіть символи перед розміром (наприклад, знак діаметра) і після розміру (наприклад, квалітети).

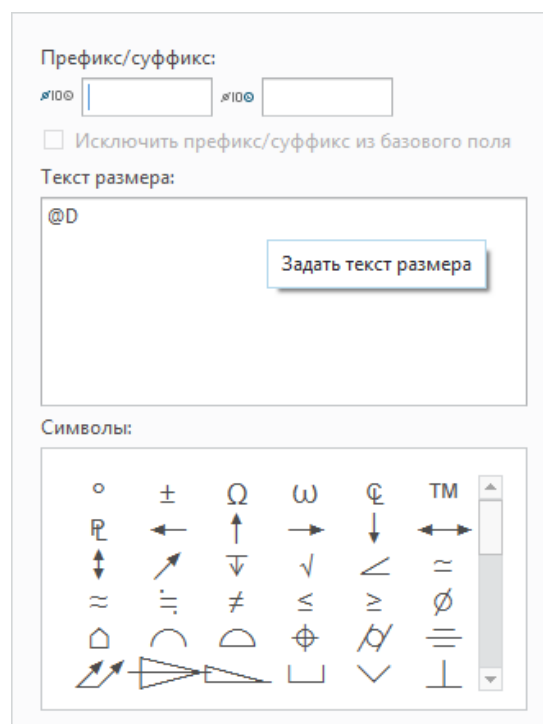


Рисунок 3.37 – Панель керування текстом розміру

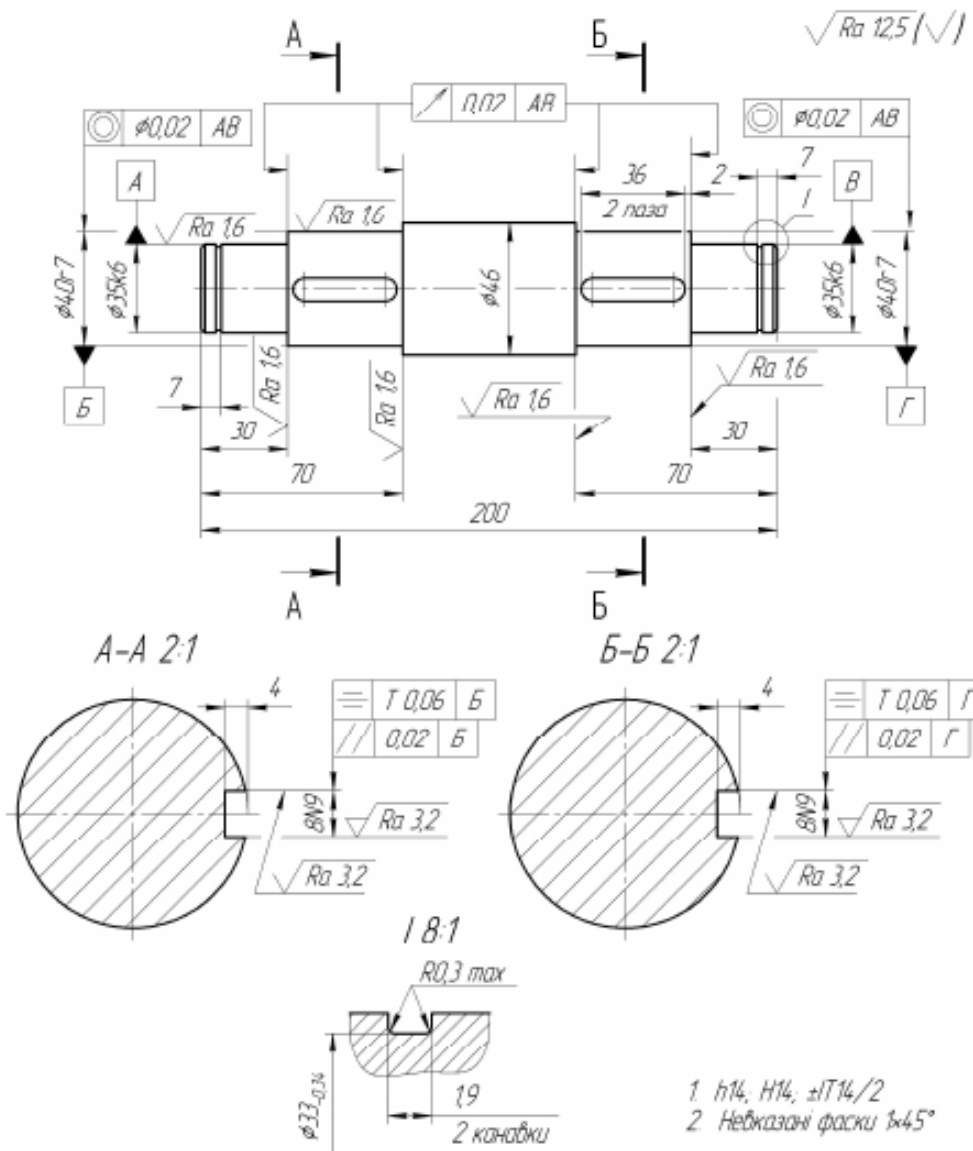
Якщо в розмір потрібно додати текст у вигляді верхнього індексу, наприклад, зірочку для виноски, помістіть його між комбінаціями символів @+ та @#, для нижнього індексу – між @- та @#.

Для корекції значення розміру скористайтесь пунктом меню Значення (Value). На дійсний у моделі та на кресленні розмір це не вплине.

За допомогою інструментів з панелі Анотації (Annotate) додайте в креслення позначення допусків та шорткостей і текстові замітки.

Для внесення незначних елементів у креслення, наприклад, осьових ліній, скористайтесь інструментами панелі Ескіз (Sketch).

На рис. 2.38 представлено робоче креслення валу, яке виконано в середовищі CAD Creo.



Ине. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Ине. № дубл.	Подп. и дата
	Ине. № инв.
Ине. № подл.	Подп. и дата
	Ине. № инв.

<b>РБ 000.000.001</b>					
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Ліпко В.О.				
Пров.	Шабрацький				
Т. контр.					
Н. контр.					
Утв.	Соколов В.І.				
<b>Проміжний вал</b>			Лист	Лист	Листов
				75	108
<b>СНУ ім. В. Даля, кафедра</b>					

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

У технологічній частині пояснювальної записки випускної кваліфікаційної роботи бакалавра відображається розроблений технологічний процес виготовлення деталі відповідно теми бакалаврської роботи. Рекомендуються наступна послідовність розв'язання задач:

- призначення машини, вузла, деталі, визначення класу деталі;
- відпрацювання конструкції валу на технологічність;
- хімічний склад та фізичні характеристики матеріалу деталі;
- розрахунок маси деталі;
- визначення типу виробництва;
- розрахунок необхідного числа обробок поверхонь;
- особливості вибору та обґрунтування методів обробки.

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 і до зменшення точності і збільшення 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.

Досягнення заданої точності та якості поверхні деталі є основною задачею технологічного процесу механічної обробки деталі.

### Завдання

Розробити технологічний процес механічної обробки деталі «Вал шліцьовий»:

- 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.

### Вхідні дані для проектування:

- робоче креслення деталі (рис. 2).
- матеріал деталі – сталь 40Х ДСТУ 7806:2015 (ГОСТ 4543-71).
- програма випуску деталей  $N = 5000 \text{ шт./рік}$ .

### **Опис службового призначення деталі, аналіз креслення і технічних умов на її виготовлення**

Службове призначення деталі Вал шліцьовий – передача крутного моменту, базування і координація положення зубчастих коліс.

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

Деталь, що розглядається, являє собою вхідний вал коробки швидкостей металорізального верстата фрезерувальної групи. На першій ступені валу  $\varnothing 20h6$  розташовано шпонковий паз для установки на ного призматичних шпонок та закріплення на валу шківа клинопасової передачі. На бочці валу виконані прямобочні шліци  $d-8 \times 32f7 \times 36h7 \times 6f8$  на які встановлюється зубчасте колесо для передачі крутного моменту з вхідного (першого) валу на другий вал. На обох торцях валу є центрові отвори  $A3, I5$ , що виконано за ГОСТ 14034-74. В технічних вимогах креслення вказано, що шліцові поверхні

валу Л підлягають термічній обробці, а саме, цементуванню на глибину  $h = 0,7...1,1$  мм з витримуванням твердості поверхонь  $56...63$  HRC.

При виготовленні деталі «Вал проміжний» необхідно витримати допуски форми та взаємного розташування поверхонь:

- циліндричності та симетричності поверхні  $\varnothing 20$  п6 мм у межах  $0,04$  мм;
- допуск биття циліндричної поверхні діаметрами  $\varnothing 25$  js6 мм не більше  $0,04$  мм відносно осі валу;
- допуск биття шліців по зовнішній поверхні  $\varnothing 36$  h7 мм не більше  $0,03$  мм відносно осі валу;
- допуск биття западини зубу шліців по поверхні  $\varnothing 32$  f7 мм не більше  $0,01$  мм відносно осі валу;
- допуск биття торцевої поверхні бочки валу, на якій містяться шліци не більше  $0,01$  мм відносно осі валу;

Згідно креслення деталь «Вал шліцьовий» виготовлено з конструкційної легованої хромонікелевої сталі 40X ДСТУ 7806:2015 (ГОСТ 4543-71). Вихідна твердість сталі HB 270. Група металу – М 2 (см. п.3.2.1).

М

е

х

а

Механічні властивості сталі 40X, МПа

Н	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\tau_T$	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$	б
і	900	700	450	410	240	л

ч

н

і

Хімічний склад сталі 40X, %

	C	Cu	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	б
В	0,3–0,44	0,3	0,17–0,37	0,5–0,8	0,8–1,1	до 0,3	0,035	0,035	л

л

а

с

## 4.2 Визначення маси деталі

т

и

в

Т

а

и

т

я

и

ц

я

.2

Масу деталі визначаємо згідно формули, наведеної в п. 3.2.2. Підставив значення діаметрів ступенів валу та їх довжину (для отримання маси деталі в кг, переведемо значення діаметрів та довжин у дм) отримуємо:

$$m_d = 7,8 \cdot 3,14 \cdot \left( \frac{0,2^2}{4} \cdot 0,63 + \frac{0,25^2}{4} \cdot 0,16 + \frac{0,36^2}{4} \cdot 1,05 + \frac{0,25^2}{4} \cdot 0,16 \right) - 7,8 \cdot (0,0032 \cdot 0,6 + 0,0096 \cdot 1,05 + 0,000147) = 1,015 \text{ кг}$$

Тут загальна площа шпонкового пазу становить  $0,0032 \text{ дм}^2$ , загальна площа шліцьових пазів –  $0,0096 \text{ дм}^2$ , а об'єм фасок  $0,000147 \text{ дм}^3$ . Перевірка маси деталі по тривимірній моделі, що виконано в САПР Сreo показала високу ступінь збіжності. Так маса деталі за тривимірною моделлю складає  $0,98 \text{ кг}$ , а за результатами розрахунків  $1,015 \text{ кг}$ , що всього на  $3,45\%$  більше та не має суттєвої ваги при розрахунках, що проводяться. Для подальших розрахунків приймаємо масу деталі  $M_d = 1 \text{ кг}$ .

### 4.3 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 її масою.

З

Г

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

$$n = \frac{Na}{\Phi} = \frac{5000 \cdot 6}{256} = 118 \quad (4.1)$$

о

де  $a$  – кількість днів запасу деталей на складі (прийнято рівним 6);  $\Phi$  – кількість робочих днів у році (прийнято рівним 256).

з

### Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання

з

а

в

д

В умовах багатосерійного виробництва заготовку деталі «Вал шліцьовий» в варіанті, що проектується, доцільно отримувати штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП).

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

Клас точності заготовок визначається згідно ГОСТ 7505-89. Для поковок, отриманих закритим штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі, обирається клас точності Т2.

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

Розрахункова маса поковки:

$$M_p = M_d \cdot K_p = 1 \cdot 1,5 = 1,5$$

де  $M_d$  – маса деталі, кг (було розраховано в попередньому пункті);

$K_p$  – коефіцієнт, що залежить від характеристики деталі, при виготовленні заготовки за типом «Вали, осі, цапфи, шатуни» з прямою віссю приймається  $K_p = 1,3 \dots 1,6$  (Пр.3, табл. 20, с. 20 ГОСТ 7505-89).

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

Діаметр фігури:

$$D_\phi = D_d \cdot 1,05 = 36 \cdot 1,05 = 37,8$$

Довжина фігури:

$$L_\phi = L_d \cdot 1,05 = 200 \cdot 1,05 = 210$$

де  $D_d$  – максимальний діаметр деталі за кресленням,

$L_d$  – довжина деталі за кресленням.

Визначаємо масу фігури, яка описує поковку:

$$M_\phi = \frac{3,14 \cdot D_\phi^2}{4} \cdot L_\phi \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 0,0378^2}{4} \cdot 0,210 \cdot 7850 = 1,85$$

д

е Відношення розрахункової маси поковки до маси фігури:

$\rho$

–

щ

і



$$C = \frac{M_p}{M_\phi} = \frac{1,5}{1,85} = 0,81.$$

Тоді, згідно п.3.2.1 за хімічним складом матеріалу деталі група сталі – М1, згідно до таблиці 3.3 ступінь складності заготовки – С1, згідно таблиці 3.4 клас точності для КГШП в закритих штампах – Т2. Тоді по таблиці 3.6 визначаємо вихідний індекс поковки – 8.

#### **4.5 Особливості вибору та обґрунтування методів обробки поверхонь деталей. Розробка маршрутного технологічного процесу**

У технологічному процесі виготовлення деталі «Вал шліцьовий», що проектується, маючи точність вихідної заготовки по ІТ16, передбачають токарну чорнову обробку по всьому контуру валу, яка виконується на багаторізцевому токарному напівавтоматі до ІТ12. У даному випадку після чорнкової токарної обробки застосовують чистове точіння циліндричних поверхонь на гідрокопіювальному верстаті з досягненням точності поверхонь по ІТ10. Як варіант токарної обробки застосовують точіння на верстаті з ЧПК, що дозволяє виконати порівняльний аналіз технологічної собівартості застосування токарних верстатів різних груп. Попереднє (чорнове) шліфування забезпечує досягнення точності поверхні по ІТ8. Для кінцевої обробки зовнішніх циліндричних поверхонь і досягнення необхідної точності ІТ6 застосовуємо чистове (тонке) шліфування.

Як приклад, наведемо види обробки поверхні  $\varnothing 25js6$  (рис. 4.1).

Відповідно до креслення деталі і річним обсягом випуску приймаємо наступний маршрут обробки (табл. 3.3).

У розробленому, маршрутному технологічному процесі, заготовкою є поковка, форма якої максимально наближена до форми деталі, що дозволяє

Таблиця 4.3

## Маршрутний технологічний процес

№ операції	Найменування операції, її зміст	Модель верстата	Робочий інструмент
005	Заготівельна	КГШП	
010	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати торці 2. Центрувати торці одночасно з двох сторін	МР-73	Фреза торцева права ті ліва ГОСТ 24359-80 Т5К10 Свердло центрувальне ВК8 ГОСТ 14952-75 (2шт)
015	Токарна багаторізева Чорнова обробка правого кінця валу	17А30	Різець прохідний Т15К6 Різець підрізний Т15К6
020	Токарна багаторізева Чорнова обробка лівого кінця валу	17А30	Різець прохідний Т15К6 Різець підрізний Т15К6
025	Токарна гідрокопіювальна Чистова обробка правого кінця валу	1722	Різець прохідний Т15К6 Різець підрізний Т15К6 Різець канавковий Т15К6
030	Токарна гідрокопіювальна Чистова обробка лівого кінця валу	1722	Різець прохідний Т15К6 Різець підрізний Т15К6 Різець канавковий Т15К6
035	Напівавтоматна шліцьофрезерувальна Фрезерування шліців	5Б352П	Фреза черв'ячна спеціальна
040	Термічна. Цементувати поверхні зубів шліців на глибину h 0,7...1,1 мм до HRC 56...63	Установка СВЧ	
045	Виправлення центрових отворів	МР-73	Свердло центрувальне ВК8

Продовження табл. 4.3

№ операції	Найменування операції, її зміст	Модель верстата	Робочий інструмент
050	Круглошліфувальна полуавтоматна чорнова Шліфувати шийки валу начерно	3A153	Круг шліфувальний
055	Шпонково-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз	6P11Ф2	Фрези кінцеві Ø8
060	Круглошліфувальна полуавтоматна чистова Шліфувати шийки валу начисто	3A153	Круг шліфувальний
065	Горизонтальна шліцьшліфувальна з ЧПК Шліфувати поверхні западин шліців	ВЗ-729Ф4	Фасонний шліфувальний круг
070	Слюсарна 1. Обпиляти задирки після попередніх операцій; 2. Очисти глухі отвори від стружки; 3. Клеймити номер	Слюсарний стіл, установка для маркування	Напилек Клеймо
075	Мийна	Мийна машина ММК 7.13.5/1	
080	Контрольна	Стіл ВТК	



Рисунок 4.1 – Етапи та види обробки поверхні  $\varnothing 25js6$

прискорити та 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.

При проектуванні операції шліцефрезерування враховуємо, що центрування сполучених деталей відбувається по внутрішньому діаметру шліців  $d$ . Фрезерування шліців  $d-8 \times 32f7 \times 36h7 \times 6f8$  виконується за один прохід спеціальної черв'ячної фрезою, яка забезпечує найбільшу точність.

#### 4.6 Проектування карт технологічних наладок

У якості прикладу на рис. 4.2 наведено карту технологічної наладки для операції 005 – фрезерно-центрувальна. Інформація, яка подана на ній, є достатньою для виконання наладки обладнання.



## РОЗДІЛ 5

### ПРОЕКТУВАННЯ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ ШЛІЦЬОВИЙ»

#### 1.1 Розрахунок припусків та операційних розмірів на механічну обробку на діаметральні розміри деталі

В якості прикладу розрахунку припусків на діаметральні розміри заготовки аналітичним методом виконаємо розрахунок проміжні мінімальних

п

р Для розрахунку  $2Z_{\min}$  знайдемо значення величини можливого

и викривлення поверхні деталі при її обробці:

п

$$\Delta_{\Sigma k} = \Delta_k \cdot l = 3 \cdot 60 = 180 \text{ мкм} = 0,18$$

у де  $\Delta_k$  – кривизна, тобто відхилення осі деталі від прямолінійності, мкм на 1 с мм, що залежить від методу її отримання згідно табл. 3.12 для діаметру к

поковки від 25 до 50 мм обираємо  $\Delta_k = 3 \text{ мкм} / \text{мм}$ ;

і

в  $l = 60 \text{ мм}$  – відстань від оброблюваного перетину до найближчої опори(люнети) при її обробці.

Знайдемо похибку центрування:

Е 
$$\Delta_{\text{ц}} = 0,25 \cdot \delta_3 = 0,25 \cdot 1600 = 400 \text{ мкм} = 0,4 \text{ мм}.$$

М де  $\delta_3$  – допуск заготовки, для штамповки по IT16 з максимальним діаметром

В Поверхні від 30 до 50 мм приймаємо 1600 мкм;

Е Далі знайдемо сумарне відхилення розташування поверхонь

Д (просторове відхилення) заготовки при обробці в центрах:

Е

р

и

а

т

і

о

п

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Sigma C}^2 + \Delta_{\Sigma um}^2} = \sqrt{0,18^2 + 0,4^2 + 0,6^2} = 0,74 \text{ мм} = 740$$

де  $\Delta_{um}$  – відхилення від співвісності елементів, що штампуються в різних половинах штампа, *мкм* (згідно з табл. 3.11 для штамповок, що отримують на пресах масою більше 1,6 до 2,5 кг приймаємо  $\Delta_{um} = 600 \text{ мкм} = 0,6 \text{ мм}$ ).

Розрахуємо величини залишкових викривлень після переходів використовуючи  $K_y$  – коефіцієнт уточнення, значення якого приведені в таблиці 3.13, та  $\Delta_{\Sigma}$  – сумарне відхилення розташування поверхонь заготовки.

П

і  $\Delta_{\Sigma 1} = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,06 \cdot 0,74 = 0,045 \text{ мм} = 45 \text{ мкм}$

с П

іі  $\Delta_{\Sigma 2} = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,04 \cdot 0,74 = 0,03 \text{ мм} = 30 \text{ мкм}$

я П

ііі  $\Delta_{\Sigma 3} = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,03 \cdot 0,74 = 0,022 \text{ мм} = 22 \text{ мкм}$

я П

іііі  $\Delta_{\Sigma 3} = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,02 \cdot 0,74 = 0,015 \text{ мм} = 15 \text{ мкм}$

р Розрахуємо мінімальні припуски на всі операції технологічного процесу

знаючи  $R_{z_{i-1}}$  – висоту мікронерівностей, отриманих на попередній операції,

$h_{i-1}$  – глибину дефектного шару, отриманого на попередній операції (див.

табл. 3.10), та величини залишкових викривлень після переходів  $\Delta_{\Sigma i}$ .

р

іі Проміжні мінімальні припуски під чорнове точіння:

о  $2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1}) = 2 \cdot (160 + 200 + 740) = 2 \cdot 1100 \text{ мкм} = 2200$

іі

*мкм.*

б Проміжні мінімальні припуски під чистове точіння:

р  $2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot (50 + 50 + 45) = 2 \cdot 145 \text{ мкм} = 290 \text{ мкм.}$

б

Проміжні мінімальні припуски під чорнове шліфування:

р

$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot (25 + 25 + 30) = 2 \cdot 80 \text{ мкм} = 160 \text{ мкм.}$

іі

Проміжні мінімальні припуски під чистове шліфування:

іі

іі

ф

у



$$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot (10 + 20 + 22) = 2 \cdot 52 \text{ мкм} = 104 \text{ мкм.}$$

Для подальших розрахунків складаємо таблицю 4.1.

Таблиця 5.1

Розрахунок припусків та граничних розмірів за операціями на обробку поверхні  $\varnothing 25js6 (\pm 0,0065) \text{ мм}$

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм			Припуск $2 \cdot z_{\min}$ , мм	Квалітет	Допуск, $\delta$ , мкм	Граничні розміри, мм		
	$R_z$	$h$	$\Delta_\Sigma$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$d_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заготовка (поковка $h16$ )	160	200	740	–	+0,8 –0,4	1200	27,7475	28,9475	28,3475
Чорнове точіння	50	50	45	2200	12	210	25,5475	25,7575	25,6525
Чистове точіння	25	25	30	290	11	130	25,2575	25,3875	25,3225
Чорнове шліфування	10	20	22	160	8	33	25,0975	25,1305	25,114
Чистове шліфування	–	–	–	104	6	13	24,9935	25,0065	25

Примітка: допуск на розмір заготовки (поковки) обираємо згідно її маси, розміру, групи сталі та ступеню складності за таблицями, що наведено в Додатку А. Для заготовки масою 1,5 кг розміром поковки до 50 мм з М1С1 обираємо значення  $\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$  мм. Для призначення інших допусків користуємося табл. 3.14.

Мінімальний та максимальні діаметри при обробці зовнішніх поверхонь заготовки розраховуємо за наступними формулами:

$$d_{\min \text{чорн.ш}} = d_{\min \text{дет.}} + 2 \cdot z_{\min \text{чист.ш}} = 24,9935 + 0,104 = 25,0975$$

мм.

$$d_{\min \text{чистт}} = d_{\min \text{чорнш}} + 2 \cdot z_{\min \text{чорнш}} = 25,0975 + 0,16 = 25,2575$$

мм.

$$d_{\min \text{чорнт}} = d_{\min \text{чистт}} + 2 \cdot z_{\min \text{чистт}} = 25,2575 + 0,29 = 25,5475 \text{ мм.}$$

$$d_{\min \text{з}} = d_{\min \text{чорнт}} + 2 \cdot z_{\min \text{чорнт}} = 25,5475 + 2,2 = 27,7475 \text{ мм.}$$

Далі знайдемо найбільші діаметри.

$$d_{\max 3} = d_{\min 3} + \delta_3 = 27,7475 + 1,2 = 28,9475 \text{ мм.}$$

$$d_{\max \text{чернт}} = d_{\min \text{чернт}} + \delta_{\text{чернт}} = 25,5475 + 0,21 = 25,7575 \text{ мм.}$$

$$d_{\max \text{чистт}} = d_{\min \text{чистт}} + \delta_{\text{чистт}} = 25,2575 + 0,13 = 25,3875 \text{ мм.}$$

$$d_{\max \text{чорни}} = 25,0975 + 0,033 = 25,1305 \text{ мм.}$$

Визначимо граничні значення припусків:

$$2 \cdot z_{\max}^{np} = d_{\max \text{чорни}} - d_{\max \text{чистт}} = 25,0065 - 25,1305 = 0,124 \text{ мм} = 124 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{\min}^{np} = d_{\min \text{чорни}} - d_{\min \text{чистт}} = 25,0975 - 24,9935 = 0,104 \text{ мм} = 104 \text{ мкм}$$

$$2 \cdot z_{\max}^{np} = d_{\max \text{чистт}} - d_{\max \text{чорни}} = 25,3875 - 25,1305 = 0,257 \text{ мм} = 257 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{\min}^{np} = d_{\min \text{чистт}} - d_{\min \text{чорни}} = 25,2575 - 25,0975 = 0,16 \text{ мм} = 160 \text{ мкм}.$$

$$2 \cdot z_{\max}^{np} = d_{\max \text{чорнт}} - d_{\max \text{чистт}} = 25,7575 - 25,3875 = 0,37 \text{ мм} = 370 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{\min}^{np} = d_{\min \text{чорнт}} - d_{\min \text{чистт}} = 25,5475 - 25,2575 = 0,29 \text{ мм} = 290 \text{ мкм}.$$

$$2 \cdot z_{\max \text{чорнт}}^{np} = d_{\max 3} - d_{\max \text{чорнт}} = 28,9475 - 25,7575 = 3,19 \text{ мм} = 3190 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{\min \text{чорнт}}^{np} = d_{\min 3} - d_{\min \text{чорнт}} = 27,7475 - 25,5475 = 2,2 \text{ мм} = 2200 \text{ мкм}.$$

В

$$2 \cdot z_{o \max} = 3190 + 370 + 257 + 124 = 3941 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{o \min} = 2200 + 290 + 160 + 104 = 2754 \text{ мкм}.$$

$$z_{o \text{ ном}} = z_{o \text{ min}} + EI_3 - \delta_d = 2754 + 6,5 - 13 = 2748 \text{ мкм} = 2,748 \text{ мм},$$

де  $EI_3$  – нижні відхилення діаметра заготовки (для розміру  $\varnothing 25js6 (\pm 0,0065)$  мм дорівнює  $-0,0065$  мм);  $\delta_o$  – допуск на деталь ( $0,013$  мм).

Визначаємо номінальний діаметр заготовки:

$$d_{z \text{ ном}} = d_{d \text{ ном}} + z_{o \text{ ном}} = 25 + 2,748 = 27,748 \text{ мм}.$$

Виконуємо перевірку правильності розрахунків:

$$z_{\text{тахчисти}}^{\text{np}} - z_{\text{тіпчисти}}^{\text{np}} = 124 - 104 = 20 \text{ мкм}; \delta_{\text{чорни}} - \delta_{\text{чисти}} = 33 - 13 = 20 \text{ мкм};$$

$$z_{\text{тахчорни}}^{\text{np}} - z_{\text{тіпчорни}}^{\text{np}} = 257 - 160 = 97 \text{ мкм}; \delta_1 - \delta_2 = 130 - 33 = 97 \text{ мкм};$$

$$z_{\text{тахчистт}}^{\text{np}} - z_{\text{тіпчистт}}^{\text{np}} = 370 - 290 = 80 \text{ мкм}; \delta_3 - \delta_1 = 210 - 130 = 80 \text{ мкм};$$

$$z_{\text{тахчорнт}}^{\text{np}} - z_{\text{тіпчорнт}}^{\text{np}} = 3190 - 2200 = 990 \text{ мкм}; \delta_3 - \delta_{\text{чорнт}} = 1200 - 210 = 990 \text{ мкм}.$$

Отже, розрахунки припусків виконані правильно.

## 5.2 Розрахунок припусків та операційних розмірів на механічну обробку на лінійні розміри деталі

Розрахуємо припуски на обробку поверхні  $79h12_{(-0,3)}$ .

Заготовку виробу одержуємо штампуванням на КГШП. Маршрут обробки поверхні складається з токарної чорнової операції.

Випишуємо значення  $R_z$  і  $h$  для операцій (див. табл. 3.9, 3.10):

– для заготовки:  $R_z = 160 \text{ мкм}$ ,  $h = 200 \text{ мкм}$ ;

– для токарної чорнової операції:  $R_z = 50 \text{ мкм}$ ,  $h = 50 \text{ мкм}$ .

Розраховуємо просторове відхилення:

– для заготовки:

$$\Delta_3 = \Delta_k \cdot L = 3 \cdot 79 = 237 \text{ мкм}.$$

де  $\Delta_k$  – кривизна, тобто відхилення осі деталі від прямолінійності, мкм на 1 мм, що залежить від методу її отримання згідно табл. 3.12 приймаємо

$$\Delta_k = 3 \text{ мкм} / \text{мм};$$

$L$  – номінальний розмір деталі, мм

Розрахуємо залишкове просторове відхилення після чорнового підрізання торцю:

$$\Delta_{\Sigma \text{зал}} = K_y \cdot \Delta_z = 0,06 \cdot 237 = 14,22 \text{ мкм.}$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення, значення якого приведені в табл. 3.13.

Для чорнового точіння  $K_y = 0,06$ .

Розрахуємо припуски на чорнове підрізання торцю:

$$z_{\min} = R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma} = 160 + 200 + 740 = 1100$$

Для подальших розрахунків складаємо таблицю 4.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок припусків та граничних розмірів за операціями на обробку поверхні  $79h12_{(-0,3)}$

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм			Припуск $z_{\min}$ , мм	Квалітет	Допуск $\delta$ , мкм	Граничні розміри, мм		
	$R_z$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$				$l_{\min}$	$l_{\max}$	$l_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заготовка ( $h16$ )	160	200	237	–	$+0,8$ $-0,4$	1200	79,8	81	
Чорнове підрізання торцю	50	50	14,22	1100	12	300	78,7	79	

Г

р

а

ф

$$l_{\min \text{чорнт}} = 79 - 0,3 = 78,7 \text{ мм,}$$

а

а, для заготовки:

$$l_{\min z} = l_{\min \text{чорнт}} + z_{\min \text{чорнт}} = 78,7 + 1,1 = 79,8 \approx 80 \text{ мм.}$$

«

Г

р

а

н

и

Граничний лінійний розмір ( $l_{\max}$ ) обчислюємо додаванням допуску до округленого найменшому граничного розміру. Розрахуємо найбільші лінійні розміри. При операції чорнового підрізання торцю:

$$l_{\max \text{чорнт}} = 78,7 + 0,3 = 79 \text{ мм.}$$

Для заготовки:

$$l_{\max 3} = l_{\max \text{чорнт}} + \delta_3 = 79,8 + 1,2 = 81 \text{ мм.}$$

Розрахуємо граничні значення припусків під чорнове підрізання торців:

$$z_{\max}^{\text{np}} = l_{\max 3} - l_{\max \text{чорнт}} = 81,0 - 79 = 2,0 \text{ мм} = 2000 \text{ мкм};$$

$$z_{\min}^{\text{np}} = l_{\min 3} - l_{\min \text{чорнт}} = 78,6 - 78,7 = 1,1 \text{ мм} = 1100 \text{ мкм.}$$

В

И

$$z_{o \max} = z_{\max}^{\text{np}} = 1200 \text{ мкм};$$

З

$$z_{o \min} = z_{\min}^{\text{np}} = 1100 \text{ мкм.}$$

Н

Знайдемо загальний номінальний припуск:

а

$$z_{0 \text{ ном}} = z_{0 \min} + EI_3 - \delta_0 = 1100 + 300 - 300 = 1100 \text{ мкм} = 1,1 \text{ мм.}$$

Ч

Знайдемо номінальний розмір заготовки:

а

$$l_{3 \text{ ном}} = l_{\text{д ном}} + z_{o \text{ ном}} = 79 + 1,1 = 80,1 \text{ мм.}$$

є

Виконаємо перевірку правильності розрахунків:

м

$$z_{\max \text{чорнт}}^{\text{np}} - z_{\min \text{чорнт}}^{\text{np}} = 2000 - 1100 = 900 \text{ мкм}; \quad \delta_3 - \delta_1 = 1200 - 300 = 900 \text{ мкм.}$$

Отже, розрахунки припусків виконані правильно.

з

На інші поверхні припуски призначаємо по табл. 3 ГОСТ 7505-89. Граничні відхилення на розміри заготовки (поковки) обираємо згідно її маси, розміру, групи сталі та ступеню складності за таблицями, що наведено в Додатку А для заготовки масою 1,5 кг з М1С1. Результати зводимо в таблицю

ф

ь

в

і

ш

р

Таблиця 5.3

## Припуск і допуски на оброблювані поверхні валу

Розмір деталі	Припуск		Граничні відхилення
	табличний	розрахунковий	
$\varnothing 25js6 (\pm 0,0065)$	–	2·2,8	(+0,8;–0,4)
$\varnothing 36h7(-0,025)$	2·0,9	–	(+0,8;–0,4)
$79h12(-0,3)$	–	1,1	(+0,8;–0,4)
$16h12$	0,9	–	(+0,8;–0,4)
$200h12$	1,2	–	(+0,9;–0,5)
$16h12$	1,2		(+0,8;–0,4)

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

В бакалаврській роботі режими різання розраховуються аналітичним методом (за емпіричними формулами теорії різання) для 1-ї операції [2].

Для інших операцій режими різання призначаються за нормативами з урахуванням поправочних коефіцієнтів [8]. Режими різання розраховують для кожного з переходів операції.

Подачу при чорновому зовнішньому точінні різцями з пластинами з твердого сплаву вибирають з табл. 6.1, а при чистовому точінні – з табл. 6.2.

При обробці пазів, канавок та фасок подачу вибирають з табл. 5.3

Таблиця 6.1

Подача при чорновому точінні

Діаметр деталі, мм	Подача $S$ , мм/об при глибині різання $t$ , мм	
	До 3	Більше 3 до 5
До 20	0,3 – 0,4	–
Більше 20 до 40	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4
Більше 40 до 60	0,5 – 0,9	0,4 – 0,8
Більше 60 до 100	0,6 – 1,2	0,5 – 1,1
Більше 100 до 400	0,8 – 1,3	0,7 – 1,2

Швидкість різання  $V$ , м/хв, у випадку, якщо встановлена подача  $S \leq 0,3$  мм/об, розраховують за формулою:

$$V = \frac{420}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,2}} \cdot K_v,$$

де  $T$  – стійкість різця (встановлюється в інтервалі 30 – 60 хвилин;  $t$  – глибина різання, мм;  $S$  – подача, мм/об.

Таблиця 6.2

## Подача при чистовому точінні

Шорсткість поверхні	Подача $S$ , мм/об при радіусі при вершині різця, мм					
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$Ra$ 0,63	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
$Ra$ 1,25	0,10	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23
$Ra$ 2,5	0,14	0,20	0,25	0,29	0,32	0,35
$Rz$ 20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
$Rz$ 40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
$Rz$ 80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Таблиця 6.3

## Подачі при обробці пазів

Діаметр обробки, мм	Ширина паза, мм	Подача $S$ , мм/об
До 20	3	0,06 – 0,08
Більше 20 до 40	3 – 4	0,1 – 0,12
Більше 40 до 60	4 – 5	0,13 – 0,16
Більше 60 до 100	5 – 8	0,16 – 0,23
Більше 100 до 150	6 – 10	0,18 – 0,26
Більше 150	10 – 15	0,28 – 0,36

Швидкість різання  $V$ , м/хв, у випадку, якщо встановлена подача  $S$  знаходиться в інтервалі  $0,3 - 0,7$  мм/об, розраховують за формулою:

$$V = \frac{350}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} \cdot K_v,$$

а якщо встановлена подача перевищує  $0,7$  мм/об, то – за формулою:

$$V = \frac{340}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,45}} \cdot K_v,$$

При прорізанні канавок, пазів та обробці фасок швидкість різання розраховують за формулою:

$$V = \frac{47}{T^{0,18} S^{0,8}} \cdot K_v,$$

$K_v$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання встановлюють за таблицею 6.4.



Таблиця 6.4

Значення поправочного коефіцієнта на швидкість різання

$$(K_v = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\phi V})$$

$K_{Mv} = \frac{750}{\sigma_B}$	Обробка конструкційних сталей твердосплавними різцями	
$K_{nv}$	1,0	Поверхня заготовки без корки (чистове точіння, точіння фасок та канавок)
	0,9	Прокат з коркою
	0,8	Поковка з коркою (чорнове точіння)
$K_{iv}$	0,35	T5K12B+ TiN
	0,65	T5K10+ TiN (чорнове точіння, точіння фасок та канавок)
	0,8	T14K8+ TiN
	1,0	T15K6+ TiN (чистове точіння)

Примітка:  $K_{Mv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на швидкість різання;  $K_{nv}$  – коефіцієнт, що відображає вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання;  $K_{iv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив якості матеріалу інструмента на швидкість різання.

Розрахуємо режими різання аналітичним методом для 020 операції технологічного процесу – «Токарна багаторізцева».

Операція виконується на верстаті моделі 17A30. Інструменти – різці прохідні з платинами з твердого сплаву T15K6.

Зміст операції:

– чорнове точіння поверхні  $\varnothing 21 \text{ h}12$ ;

–

– підрізка торця в розмір  $79 \text{ h}12$ ;

ч – підрізка торця в розмір  $63 \text{ h}12$ .

о Режими різання для операції «Токарна багаторізцева» розраховуємо для

р

я

й

б

є

л

Знайдемо швидкість різання за аналітичним розрахунком якщо встановлена подача  $S$  знаходиться в інтервалі  $0,3 - 0,7$  мм/об, розраховують за формулою:

$$V = \frac{350}{T^{0,2} \cdot 0,15^{0,15} \cdot 0,35^{0,35}} \cdot K_v = \frac{350}{30^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,5^{0,45}} \cdot 0,41 = 99,3$$

де  $T$  – значення стійкості різання обираємо рівним  $30$  хв;  $t$  – глибина різання на операції чорнового точіння приймаємо  $2$  мм;  $K_v$  – поправочний коефіцієнт,

згідно табл. 2.19 визначається, як:  $K_v = \frac{750}{950} \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 0,41$ .

Д

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 99,3}{3,14 \cdot 28,95} = 1092,2 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаються за паспортом верстата частоту обертання  $n_{ep} = 1000 \text{ хв}^{-1}$ .

б Знайдемо дійсну швидкість різання:

$$n = V = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{пр}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 28,95 \cdot 900}{1000} = 81,8 \text{ м/хв}.$$

ь Визначення режимів різання для всіх наступних операцій виконаємо табличним методом за допомогою довідникової літератури, результати зведемо в табл. 6.5.

г

о

д

і

а

м

е

т

р

у

Ø

2

5

Таблиця 6.5

## Карта режимів різання технологічного процесу обробки деталі «Вал шліцьовий»

№ операції	Перехід	$l_{різ}$ , мм	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	$n_p$ , об/хв	$n_{вер}$ , об/хв
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Фрезерно-центрувальна						
	1. Фрезерувати торці в розмір 200h12	30,6	1,2	0,2	125,5	500	500
	2. Центрувати торці одночасно з двох сторін A3,15 ГОСТ 14034-74	6,97	3,35	0,25	25	240	240
015	Токарна багаторізева Чорнова обробка правого кінця валу з витримкою розмірів: Ø25,7 h12 Ø36,3 h12 16 h12			0,5	99,3	1092,2	1000
		30,6	1; 0,5; 0,5				
		5,3	0,5; 0,4				
020	Токарна багаторізева Чорнова обробка лівого кінця валу: Ø25,7 h12 Ø21 h12 79 h12 63 h12						
		30,6	1; 0,5; 0,5	0,5	89,5	984,6	900
		30,6	2; 1,3; 1				
		5,3	0,7; 0,5				
		2,35	0,7; 0,5				
025	Токарна гідрокопіювальна Чистова обробка правого кінця валу Ø25,4 h12 Ø36 h7 Точити канавку $b=3$ ; Ø24 Точити фаску $2 \times 45^\circ$						
			0,4 0,3	0,5	99,3	1092,2	1000
030	Токарна гідрокопіювальна Чистова обробка лівого кінця валу Ø25,4 h10 Ø20,4 h10 Точити канавку $b=3$ ; Ø24 Точити 2 фаски $2 \times 45^\circ$						
		21	0,4 0,6	0,5	89,5	984,6	900

Продовження табл. 6.5

1	2	3	4	5	6	7	8
035	Напівавтоматна шліцьофрезерувальна Фрезерування шліців <i>d-8×32, 1h8×36h7×6f8</i>	105	2	5	35	15	15
045	Виправлення центрових отворів Центрувати торці одночасно з двох сторін <i>A3, 15</i> ГОСТ 14034-74	6,97	3,35	0,25	25	240	240
050	Круглошліфувальна полуавтоматна чорнова Шліфувати шийки валу начерно <i>Ø25, 1 h8</i> <i>Ø20, 1 h8</i>	20,4	0,3 0,3	0,55	35	145	125
055	Шпонково-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз <i>8H9</i>	60	4	0,1	210	500	500
060	Круглошліфувальна полуавтоматна чистова Шліфувати шийки валу начисто <i>Ø</i> <i>Ø20 n6</i>	20,1	0,1 0,1	0,55	35	157	150
065	Горизонтальна шліцьошліфувальна з ЧПК Шліфувати поверхні западин шліців в розмір <i>Ø32f7</i>	32,1	0,1	0,9	17	157	150

## ВИСНОВКИ

Перший розділ кваліфікаційної бакалаврської роботи містить відомості про службове призначення та особливості конструкції технологічного обладнання, дані про модернізацію або зміну конструктивних параметрів консольно-фрезерного горизонтального верстату на базі моделі СФ80.

У конструкторському розділі методичних вказівок до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра наведено основні відомості про конструкції, геометрії та основних функціональних елементах ступеневого шліцьового валу металорізального верстата. В якості найбільш типового зразка було прийнято конструкцію двохопрного валу, що монтується на підшипниках кочення.

На основі, наведеного у другому розділі методичних вказівок завдання, проведено проектний розрахунок валу приводу головного руху верстата. Основою проектного розрахунку є визначення основних форм і розмірів валу на базі вихідних даних про навантаження та кінематичні характеристики приводу верстата. В процесі проектного розрахунку було визначено діаметральні та лінійні розміри основних ступенів валу, а саме:

- ступінь під відкриту передачу (від електродвигуна до вхідного валу приводу головного руху);
- ступені під опори на радіальних шарикопідшипниках;
- ступінь під шестерню зубчастої передачі від вхідного валу до проміжного (або вихідного) валу.

Головною особливістю проектного розрахунку є необхідність паралельного проектування (вибору) деталей, що сполучаються з валом, що було розраховано.

Слід зазначити, що в режимі паралельного проектування здійснюється розрахунок шпонкових і шліцьових з'єднань, за допомогою яких передається рух і крутний момент іншим валів приводу головного руху.

Конструкція валу на рівні проектного розрахунку служить основою для побудови тривимірних моделей в середовищі систем автоматизованого проектування (CAD) з подальшим дослідженням в системах інжинірингу (CAE). В розділі також наведено докладну методику створення 3D моделі ступінчастого шліцьового валу в середовищі сучасної САПР Creo Parametric.

В процесі побудови відзначається можливість використання параметризованих моделей фасок, канавок і галтелей. Показана ефективність використання бібліотеки стандартних елементів таких як отвори, різьблення і ін. Особливо ефективна програма «Вали і механічні передачі-3D», яка значно прискорює процедуру побудови 3D моделі ступеневого валу. У методичних вказівках приведено процедуру побудови робочого креслення валу із заданими параметрами точності та шорсткості.

В технологічній частині даної бакалаврської роботи було проведено розробку й проектування технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал шліцьовий». Було запропоновано використання засобів технологічного оснащення, що забезпечують продуктивність праці, якість деталей, зниження її собівартості й матеріалоємності.

В бакалаврській роботі були виконані наступні етапи розробки технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал шліцьовий».

Тип виробництва було визначено за річним випуском деталей та їхньою масою, як середньосерійне.

Заготовкою для деталі «Вал шліцьовий» було обрано поковку, отриману штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП). Після розрахунку основних розмірів заготовки було виконано робоче креслення.

Відповідно до креслення деталі і річного обсягу випуску було прийнято наступний маршрут її обробки:

- чорнове точіння;
- чистове точіння;
- чорнове шліфування;
- чистове шліфування.

Розрахунок режимів різання було проведено аналітичним та табличним методами.

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було також приділено увагу розрахунку точності операцій, бо досягнення заданої точності та якості поверхні деталі є основною задачею технологічного процесу механічної обробки деталі. Від якості поверхневого шару деталі залежать її експлуатаційні характеристики.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Горловский Н.А. Оборудование заводов лакокрасочной промышленности/ Н.А. Горловский, Н.А. Козулин. – Л.: Химия, 1968. – 588 с.
2. Hobler T., Strek F. Chem. Stos., 3, 143 (1959).
3. Nixon A.W., Tenney A.H., Trans. Am. Inst. Chem. Eng., 31, 113 (1935).
4. Н.Е. Вишневский Аппараты высокого давления с герметичным приводом/ Н.Е. Вишневский, Н.П. Глуханов, И.С. Ковалев. – М.; Л.: Машгиз, 1960.- 247 с.
5. Д. Вэй, С.Я. Гзовский, А.Н. Плановский // Хим. нефт. маш., -1963. - №4. – 286 с.
6. Я.М. Брайнес - Введение в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов/ Я.М. Брайнес. – М.: Химия, 1976. – 232 с.
7. Ф. Стренк - Перемешивание и аппараты с мешалками. – Польша, 1971/пер. с польск.; под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
8. Sparrow R.E. The choice of equipment sizes for multiproduct batch plants. "Industrial and Engineering Chemistry"/ Sparrow R.E., Forder G.I., Rippin D.W.T.- 1975, 14 - N 3 - P. 197–203.
9. Вертикальные аппараты с перемешивающими устройствами: каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1971.
10. А.И. Бояринов - Методы оптимизации в химической технологии/ А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1969. – 564 с.
11. В.В. Кафаров - Методы кибернетики в химии и химической технологии/ В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1971.
12. И.С. Павлушенко и др. //ЖПХ.-1957. - Т.30.
13. Г.М. Островский - Методы оптимизации химических реакторов/ Г.М. Островский, Ю.М. Волин. – М.:Химия, 1967.



14. З.Штербачек, П.Тауск - Перемешивание в химической промышленности/ Пер. с чеш.; под ред. И.С. Павлушенко. – Л.: Госхимиздат, 1963 - 416 с.
15. А.с. 771089 СССР. Способ получения алкиларилсульфокислот или кислых алкилсульфатов и устройство для его осуществления/ В.Я. Стороженко и др. – 4с.; Оpubл.1980, Бюл.№38.
16. А.с. 276904 СССР. Массообменный аппарат/ В.Я. Стороженко и др. – 2с.; Оpubл.1970, Бюл.№24. – 2с.
17. РД 26-01-90-85. Механические перемешивающие устройства. Методы расчёта. –Л.,1986.-130с.
18. Д.И. Белкин Зависимость начальной частоты вращения от глубины погружения, размеров и некоторых особенностей конструкции самовсасывающей мешалки / Сб. “Расчет и конструирование аппаратов для разделения дисперсных систем”/ Д.И. Белкин и др.– М., 1990.
19. Р.Д. Сопфер, В.В. Кафаров //Хим. нефт. маш. - 1965. - №10.-5с.
20. А.с. 546358 СССР. Устройство для массообмена и перемешивания/ В.Я. Стороженко и др.; Оpubл.1977, Бюл.№6. – 4с.
21. А.с. 1299615 СССР. Устройство для гомогенизации пастообразных материалов/ В.Я. Стороженко и др. – 5с.; Оpubл.1987, Бюл.№12.
22. А.с. 274085 СССР. Массообменный аппарат/ В.Я. Стороженко и др. – 2с.; Оpubл.1970, Бюл.№21. – 2с.
23. Ф. Холланд, Ф. Чапман - Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов/ Пер. с англ.; под ред. Ю.И. Жорова. – М.: Химия, 1974. – 208 с.
24. В.Я. Стороженко Конструювання та розрахунок рознімних герметичних з'єднань/ В.Я. Стороженко. – Київ, 1998.-207с.
25. Аппараты с перемешивающими устройствами вертикальные: Каталог – справочник. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1966.

26. ОСТ 26-01-1246-83. Корпуса стальные вертикальных аппаратов с механическими перемешивающими устройствами; Введ.1983. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 46с.
27. А.В. Чечеткин Высокотемпературные теплоносители/ А.В. Чечеткин. – М.: Энергия, 1971. – 496с.
28. ГОСТ 25867-83. Сосуды и аппараты. Сосуды с рубашками. Нормы и методы расчета на прочность - Введ. 1983.- М.: Издательство стандартов, 1984. – 46с.
29. В.Я. Стороженко Конструирование и расчет химических аппаратов с рубашками. - Часть II. Методическое пособие для студентов по курсу “Расчет и конструирование химических машин и аппаратов”/ В.Я. Стороженко. – Сумы: Издательство СумДУ, 1992.-26с.
30. ГСТУ 3-17-191-2000. Посудини та апарати сталні зварні. Загальні технічні умови. Державний комітет промислової політики України - Введ. 2000. - Київ: Державний комітет з промислової політики в Україні, 2000. – 302 с.
31. ГОСТ 13372-78. Сосуды и аппараты. Ряд номинальных объемов. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 2 с.
32. А.И. Мильченко Исследование, расчёт и конструирование механических перемешивающих устройств для обработки жидкофазных сред: автореф. дис.д-ра технических наук/ А.И. Мильченко. - ЛТИ. - 1974. - 43с.
33. А.Н. Крылов Вибрация судов Т. X./ А.Н. Крылов – М.: АН СССР, 1948. -402с.
34. В.Я. Стороженко Исследование, создание и совершенствование аппаратов для малотоннажных химико-технологических процессов/ В.Я. Стороженко – «Вісник СумДУ», №9. – 2001. – 31с.
35. В.Я. Стороженко Інтенсифікація процесу перемішування у газорідних реакторах ємнісного типу/ В.Я. Стороженко, Д.О Ляпощенко – Республіканська конференція, (м Донецьк). – 2008.

36. Стороженко В.Я., Шабрацкий В.И. К вопросу расчёта эффективности самовсасывающих мешалок. – «Вісник СумДУ», №4. – 2009. – 3с.
37. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.
38. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 944 с.
39. Горбацевич А.Ф. Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Высшэйш. шк., 1983. – 256 с.
40. Расчет экономической эффективности новой техники: справочник / К.М. Великанова и др. Ленинград: Машиностроение, 1990. – 512 с.
41. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога – машиностроителя. Москва: Издат. Стандартов, 1992. – 462 с.
42. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 1. Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – 206 с.
43. Общемашиностроительные нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Обработка на станках с ЧПУ. – М.: НИИМаш, 1978. – 56 с.
44. Руденко П.А., Харламов Ю.А., Плескач В.М. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. Киев: Вища школа, 1991. 361 с.
45. Технология машиностроения / Егоров М.Е. и др. Москва: Высшая школа, 1976. – 534 с.
46. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Москва: Машиностроение, 1974. – 136 с.

47. Технология машиностроения (специальная часть) / А.А. Гусев и др. Москва: Машиностроение, 1986. – 480 с.
48. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. Москва: Высшая школа, 1969. – 480 с.
49. Допуски и посадки. Справочник / под ред. В.Д. Мягкова. Ленинград: Машиностроение, 1978. – 1032 с.
50. Маталин А.А. Технология машиностроения. Ленинград: 1985. 496с.
51. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарно-сборочные и слесарные работы при сборе машин. Массовое и крупносерийное производства. Москва: Машиностроение, 1973. – 143 с.
52. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т1. – 8-е изд., перераб и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
53. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т2. – 8-е изд., перераб и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
54. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 24 с.
55. ГОСТ 12080-66. Концы валов цилиндрические. Основные размеры, допускаемые крутящие моменты. Москва: Изд-во стандартов, 1966. – 18 с.