

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра
*(для здобувачів вищої освіти за спеціальностями
131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»)*
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
машинобудування та
прикладної механіки
Протокол № 7 від 19.03.2025р.

Київ 2025

УДК 621.9.02

Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра (для здобувачів вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування») (Електронне видання) / укладачі О.В. Романченко, О.М. Логунов, Т.О. Шумакова, О.В. Сергієнко, П.В. Боровік, Г.Л. Мелконов, О.В. Шевченко, В.Г. Созонтов, А.П. Ніколаєнко, А.Г. Івченко, С.М. Святошенко – Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. 152 с.

Наведені матеріали для виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Методичні вказівки містять структуру кваліфікаційної роботи, опис та обсяг розділів, вимоги до оформлення. Методичні вказівки призначені для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування».

Укладачі:

Романченко О.В. к.т.н., доц.,
Логунов О.М. к.т.н., доц.,
Шумакова Т.О. к.т.н., доц.,
Сергієнко О.В. к.т.н., доц.,
Боровік П.В. д.т.н., проф.,
Мелконов Г.Л. к.т.н., доц.,
Шевченко О.В. к.т.н., доц.,
Созонтов В.Г. д.т.н., проф.,
Ніколаєнко А.П. к.т.н., доц.,
Івченко А.Г.,
Святошенко С.М.

Рецензент:

Є.С. Руднєв, д.т.н., проф.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ	7
1.1 Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра	7
1.2 Етапи розробки випускної кваліфікаційної роботи бакалавра	8
1.3 Тематика та структура випускної кваліфікаційної роботи бакалавра	9
1.4 Зміст випускної кваліфікаційної роботи бакалавра	10
1.5 Опис основних елементів кваліфікаційної роботи бакалавра	11
1.6 Оформлення графічних матеріалів	14
1.7 Опис додаткових елементів кваліфікаційної роботи бакалавра	21
1.8 Вимоги до оформлення пояснювальної записки	22
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	27
2.1 Завдання до проектно-конструкторської частини	27
2.2 Методика проектування валу приводу технологічного обладнання	30
2.2.1 Загальні положення	30
2.2.2 Проектно-конструкторські розрахунки	34
2.3 Методика розробки тривимірних моделей та креслень	40
2.3.1 Попередні налаштування програми	41
2.3.2 Створення основи деталі	42
2.3.3 Створення шпонкових пазів	44
2.3.4 Створення шліців	47
2.3.5 Побудова отворів	49
2.3.6 Створення канавок, скруглень та фасок	52
2.3.7 Генерація креслення з тривимірної моделі	54
2.3.8 Налаштування стандарту	55
2.3.9 Створення креслення	56
2.3.10 Побудова головного виду	57
2.3.11 Створення виносного виду	59
2.3.12 Побудова розрізів	60
2.3.13 Додавання анотацій	63
2.4 Приклад виконання проектно-конструкторської частини	65
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	74
3.1 Загальні положення	74

3.2 Методика розробки технологічного процесу механічної обробки деталі	75
.2.1 Опис службового призначення деталі, аналіз кресленника і технічних умов на її виготовлення	92
3.2.2 Розрахунок маси деталі	93
3.2.3 Визначення типу виробництва	94
.2.4 Розробка та аналіз маршрутного технологічного процесу механічної обробки деталі	94
.2.5 Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання	98
.2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів	103
3.2.7 Розробка кресленника заготовки	111
Проектування карт технологічних наладок	111
3.2.9 Розрахунок режимів різання	114
3.3 Приклад виконання технологічної частини	117
3.3.1 Опис службового призначення деталі, аналіз кресленника і технічних умов на її виготовлення	117
3.3.2 Визначення маси деталі	119
3.3.3 Визначення типу виробництва	119
3.3.4 Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання	120
3.3.5 Особливості вибору та обґрунтування методів обробки поверхонь деталей. Розробка маршрутного технологічного процесу	121
3.3.6 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів	125
3.3.7 Проектування карт технологічних наладок	133
3.3.8 Розрахунок режимів різання	133
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	137
ДОДАТОК А	143
ДОДАТОК Б	147
ДОДАТОК В	148
ДОДАТОК Г	149
ДОДАТОК Д	150
ДОДАТОК Е	153

ВСТУП

Методичні вказівки до випускної кваліфікаційної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр призначені для спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування».

Підготовка і захист випускної кваліфікаційної роботи є завершальним етапом освоєння програми підготовки бакалавра. Бакалавр – це академічний ступінь, що відображає освітній рівень випускника, який свідчить про наявність фундаментальної підготовки, що відповідає спеціальності, та навичок виконання конструкторських і дослідницьких робіт.

Метою випускної кваліфікаційної роботи є набуття наступних компетенцій:

1. Здатність створювати і теоретично обґрунтовувати конструкції машин, механізмів та їх елементів на основі методів галузевого машинобудування та прикладної механіки, загальних принципів конструювання, теорії взаємозамінності, стандартних методик розрахунку деталей машин.

2. Здатність конструювати вузли обладнання, розробляти робочі та складальні кресленики виробів машинобудування, відповідно діючим нормам конструювання, з урахуванням технологічності конструкції, технологічних можливостей підприємства-виробника та згідно вимог ЄСКД.

3. Вміння виконувати геометричне моделювання деталей, механізмів і конструкцій у вигляді просторових моделей і проєкційних зображень та оформлювати результат у виді технічних і робочих креслеників.

4. Вміння виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин.

5. Навички практичного використання комп'ютеризованих систем проєктування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE).

6. Здатність виконувати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення щодо правил їх експлуатації.

7. Здатність вирішувати наступні типові задачі: визначення раціональних режимів різання для отримання заданої якості продукції; вибір різальних інструментів, верстатів та оснащення з урахуванням закономірностей процесу різання.

8. Здатність проводити технологічну і технікоекономічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів.

9. Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

10. Вміння застосовувати нормативні та довідкові дані для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам.

1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1.1 Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування» завершує освітньо-професійну програму підготовки фахівців відповідного освітньо-кваліфікаційного рівня.

Виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра є комплексною задачею, яка містить в собі розв'язання типових інженерно-технічних задач, рішення яких потребує певних знань та професійних умінь згідно з освітньо-кваліфікаційною характеристикою фахівця даного рівня. Воно передбачає синтез об'єкту проектування в найбільш оптимальному варіанті із докладною розробкою певної функціональної частини (елемента, вузла, підсистеми, технологічної операції тощо) з урахуванням сучасного рівня розвитку машинобудування, досягнень науки і техніки, економічних, екологічних, ергономічних вимог, а також вимог охорони праці та забезпечення життєдіяльності об'єкта проектування.

Підґрунтям до виконання випускної кваліфікаційної роботи є знання, набуті студентами при вивченні інженерних та спеціальних навчальних дисциплін, що разом з дисциплінами загально-освітнього циклу є визначальними у підготовці майбутніх бакалаврів, а саме: «Інженерна та комп'ютерна графіка»; «Технологія конструкційних матеріалів»; «Теоретична механіка»; «Опір матеріалів»; «Теорія механізмів і машин»; «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання»; «Деталі машин»; «Технології машинобудування» тощо.

Підсумкова державна атестація фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» проводиться у вигляді публічного захисту роботи бакалавра.

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальностями 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування» повинна являти собою закінчену розробку на задану тему, виконану особисто студентом під керівництвом призначеного кафедрою викладача. Випускна кваліфікаційна робота бакалавра повинна демонструвати вміння автора працювати з літературою,

узагальнювати і аналізувати фактичний матеріал, використовуючи теоретичні знання і практичні навички, отримані при проходженні виробничих практик. Випускна кваліфікаційна робота бакалавра може також містити елементи наукового дослідження і має на меті:

- розширення, закріплення і систематизацію теоретичних знань, і набуття навичок практичного застосування цих знань при вирішенні конкретної наукової, конструкторської, технологічної або виробничої задачі;

- розвиток навичок ведення самостійних теоретичних та експериментальних досліджень, оптимізації проектно-технологічних рішень;

- виявити вміння студента застосовувати сучасні методи розрахунку і комп'ютерну техніку;

- навчити студента вирішувати конкретні інженерні задачі з використанням методів моделювання;

- виявити вміння студента самостійно розробляти математичні моделі процесів і обладнання машинобудівних підприємств;

- набуття досвіду обробки, аналізу та систематизації результатів теоретичних та інженерних розрахунків, в оцінці їх практичної значущості та можливої області застосування при розробці обладнання;

- набуття досвіду подання і публічного захисту результатів власної професійної діяльності.

До захисту допускаються роботи, теми яких затверджені наказом ректора університету, а структура, зміст та якість викладення матеріалу та оформлення відповідають вимогам даних методичних вказівок.

1.2 Етапи розробки випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Організаційно процес розробки випускної кваліфікаційної роботи складається з наступних етапів: *підготовчого, основного і заключного*.

Підготовчий етап починається з вибору студентом теми та отримання індивідуального завдання від керівника випускної кваліфікаційної роботи щодо

питань, які необхідно вирішити під час переддипломної практики згідно теми дипломної роботи. На цьому етапі студент ознайомлюється зі станом проблеми, збирає фактичні матеріали, проводить необхідні спостереження згідно програми переддипломної практики. Завершується етап складанням та захистом звіту про проходження переддипломної практики.

На основному етапі випускна кваліфікаційна робота повинна бути повністю виконана, перевірена керівником та консультантами, а також пройти перевірку на оригінальність. Цей етап завершується орієнтовно за два тижні до захисту на засіданні екзаменаційної комісії (ЕК).

Заключний етап включає отримання відгуку керівника та рецензії на випускну кваліфікаційну роботу, візи завідувача випускової кафедри про допуск до захисту, подання роботи до ЕК за два дні до її захисту на засіданні ЕК.

1.3 Тематика та структура випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Теми випускних кваліфікаційних робіт розробляються випускною кафедрою та затверджуються наказом ректора університету. В якості основної тематики випускної кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування» пропонується розглядати: питання розрахунку та конструювання деталі «Вал» технологічного обладнання; розробку технологічного процесу виготовлення деталі «Вал» з розрахунком та проектуванням заготовки, визначенням раціональних режимів різання для отримання заданої якості продукції; вибором різальних інструментів, верстатів та оснащення з урахуванням закономірності процесу різання.

Тематика випускних кваліфікаційних робіт бакалавра формується на базі провідних машинобудівних підприємств, де проходять виробничу та переддипломну практику студенти денного відділення або працюють студенти заочного відділення з урахуванням спеціальності. Частина тем може бути пов'язана з науково-дослідною роботою випускної кафедри.

Керівник випускної кваліфікаційної роботи бакалавра:

- видає завдання на випускню кваліфікаційну роботу;
- проводить консультації зі студентом;
- перевіряє виконання роботи (частинами і в цілому);

Підписи керівника і консультантів засвідчують тільки самостійність виконання студентом роботи, відповідність завданням і згоду зі спрямованістю прийнятих в роботі рішень. За всі відомості, викладені в випускній роботі, прийняті рішення та за правильність всіх даних відповідальність несе безпосередньо студент – автор випускної роботи.

У тих випадках, коли це доцільно, розробка однієї комплексної теми може бути доручена групі студентів.

Завдання на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра оформляється на спеціальних бланках (Додаток Г) і містить:

- точне формулювання теми роботи;
- основні вихідні дані до роботи;
- короткий зміст розрахунково-пояснювальної записки;
- перелік обов'язкового графічного матеріалу;
- прізвище керівника випускної роботи;
- календарний план виконання і термін здачі студентом закінченої роботи.

Студент ставить підпис щодо прийняття завдання до виконання і підшиває бланк в розрахунково-пояснювальну записку (після титульного аркуша).

1.4 Зміст випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Випускна кваліфікаційна роботи бакалавра складається з трьох частин: пояснювальної записки, графічної частини, додаткових матеріалів.

1.4.1 Зміст пояснювальної записки

- 1. Титульний аркуш.*
- 2. Завдання на ВКРБ.*
- 3. Реферат.*
- 4. Зміст.*

5. *Вступ.*
6. *Теоретична частина.*
7. *Проектно-конструкторська частина.*
8. *Технологічна частина.*
9. *Висновки.*
10. *Перелік джерел посилання.*
11. *Додатки.*

1.4.2 Графічні матеріали

1. *Графічна частина виконується в обсязі 2 ... 5 аркушів формату А1 і являє собою кресленики деталей і вузлів машини, виконані за допомогою САПР.*
2. *Презентація графічної частини.*

1.4.3 Додаткові матеріали

1. *Рецензія.*
2. *Відгук керівника роботи.*
3. *Подання голові екзаменаційної комісії щодо захисту дипломного роботи.*
4. *Доповідь на захист.*

1.5 Опис основних елементів кваліфікаційної роботи бакалавра

Титульний аркуш випускної роботи, містить назву вищого навчального закладу, кафедри, теми; спеціальності здобувача вищої освіти; найменування групи; прізвище, ім'я та по-батькові здобувача вищої освіти; посаду, прізвище, ім'я та по-батькові керівника та рецензента випускної роботи, рік її виконання (Додаток В).

Завдання на випускну роботу, яке видає керівник, містить вихідні дані для виконання роботи; її зміст у загальному вигляді; перелік демонстраційного матеріалу, який використовується при захисті роботи для ілюстрації отриманих результатів; календарний план виконання роботи та термін її подання в ЕК (Додаток Г).

Реферат стисло характеризує проведenu роботу і повинен містити:

– мету кваліфікаційної роботи бакалавра, використані методи та отримані результати (характеристики об'єкту проектування, нові якісні та кількісні показники, економічний ефект тощо);

– відомості про обсяг ПЗ, кількість ілюстрацій, таблиць, джерел в списку джерел посилання;

– перелік ключових слів, які характеризують зміст записки. Перелік повинен включати від 5 до 15 ключових слів у називному відмінку, викладених в рядок, через коми. Ключові слова в сукупності повинні поза текстом давати досить повне уявлення про зміст записки;

– текст реферату, в якому стисло описують прийняті в роботі технічні, організаційні та економічні рішення.

Оптимальний обсяг тексту реферату – 1200 знаків, але не більше 2000 знаків. Аркуш, на якому наведений реферат, не включається у зміст і не нумерується.

Зміст, в цей розділ необхідно вносити найменування розділів та підрозділів пояснювальної записки, перелік джерел посилання, додатки (кожен окремо, якщо їх декілька) і вказувати номер сторінки, на якій розміщено і починається документ, розділ або додаток.

Вступ повинен відображати актуальність і новизну кваліфікаційної роботи бакалавра та містити:

– стислу характеристику сучасного стану науково-технічної проблеми або питань, вирішенню яких присвячується випускна кваліфікаційна робота бакалавра, а також цілі і завдання роботи. У вступі слід чітко сформулювати новизну і актуальність теми випускної роботи бакалавра з позицій сучасного стану та тенденцій розвитку машинобудування.

– обґрунтування необхідності нової розробки або удосконалення (модернізації) існуючого об'єкта проектування на основі аналізу сучасного стану проблеми за даними вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури, патентного пошуку та досвіду роботи підприємств, установ, провідних фірм відповідної галузі виробництва, економіки або науки;

– обґрунтування основних проектних рішень або напрямів досліджень;

– можливі галузі застосування результатів випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.

Теоретична частина містить відомості щодо службового призначення та особливостей конструкції технологічного обладнання; дані про модернізацію або зміну конструктивних параметрів існуючого обладнання.

Під службовим призначенням технологічного обладнання мається на увазі максимально уточнену і чітко сформульовану задачу, для виконання якої призначається технологічне обладнання, що розглядається в бакалаврській роботі. Формулювання службового призначення технологічного обладнання має містити детальні відомості, які конкретизують загальну задачу і уточнюють умови, за яких ця задача буде виконуватись. До цих відомостей мають входити не тільки якісні, але й кількісні показники, які стосуються конкретних функцій, умов роботи обладнання тощо.

Теоретична частина формується в залежності від тематики роботи на основі консультивання з керівником.

Проектно-конструкторська частина випускної кваліфікаційної роботи бакалавра має включати в себе розрахунок та проектування деталі технологічного обладнання (на прикладі деталі «Вал» згідно з тематикою бакалаврської роботи) з подальшим виконанням її просторової геометричної моделі (в будь якій CAD системі) та робочого кресленника, відповідно діючим нормам конструювання, з урахуванням технологічності конструкції, технологічних можливостей підприємства-виробника та згідно вимог ЄСКД. Виконання розрахунків деталі технологічного обладнання на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість тощо. Детальна інформація наведена в розділі 2.

Технологічна частина.

Технологічна частина випускної кваліфікаційної роботи бакалавра має містити відомості про: тип виробництва деталі технологічного обладнання; метод отримання заготовки деталі та її кресленник; відомості щодо технологічного обладнання (верстати, різальні інструменти та оснащення з урахуванням закономірності процесу різання), що використовується для механічної обробки

деталі; визначення раціональних режимів різання для отримання заданої якості продукції відповідно теми кваліфікаційної роботи бакалавра. Детальна інформація наведена в розділі 3.

Висновки є заключною частиною випускної кваліфікаційної роботи бакалавра, підсумками прийнятих інженерних рішень виконаної роботи із зазначенням досягнутих результатів, визначенням перспектив їх покращення, пропозиціями щодо реалізації роботи. В тексті пояснювальної записки бакалаврської роботи рекомендується робити висновки після кожного розділу. У висновках по розділам рекомендується ставити задачі, які розв'язуються в наступному розділі роботи.

Перелік джерел посилання, розділ містить основні та додаткові джерела, які використовувалися для виконання бакалаврської роботи.

1.6 Оформлення графічних матеріалів

До складу графічних документів входять схеми і кресленики.

Вони повинні бути виконані відповідно стандартам, що діють, на цупкому папері формату А1 (594x841 мм), з рамками для основних і додаткових написів, олівцем чи комп'ютерним способом за допомогою графічних редакторів, що входять до складу відомих САПР.

На схемі у вигляді умовних зображень показують складові елементи системи, зв'язки між ними і необхідні пояснювальні написи. Пояснювальні написи, умовні позначення, скорочення розміщують на вільному полі аркуша (за можливістю над основним написом) і, у разі необхідності, зводять в таблицю.

Схеми бувають кінематичні, гідравлічні, електричні тощо. Їх виконують без дотримання масштабу. Дійсне просторове розташування частин устаткування або не враховується взагалі, або враховується приблизно. Зовнішні контури виконують відповідно конструкції кожного елемента чи пристрою. Зображення повинні бути спрощеними і роз'ясненими на схемах.

Кресленик деталі містить зображення деталі та інші дані для її виготовлення і контролю.

На креслениках має бути виконана мінімальна кількість проєкцій, розрізів, перерізів, які дають повне уявлення щодо місця розташування виробу, його зовнішнього вигляду, будови, ходи рухомих елементів, а також щодо конструкції кожного елемента і деталі, щодо координації і взаємодії елементів вузла і деталей в ньому. Нанесені на креслениках розміри, граничні відхилення, шорсткості поверхонь деталей, відомості щодо поверхневих покриттів, термічної і іншої видів обробки, технічні вимоги, основні написи тощо виконують згідно стандартів ЄСКД.

Кресленик деталі містить, окрім проєкцій, розрізів і перерізів, всі розміри, написи, вказівки, технічні вимоги, що дають можливість підібрати матеріал і виготовити деталь за цими даними. Кресленики необхідно виконувати в масштабі, що дозволяє побачити всю деталь без зайвих порожнеч і скупченості розмірів. Зображення деталі на кресленнику розташовують переважно в тому положенні, яке вони займають при обробці на верстаті.

Кресленик загального виду визначає конструкцію виробу та взаємодію його основних складових частин і пояснює принцип роботи виробу.

Кресленик загального виду повинен бути чітким і легко сприйматися. Його не потрібно захарашувати невеличкими деталями і елементами вузлів. Тому складанні одиниці показують спрощено. Гвинти та гайки зображують умовно, окрім тих, за допомогою яких окремі вузли кріпляться до рами, а рама – до підлоги. При цьому достатньо накреслити тільки по одному болту кожного типорозміру.

Кресленик загального виду повинен містити:

- зображення виробу, повне (або часткове) зображення конструкції, до якої цей виріб кріпиться;
- габаритні розміри – довжину, ширину і висоту;
- приєднувальні і монтажні розміри (розміри опорних поверхонь, діаметри і координати кріпильних отворів, відстані поміж осями складаних одиниць тощо);

– технічні вимоги до точності монтажу виробу (допустимі радіальні, осьові і кутові зміщення валів тощо);

– технічну характеристику виробу (навантаження і швидкості руху, потужності, що передаються тощо).

Складальний кресленик містить зображення складаної одиниці і інші дані, потрібні для її виготовлення й контролю.

Конструктивне зображення елементів на складальному кресленнику повинне забезпечити можливість розробки креслеників основних деталей.

Складальний кресленик повинен містити:

– зображення складаної одиниці, яке дає уявлення про розташування і взаємний зв'язок складових частин та забезпечує можливість виконання збирання і контролю;

– габаритні розміри – довжину, ширину і висоту;

– приєднувальні розміри: діаметри і довжини виступаючих кінців валів, розміри шпонок на них, координати і діаметри отворів, призначених для кріплення вузла тощо;

– основні розрахункові параметри, що характеризують вузол: міжосьові відстані, фокусні відстані, числа зубів коліс і їхні модулі тощо;

– спряжені розміри: діаметри і посадки на валах зубчастих і черв'ячних коліс, шківів, муфт підшипників, стаканів; позначення шліцьових з'єднань; розміри і посадки різьбових з'єднань; координати кріпильних отворів в корпусних деталях тощо;

– розміри, що входять до складу розмірних ланцюгів;

– вільні розміри (задають з урахуванням технології виготовлення і зручності контролю);

– технічну характеристику виробу: обертальний момент на тихохідному валу, частоту його обертання, загальне передаточне число, ступінь точності виготовлення основних деталей тощо;

– технічні вимоги (граничні відхилення розмірів, форми і взаємного, розташування поверхонь, які мають бути отримані при збиранні; вимоги до якості

поверхонь – покриття, обробка; вимоги до точності монтажу – допустимі осьові і радіальні зазори, биття; вимоги щодо регулювання і налаштування виробу; умови випробувань, транспортування і зберігання; особливі умови експлуатації тощо).

Крім того, складальні кресленики повинні містити всі необхідні розміри, вказівки, що обумовлюють умови збірки, регулювання і випробовування вузла, технічні умови, вузли і частини, що взаємно пов'язані і переміщуються. Сусідні вузли на складальному кресленнику показують тонкими лініями. Допускається неповне зображення цих вузлів і їх елементів. Обов'язковим є зображення крайніх положень рухомих частин.

Складальний кресленик доповнюють специфікацією, яка виконується згідно ДСТУ 3321-96 і є обов'язковим основним документом, який визначає структуру специфікованого виробу та розробленої на нього конструкторської документації. Її розробляють на кожен складану одиницю, комплекс і комплект на окремих аркушах формату А4 (рис. 1.1).

У загальному випадку специфікація складається з розділів в такій послідовності:

- 1) Документація;
- 2) Комплекси;
- 3) Складанні одиниці;
- 4) Деталі;
- 5) Стандартні вироби;
- 6) Інші вироби;

2. У графі «Зона» записують індекс зони, в якій міститься номер позиції, що позначає складову частину виробу. Цю графу заповнюють у тому разі, коли кресленик поділено на зони.

3. У графі «Поз.» (позиція) проставляють порядкові номери складових частин виробу в порядку зростання. Для розділів «Документація» і «Комплекти» графу не заповнюють.

4. У графі «Позначення» записують позначення основних конструкторських документів. Не заповнюють цю графу для розділів «Стандартні вироби», «Інші вироби» і «Матеріали».

5. У графі «Найменування» записують:

а) у розділі «Документація» – найменування документу; наприклад: «Складальний кресленик», «Габаритний кресленик», «Технічні умови» тощо;

б) у розділі "Комплекси", «Складанні одиниці», «Деталі» – їх найменування згідно з основним написом на креслениках цих виробів. Для деталей, на які не вироблені кресленики, показують не лише найменування, а й матеріали і розміри, за якими деталь виготовлена.

в) у розділі «Стандартні вироби» – найменування та позначення виробів відповідно стандартам на них. Вироби записують в алфавітному порядку найменування виробу.

г) у розділі «Інші вироби» – найменування та позначення виробів відповідно документам на їхнє постачання.

д) у розділі «Матеріали» – позначення матеріалів за відповідним стандартом. Записувати їх слід у такій послідовності: метали чорні, метали кольорові і сплави, пластмаси, паперові і текстильні матеріали та інші.

6. У графі «Кільк.» Записують кількість складових частин, що входять до однієї складанної одиниці виробу.

7. У графі «Примітка» показують додаткові дані, що стосуються виробів, документів і матеріалів, занесених до специфікації. Після кожного розділу специфікації залишають кілька вільних рядків.

На складальному кресленнику всі складові частини виробу нумерують згідно ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 [2] відповідно до номерів позицій, нанесених у специфікації виробу. Номера позицій проставляють на поличках ліній-винесень, які виконуються суцільними тонкими лініями і закінчуються потовщенням у вигляді точки. Лінії-винесення не повинні перетинатися між собою і не бути паралельними лініям штрихування розрізів і перерізів. Номери розташовують паралельно основному напису кресленника поза контуром зображення, групуючи їх у порядок або в колонку на одній лінії. Номера позицій слід проставляти на тому зображенні, на якому певна деталь проектується як видима, віддаючи при цьому перевагу основним видам або розрізам, розміщеним на їх місці.

Номер позиції проставляють на кресленнику, як правило, лише один раз. Цифри для номерів позицій мають бути на один-два розміри більшими за величину шрифту, вибраного на кресленнику для розмірних чисел.

Дозволяється проводити спільну лінію-винесення з вертикальним розташуванням номерів позицій для групи кріпильних деталей (болт, гайка, шайба, тощо), що належать до тієї самої точки кріплення (рис. 1.2 а), і для групи деталей з добре виявленим взаємозв'язком, якщо неможливо від кожної деталі провести окрему лінію-винесення. У цьому випадку лінію-винесення проводять від закріплювальної, складової частини (рис. 1.2 б).



Рисунок 1.2 – Приклад нанесення номерів позицій деталей на складальному кресленнику

Конструкторська документація повинна мати позначення, яке розміщують в рамці основного напису листа. Наприклад, для позначення складального кресленика рекомендується наступна структура:

РБ ХХХХ.ХХ.ХХХ.СК

РБ – робота бакалавра

де ХХХХ – шифр залікової книжки студента;

00 – шифр складаних одиниць;

000 – шифр деталей;

СК – скорочена назва графічного документа (згідно ДСТУ).

Скорочені назви документів кваліфікаційної роботи бакалавра наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Скорочені назви графічних документів

<i>Найменування документа</i>	<i>Скорочена назва</i>	
	<i>ЄСКД</i>	<i>кафедральний</i>
Схема компоновки		СХ
Складальний кресленик	СК	
Вид загальний	ВЗ	

Якщо масштаб окремих зображень відрізняється від того, що вказаний в основному написі, його вказують над даним зображенням.

1.7 Опис додаткових елементів кваліфікаційної роботи бакалавра

Рецензію на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра надає рецензент (Додаток Д). Рецензія складається у довільній формі із зазначенням: відповідності бакалаврської роботи затвердженій темі та завданню; актуальності теми; реальності дипломної роботи (її виконання на замовлення підприємств, організацій, за науковою тематикою кафедри, НДІ тощо); глибини техніко-економічного обґрунтування прийняття рішень; ступеня використання сучасних

досягнень науки, техніки, виробництва, інформаційних та інженерних технологій; оригінальності прийнятих рішень та отриманих результатів; правильності проведених розрахунків і конструкторсько-технологічних рішень; підтвердження прийнятих рішень; якості виконання пояснювальної записки, відповідності креслень вимогам ДСТУ, ЄСКД; можливості впровадження результатів дипломної роботи; недоліків дипломної роботи; оцінки дипломної роботи за 4-бальною системою і можливості присвоєння дипломнику відповідної кваліфікації (формулювання згідно з навчальним планом спеціальності).

Відгук керівника на роботу (Додаток Е) складається у довільній формі із зазначенням: головної мети випускної кваліфікаційної роботи бакалавра, в інтересах або на замовлення якої організації вона виконана (в рамках науково-дослідної роботи кафедри, підприємства, НДІ тощо); відповідності виконаної випускної кваліфікаційної роботи бакалавра завданню; ступеня самостійності при виконанні випускної кваліфікаційної роботи бакалавра; рівня підготовленості студента до прийняття сучасних рішень; умінь аналізувати необхідні літературні джерела, приймати правильні інженерні рішення, застосовувати сучасні системні та інформаційні технології, найбільш важливих теоретичних і практичних результатів, апробації їх (участь у конференціях, семінарах, оформлення патентів, публікація в наукових журналах тощо); загальної оцінки виконаної ВКРБ, відповідності якості підготовки студента вимогам ОКХ і можливості присвоєння йому відповідної кваліфікації; інші питання, які характеризують професійні якості здобувача вищої освіти).

1.8 Вимоги до оформлення пояснювальної записки

Рекомендований обсяг пояснювальної записки повинен бути в межах 40-60 сторінок.

Пояснювальна записка випускної кваліфікаційної роботи є текстовим документом, у якому міститься опис будови і принципу дії спроектованого виробу з обґрунтуванням всіх інженерно-технічних і техніко-економічних рішень,

прийнятих в процесі розробки виробу, та оформлюється згідно ДСТУ 3008:2015 [3].

Текст пояснювальної записки складається державною мовою в друкованому вигляді на аркушах формату А4 (210x297 мм) шрифтом Times New Roman 14 пунктів, з міжрядковим інтервалом 1,5.

Окремі слова та формули (створюються у редакторі Math Type) мають бути чорного кольору. Власні імена наводяться мовою оригіналу (при першому згадуванні обов'язково).

Структурні елементи: «РЕФЕРАТ», «ЗМІСТ», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ» не нумерують, а їх найменування є заголовками структурних елементів.

У розділів і підрозділів мають бути заголовки. Пункти і підпункти можуть мати заголовки.

Заголовки структурних елементів і розділів необхідно розміщувати з абзацного відступу і друкувати великими літерами без крапки в кінці. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів необхідно розміщувати з абзацного відступу і друкувати з великої літери без крапки в кінці. Відстань між заголовком та наступним або попереднім текстом має бути не менше ніж два міжрядкових інтервали. Не можна розміщувати заголовок у нижній частині сторінки, якщо після нього залишається тільки один рядок тексту.

Абзацний відступ має бути однаковий упродовж усього тексту й дорівнювати п'яти знакам.

Розділи, підрозділи, пункти і підпункти нумеруються арабськими цифрами. Номер підрозділу складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу, розділених крапкою, наприклад, 1.1, 1.2 і т. д. Номер пункту складається з номера розділу, номера підрозділу (якщо він є) і порядкового номера пункту, розділених крапками тощо. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад, «1.1 Методика розрахунку».

Сторінки випускної кваліфікаційної роботи нумеруються арабськими цифрами в правому верхньому куті аркуша зі збереженням наскрізної нумерації

усього тексту. Титульний аркуш також включають до нумерації, але номер сторінки не ставлять.

Ілюстрації необхідно розміщувати безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації (власні та запозичені) мають бути посилання в тексті пояснювальної записки.

Ілюстрації нумеруються арабськими цифрами в межах розділу та називаються «Рисунок», що разом з назвою ілюстрації (у разі необхідності) розміщується під рисунком посередині рядка, наприклад, «Рисунок 3.2 – Схема розміщення» (другий рисунок третього розділу).

Рисунок виконують на одній сторінці аркуша. Якщо він не вміщується на одній сторінці, його можна переносити на наступні сторінки. У такому разі назву рисунка зазначають лише на першій сторінці, пояснювальні дані – на тих сторінках, яких вони стосуються, і під ними друкують: «Рисунок _____, аркуш _____».

Цифровий матеріал, як правило, зводять до таблиць. Таблицю слід розміщувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті пояснювальної записки.

Таблиці нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім таблиць у додатках.

Дозволено таблиці нумерувати в межах розділу. У цьому разі номер таблиці складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, «Таблиця 2.1» — перша таблиця другого розділу.

Таблиці кожного додатка нумерують окремо. Номер таблиці додатка складається з позначення додатка та порядкового номера таблиці в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Таблиця В.1 — Назва таблиці», тобто перша таблиця додатка В.

Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу.

Якщо рядки або колонки таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під іншою або поруч, чи переносять частину таблиці на наступну сторінку. У кожній частині таблиці

повторюють її головку та боковик. У разі поділу таблиці на частини дозволено її головку чи боковик замінити відповідно номерами колонок або рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами в першій частині таблиці.

Слово «Таблиця» подають лише один раз над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують «Продовження таблиці» або «Кінець таблиці ____» без повторення її назви.

Формули та рівняння наводять безпосередньо після тексту, у якому вони згадуються, посередині рядка. Найвище та найнижче розташування запису формул(и) та/чи рівняння(-нь) має бути на відстані не менше ніж один рядок від попереднього й наступного тексту. Можливе розміщення рівнянь в таблиці з двох стовпчиків: в першому розташовують формулу (вирівняти по центру); в другому, меншому, розташовують номер формули (вирівняти по правому краю).

Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера, розділених крапкою. Формули та рівняння, крім формул і рівнянь у додатках, треба нумерувати наскрізно арабськими цифрами.

Номер формули чи рівняння друкують на їх рівні праворуч у крайньому положенні в круглих дужках, наприклад (3). У багаторядкових формулах або рівняннях їхній номер проставляють на рівні останнього рядка.

У кожному додатку номер формули чи рівняння складається з великої літери, що позначає додаток, і порядкового номера формули або рівняння в цьому додатку, відокремлених крапкою, наприклад (А.3).

Формула має бути набрана редакторі MathType.

Пояснення символів та числових коефіцієнтів формул слід наводити безпосередньо під формулою без абзацного відступу з нового рядка, в тій самій послідовності, у якій вони подані у формулі. Перший рядок пояснення починають словом «де» без двокрапки. Пояснення кожного символу необхідно починати з нового рядка, які рекомендовано вирівнювати у вертикальному напрямку.

Додатки потрібно розміщувати в порядку появи посилань на них у тексті. Кожен додаток має починатися з нової сторінки. Додатки позначають великими літерами (А, Б, В). Наприклад, «Додаток А». Додатки повинні мати спільну з

іншою частиною роботи наскрізну нумерацію сторінок. У разі необхідності текст додатка можна поділити на розділи, підрозділи і пункти (наприклад, Г.4.1.3 – пункт 4.1.3 додатка Г). Ілюстрації, таблиці, формули і рівняння необхідно нумерувати в межах кожного додатка (наприклад, рисунок Е.3, таблиця Б.2)

Перелік джерел, на які є посилання, оформлюють згідно ДСТУ 8302:2015 [4] і наводять у кінці тексту пояснювальної записки перед додатками на наступній сторінці.

У переліку джерел посилання бібліографічні описи подають у порядку, за яким джерела вперше згадують у тексті. Порядкові номери бібліографічних описів у переліку джерел мають відповідати посиланням на них у тексті звіту (номерні посилання).

Посилання в тексті на джерела необхідно вказувати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками.

Виклад змісту пояснювальної записки має бути коротким, чітким, таким, що унеможливило б суб'єктивне тлумачення. Термінологія і визначення мають бути єдиними і відповідати встановленим стандартам чи загальноприйнятими в науково-технічній літературі.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Завдання до проектно-конструкторської частини

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. 2.1) та розрахункова схема валу (рис. 2.2). Також згідно варіанту (табл. 2.1) задаються: тип електродвигуна; передана потужність; номінальна частота обертання електродвигуна; діаметри ведучого та веденого шківів.

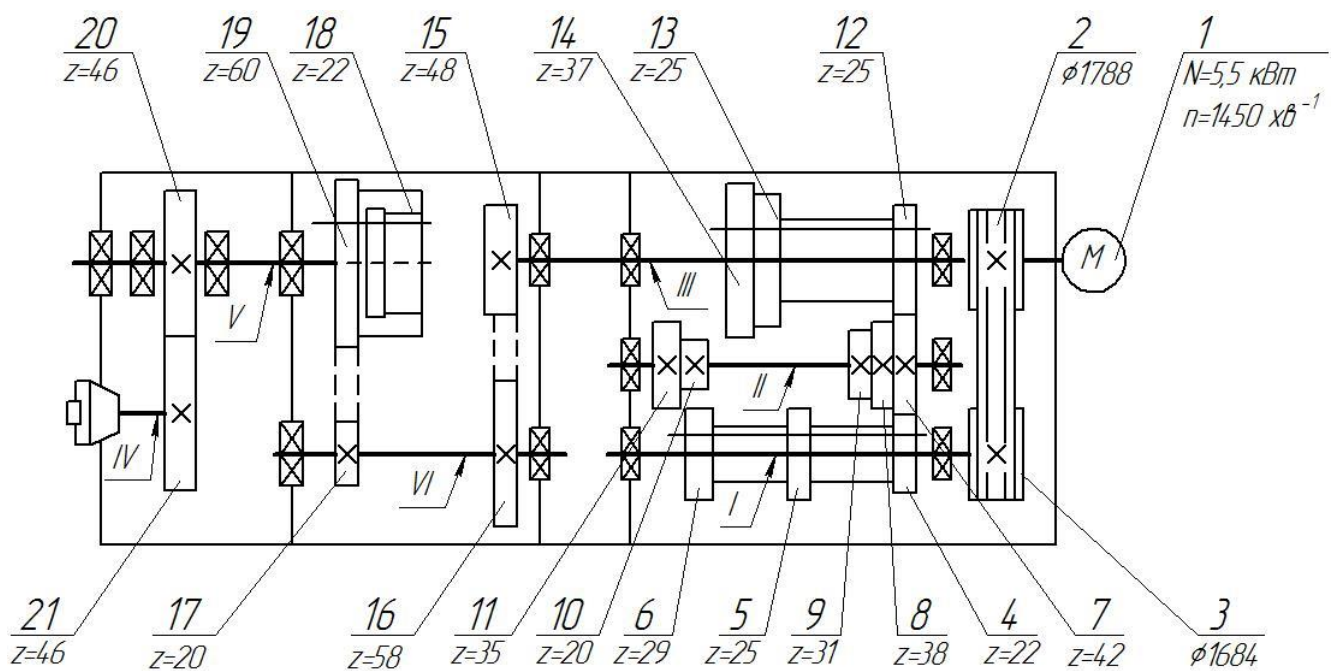


Рисунок 2.1 – Принципова кінематична схема привода головного руху

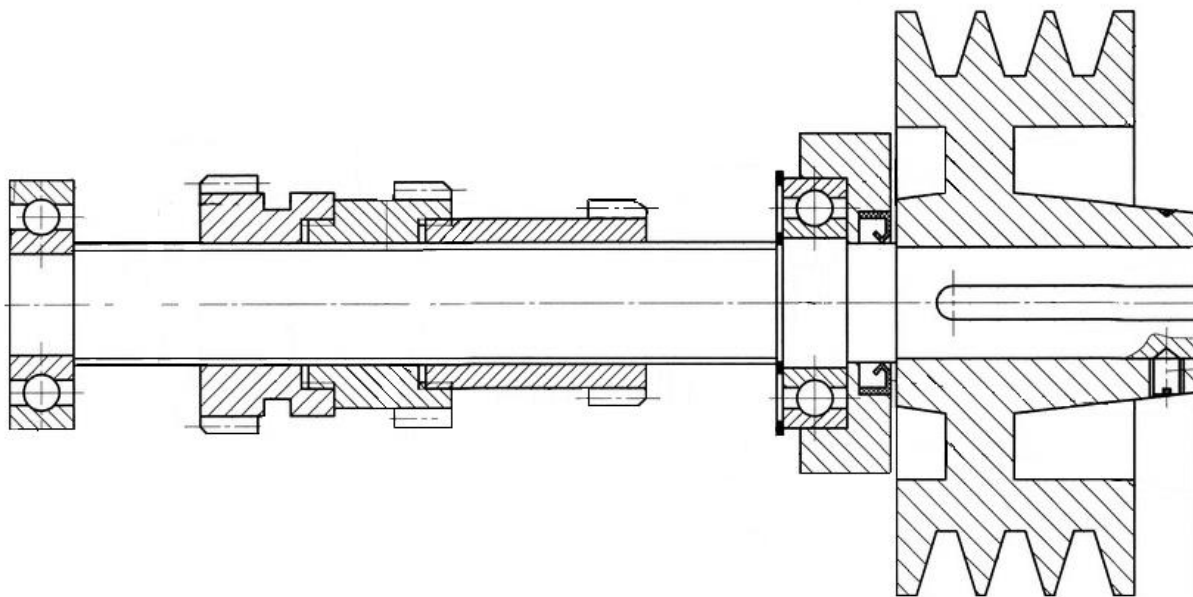


Рисунок 2.2 – Ескіз вузла «Вал»

Таблиця 2.1 – Варіанти вхідних даних

Варіант	Тип електродвигуна	Передана потужність електродвигуна, N , кВт	Номінальна частота обертання електродвигуна, n , хв^{-1}	Діаметр ведучого шківa, d_{p1} , мм	Діаметр веденого шківa, d_{p2} , мм
1	V112S	4,1	1450	90	225
2	V112S	5,5	1500	100	200
3	V112M	5,5	1000	112	280
4	V112M	7,5	1500	140	420
5	V112L	7,5	1000	125	250
6	V112L	11,0	1500	200	400
7	V132S	15,0	1500	200	600
8	V132M	11,0	1000	224	336
9	V160S	11,0	500	180	360
10	V160Д	15,0	500	250	375
11	2ПН100L	2,2	3000	90	180
12	2ПН112M	2,5	2200	100	225

Продовження таблиці 2.1

Варіант	Тип електродвигуна	Передана потужність електродвигуна, $N, кВт$	Номінальна частота обертання електродвигуна, $n, хв^{-1}$	Діаметр ведучого шківа, $d_{p1}, мм$	Діаметр веденого шківа, $d_{p2}, мм$
13	2ПН112М	3,6	3150	125	375
14	2ПН112L	2,2	1500	100	250
15	2ПН112L	3,4	2240	140	280
16	2ПН112L	5,3	3000	160	320
17	4А90L2	3	3000	140	210
18	4А100S2	4	3000	160	320
19	4А100L2	5,5	3000	160	240
20	4А112М2	7,5	3000	200	300

Примітки: *електродвигун постійного струму з двозонним регулюванням серії V* з діапазоном потужностей 3,7 ... 45 кВт призначений для приводів головного руху металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням.

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

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

2.2 Методика проектування валу приводу технологічного обладнання

2.2.1 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 вісі вали призначені для підтримки деталей машин, що обертаються. На валах встановлюють зубчасті колеса, шків, зірочки та інші деталі машин, що обертаються. При роботі вал зазнає деформацій 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 поділяються на суцільні та порожнисті (з осьовим отвором).

По зовнішньому контуру поперечного перерізу вали поділяють 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 спрямуванням 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, до того ж, 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;

Тому форма валу має бути погоджена в кожному випадку з названими чинниками, які частково відомі заздалегідь, частково вибираються в процесі проектування вузла (рис. 2.3).

При виборі форми валу рекомендується користуватися такими загальними правилами:

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

2) висота буртику t , (рис. 2.3, 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 його слід виготовляти із проточками між посадками (рис. 2.3, а).

Перехідні ділянки валу між двома рівнями різних діаметрів виконуються у вигляді: 1) канавок для виходу шліфувальних кругів; 2) галтелей постійного радіусу ρ .

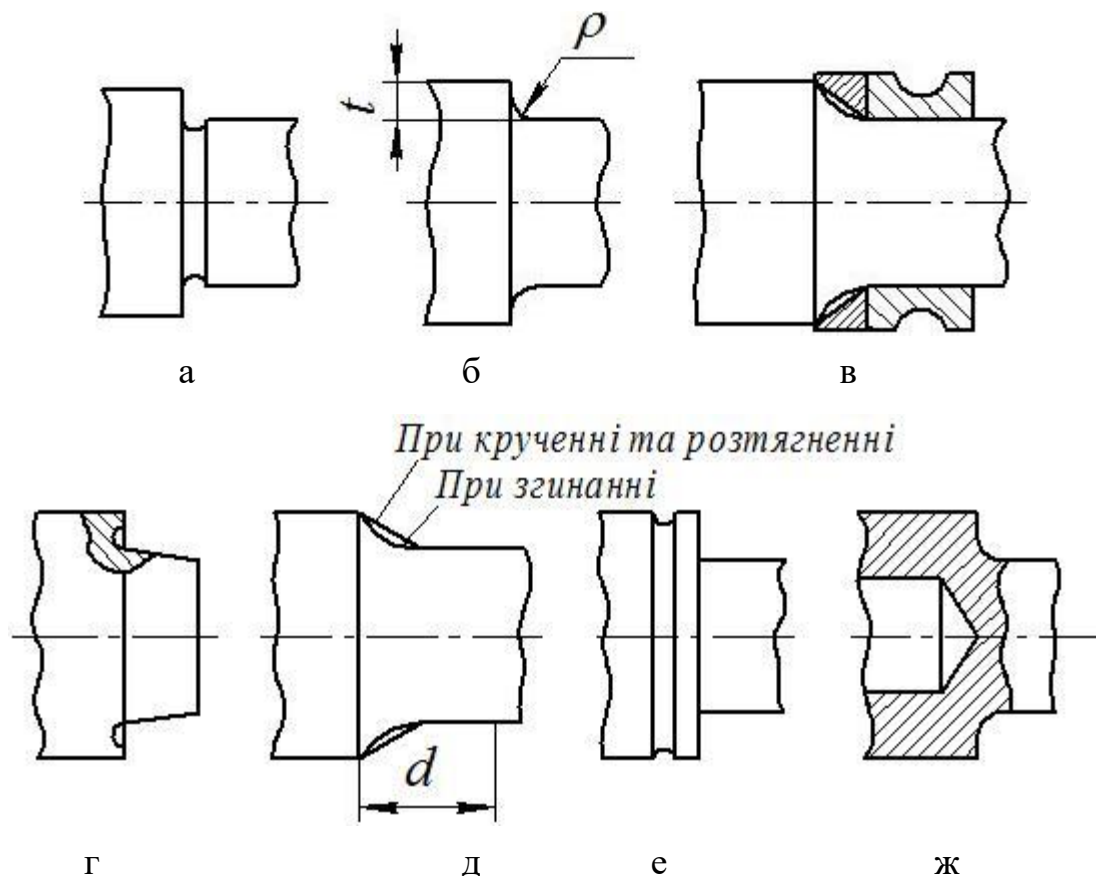


Рисунок 2.3 – Варіанти перехідних ділянок у ступінчастих валів

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; ρ – радіус закруглення галтелей.

Багато, аби радіус заокруглення у високонавантажених валів був більший або дорівнював $0,1 \cdot d$. Коли радіус галтелі обмежується радіусом заокруглення кромки насаджуваних деталей, ставлять кільця (рис. 2.3, 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. 2.3, г), що дозволяє збільшити довжину базування маточин. Крім того, піднутрення буртику зменшує його жорсткість і, як наслідок, знижує концентрацію напруги на цій ділянці валу.

Галтель оптимальної форми можливо підібрати на довжині $(0,75...1) \cdot d$ (рис. 2.3, д), аби практично позбавитися концентрації напруги. Таку форму можна використовувати на вільних ділянках високонавантажених валів.

Розвантажувальні канавки (рис. 2.3, 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 напруженнями 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 [5].

Якщо вал обертається в підшипниках кочення, то в особливій твердості шийок необхідності немає, і достатнє поліпшення (загартовування з високим відпуском). У подібних випадках доцільно використовувати Сталь 45 ДСТУ 7809:2015 [6] із гартуванням і відпуском до НВ=230...260, або Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015 [7] 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 [7]). 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 зміцненого шару (0,2...0,5 мм).

Для важконавантажених валів, які повинні мати разом з високою зносостійкістю ще й високу міцність, використовуються цементовані сталі – хромонікелеві 12ХНЗА, 13ХНЗА, 18ХНЗА тощо ДСТУ 7806:2015 [7], 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).

2.2.2 Проектно-конструкторські розрахунки

В процесі проектування валу розрізняють проектний та перевірочний розрахунки валів. Перевірочні розрахунки виконуються після розробки конструкції

валу і виявлення імовірно небезпечних перерізів (при виконанні бакалаврської роботи не розглядається).

Проектний розрахунок валу

Проектний 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 , xv^{-1} та визначається як:

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

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, $MПа$.

Для сталевих валів приймають: $[\tau]_k = 20 \dots 35 MПа$ при визначенні діаметра кінця вхідного (вихідного) валу; $[\tau]_k = 12 \dots 20 MПа$ – для діаметра ділянки проміжного валу в місці установки зубчастого колеса. Отриманий діаметр валу округляють до найближчого значення з ряду нормальних лінійних розмірів, ДСТУ 2500-94 [8]. Стандартний ряд діаметрів валів згідно ДСТУ 2500-94 [8]: 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 визначаються при розробці конструкції валу з урахуванням їхнього функціонального призначення, технології виготовлення і складання вузла.

Після визначення діаметра валу розробляють його конструкцію. Залежно від способу передачі руху від одного валу до іншого можна використовувати співвідношення для визначення розмірів ступенів валу, наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Співвідношення між ступенями валів

Ступень валу та її розміри d, l		Вал-шестерня конічна	Вал-шестерня циліндрична	Вал-черв'як	Вал колеса
Перша. Під елемент відкритої передачі або півмуфту	d_1	$d_1 = 10 \cdot \sqrt[3]{T / (0,2 \cdot [\tau])}$			
	l_1	$l_1 = (0,8 \dots 1,5)d_1$ – під зірочку; $l_1 = (1,2 \dots 1,5)d_1$ – під шків $l_1 = (1 \dots 1,5)d_1$ – під шестерню; $l_1 = (1 \dots 1,5)d_1$ – під півмуфту			
Друга. Під ущільнення кришки з отвором і підшипник	d_2	$d_2 = d_1 + 2 \cdot t$ – під ущільнення	$d_2 = d_1 + 2 \cdot t$		
	l_2	$l_2 = 0,6 d_2$ – під ущільнення	$l_2 = 1,5 d_2$	$l_2 = 2 d_2$	$l_2 = 1,25 d_2$
Третя. Під шестерню, колесо	d_3	$d_3 = d_2 + 3,2 \cdot r$ – ймовірно $d_3 \leq d_{f\ell 1}; d_3 > d_{f\ell 1}$	$d_3 = d_2 + 3,2 \cdot r$ ймовірно $d_3 \leq d_{f1}$ при $d_3 > d_{a1}$ прийняти $d_3 = d_{a1}$		$d_3 = d_2 + 3,2 \cdot r$
	l_3	l_3 – визначити графічно за ескізним компонованням			
Четверта. Під підшипник	d_4	$d_4 = d_3 + (2 \dots 4) \text{ мм}$	$d_4 = d_2$		
	l_4	l_4 – визначити графічно	$l_4 = B + c$ – для кулькових підшипників $l_4 = T + c$ – для роликових підшипників		
П'ята. Упорна або під різьблення	d_5	d_5 в залежності від d_2 (табл. 2.2)	Не підлягає конструюванню		$d_5 = d_3 + 3f$
	l_5	$l_5 = 0,4 d_4$			l_5 визначити графічно

Перша ступень 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. 2.4) та їх значення (табл. 2.3) вибираються згідно ДСТУ ISO 22:2009 [9].

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.

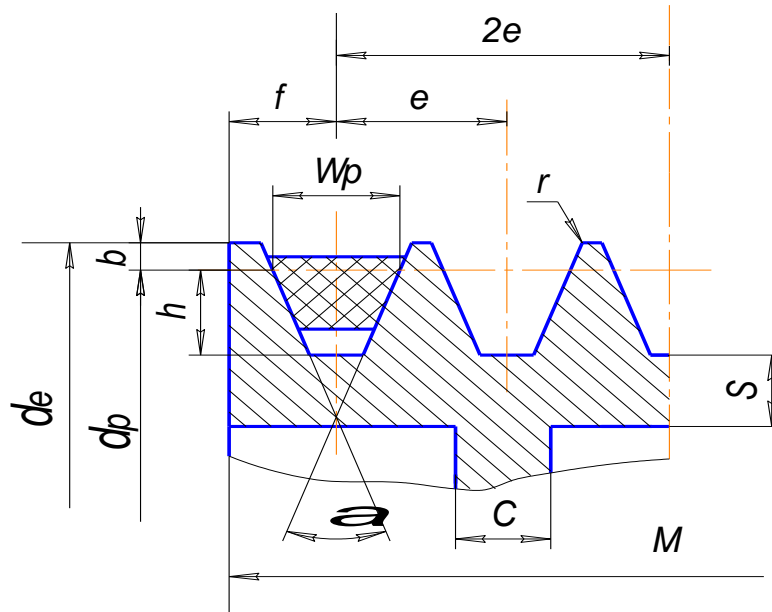


Рисунок 2.4 – Профіль шківів клинопасової передачі

Таблиця 2.3 – Розміри профіля шківів

Переріз ременю	W_p	b (min)	h (min)	e		f		r
				Номін. значення	Граничне відх.	Номін. значення	Гран. відх.	
Z(O)	8,5	2,5	7,0	12,0	±0,3	8,0	±1,0	0,5
A	11,0	3,3	8,7	15,0	±0,3	10,0	+2;-1	1,0
B(B)	14,0	4,2	10,8	19,0	±0,4	12,5	+2;-1	1,0
C(B)	19,0	5,7	14,3	25,5	±0,5	17,0	+2;-1	1,5

Стандартний ряд розрахункових діаметрів шківів згідно ДСТУ ISO 22:2009 [9]: 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200 мм.

Діаметри і довжини інших ступеней 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 ступеней прийняти згідно ДСТУ 2500-94 [8].

Найбільше поширення серед підшипників кочення в опорних вузлах валів металорізальних верстатів отримали кулькові радіальні однорядні, 0000 (ДСТУ ГОСТ 8338:2008 [10]) і кулькові радіальні дворядні сферичні, 1000, (ДСТУ ГОСТ 24696:2008 [11]) підшипники. Для цих підшипників основним навантаженням є радіальна сила (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 за діаметром цапфи валу, який вже сконструйований. Вибрані підшипники потім перевіряються розрахунком за відповідним критерієм працездатності. Як правило, це критерій динамічної вантажопідйомності, методика та приклад розрахунку наведений в підручнику [12].

При розрахунку діаметрів ступеней валу значення висоти буртику t , орієнтовні величини фаски маточини f і координати фаски внутрішнього кільця підшипника r (рис. 2.5, а, б) визначаються в залежності від діаметра відповідної ступені d (суміжної з ним ділянки) (табл. 2.4). Сполучення шліфованої циліндричної поверхні валу з торцевою поверхнею виконується в двох варіантах:

1 – з галтеллю радіусом r (рис. 2.5, а);

2 – з канавкою для виходу шліфувального круга (ГОСТ 8820-69 [13]; рис. 2.5, б).

Тут під d розуміється відомий діаметр на валу, через який обчислюється діаметр суміжної з ним ділянки. З цієї ж таблиці можна брати значення f і r для

інших деталей (маточин коліс, кришок підшипників, стаканів тощо), де вони не визначені своїми нормами.

Таблиця 2.4 – Розміри перехідних ділянок

d	17...24	25...30	32...40	42...50	52...60	62...70	71...85
t	2	2,2	2,5	2,8	3	3,3	3,5
r	1,6	2	2,5	3	3	3,5	3,5
f	1	1	1,2	1,6	2	2	2,5

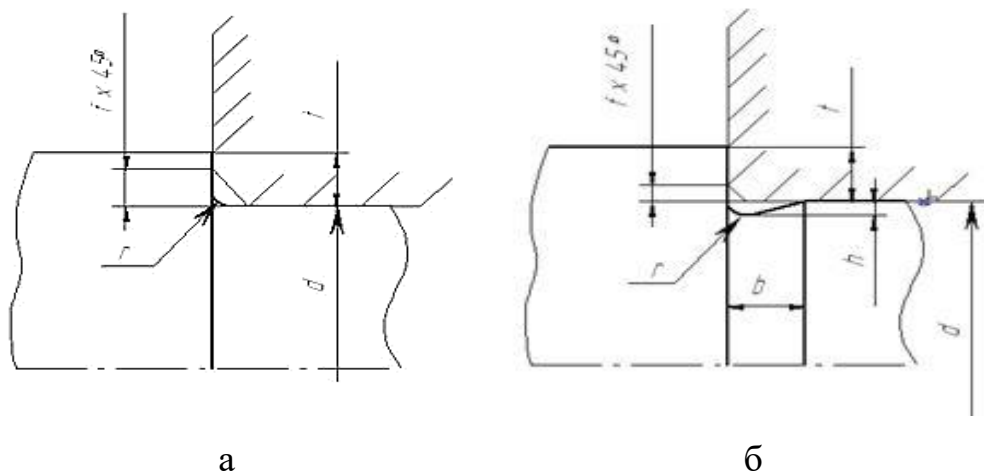


Рисунок 2.5 – Перехідні ділянки: а) галтель; б) канавка

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 легкої та середньої 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_p (d_2 , d_4) треба узгоджувати як з підшипниками, так і з ущільненням валу (ДСТУ ISO 16589-1:2006 [14]).

Для проміжних валів коробок передач металорізальних верстатів, які не мають кінцевих ділянок, обчислене орієнтовне значення d призначається на ділянці

посадки зубчастого колеса. Діаметр підшипник $d_p < d$ з округленням до найближчого діаметра обраного типу підшипника кочення.

Перевірочний розрахунок обраної конструкції здійснюється за методикою, викладеною у підручнику [12].

2.3 Методика розробки тривимірних моделей та креслень

У креслениках 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 уточнення одиниці виміру.

Кресленик заготовки виконується за допомогою CAD системи. Рекомендується автоматична генерація кресленика 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 ДСТУ ГОСТ 24071:2005 (ISO 3912:1977) [15], для вибору геометричних параметрів проточки – ДСТУ 2691-94 [16]. Допуски форми та розташування поверхонь вказуються на креслениках відповідно ДСТУ ISO 286-1-2002 [17].

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

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 кресленики 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 CAD 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 САД 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 САД системі важкого класу Creo Parametric [18].

2.3.1 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* (рис. 2.6).

Далі слід визначити головну систему одиниць вимірів 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)* (рис. 2.7). Замініть дюйми – фунти – метри за секунду на міліметри – кілограми – метри за секунду.

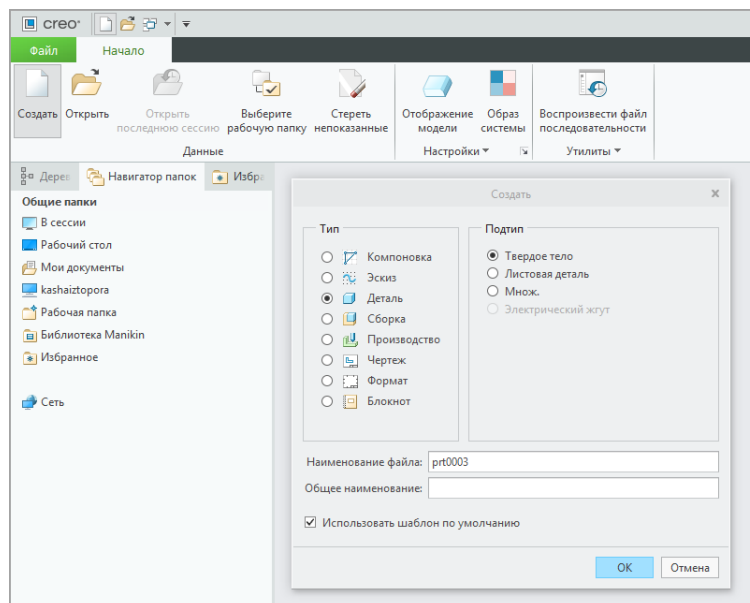


Рисунок 2.6 – Меню створення документа

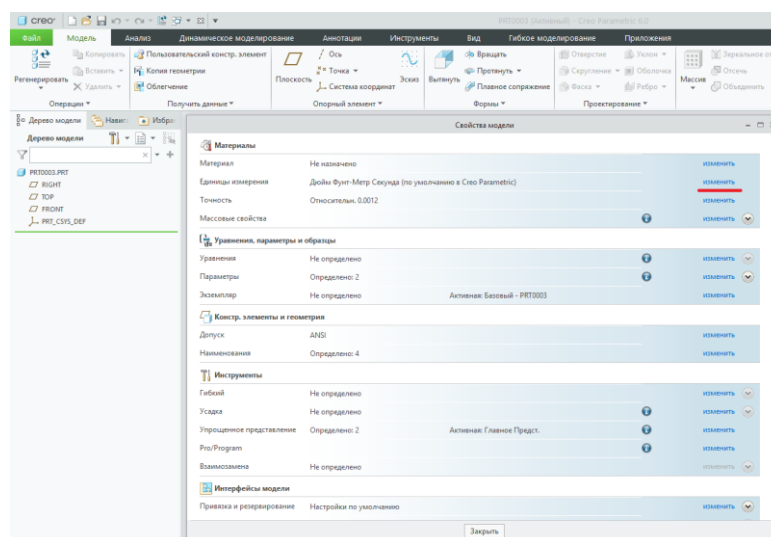



Рисунок 2.7 – Меню параметрів моделі

2.3.2 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 (рис. 2.8). Відкриється вкладка *Ескіз (Sketch)*.

На панелі графічних інструментів клацніть значок *Вид ескізу (Sketch View)* 

. Вид стане паралельним площині ескізу:

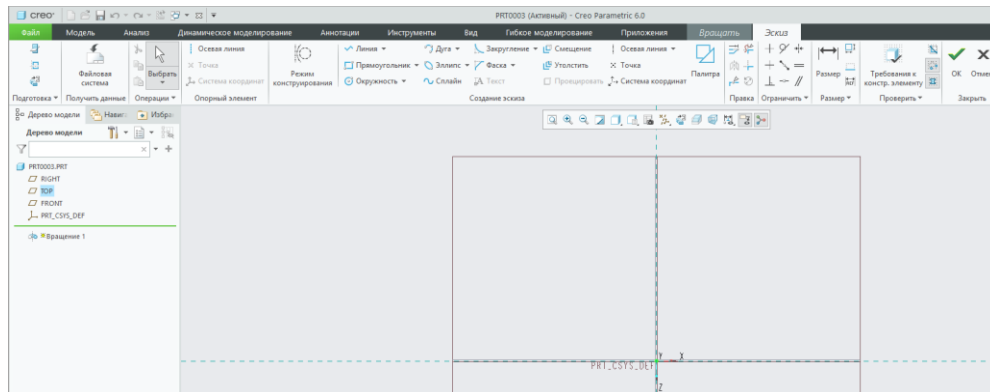





Рисунок 2.8 – Вибір площини для ескізу

Натисніть команду  *Осьова лінія (Centerline)* у групі *Опорний елемент (Datum)*.

Натисніть у будь-якому місці горизонтальної пунктирної лінії, щоб визначити початок осьової лінії.

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

Натисніть команду  *Лінія (Line)* у групі *Створення* в групі *Створення ескізу (Sketching)*.

Створіть ескіз перетину валу відповідно заданим розмірам (рис. 2.9). Ескіз спочатку виконують із приблизними розмірами, які потім корегують у такий спосіб: натисніть команду  *Розмір (Dimension)* у групі *Розмір (Dimension)*. У графічному вікні з'являться розміри для ескізу.

Двічі натисніть наявні розміри й скорегуйте їхні значення.

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

Розмір між двома елементами, наприклад, точками або лініями, встановлюють у такий спосіб: виділіть два елементи лівою кнопкою миші при

натиснутій клавіші *Shift*, а потім натисніть середньою кнопкою миші по місцю, де буде відображений розмір.

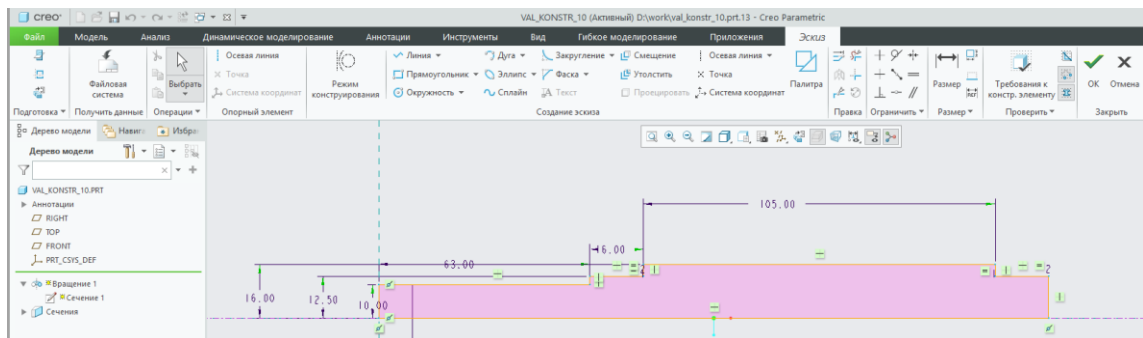


Рисунок 2.9 – Ескіз із розмірами для операції обертання

Натисніть правою кнопкою миші у графічному вікні й виберіть *Зберегти ескіз і вийти (Save the sketch and exit)*.

На вкладці *Обертати (Revolve)* клацніть  (рис. 2.10).

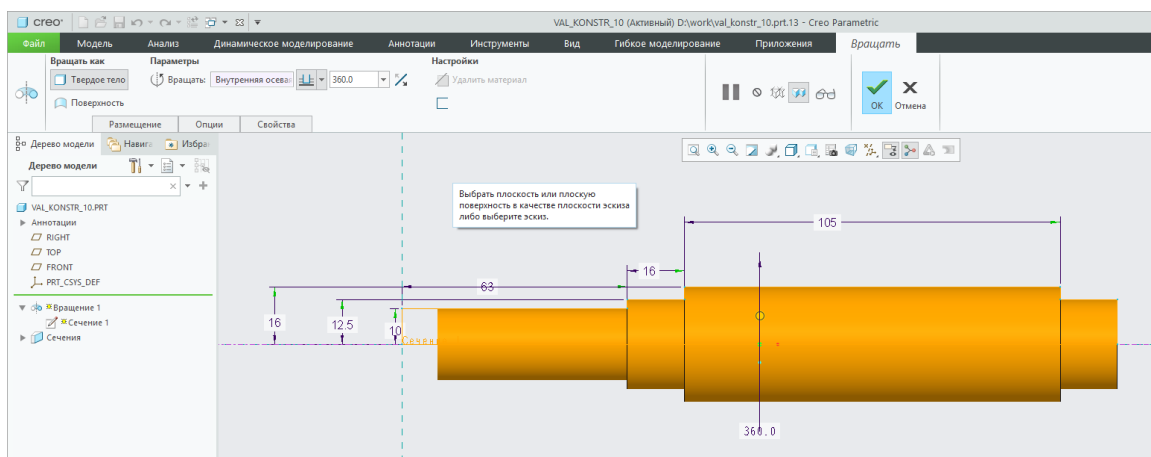



Рисунок 2.10 – Операція обертання

2.3.3 Створення шпонкових пазів

Для шпонкового паза потрібно створити опорну площину.

Для цього натисніть на вкладці *Модель (Model)* > команду  *Площина (Plane)* (рис. 2.11). Відкриється діалогове вікно *Опорна площина (Datum Plane)*.

Натисніть колектор *Прив'язки (References)* і оберіть у графічному вікні прив'язки розміщення для нової опорної площини.

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

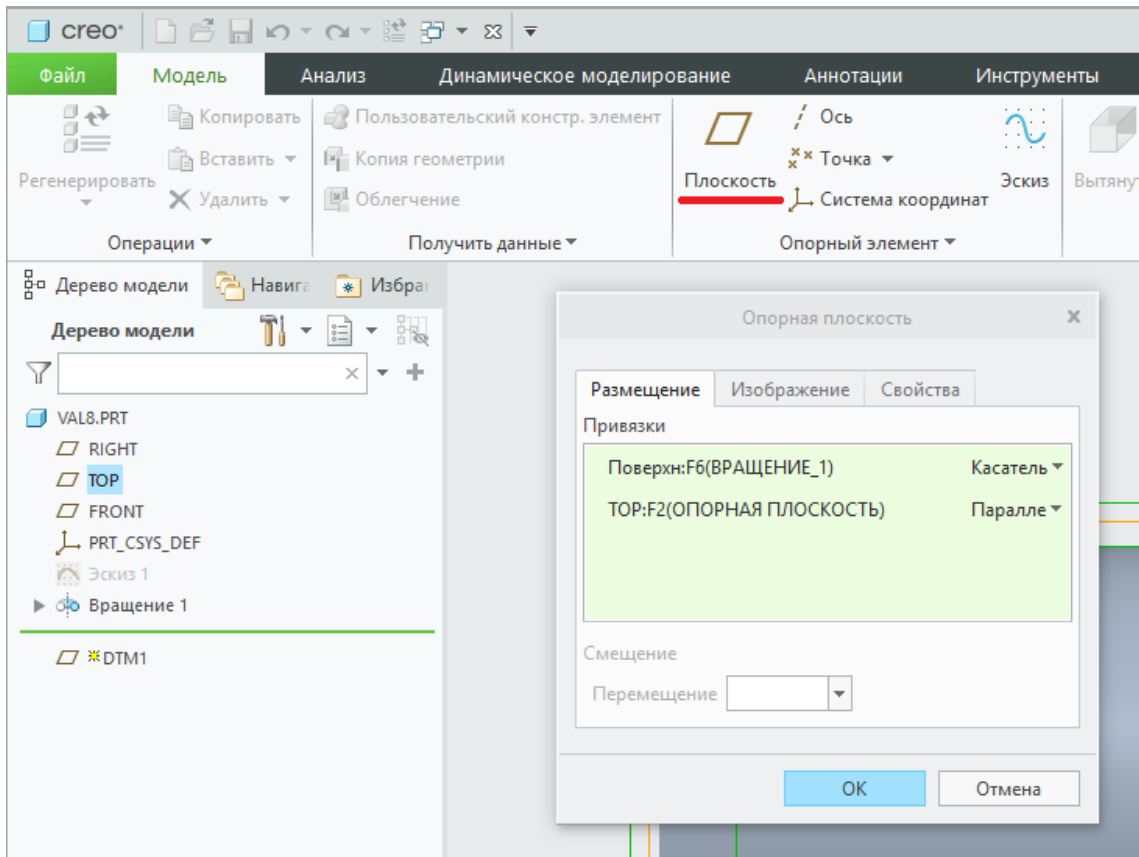






Рисунок 2.11 – Створення опорної площини

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

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


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

Щоб створити ескіз кола, виконайте наступні дії.

На вкладці *Ескіз (Sketch)* натисніть команду  *Центр і точка (Center and Point)* у групі *Створення ескізу (Sketching)*.

Щоб визначити центр кола, наведіть покажчик на точку або перетин ліній і натисніть.

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

Щоб вийти з інструмента *Створення ескізу*  *Центр і точка (Center and Point)*, двічі натисніть середньою кнопкою миші. З'явиться розмір діаметра.

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

Для видалення зайвих внутрішніх дуг кола потрібно скористатися інструментом *Вилучити сегмент* (рис. 2.12) групи *Виправлення* панелі *Ескіз* у такий спосіб: вибрати інструмент, підвести курсор до лінії, що видаляється, затиснути ліву клавішу миші та перетнути лінію.

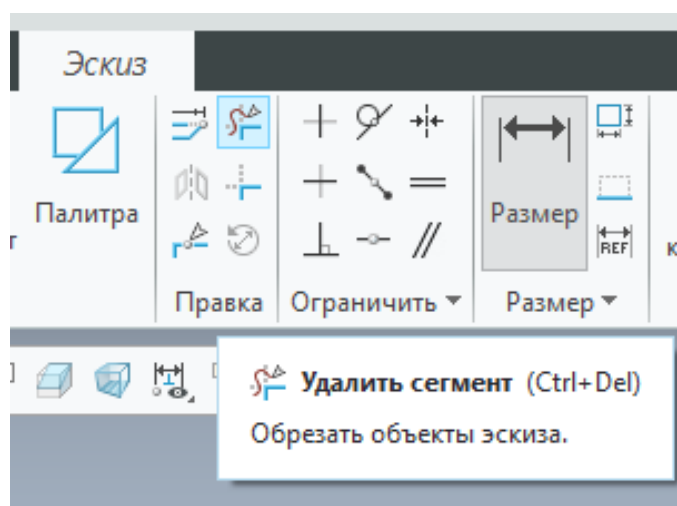



Рисунок 2.12 – Інструмент видалення зайвих ліній

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

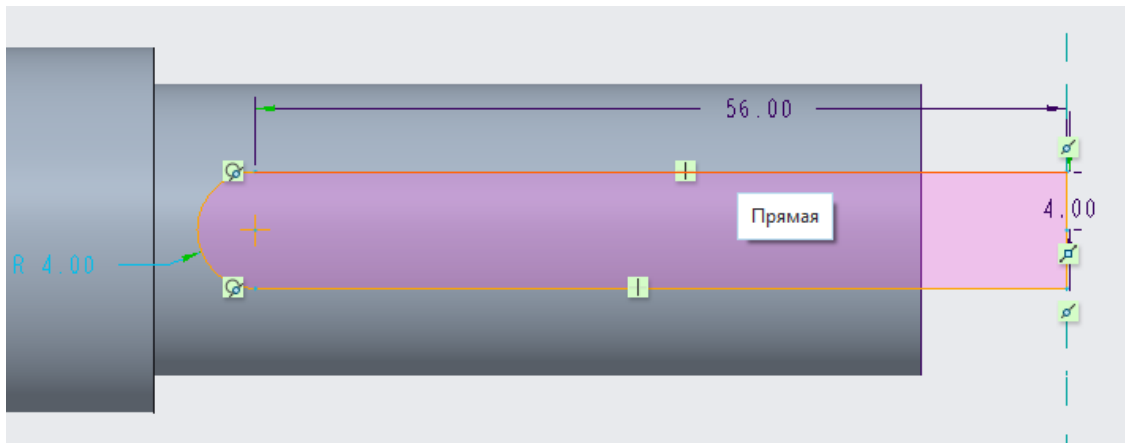


Рисунок 2.13 – Ескіз шпонкового пазу

На вкладці *Витягнути (Extrude)* змініть значення глибини на потрібне та натисніть клавішу *ENTER* (рис. 2.14).

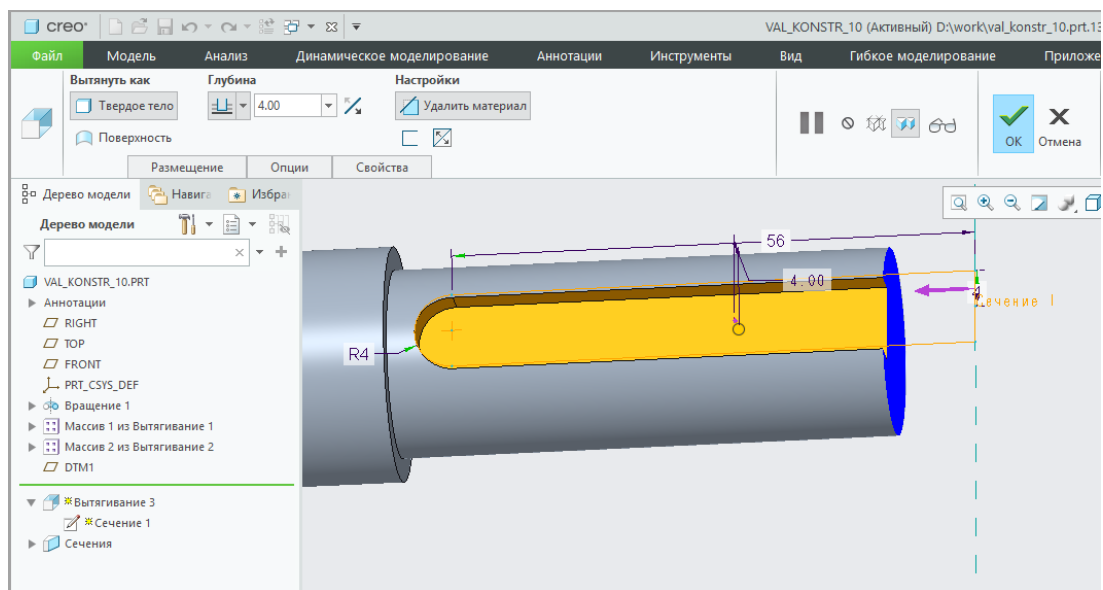



Рисунок 2.14 – Операція створення шпонкового пазу

На вкладці *Витягнути (Extrude)* натисніть команду .

2.3.4 Створення шліців

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

Для формування зуба побудуйте ескіз (рис. 2.15) на перпендикулярній до вісі валу площині й застосуйте до нього операцію витягування.

Далі зуб слід розмножити.

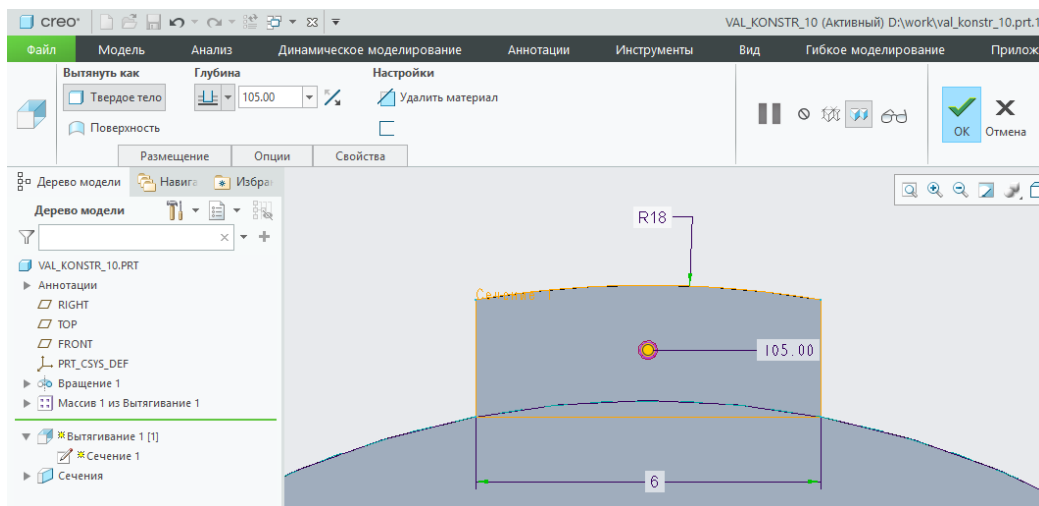



Рисунок 2.15 – Операція створення основи зуба шліців

Виберіть створену операцію витягування зуба у дереві моделі та натисніть на вкладці *Модель (Model)* >  *Массив (Pattern)*. Відкриється вкладка *Массив (Pattern)*.


Оберіть *Вісь (Axis)* зі списку типів масивів. Відкриється вікно опцій осевого масиву.


Оберіть або створіть базову вісь, яка повинна бути центром масиву. Відобразиться попередній перегляд масиву за замовчуванням з кутовим напрямком, елементи якого позначені чорними точками.

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

Для установки відстані між елементами масиву введіть у поле кут між елементами масиву (рис. 2.16).

Щоб додати елементи масиву в кутовому напрямку, введіть кількість елементів у поле 2.

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

Натисніть команду . Масив буде створений. Для спрощення ескізів створення фасок і вирізів на шліцах винесені в окрему операцію (рис. 2.17). Отримані елементи також слід розмножити за допомогою кругового масиву.

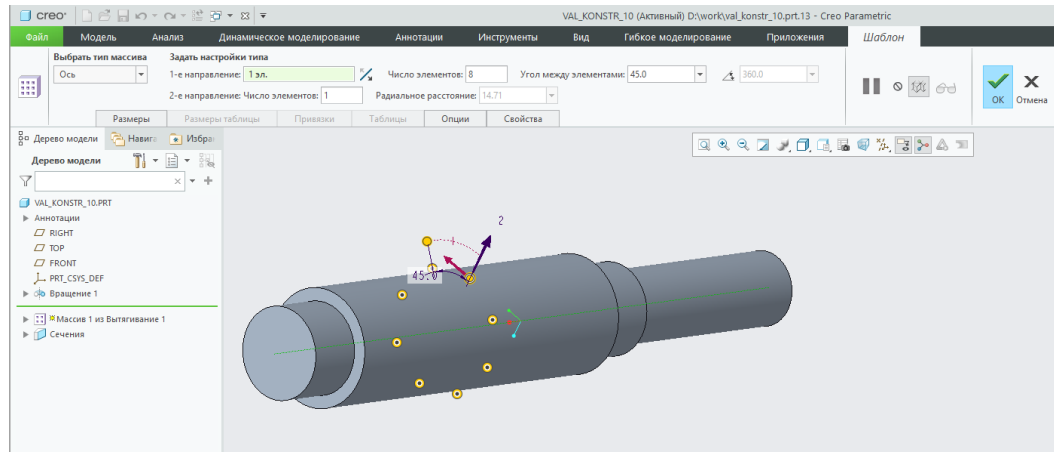


Рисунок 2.16 – Створення кругового масиву

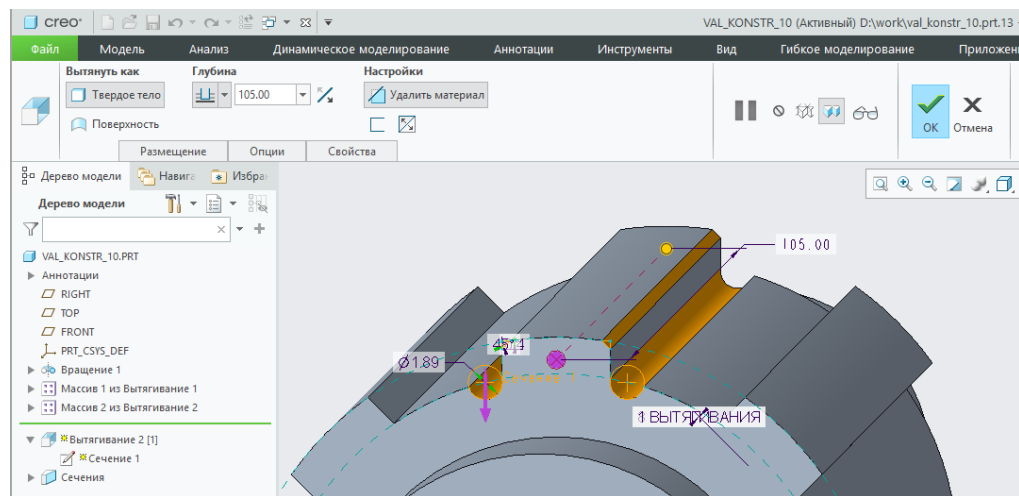



Рисунок 2.17 – Побудова фасок та вирізів

2.3.5 Побудова отворів

Для побудови отвору потрібно вибрати бічну грань та натиснути на вкладці *Модель (Model)* >  *Отвір (Hole)*. Відкриється вкладка *Отвір (Hole)* і геометрія отвору буде показана для попереднього перегляду.

Для точного позиціонування отвору потрібно задати прив'язки. На наведеному прикладі (рис. 2.18) використано відстані до двох базових площин.

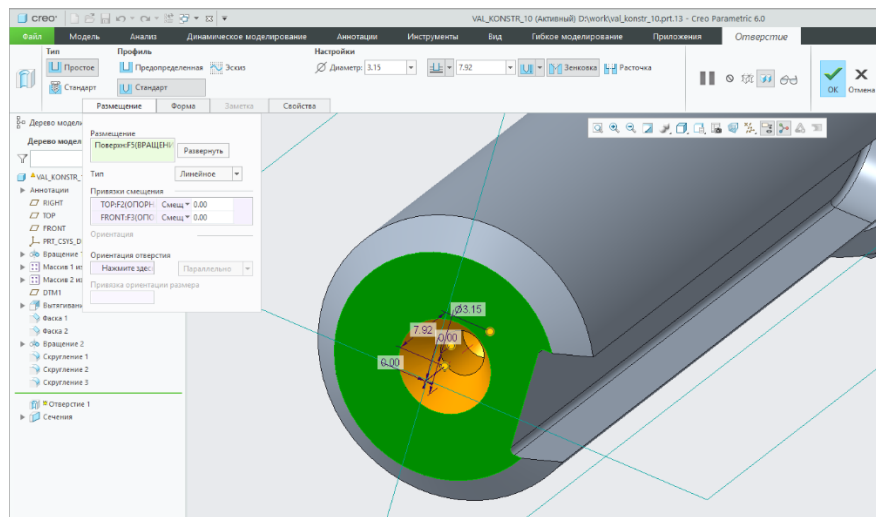



Рисунок 2.18 – Визначення розташування отвору

Натисніть команду , щоб створити стандартний отвір. Відобразяться опції стандартного отвору (рис. 2.19).

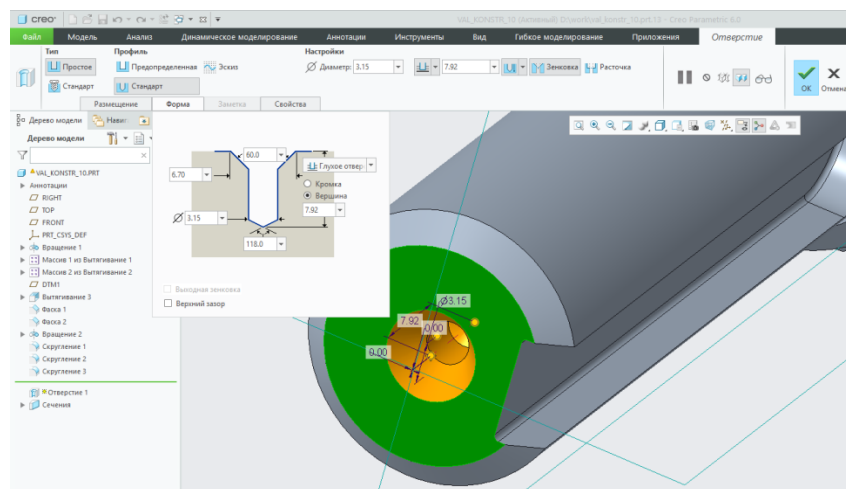







Рисунок 2.19 – Опції побудови отвору


Щоб створити різьбовий отвір, оберіть команду .


Щоб створити конічний отвір, оберіть команду .

Різьбовий та конічний отвори доступні тільки за умови вибору команди .






Для побудови отвору із зазором натисніть команду , щоб скасувати вибір опції, а потім натисніть команду .


Для побудови просвердленого отвору натисніть команду , щоб скасувати вибір опції, а потім натисніть команду .

Виберіть потрібну таблицю отворів у поле поруч з командою  *Тип різьблення (Thread Type)* на вкладці *Отвір (Hole)*. Поле *Тип різьблення (Thread Type)* дозволяє обирати таблиці отворів відповідно виробничих стандартів (ISO, ISO_7/1, NPT, NPTF, UNC або UNF).

У полі напроти команди  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 задавання глибини отвору оберіть опцію глибини зі списку *Опції глибини (Depth Options)* або перетягніть маркер глибини в графічному вікні. Для задавання нової глибини шляхом переміщення маркера, уведення або вибору нового значення необхідно обрати 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 перетином усіх поверхонь.
-  Свердління отвору до перетину 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, натисніть команду  на вкладці *Отвір (Hole)*.

Щоб визначити діаметр і кут зенківки, перейдіть до вкладки *Форма (Shape)* і


введіть або оберіть новий діаметр, або кут зенківки у відповідних полях. При одночасному додаванні до стандартного отвору зенківки й цековки діаметр зенківки обчислюється за наступною формулою:

$$CSINKDIAM = (CBOREDIAM+TAP_DR)/2.$$

Щоб додати до отвору цековку, натисніть команду  на вкладці *Отвір (Hole)*.

Щоб визначити діаметр і глибину цековки, перейдіть до вкладки *Форма (Shape)*, потім введіть або оберіть новий діаметр або глибину цековки у відповідних полях.

Щоб забезпечити перетин верхньої частини отвору поза твердотільною геометрією, перейдіть на вкладку *Форма (Shape)* і переконайтеся, що встановлений прапорець *Верхній зазор (Top Clearance)*.

Натисніть команду .

Другий отвір моделюється аналогічно.

2.3.6 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, що і ескіз валу. У якості прив'язок ліній ескізу використовуються вже побудовані грані (рис. 2.20).

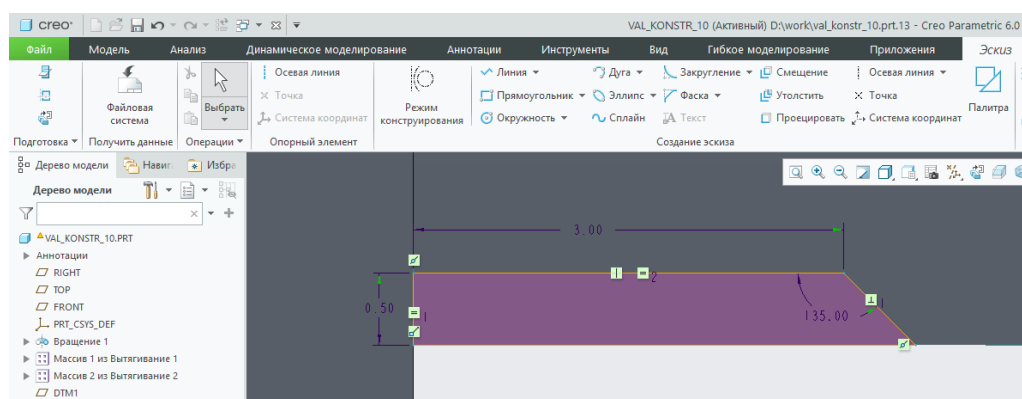


Рисунок 2.20 – Ескіз канавки

При виконанні операції обертання активується опція *Вилучити матеріал*.

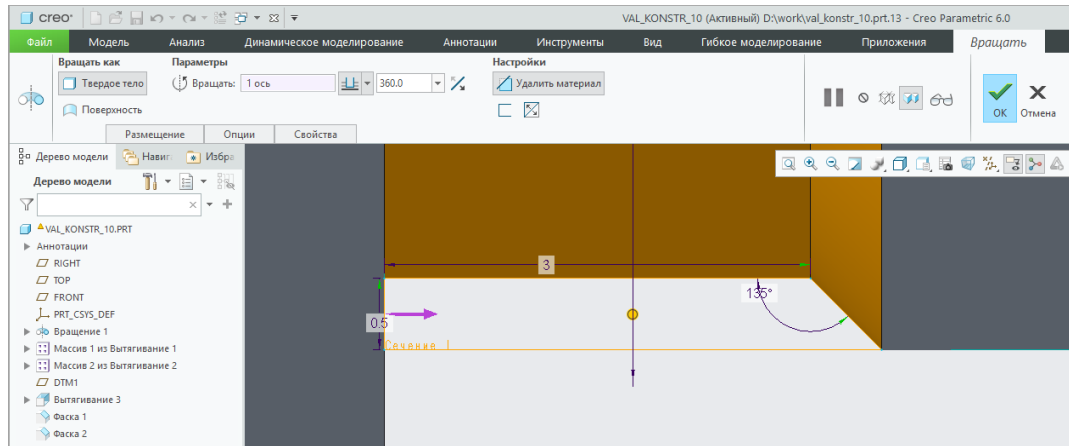


Рисунок 2.21 – Побудова канавки

Заокруглення геометрії канавок також виділені в окрему тривимірну операцію (рис. 2.21).

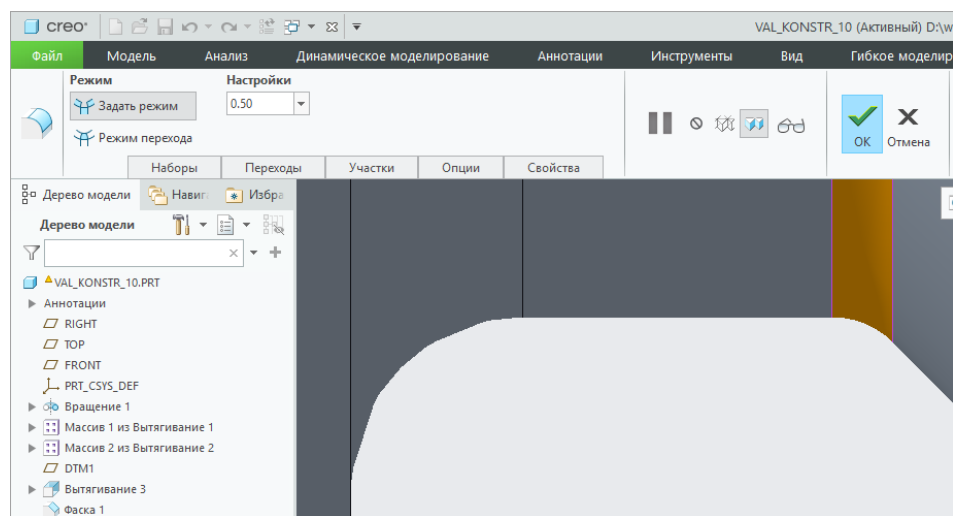


Рисунок 2.22 – Побудова заокруглень

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

Фаски також будуються за допомогою спеціальної тривимірної операції (рис. 2.23). Варіантів задавання розмірів фасок досить багато.

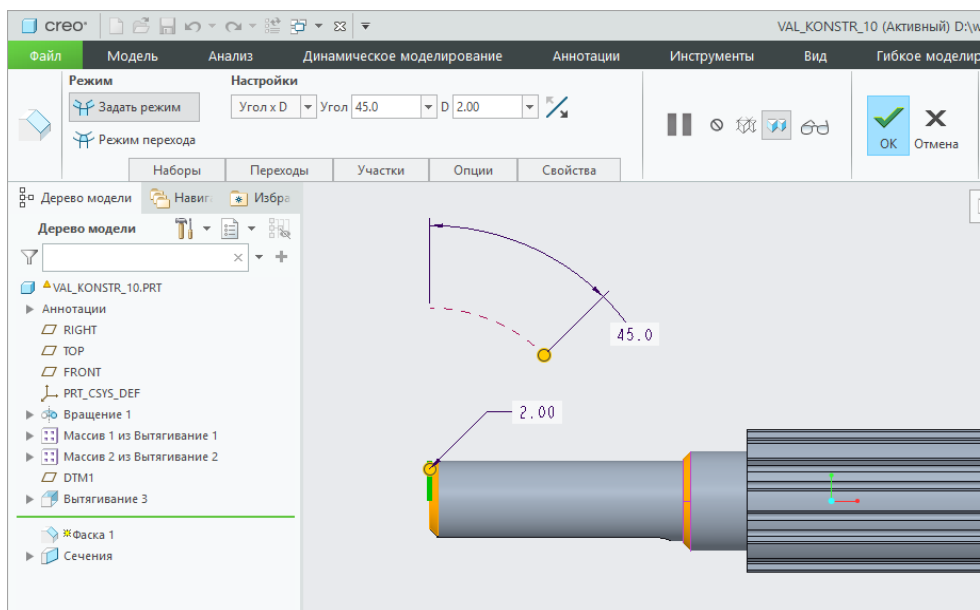


Рисунок 2.23 – Побудова фасок

Результат побудови 3-вимірної моделі деталі *Вал* наведений на рис. 2.24.

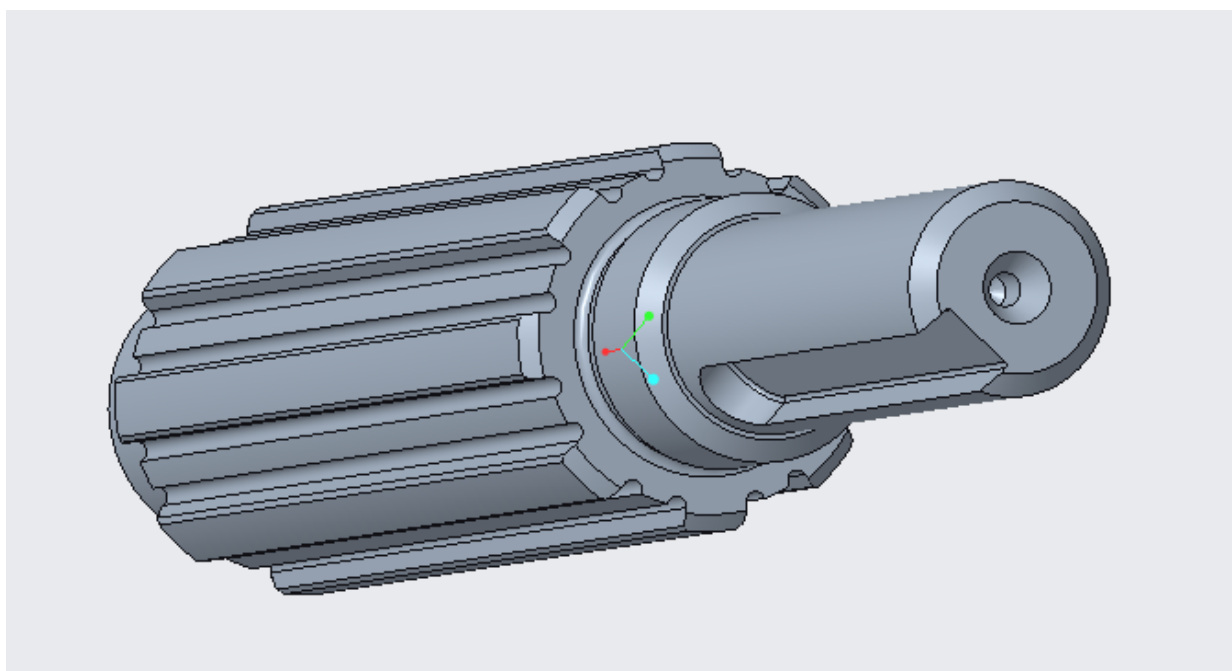


Рисунок 2.24 – Тривимірна модель валу

2.3.7 Генерація кресленника з тривимірної моделі

Усі сучасні CAD системи дозволяють отримати кресленик деталі або збірки за тривимірною моделлю. Розміри на кресленику будуть відповідати розмірам моделі. Можлива побудова кресленника за імпортованою моделлю, експорт

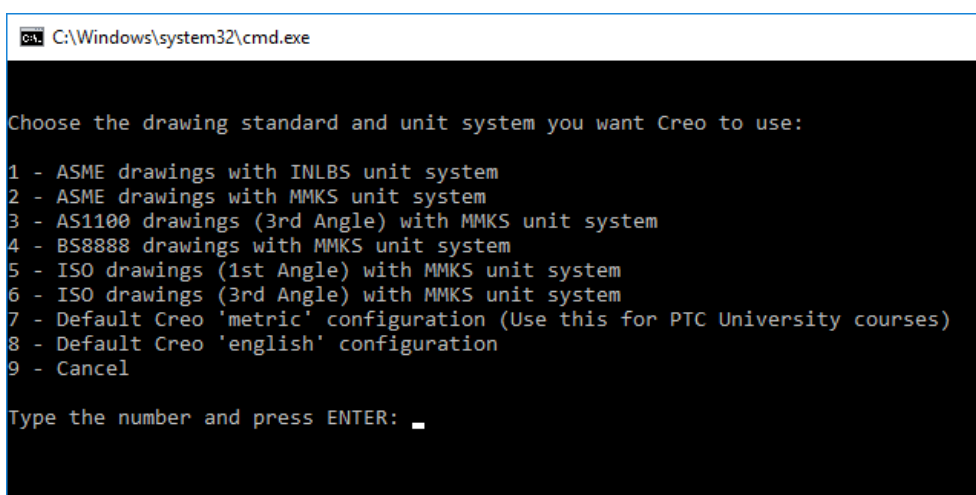
кресленика та створення декількох однотипних креслеників на основі таблиці параметрів.

Можливості системи Creo Parametrics, які використані у прикладі, надзвичайно великі, і для побудови кресленика використовується лише незначна їх частина, але побудова кресленика напругу, без моделі, у загальному випадку не передбачається, вбудований двовимірний редактор має досить обмежений набір можливостей і призначений для внесення невеликих змін у кресленику.

2.3.8 Налаштування стандарту

Creo Parametrics дозволяє згенерувати кресленик відповідно до різних необхідних стандартів, залежно від внутрішніх правил країни, підприємства чи установи. Скрипти для пакетного застосування налаштувань знаходяться у папці PTC\Creo 7.0.0.0\Common_Files\creo_standards.

Рекомендується запуснути скрипт *configure.bat* та обрати варіант 5 (рис. 2.15).



```
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 2.25 – Установка налаштувань стандартів креслень

У випадку невиконання операції необхідно встановити дозволи на запис файлів у папку, в яку встановлена система Creo в системі Windows (рис. 2.26).

Файли з додатковими шрифтами, наприклад *gost_b.ttf*, за необхідності слід скопіювати в папку PTC\Creo 7.0.0.0\Common Files\text\fonts.

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

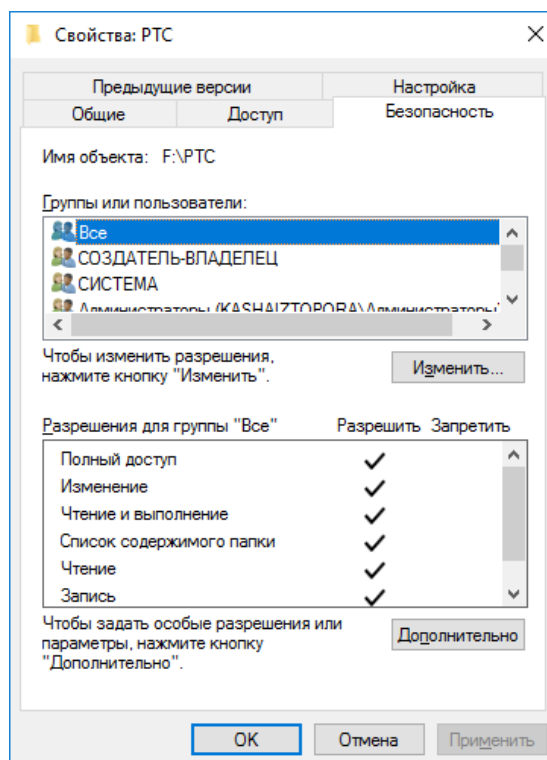


Рисунок 2.26 – Дозволи на зміну файлів у Windows

2.3.9 Створення кресленника

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

Натисніть *Файл (File) > Новий (New)*. Відкриється діалогове вікно *Новий (New)* (рис. 2.27).

Натисніть *Кресленник (Drawing)* та введіть найменування в полі *Найменування файлу (File name)* або використовуйте найменування за замовчуванням. Натисніть кнопку *ОК*. Відкриється діалогове вікно *Новий кресленник (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 кресленика.

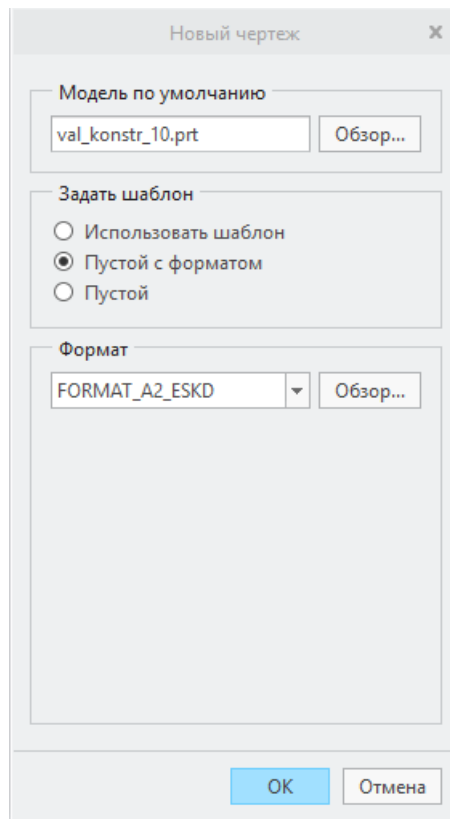


Рисунок 2.27 – Створення файлу кресленика

У розділі *Задати шаблон (Specify Template)*.

Для створення кресленика без шаблону, але з існуючим форматом, натисніть *Порожній з форматом (Empty with format)*. У полі *Формат (Format)* вкажіть формат, який слід використовувати.

Натисніть кнопку *ОК*. Відкриється поле нового кресленика.

2.3.10 Побудова головного виду

У графічному вікні натисніть праву кнопку 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*.

Натисніть у графічному вікні ліву кнопку миші, щоб визначити розташування центру нового виду креслення. Відкриється діалогове вікно *Вид кресленника (Drawing View)* (рис. 2.28).

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

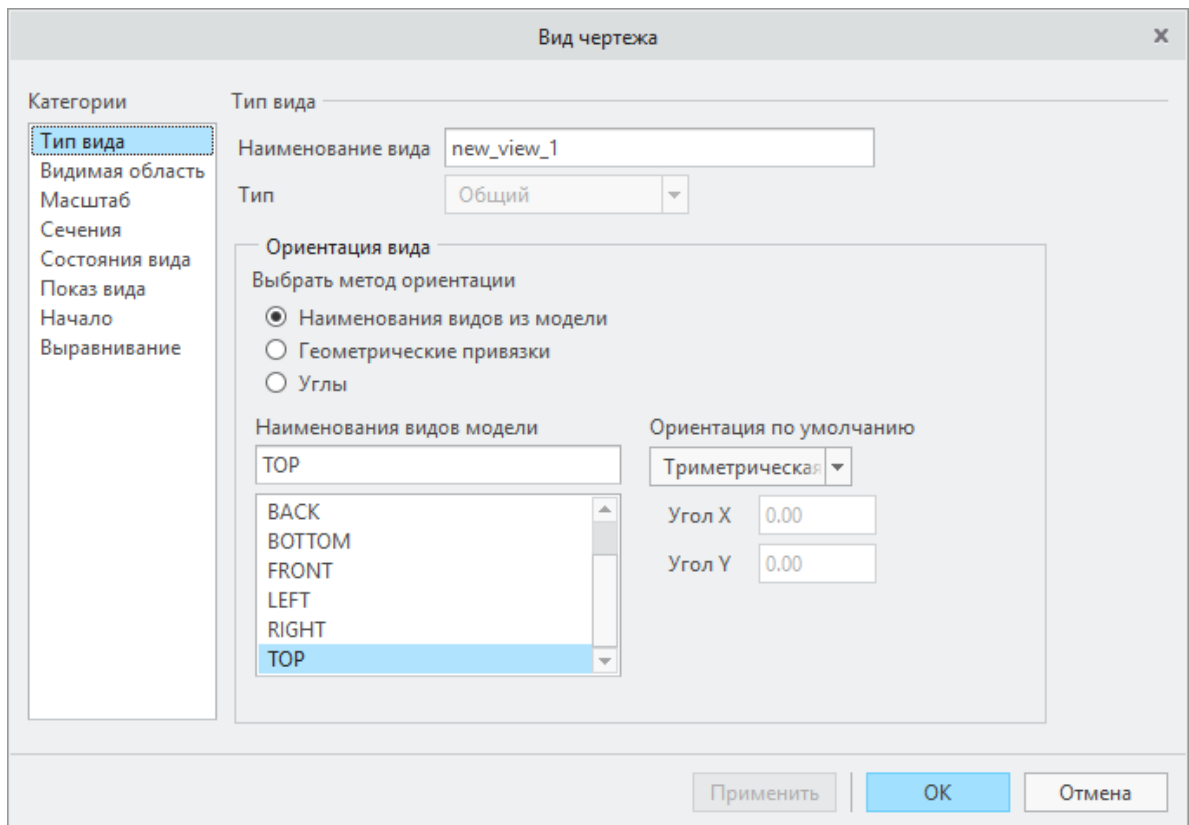



Рисунок 2.28 – Налаштування головного виду кресленника

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 кресленнику оберіть метод орієнтації *Куту (Angles)* та встановіть значення 180 градусів щодо прив'язки обертання *Вертикально, Горизонтально або Нормаль*.

Якщо опорні елементи відображаються, на панелі графічних елементів натисніть значок фільтрів показу опорних елементів  та зніміть прапорець *Вибрати все (Select All)*, щоб відключити відображення всіх опорних елементів (рис. 2.29).

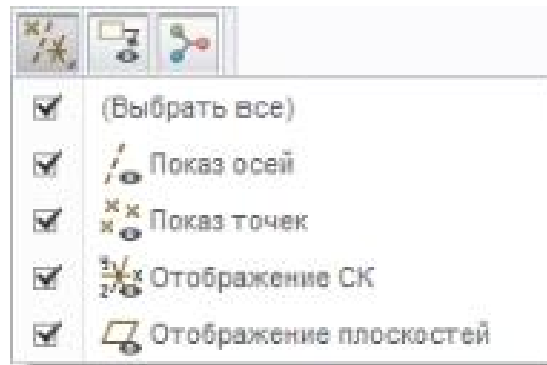



Рисунок 2.29 – Панель керування показом опорних елементів

2.3.11 Створення виносного виду

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

На основному виді оберіть край канавки, як показано на рис. 2.30.

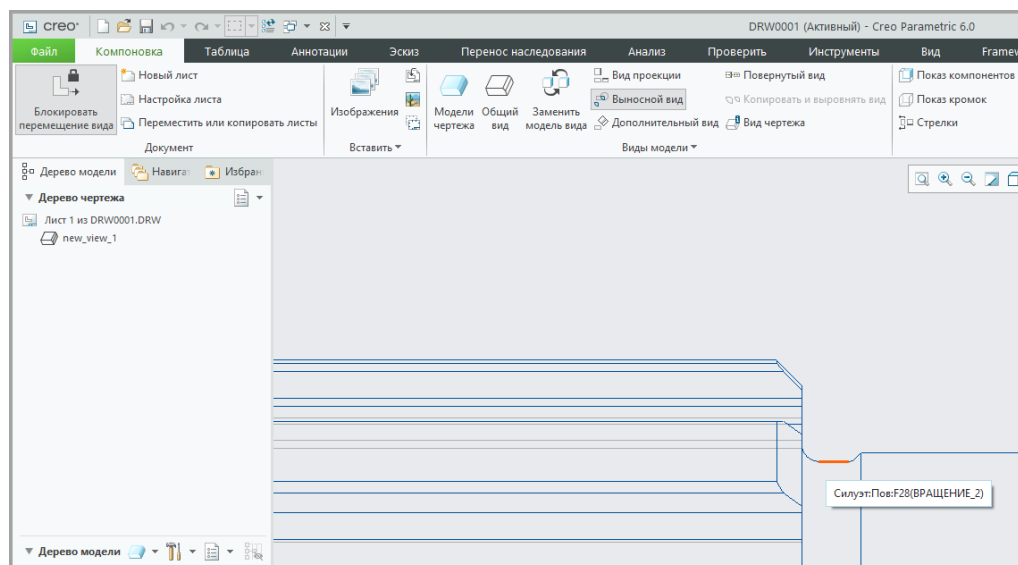


Рисунок 2.30 – Вибір елемента для побудови виносного виду канавки

Натисніть ліву кнопку миші у графічному вікні й створіть за допомогою декількох натискань лівою кнопкою миші ескіз замкненого сплайна навколо обраної канавки, як показано на рис. 2.31.

Натисніть середньою кнопкою миші, щоб вийти з інструмента *Сплайн*.

Натисніть ліву кнопку миші у графічному вікні, щоб визначити розташування центру для зображення виносного виду канавки.

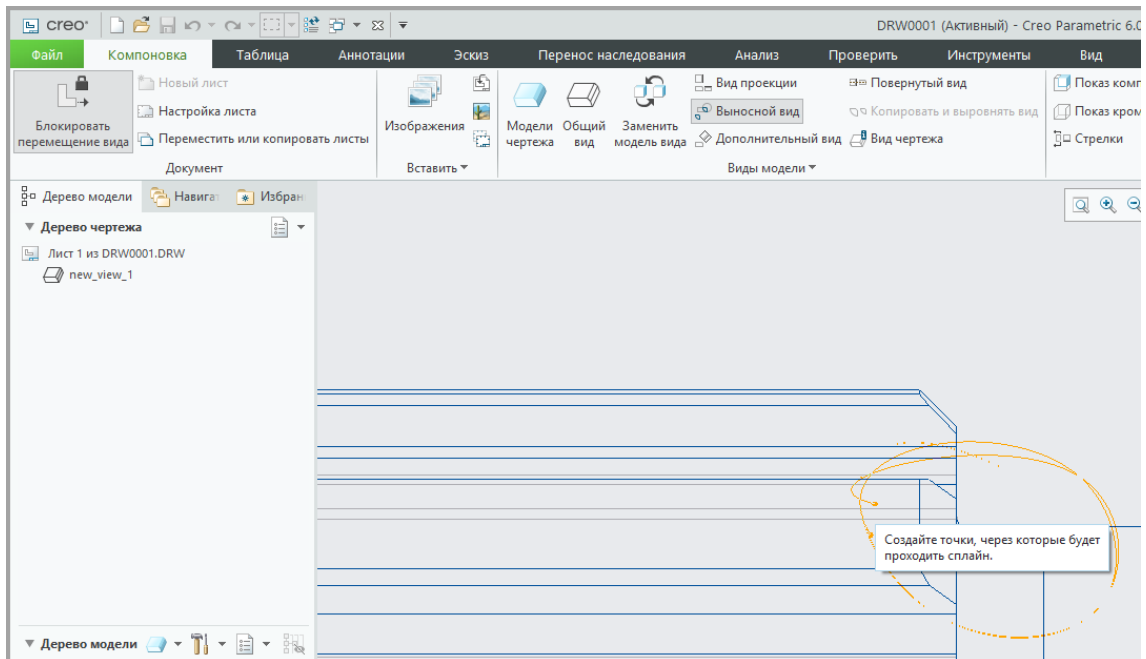


Рисунок 2.31 – Створення сплайну для побудови виносного виду


Під новим виносним видом двічі натисніть ліву кнопку миші на значенні масштабу й змініть 2 на 10.

Щоб перемістити види, оберіть будь-який вид, натисніть праву кнопку миші та зніміть прапорець *Блокувати переміщення виду (Lock View Movement)*.

Натисніть *OK*.

2.3.12 Побудова розрізів

В Creo Parametrics є можливість будувати розрізи та перерізи безпосередньо у режимі роботи з кресленником, але набагато зручніше буде перейти до моделі, побудувати там необхідні розрізи, а потім відобразити їх у кресленнику.

Для побудови розрізів відкрийте деталь. На вкладці *Вид (View)* натисніть елемент  *Розріз (Section)* і оберіть *Плоский (Planar)*. Відкриється вкладка *Розріз (Section)*.

Оберіть плоску поверхню, опорну площину або прив'язку осей системи координат для перетину моделі. Поперечний розріз буде створений автоматично. У центрі площини, що відтинає, з'явиться покажчик для перетягування (рис. 2.32).

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

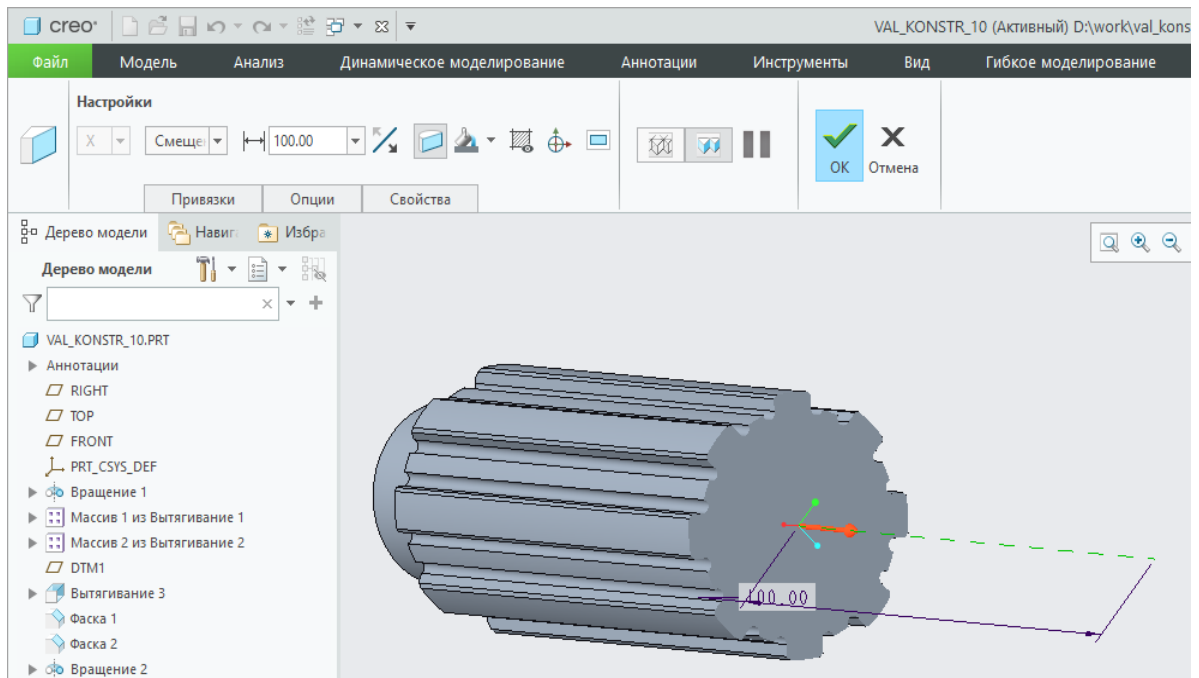


Рисунок 2.32 – Побудова розрізу


У колекторі *Прив'язка розрізу (Section reference)* на вкладці *Прив'язки (References)* відображається ім'я прив'язки, використаної для побудови поперечного розрізу. Або можна спочатку обрати 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. Натисніть і введіть значення для відстані зсуву.

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

Щоб змінити напрямок відсікання, натисніть команду .

Змініть розташування поперечного розрізу за допомогою показчика для перенесення або натисніть команду , щоб дозволити вільне встановлення площини, що відтинає. Якщо дозволене вільне позиціонування, площину відсікання можна пересувати й повертати, використовуючи показчик для перенесення.

Натисніть команду  або натисніть середню кнопку миші. Поперечний розріз буде додано у дерево моделі.

Змініть назву розрізу на А або Б.

При необхідності натисніть на піктограмі штрихування в дереві побудови й змініть крок і вид штрихування (рис. 2.33).

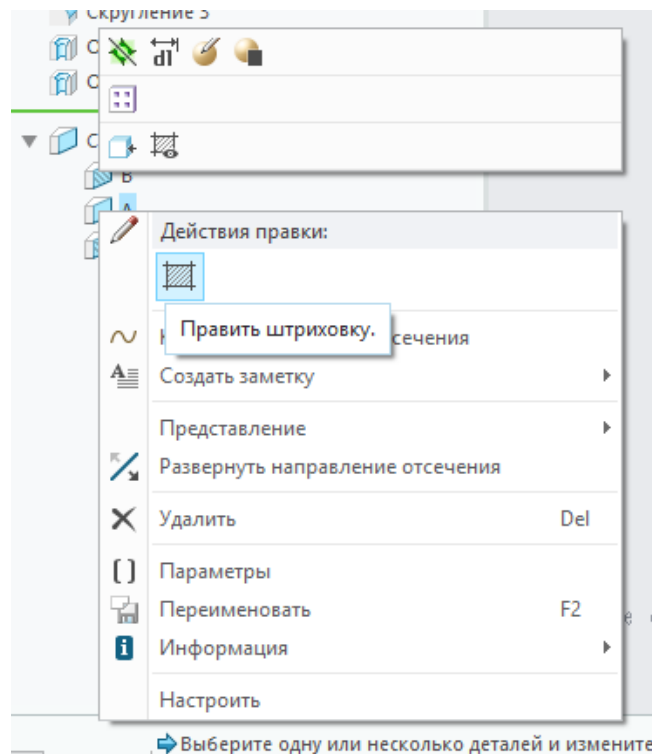


Рисунок 2.33 – Доступ до налаштувань штриховки

Збережіть модель і поверніться до кресленика.

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

Додайте у властивостях виду розріз А (рис. 2.34).

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

Перемкніть видимість крайок моделі на *Область*.

Натисніть *OK*.

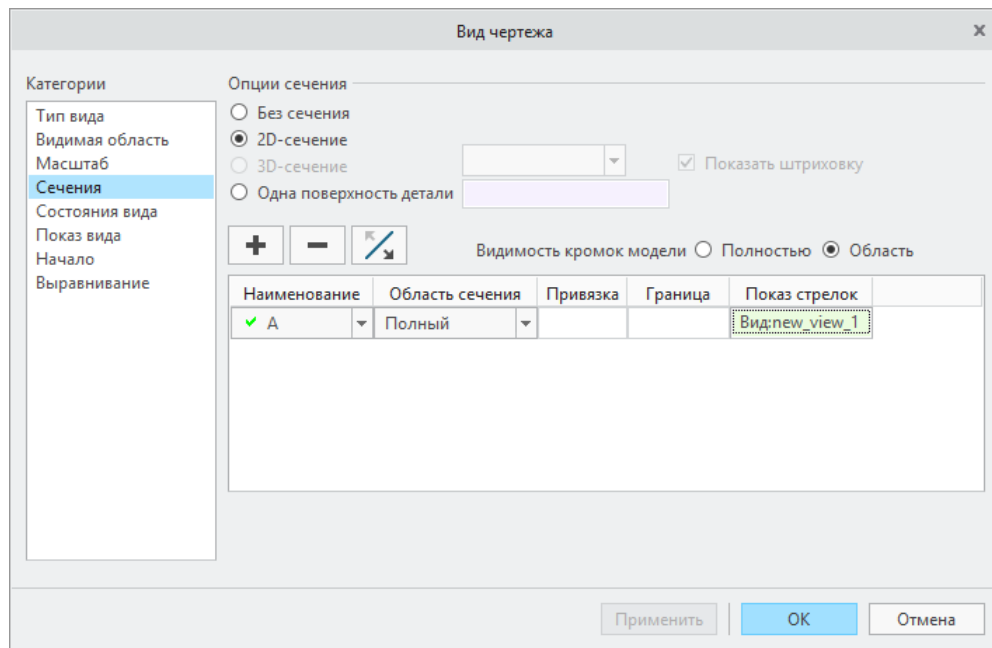


Рисунок 2.34 – Налаштування виду з розрізом на кресленні

2.3.13 Додавання анотацій


Розміри можуть бути проставлені автоматично.

Перейдіть на вкладку *Анотації (Annotate)*. Оберіть *Показати анотації моделі*. Оберіть вид – натисніть по ньому.

Відобразяться всі розміри на виді. Їх дуже багато, для полегшення знаходження й вибору потрібного розміру виберіть операцію в дереві побудови. Після вибору конкретної операції відобразяться тільки ті розміри, що відносяться до цієї операції (рис. 2.35).

Виберіть потрібні для відображення розміри та натисніть *OK*.

Також є можливість проставити розміри у ручному режимі.

Для цього натисніть команду  *Розмір (Dimension)* у групі *Анотації (Annotate)*. На детальному виді натисніть клавішу *CTRL* і оберіть дві крайки.

Натисніть середньою кнопкою миші на місці, де потрібно розмістити розмір.

За допомогою панелі *Вибрати Прив'язку* (рис. 2.36) перемикайте відображення розміру від центру дуги кола або від самої дуги.

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

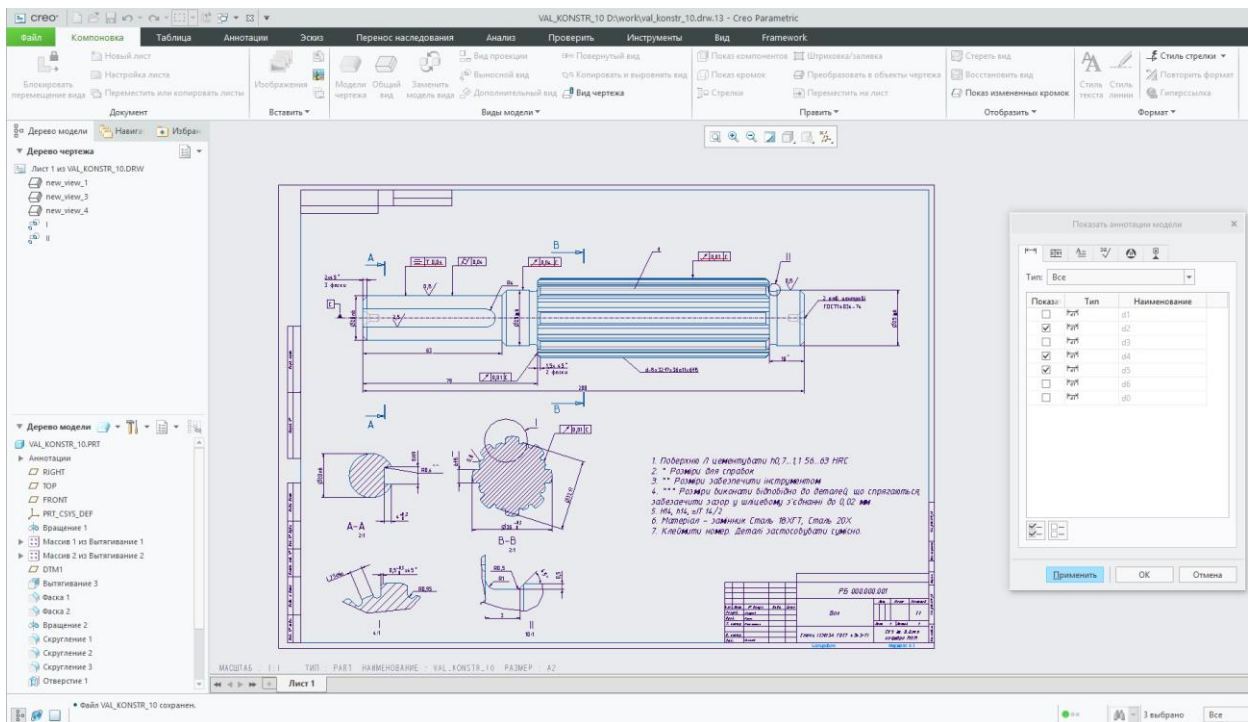


Рисунок 2.35 – Перенесення розмірів з моделі у кресленик

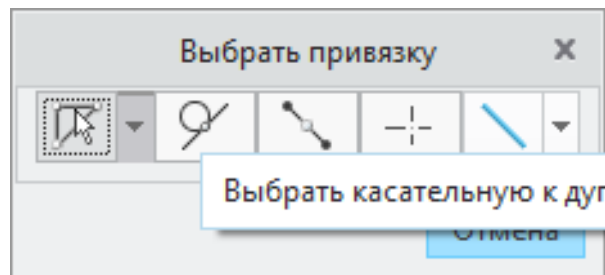


Рисунок 2.36 – Перемикання прив'язок розміру

За допомогою інструментів панелі *Розмір (Dimension) Текст (Text)* встановить символи перед розміром (наприклад, знак діаметра) і після розміру (наприклад, квалітети) (рис. 2.37).

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 кресленику розмір це не вплине.

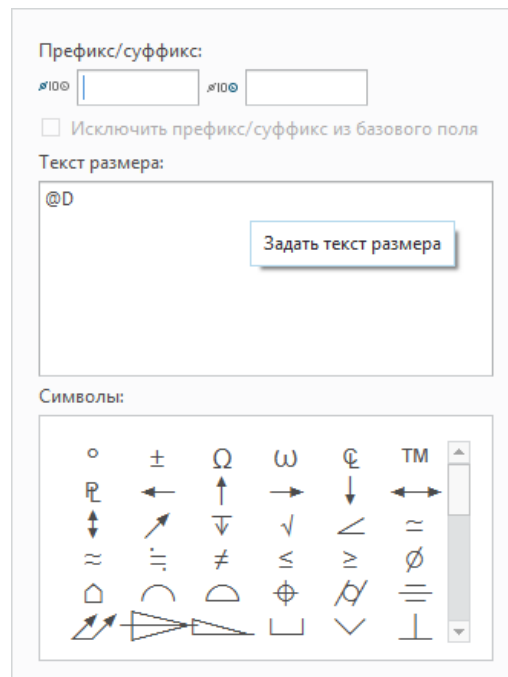


Рисунок 2.37 – Панель керування текстом розміру

За допомогою інструментів з панелі *Анотації (Annotate)* додайте в кресленик позначення допусків, шорсткостей та текстові замітки.

Для внесення дрібних елементів на кресленик, наприклад, осьових ліній, скористайтеся інструментами панелі *Ескіз (Sketch)*.

На рис. 2.38 наведений кресленик валу, який виконано в середовищі CAD Creo.

2.4 Приклад виконання проектно-конструкторської частини

Завдання

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

Вхідні дані

Вхідні дані для проектно-конструкторського розрахунку ведучого валу привода головного руху фрезерувального верстата 2-3 типорозміру (рис. 2.1 та рис. 2.2) наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Вхідні дані

Варіант	Тип електродвигуна	Потужність електродвигуна, що передається $N, кВт$	Номінальна частота обертання електродвигуна, $n, хв^{-1}$	Діаметр ведучого шківа, $d_{p1}, мм$	Діаметр веденого шківа, $d_{p2}, мм$
1	V112S	3,7	1000	90	225

Розрахунок силового параметру приводу.

Крутний момент на вхідному валу:

$$T = \frac{N}{n} \cdot 9550 = \frac{3,7}{1000} \cdot 9550 = 35,355$$

Матеріал валу. Для валів приводу головного руху верстатів застосовують Сталі 45, 50, 40Х, піддані термічному поліпшенню (гарт з високим відпуском).

Приймаємо, що матеріалом валу є Сталь 20Х ($[\tau_{кр}] = 25 МПа$).

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

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

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

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

Отримане розрахункове значення d_1 діаметру валу округлюють до найближчого стандартного значення згідно ДСТУ 2744–94 (ГОСТ 24266–94) [19].

Приймаємо $d_1 = 20 \text{ мм}$.

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

Розрахуємо ширину шківу M перерізу B (ДСТУ ISO 22:2009 [9]) 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 шківів перерізу *B* виконано в САПР «АРМ WinMachine» та наведено на рис. 2.39. Для виконання креслеників та тривимірних моделей деталей, що проектуються в бакалаврській роботі, допускається використання будь-якої з САД систем, в якій Ви маєте навички роботи.

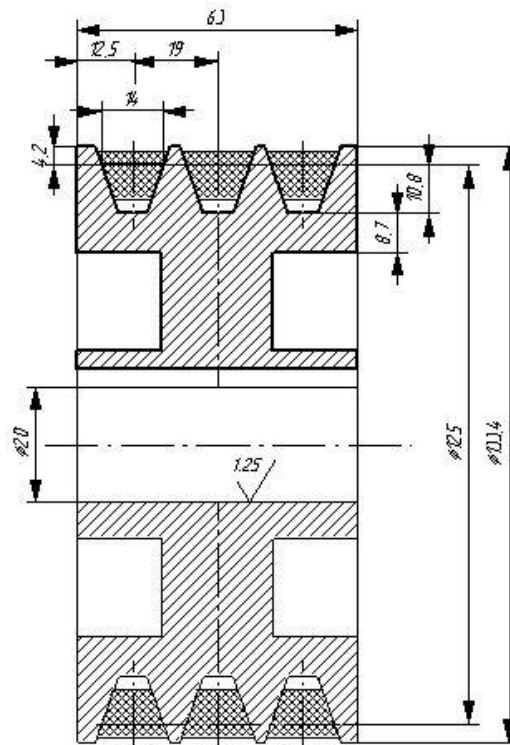


Рисунок 2.39 – Ескіз шківів клинопасової передачі

Отримане значення ширини шківів перевіряємо згідно ряду нормальних лінійних розмірів. Розмір $M = 63 \text{ мм}$ відповідає нормальному ряду $Ra 5$.

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

На першій ступені, для з'єднання валу зі шківом клинопасової передачі, розташовано відкритий шпонковий паз. Розміри поперечного перерізу призматичної шпонки вибираються згідно ДСТУ ГОСТ 24071:2005 (ISO 3912:1977) [15] 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 6×6×56 ДСТУ ГОСТ 24071:2005 (ISO 3912:1977) [15].

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 2.4. в залежності від діаметру суміжної з ним ступені d_1 . Для нашого випадку $t = 2$ мм.

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

Вибір підшипників. В якості опор обираємо підшипники шарикові радіальні однорядні легкої серії, згідно ДСТУ ГОСТ 8338:2008 [10] діаметру валу $d = 25$ мм відповідають підшипники марки 205, вантажопідйомністю $C = 14000$ Н, $C_0 = 6950$ Н. Номінальний діаметр зовнішньої циліндричної поверхні підшипника $D = 52$ мм, ширина $B = 15$ мм, координата монтажної фаски $r = 1,5$ мм.

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

Отримане значення довжини другої ступені перевіряємо згідно ряду нормальних лінійних розмірів за ДСТУ 2500-94 [8]. Розмір $l_2 = 15$ мм відповідає нормальному ряд R_5 .

Виходячи з розрахунків приймаємо наступні розміри другої ступені: діаметр – $d_2 = 25$ мм; довжина – $l_2 = 16$ 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 ДСТУ 3423-96 [20] для внутрішнього діаметру $d = 32 \text{ мм}$: число зубів $z = 8$; зовнішній діаметр $D = 36 \text{ мм}$; ширина зуба $b = 6 \text{ мм}$.

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 – $d_2 = 25 \text{ мм}$; довжина – $l_2 = 16 \text{ мм}$.

Зведені розміри ступенів валу наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – 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 звернути увагу на наступне:

1. Граничні відхилення довжин циліндричної частини кінця валу обираються

згідно ДСТУ 2500-94 [8].

2. Допуск на радіальне биття циліндричних поверхонь валу відносно вісі обертання валу вибирається згідно ДСТУ ISO 2768-1-2001 [21].

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 посадочних поверхонь 7 квалітету під 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, таких як зубчасті колеса, муфти, шківви, що з'єднуються з валом шпонкою – H8/h8, H9/h8;

– для підшипників з високою частотою обертання і для блоків зубчастих коліс у верстатах застосовують посадки H7/e7, H7/e8;

– для підшипників з незначним проміжком (1-5 мкм) і хорошим центруванням застосовують посадки H7/k6;

– для підшипників з великими середніми зазорами і поліпшеною збіркою застосовують посадки H7/js6.

Визначення допуску круглості та допуску профілю поздовжнього перерізу здійснюється згідно ДСТУ ISO 2768-2-2001 [21]. 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.

Допуски на торцеве биття заплічок валу в залежності від класу точності підшипників становлять від 2,5 до 21 мкм. Більш детальна інформація про допуски форми і взаємного положення поверхонь валу знаходиться в довідковій літературі [17,19-22]. Коротка інформація про термообробку і покриття наведена в розділі 2.2 методичних вказівок.

Висновки

У конструкторському розділі методичних вказівок до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра наведено основні відомості про конструкцію, геометрію та основні функціональні елементи ступінчастого шліцьового валу металорізального верстата. В якості найбільш типового зразка було прийнято конструкцію двохопорного валу, що монтується у 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 ступеней валу, а саме:

- ступень під відкрити передачу (від електродвигуна до вхідного валу приводу головного руху);
- ступені під опори на радіальних шарикопідшипниках;
- ступень 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, які 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 валам 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 тощо. Особливо ефективна програма «Вали і механічні передачі-3D», яка значно прискорює процедуру побудови 3D моделі ступінчастого валу. У методичних вказівках наведено процедуру побудови кресленика валу із заданими параметрами точності та шорсткості.

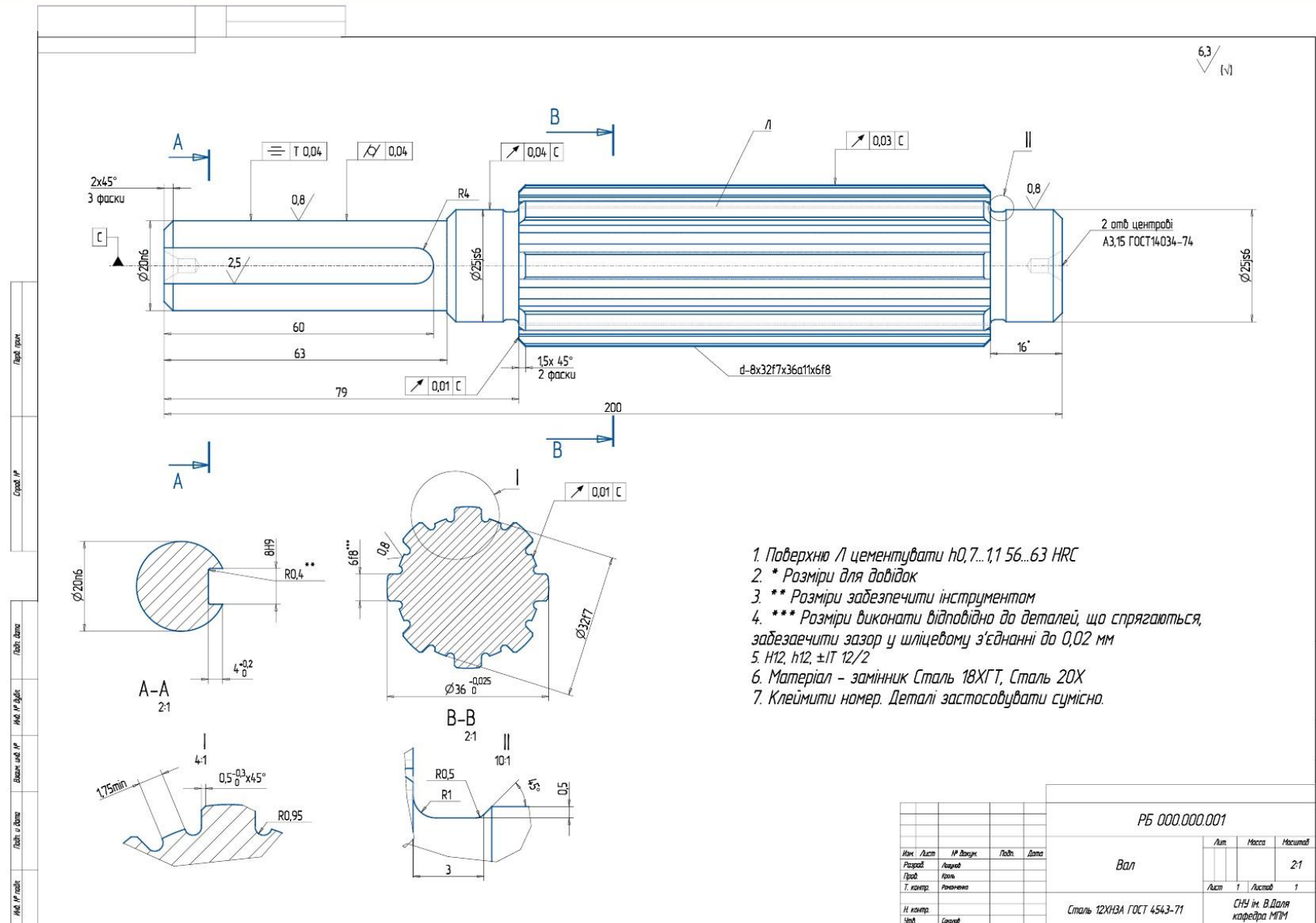


Рисунок 2.38 – Кресленик деталі «Вал шліцьовий»

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Загальні положення

У технологічній частині пояснювальної записки випускної кваліфікаційної роботи бакалавра відображається розроблений технологічний процес виготовлення деталі відповідно теми бакалаврської роботи. Рекомендується 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;
- особливості вибору та обґрунтування методів обробки.

Значну увагу приділено визначенню правильної величини 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 недостатньої величини 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 здорожчання.

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

3.2 Методика розробки технологічного процесу механічної обробки деталі

Завдання

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

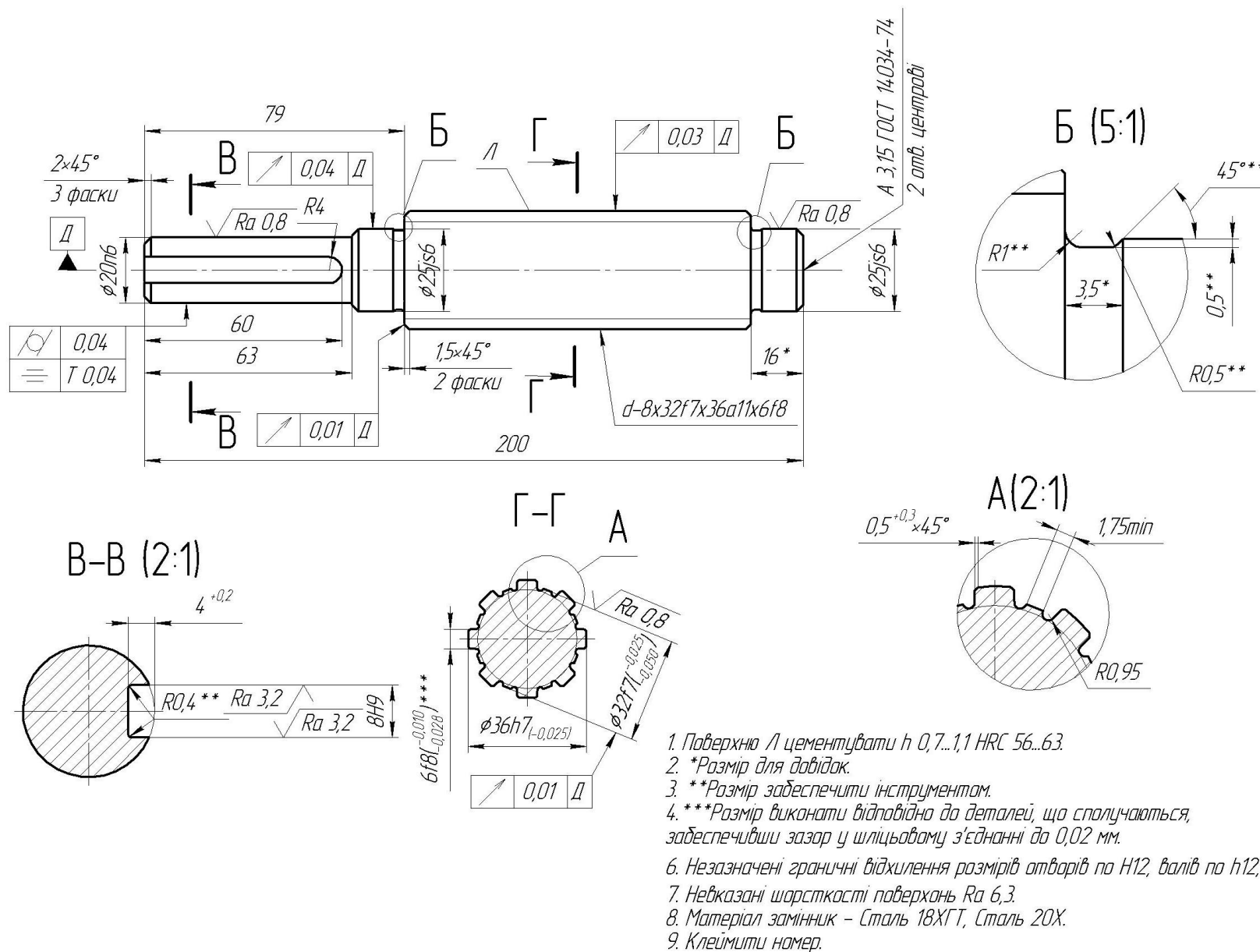
- вибір та обґрунтування способу отримання заготовки;
- розробка маршрутного технологічного процесу обробки деталі;
- визначення припусків на механічну обробку поверхонь деталі;
- проектування кресленика заготовки;
- проектування карт технологічних наладок (на одну операцію на вибір);
- розрахунок і призначення режимів різання аналітичним (1 розмір) та табличним методом.

Вхідні дані для проектування

Вхідними даними для розробки технологічного процесу є кресленик деталі, наведений на рис. 3.1 – 3.15 (згідно варіанту). Також в завданні вказуються матеріал та річна програма випуску згідно з варіантами, наведеними в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

Номер варіанту	Найменування деталі	Номер рисунку	Матеріал	Програма випуску деталей на рік, N , од./рік
1	Вал шліцьовий	3.1	Сталь 12ХН3А	10000
2	Вал проміжний	3.2	Сталь 40Х	5000
3	Вал шліцьовий	3.3	Сталь 40ХН	10000
4	Вал шліцьовий	3.4	Сталь 45	20000
5	Вал шліцьовий	3.5	Сталь 20Х	50000
6	Вал шліцьовий	3.6	Сталь 45Х	2000
7	Вал ступінчастий	3.7	Сталь 45	6500
8	Вал шліцьовий	3.8	Сталь 18ХГТ	8000
9	Вал шліцьовий	3.9	Сталь 45	15000
10	Вал	3.10	Сталь 25	2500
11	Вал шліцьовий	3.11	Сталь 18ХГТ	10000
12	Вал ступінчастий	3.12	Сталь 45	2000
13	Вал шліцьовий	3.13	Сталь 20Х	1000
14	Вал шліцьовий	3.14	Сталь 40ХН	1000
15	Вал шліцьовий	3.15	Сталь 20Х	2500
16	Вал шліцьовий	3.1	Сталь 18ХГТ	5000
17	Вал проміжний	3.2	Сталь 45	10000
18	Вал шліцьовий	3.3	Сталь 18ХГТ	1000
19	Вал шліцьовий	3.4	Сталь 45	2500
20	Вал шліцьовий	3.5	Сталь 25	20000
21	Вал шліцьовий	3.6	Сталь 35	2500
22	Вал ступінчастий	3.7	Сталь 20Х	1000
23	Вал шліцьовий	3.8	Сталь 30 ХГСА	5000
24	Вал шліцьовий	3.9	Сталь 45Х	50000
25	Вал	3.10	Сталь 18ХГТ	3000
26	Вал шліцьовий	3.11	Сталь 40ХН	10000
27	Вал ступінчастий	3.12	Сталь 35	4500
28	Вал шліцьовий	3.13	Сталь 45Х	16000
29	Вал шліцьовий	3.14	Сталь 30 ХГСА	2000
30	Вал шліцьовий	3.15	Сталь 20Х	500



1. Поверхню Л цементувати $h 0,7 \dots 1,1$ HRC 56...63.
2. *Размір для довідок.
3. **Размір забезпечити інструментом.
4. ***Размір виконати відповідно до деталей, що сполучаються, забезпечивши зазор у шліцьовому з'єднанні до $0,02$ мм.
6. Незазначені граничні відхилення розмірів отворів по H12, валів по h12, інших $\pm \frac{IT12}{2}$.
7. Незазначені шорсткості поверхонь $Ra 6,3$.
8. Матеріал заміник - Сталь 18ХГТ, Сталь 20Х.
9. Клеймити номер.

Рисунок 3.1 – Кресленник деталі «Вал шліцьовий»

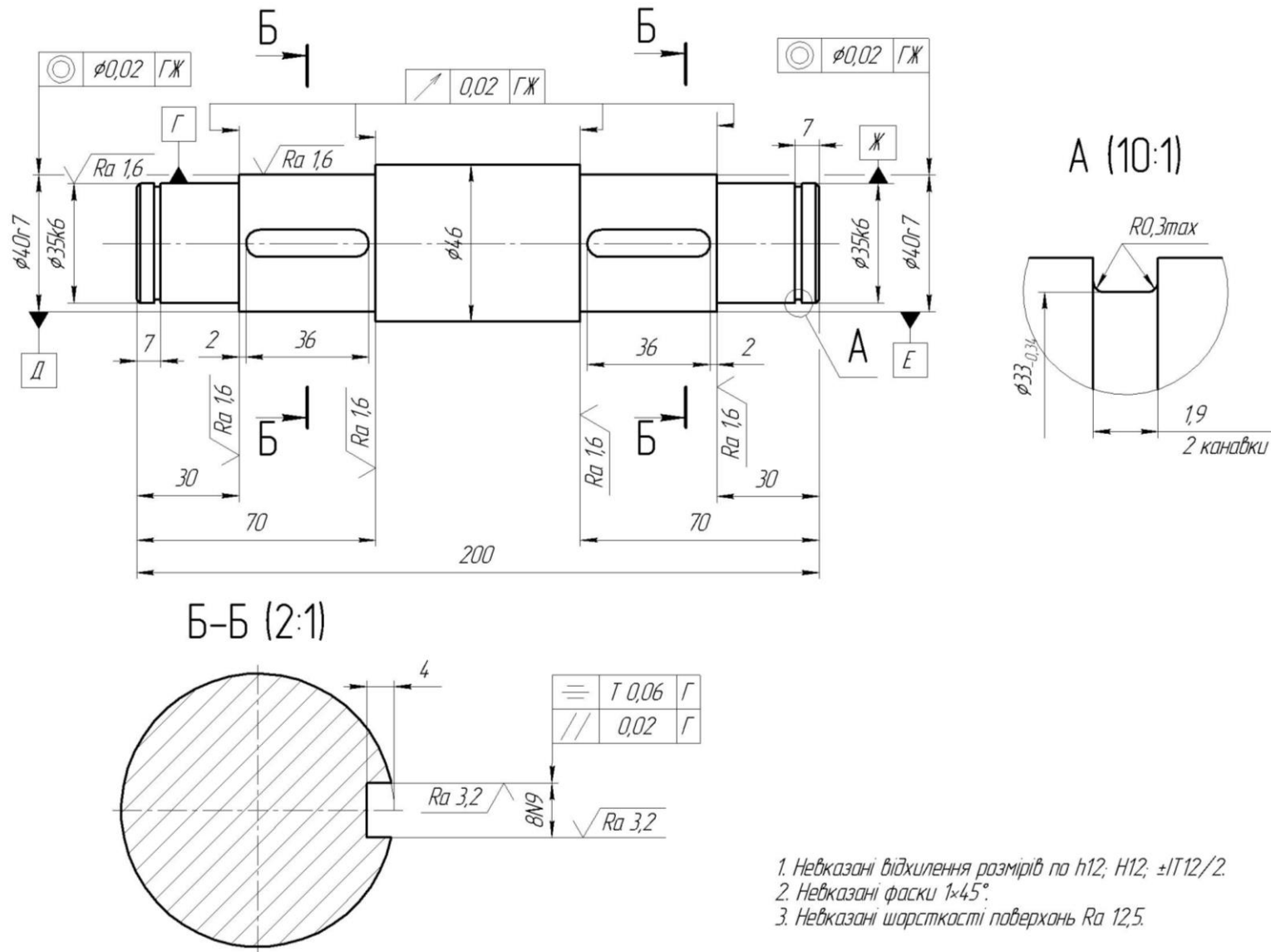


Рисунок 3.2 – Кресленник деталі «Вал проміжний»

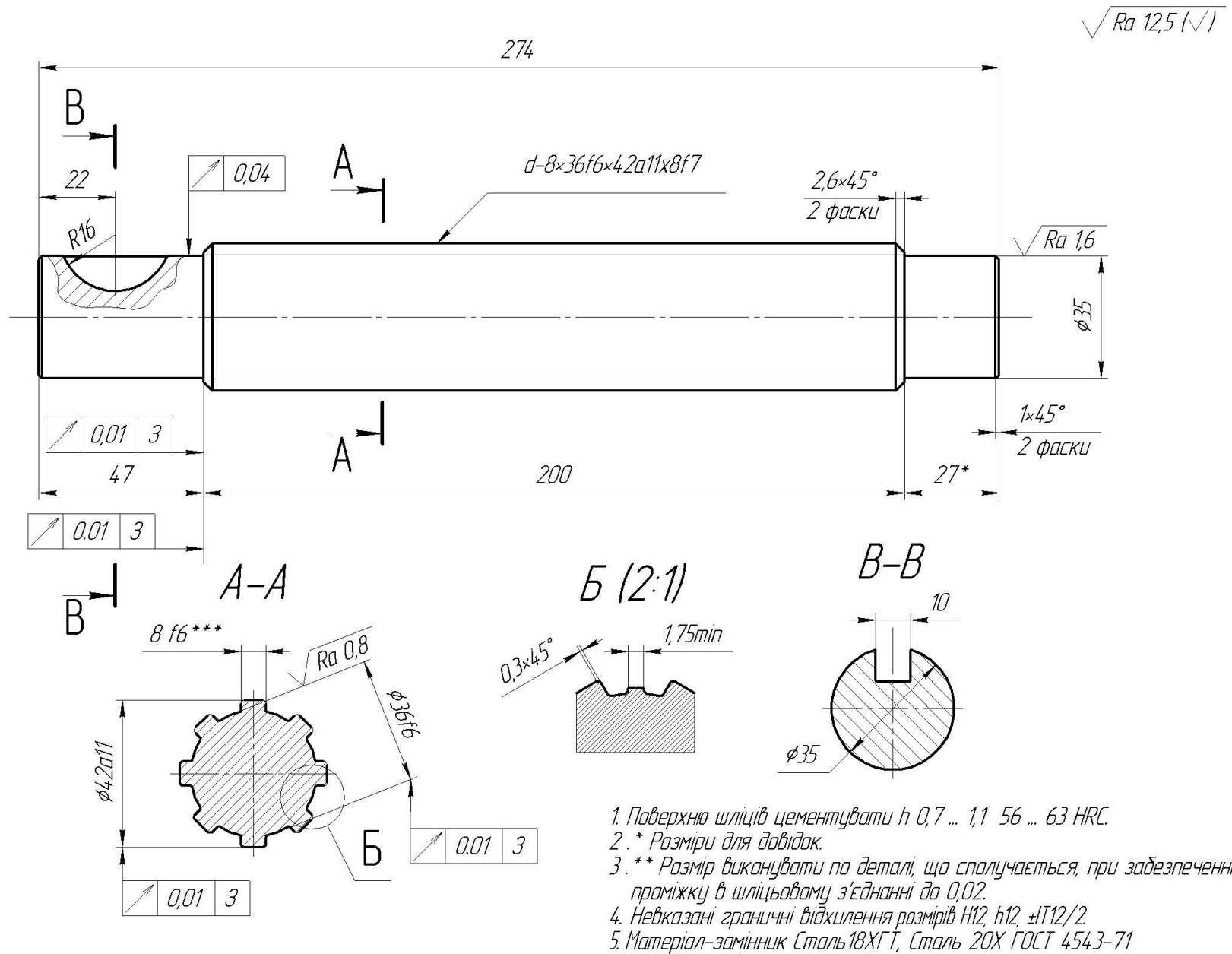


Рисунок 3.3 – Кресленник деталі «Вал шліцьовий»

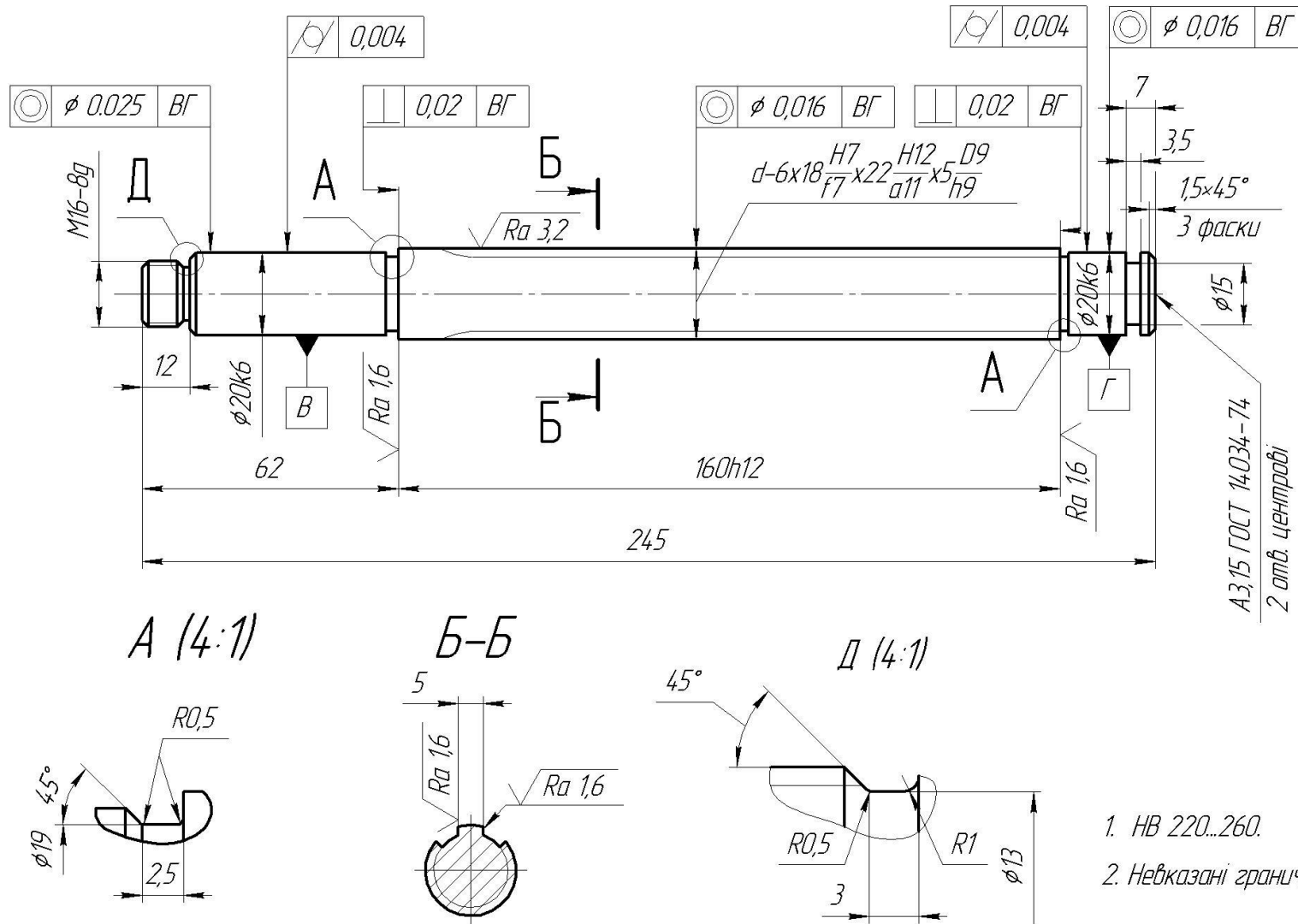
$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$


Рисунок 3.4 – Кресленник деталі «Вал шліцьовий»

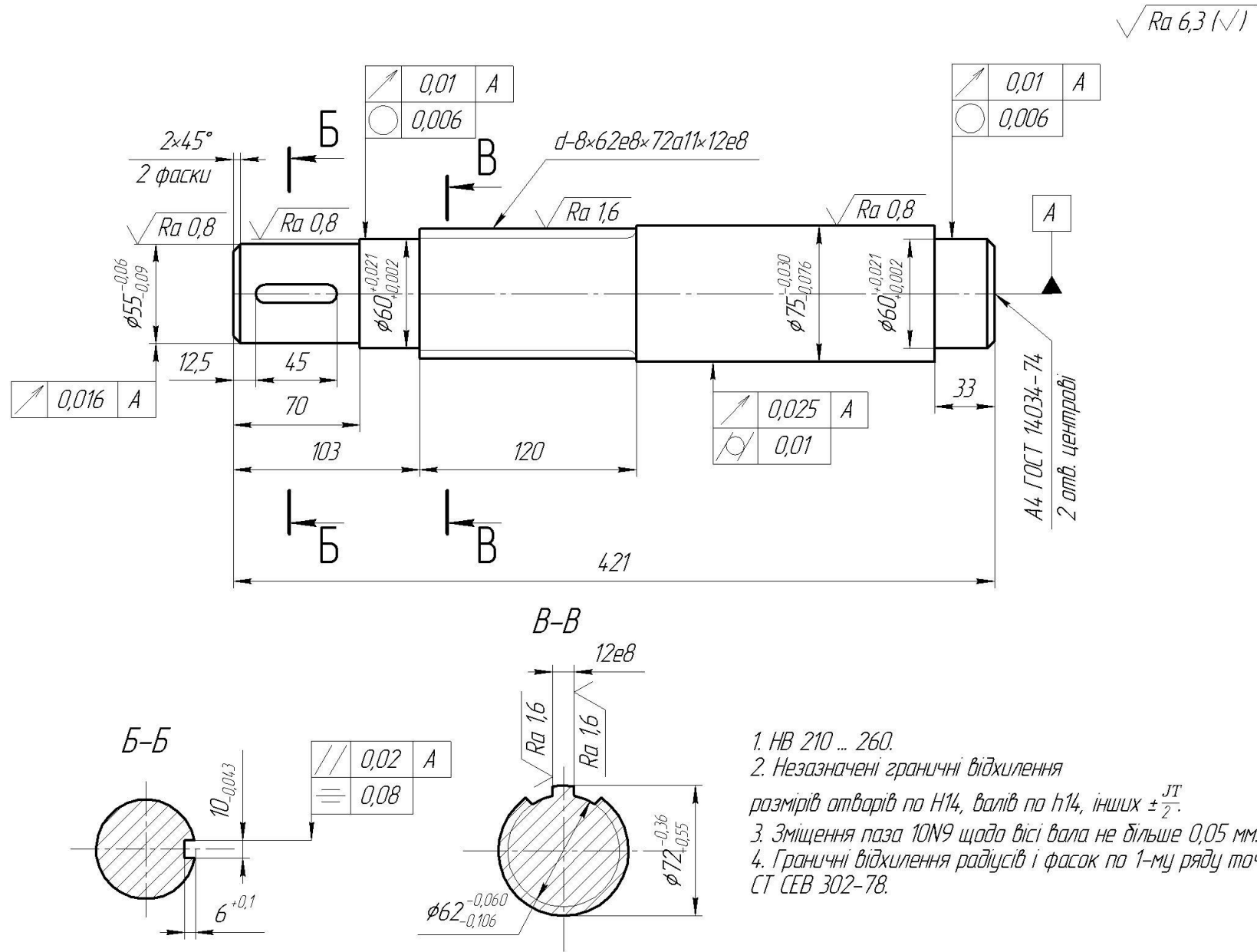


Рисунок 3.6 – Кресленник деталі «Вал шліцьовий»

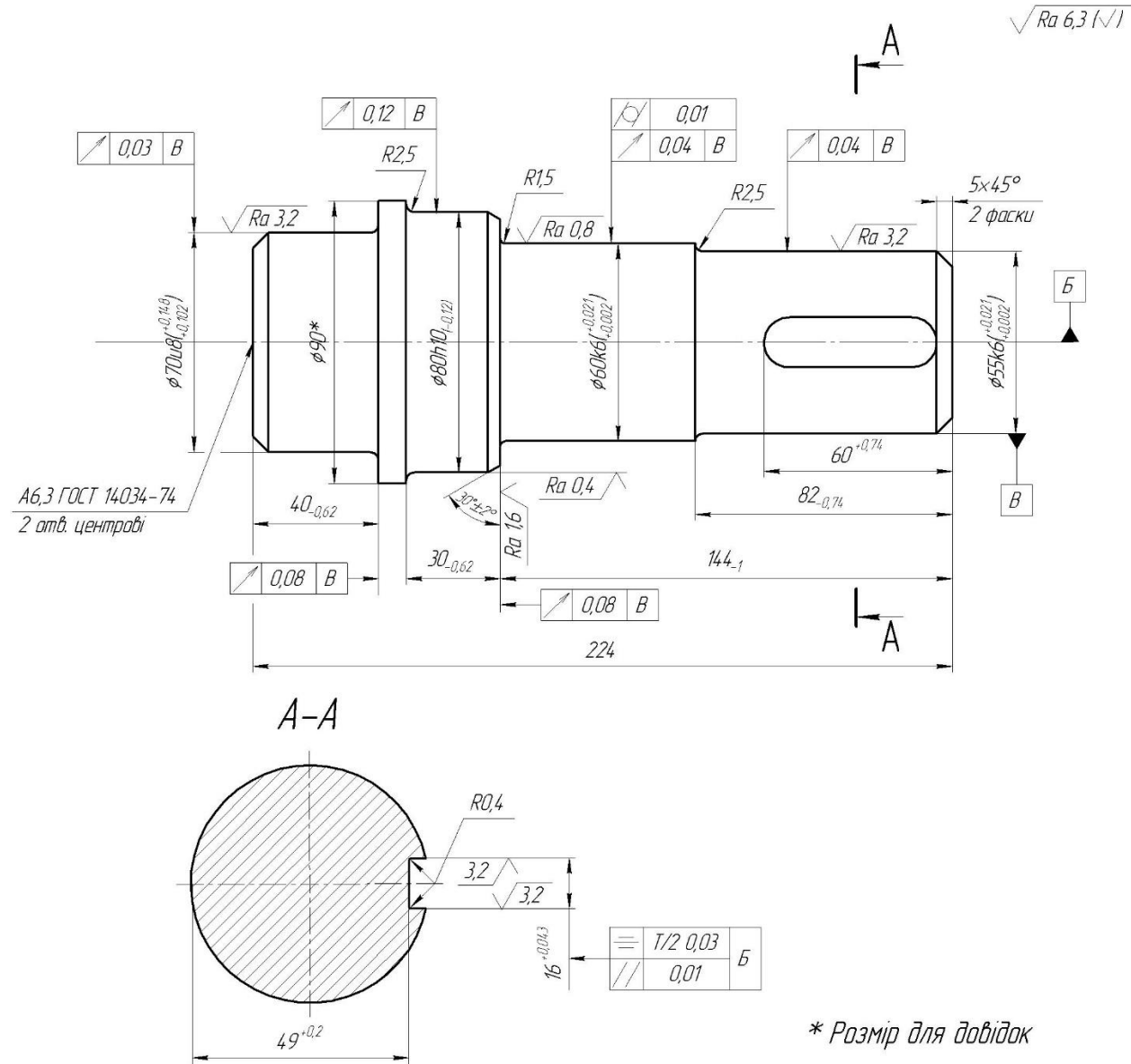


Рисунок 3.7 – Кресленик деталі «Вал ступінчастий»

* Розмір для довідок

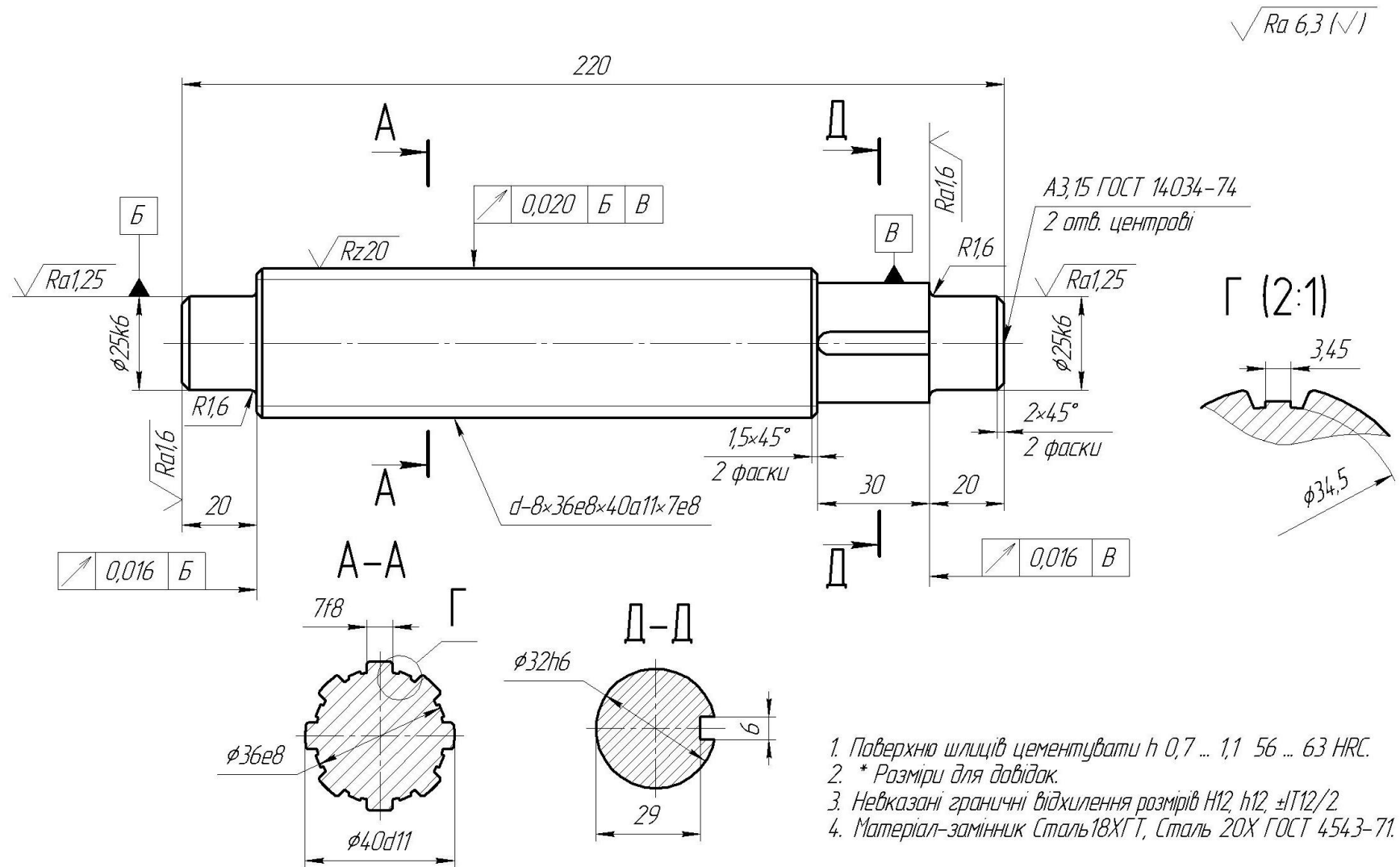


Рисунок 3.8 – Кресленник деталі «Вал шліцьовий»

$\sqrt{Ra 6,3 (\checkmark)}$

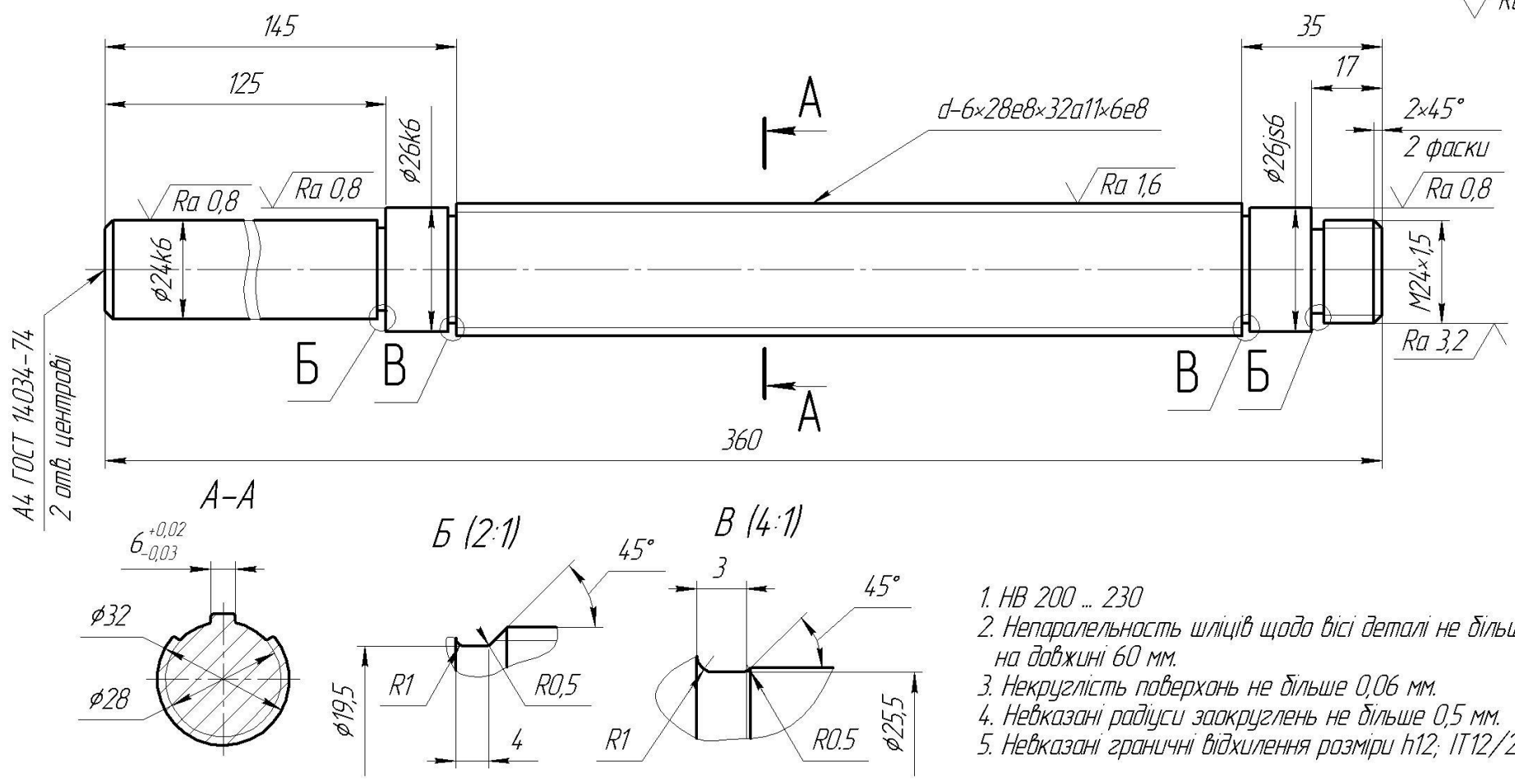


Рисунок 3.9 – Кресленник деталі «Вал шліцьовий»

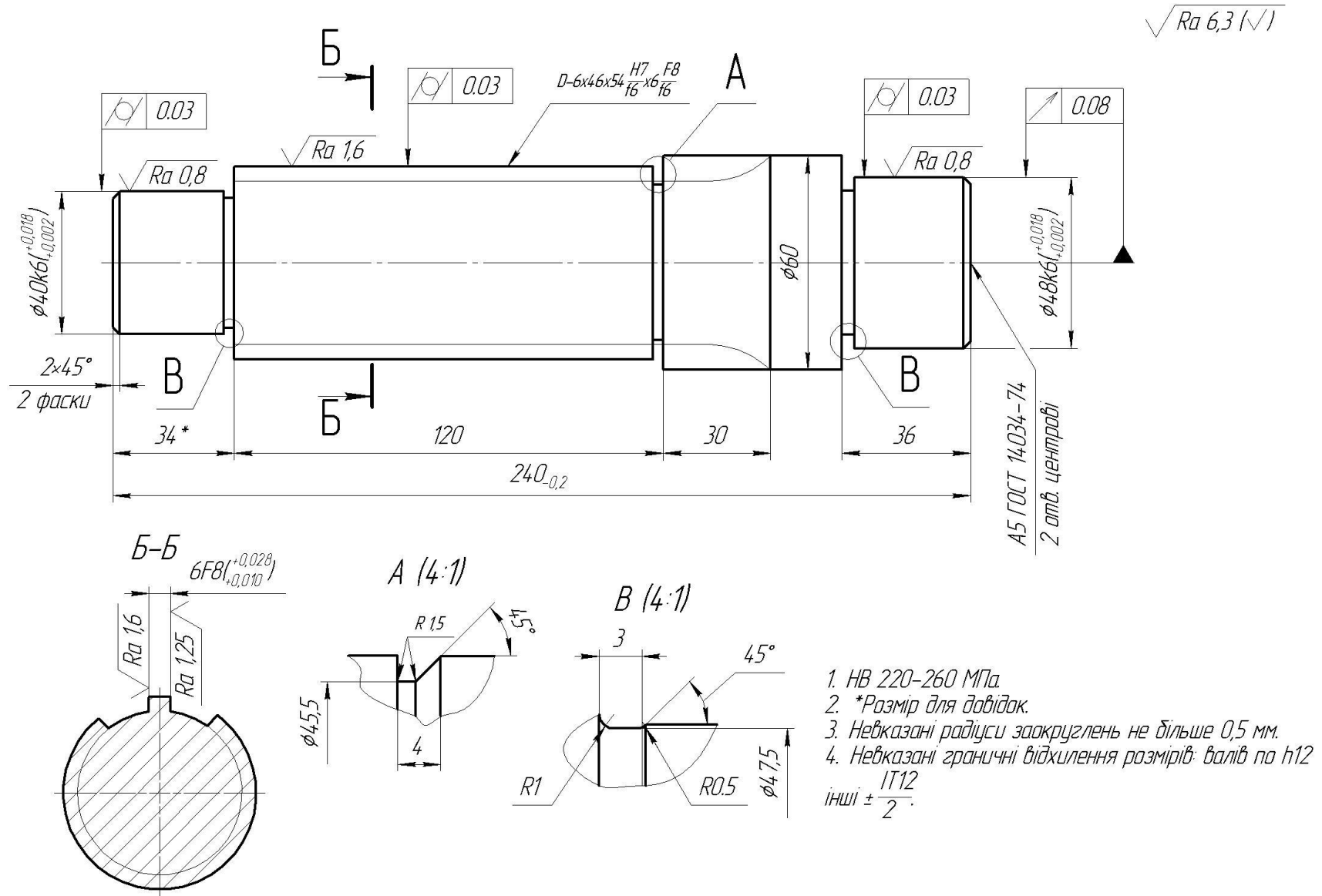
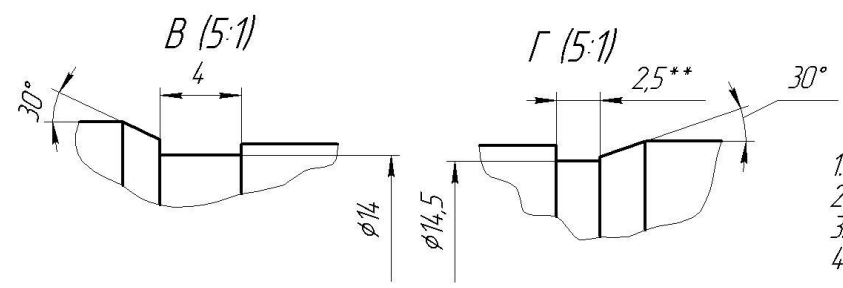
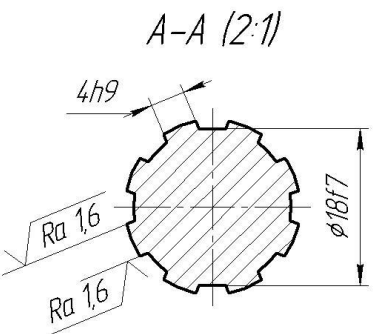
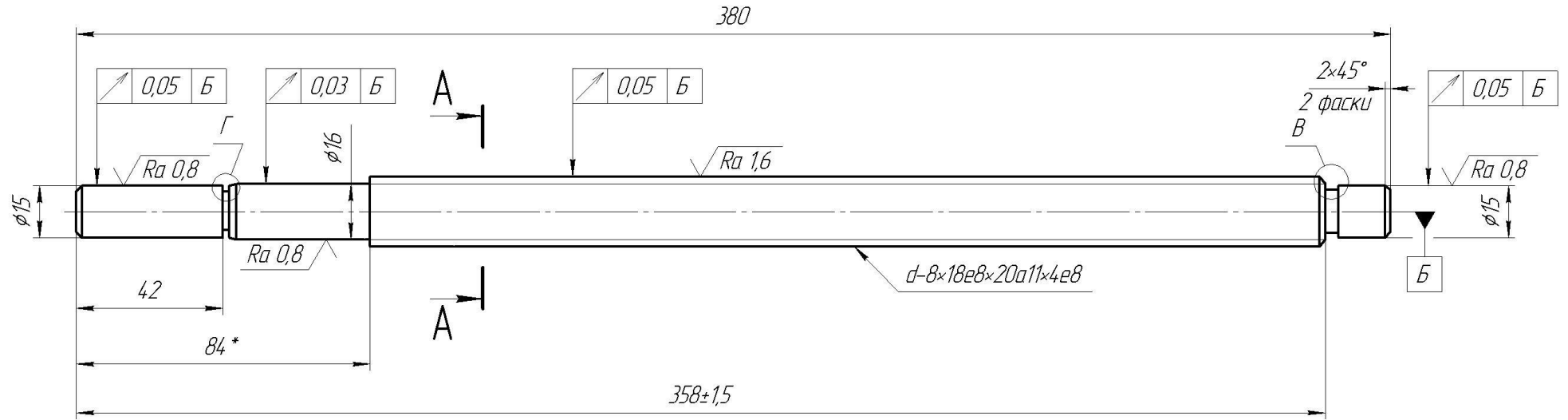


Рисунок 3.10 – Кресленик деталі «Вал шліцьовий»



1. 260..285 HB
2. *Размір для довідок.
3. Невказані радіуси заокруглень не більше 0,5 мм.
4. Невказані граничні відхилення розмірів H12; h12; ±IT12/2.

Рисунок 3.11 – Кресленик деталі «Вал шліцьовий»

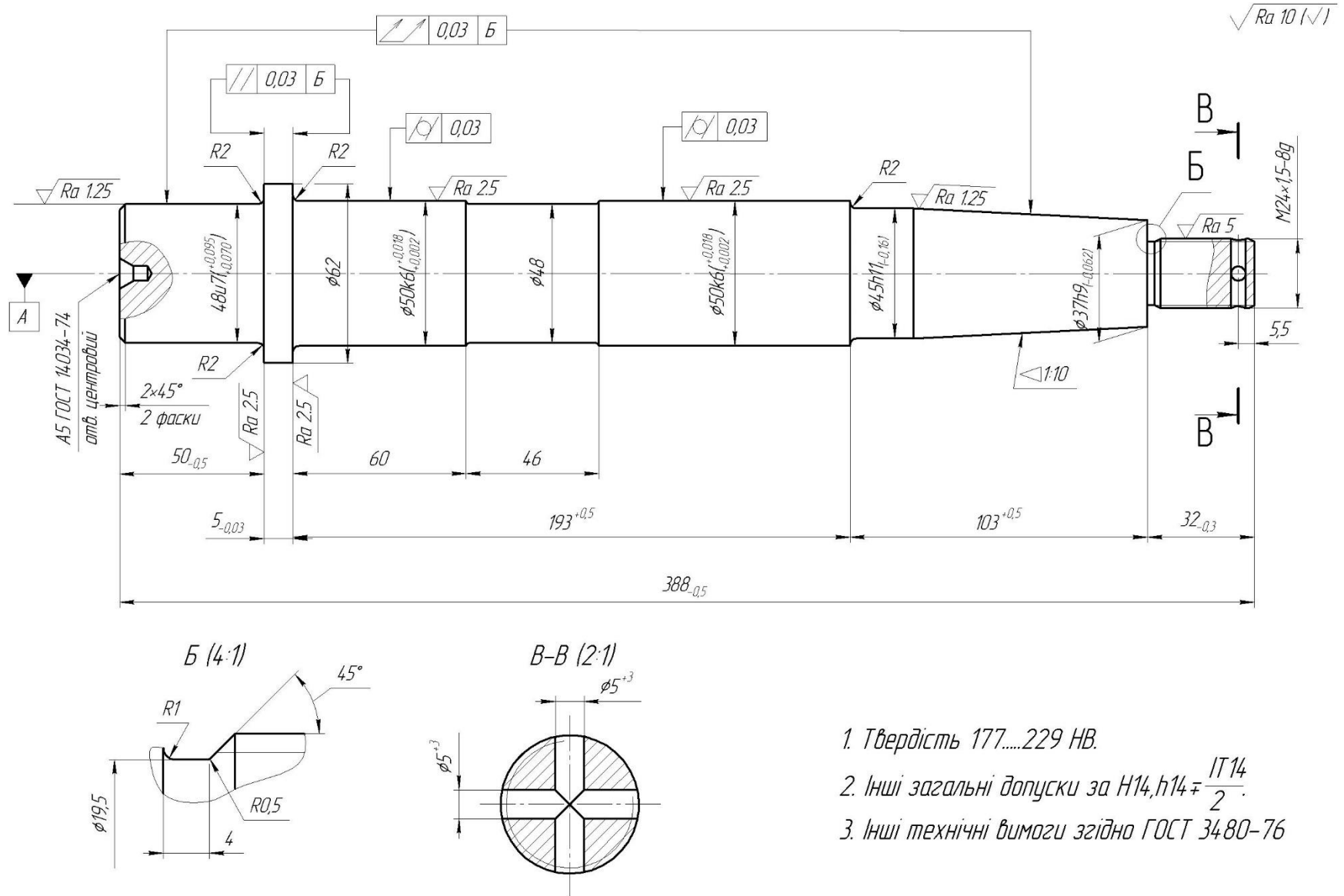


Рисунок 3.12 – Кресленик деталі «Вал ступінчастий»

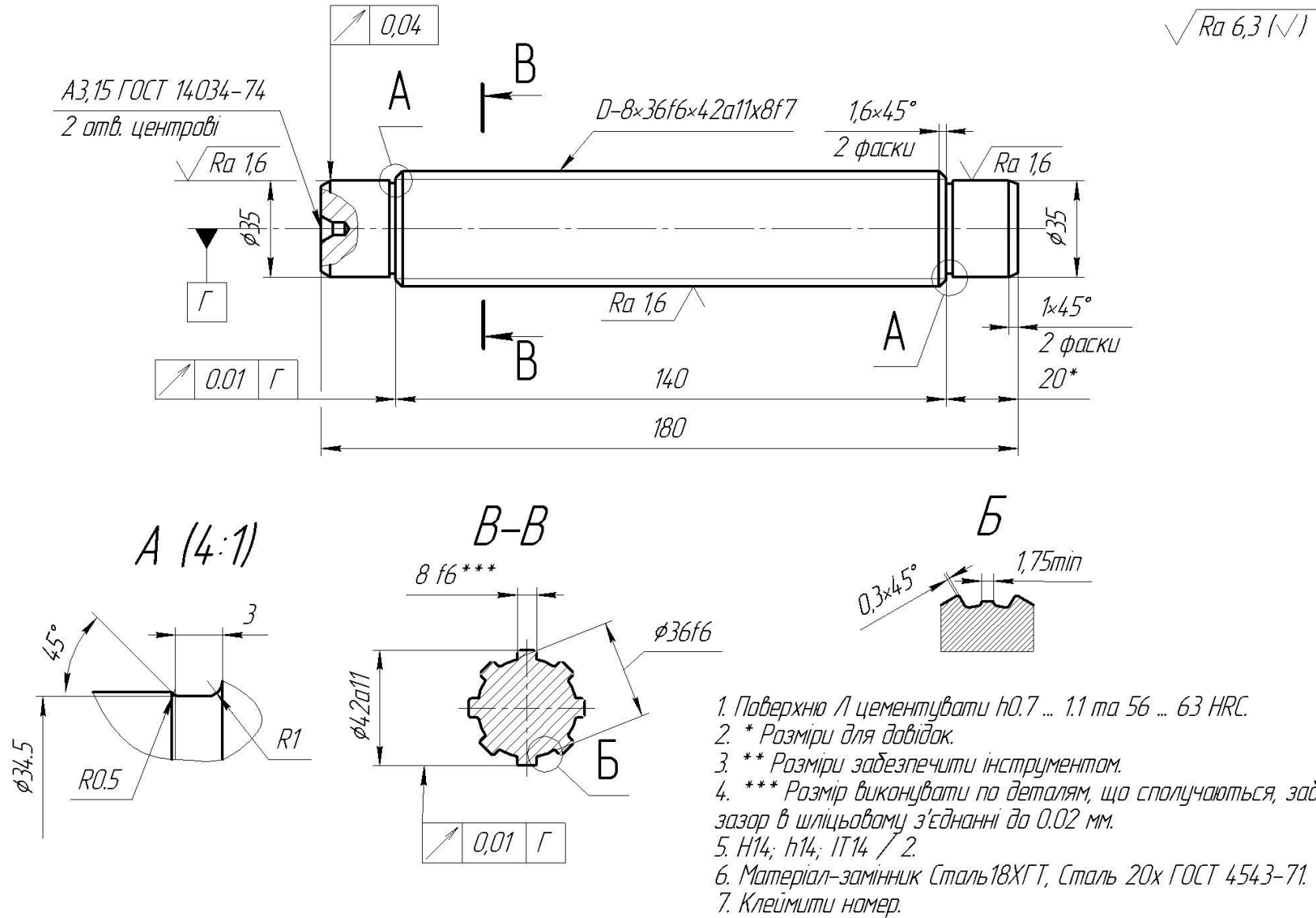


Рисунок 3.15 – Кресленик деталі «Вал шліцьовий»

.2.1 Опис службового призначення деталі, аналіз кресленника і технічних умов на її виготовлення

З аналізу і опису призначення і конструкції виробу стає відомим, які деталі та їх поверхні мають основне, вирішальне значення для виконання його функцій.

Вали служать для передачі крутних моментів, базування і координації положення тих деталей, які є складовими частинами кінематичної схеми виробу.

Перед розробкою технологічного процесу необхідно провести аналіз креслення і технічних вимог на виготовлення деталі, на підставі якого повинні бути сформульовані основні технічні завдання, які необхідно вирішувати при обробці деталі і коригуванні креслення.

Основні технологічні завдання: точність розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь, якість поверхневого шару оброблених поверхонь. Крім того, на кресленниках можуть бути позначені і спеціальні технічні вимоги: покриття, термообробка, фарбування тощо. Слід ретельно перевіряти вимоги щодо точності і шорсткості оброблених поверхонь, обґрунтованість їх призначення, технологічні можливості забезпечення.

Необхідно проаналізувати матеріал, з якого виготовляється деталь, визначити його склад, хімічні та механічні властивості. Також визначити групу металу, для подальшого визначення ступені складності заготовки згідно ДСТУ 9182:2022 [22]. Група металу визначається за вмістом вуглецю та легуючих елементів:

- М 1 – сталь з масовою долею вуглецю до 0,35 % включно та сумарною масовою долею легуючих елементів до 2,0 % включно;
- М 2 – сталь з масовою долею вуглецю від 0,35 до 0,65 % включно або сумарною масовою долею легуючих елементів від 2,0 до 5,0 % включно;
- М 3 – сталь з масовою долею вуглецю більше ніж 0,65 % або сумарною масовою долею легуючих елементів більше ніж 5,0 %.

Механічні характеристики деяких матеріалів для валів наведені в табл. 3.2 [23].

Таблиця 3.2 – Механічні характеристики матеріалів для валів

Марка сталі	Діаметр заготовки, мм (не більше)	Твердість НВ (не менше)	σ_B	σ_T	τ_T	σ_{-1}	τ_{-1}
			МПа				
Ст 5	Будь-який	190	520	280	150	220	130
20	60	145	400	240	120	170	100
45	120	240	780	540	290	360	200
	80	270	900	650	390	410	230
20X	120	197	650	400	240	310	170
40X	200	240	790	640	380	370	210
	120	270	900	750	450	410	240
40XH	200	270	920	750	450	420	230
12XH3A	120	260	950	700	490	430	240
12X2H4A	120	300	1100	850	600	500	250
18XГТ	60	330	1150	950	660	520	280
25X2ГНТ	200	360	1500	1200	840	650	330
30XГТ	120	320	1150	950	660	520	310
	60	415	1500	1200	840	650	330

3.2.2 Розрахунок маси деталі

Масу деталі можна розрахувати шляхом розбиття конструкції деталі на елементарні геометричні елементи (циліндричні поверхні однакового діаметра, шпонкові пази, канавки, фаски тощо) за формулою:

$$m_d = \rho \cdot \sum_{i=1}^m \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot l_i - m_{\text{вид}}, \quad (3.1)$$

де ρ – щільність матеріалу (для сталі $\rho = 7,8 \text{ кг/дм}^3$); d_i – діаметр i -го елемента валу, дм; l_i – довжина i -го елемента валу, дм; $m_{\text{вид}}$ – маса видаленого матеріалу деталі (шпонкові пази, канавки, фаски тощо).

Рекомендується провести перевірку правильності розрахунків за допомогою можливостей графічних редакторів САПР (наприклад Creo, AutoCAD тощо).

Визначення типу виробництва

Тип виробництва попередньо визначається в залежності від обсягу випуску та маси деталі по таблиці 3.3 і уточнюється після нормування технологічного процесу.

Таблиця 3.3 – Залежність типу виробництва від обсягу випуску (*шт.*) та маси деталі, кг

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одиничне	серійне	середнє серійне	багатосерійне масове	масове
<1,0	<10	10 – 2000	2000 – 100000	100000 – 200000	>200000
1,0-2,5	<10	10 – 1000	1000 – 50000	50000 – 100000	>100000
2,5-5,0	<10	10 – 500	500 – 35000	35000 – 75000	>75000
5,0-10,0	<10	10 – 300	300 – 25000	25000 – 50000	>50000
>10,0	<10	10 – 200	200 – 10000	10000 – 25000	>25000

Відповідно ДСТУ ГОСТ 3.1102:2014 [24] встановлено дві форми організації виробництва: групова і потокова. При груповій формі організації виробництва, застосовуваної при серійному типі виробництва, запуск виробів у виробництво здійснюється партіями з певною періодичністю. Розмір партії розраховується за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}$$

д

При виконанні бакалаврської роботи, приймаємо кількість днів запасу деталей на складі $a = 6$; кількість робочих днів у році $\Phi = 256$.

2.4 Розробка та аналіз маршрутного технологічного процесу механічної обробки деталі

к Розробка технологічного процесу складається з комплексу взаємопов'язаних робіт, передбачених Єдиною системою технологічної підготовки виробництва (ЄСТП), і повинна виконуватися в повній відповідності з вимогами ДСТУ ГОСТ

ь

к

і

З.1102:2014 [24]. Залежно від річного обсягу випуску виробів і прийнятого типу виробництва рішення технологічних завдань здійснюється по-різному. Для дрібносерійного виробництва розробляється одиничний технологічний процес, що дає можливість скорочувати час на підготовку виробництва, ефективно застосовувати універсальне устаткування і універсально-налагоджувальні пристосування. Для серійного виробництва слід прагнути будувати технологічний процес, орієнтуючись на використання змінно-потоккових ліній, коли послідовно виготовляються партії деталей одних найменувань або розмірів, або групових потоккових ліній, коли паралельно виготовляються партії деталей різних найменувань. Для масового виробництва необхідно передбачати можливість організації безперервної потокової лінії з використанням спеціальних і агрегатних верстатів, спеціальної переналагоджуваної технологічної оснастки і максимальної механізації та автоматизації виробничих процесів.

При розробці технологічного процесу керуються такими принципами:

- в першу чергу обробляють ті поверхні, які є базовими при подальшій обробці;
- після цього обробляють поверхні з найбільшим припуском;
- далі виконують обробку поверхонь, зняття металу з яких в найменшій мірі впливає на жорсткість заготовки;
- в початок технологічного процесу слід відносити ті операції, на яких можна очікувати появу браку через приховані дефекти металу (тріщини, раковини, волосовини тощо);
- поверхні, обробка яких пов'язана з точністю і допусками відносного розташування поверхонь (співвісності, перпендикулярності, паралельності тощо), виготовляють за одне встановлення;
- поєднання чорнової (попередньої) і чистової (остаточної) обробок в одній операції і на одному і тому ж обладнанні небажано - таке поєднання допускається при обробці жорстких заготовок з невеликими припусками;

– при виборі настановних (технологічних) баз слід прагнути до дотримання двох основних умов: поєднання технологічних баз з конструкторськими (наприклад, отвір в корпусі насадної циліндричної фрези одночасно служить посадковим місцем для оправлення в процесі експлуатації і базою для більшості операцій); постійності баз, тобто вибору такої бази, орієнтуючись на яку можна провести всю або майже всю обробку (наприклад, центрові отвори валу, вісі або хвостовики різального інструменту).

Принцип базування заготовок повинен суворо відповідати ГОСТ 3.1107-81 [25] Попередня розробка технологічного процесу обробки заданої деталі закінчується складанням і оформленням комплекту документів технологічного процесу згідно ГОСТ 3.1404-86 [26].

Склад і форми карт, що входять в комплект документів, залежать від виду технологічного процесу (одиничний, типовий або груповий), типу виробництва і ступеня використання розробником (підприємством, навчальним закладом) засобів обчислювальної техніки і автоматизованої системи управління виробництвом (АСУВ).

За ступенем деталізації опису кожен із зазначених видів технологічних процесів передбачає різне викладення змісту операції і комплектність документації.

У маршрутному технологічному процесі зміст операцій викладається лише в маршрутній карті без вказівки переходів (допускається включати режими обробки, тобто рядок зі службовим символом - Р). Застосовується в одиничному і дрібносерійному типах виробництва.

В операційному технологічному процесі маршрутна карта містить тільки найменування всіх операцій в технологічній послідовності, включаючи контроль і переміщення, перелік документів, що застосовуються при виконанні операції, технологічне обладнання і трудовитрати. Самі операції розробляються на операційних картах. Застосовується в великосерійному і масовому типах виробництв.

У маршрутно-операційному технологічному процесі передбачається короткий опис змісту окремих операцій у маршрутній карті, а інші операції оформляються на операційних картах.

Для дипломного проектування рекомендується операційна або маршрутно-операційний ступінь деталізації опису технологічного процесу.

У пояснювальній записці кваліфікаційної бакалаврської роботи маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі оформляється у вигляді плану операцій (табл. 3.4).

У першій графі вказуються всі операції даного маршруту обробки (в тому числі заготівельна, термообробка, покриття). У другій графі для кожної операції розробляють ескіз деталі в робочому положенні (оброблювані поверхні виділяються товстими лініями або іншим кольором). На ескізі проставляють шорсткість оброблюваних поверхонь, позначають технологічні бази (згідно ГОСТ 3.1107-81 [26]), наносять всі необхідні розмірні зв'язки. У третій графі вказують орієнтовно тип обладнання. В останній графі формулюють мету кожної операції (наприклад, формоутворення, підготовка технологічних баз, видалення основного припуску, забезпечення вимог по точності, шорсткості і взаємного розташування поверхонь).

Т

№ операції	Найменування операції, її зміст	Модель верстата	Робочий інструмент
1	2	3	4

и

Маршрутна карта технологічного процесу механічної обробки деталі виконується згідно ГОСТ 3.1118-82[27] і наводиться у додатках до пояснювальної записки (за потреби або вимоги керівника бакалаврської роботи).

.4 - Приклад таблиці для оформлення маршрутного технологічного процесу

Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання

Деталь можна виготовити з заготовок, отриманих різними способами. Це різні методи лиття, обробка тиском, зварювання тощо.

Литтям одержують заготовки практично будь-яких розмірів, як простої, так і дуже складної конфігурації. Точність розмірів і якість поверхні залежать від способу лиття.

Обробкою металів тиском одержують машинобудівні профілі, ковани та штаповані заготовки. Цей метод дозволяє отримати заготовки, близькі за формою та розмірами до готової деталі. Як правило, механічні властивості таких заготовок завжди вищі, ніж тих, що отримані литтям.

Кування застосовується для виготовлення заготовок в одиничному виробництві. При виробництві дуже великих та унікальних заготовок (масою до $200 \div 300$ т) кування – єдиний можливий спосіб обробки тиском [28].

Одним з основних принципів вибору заготовки є орієнтація на такий спосіб виготовлення, який забезпечить їй максимальне наближення до готової деталі. Тому при виборі способу отримання заготовки потрібно проводити техніко-економічний аналіз двох етапів виробництва – заготівельного та механообробного.

Відповідно до технічного принципу обраний технологічний процес повинен цілком забезпечити виконання всіх вимог кресленника і технічних умов на заготовку. З декількох можливих варіантів технологічного процесу за інших рівних умов вибирають найбільш економічний, при рівній економічності – найбільш продуктивний.

Вибір методу отримання заготовки супроводжується декількома етапами. На першому етапі ретельно аналізуються кресленник виробу, взаємозв'язок елементів конструкції при складанні, експлуатації та ремонті. Цей аналіз супроводжується критичною оцінкою креслеників з погляду технологічності й обґрунтованості технічних вимог. Усі виявлені недоліки виправляються разом з розроблювачем конструкції. Потім, виходячи з заданої програми випуску продукції, конфігурації та розмірів деталей, а також виробничих можливостей підприємства, встановлюється тип і характер майбутнього виробничого процесу (одиничне, серійне чи масове; групове чи потокове виробництво).

На першому етапі вибору оптимального способу отримання заготовки можна скористатися так званою матрицею впливу факторів, що подана в таблиці 3.5 [28].

Штапування на кривошипних гарячощтапувальних пресах набуло поширення в крупносерійному і масовому виробництвах кувань складної форми масою до кількох сотень кілограмів. Вони відрізняються більш високою вартістю, але пристосовані для високо механізованого й автоматизованого виробництва.

Таблиця 3.5 - Матриця впливу факторів, що впливають на вибір методу отримання заготовки

Методи	Засоби отримання заготовки	Фактори								
		Форма і габарити, мм	Маса	Сталь	Чавун	Точність IT	Шорсткість Rz, мкм	Відносна собівартість, %	Річна програми чи тип виробництва	Загалом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Лиття	В піщані форми	+	+	-	+	-	+	-	+	5
	В оболонкові форми	+	+	-	-	+	+	-	+	5
	По виплавлюваних моделях	+	+	-	-	+	+	-	+	5
	В кокіль	+	+	-	-	+	+	+	+	6
	Електрошлакове лиття	+	+	-	+	+	-	+	-	5
	Під тиском	+	+	-	+	+	-	+	-	5
	Відцентрове	+	+	-	-	+	+	+	+	6
Обробка	Кування вільне	+	+	-	-	-	+	-	-	3
	Кування в підкладних штампах	+	+	-	-	-	+	-	-	3
	Штапування на молотах у відкритих штампах	+	+	+	-	-	+	-	+	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Штампування на кривошипних гарячоштампувальних пресах	+	+	+	-	+	+	+	+	7
	Кування на гідравлічних кувальних пресах у відкритих штампах	+	+	+	-	+	-	+	+	6
	Кування на горизонтально-кувальних машинах в закритих штампах	-	+	+	-	-	+	+	+	5
	Ротаційно-кувальні машини	-	+	+	-	-	-	-	+	3
	Радіально-кувальні машини	-	+	+	-	-	-	-	+	3
	Штампування видавлюванням на гідравлічних пресах	-	+	+	-	+	+	+	+	6

При штампуванні отримують кування, більш близькі за формою до готової деталі, з більш точними розмірами. Продуктивність штампування підвищується приблизно в 1,4 рази за рахунок скорочення числа ударів у кожному струмку до одного.

Штампування на гідравлічних пресах має не ударний характер роботи. Гідравлічний штампувальний прес значно дорожчий, більш тихохідний і менш продуктивний, ніж штампувальний молот з еквівалентною масою падаючих частин.

Штампування на горизонтально-кувальних машинах являють собою горизонтальні кривошипні гарячоштампувальні преси, які розвивають зусилля 6,3-125 мН. На горизонтально-кувальних машинах штампують у відкритих, закритих штампах і в штампах для видавлювання. З порівняльної характеристики видно, що багато засобів отримання заготовки підходять для нашого випадку, але продуктивніші за все є кривошипні гарячоштампувальні преси, хоча і мають високу вартість.

Для розрахунку припусків і визначення граничних відхилень розмірів заготовки визначається індекс заготовки згідно ДСТУ 9182:2022 [22]. Для цього необхідно розрахувати масу кування та масу фігури, яка описує кування.

Розрахункова маса кування здійснюється за формулою:

$$M_p = M_\partial \cdot K_p,$$

д

е K_p – коефіцієнт, що залежить від характеристики деталі, при виготовленні заготовки «Вал» з прямою віссю, для наведеного кресленника приймається $K_p = 1,2$; (Пр.3, табл. 20, с. 20 ДСТУ 9182:2022 [22]).

Знаходять габаритні розміри фігури (циліндра), яка описує кування. Діаметр фігури:

$$D_\phi = D_\partial \cdot 1,05.$$

Довжина фігури:

$$L_\phi = L_\partial \cdot 1,05$$

д

D_∂

Маса фігури, яка описує кування визначається за формулою:

– максимальний діаметр деталі згідно кресленника, $M_\phi = \frac{3,14 \cdot D_\phi^2 \cdot L_\phi \cdot \rho}{4}$,

д

Ступеням складності кування відповідають численні значення відношення розрахункової маси кування до маси фігури (табл. 3.6):

– щільність сталі, що дорівнює $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

Таблиця 3.6 - Визначення ступені складності кувань

Ступінь складності	Значення відношення $\frac{M_p}{M_\phi}$
С 1	більше ніж 0,63
С 2	від 0,32 до 0,63 включно
С 3	від 0,16 до 0,32
С 4	до 0,16

Клас точності визначається згідно ДСТУ 9182:2022 [22]. Для поковок, отриманих закритим штампуванням на кривошипному гарячоштампувальному пресі, обирається клас точності Т2 (табл.3.7).

П

о

Таблиця 3.7 - Вибір класу точності поковок

Основне деформуюче обладнання, технологічні процеси	Клас точності				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипні гарячоштампувальні преси:					
Відкрите (облойне) штампування				+	+
Закрите штампування		+	+		
Видавлювання			+	+	
Горизонтально-кувальні машини				+	+
Преси гвинтові, гідравлічні				+	+
Гарячоштампувальні автомати		+	+		
Штампувальні молоти				+	+
Калібрування об'ємне (гаряче та холодне)	+	+			

п

Для визначення вихідного індексу по табл. 3.8 у графі «m, кг» знаходять відповідний даній масі рядок та, зміщуючись по горизонталі вправо або по похилим лініям вправо вниз до перетину з вертикальними лініями, які відповідають заданим значенням групи сталі М, ступені складності С, класу точності Т, встановлюють вихідний індекс (від 1 до 23).

Клас точності, група сталі, ступінь складності повинні бути вказані на кресленні кування.

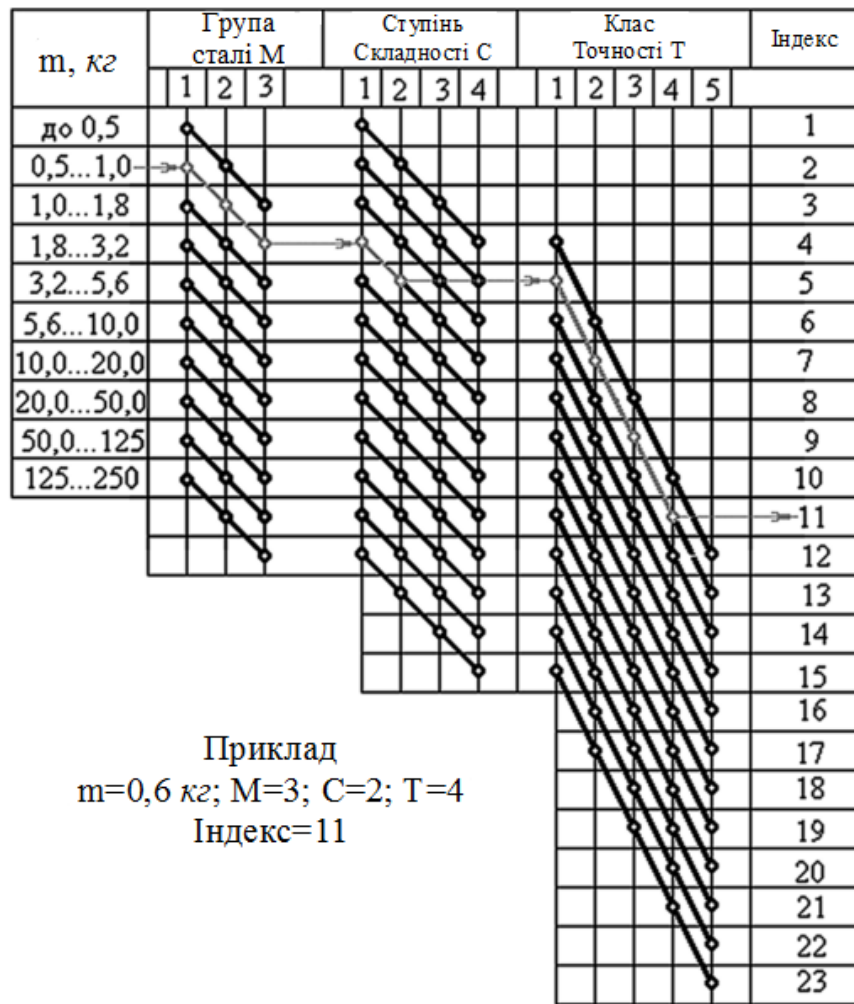
з

н

н

о

.8 - Номограма визначення вихідного індексу кування



Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів

Номінальні значення лінійних розмірів заготовки розраховують при виконанні розмірного аналізу технологічного процесу, що проектується, тобто після того, як намічені необхідні операції і переходи механічної обробки.

Для отримання необхідної якості поверхні для заготовки валу кування, яке отримують методом штампуванням на КГШП, треба виконати наступні операції:

- чорнове точіння;
- чистове точіння;
- шліфування.

Величина припуску повинна компенсувати всі похибки від попередньої обробки заготовки та похибки, що виникають при виконанні поточної операції технологічного процесу.

Розрізняють загальні та проміжні припуски. Проміжним припуском називають шар матеріалу, що знімається при виконанні даного технологічного переходу.

Загальний припуск – це сума всіх проміжних припусків, знятих при обробці даної поверхні.

Розрізняють мінімальні, номінальні та максимальні припуски на обробку. Мінімальні проміжні припуски на механічну обробку поверхні на сторону при послідовній обробці протилежних поверхонь розраховуються за формулою (лінійний розмір):

$$z_{min} = R_{zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i.$$

Мінімальний припуск на діаметр при обробці поверхонь обертання:

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

де R_{zi-1} – висота нерівностей профілю, отриманих на попередній операції;

h_{i-1} – глибина дефектного шару, отриманого на попередній операції;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – сумарне відхилення розташування поверхонь, *мкм*;

ε_{i-1} – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

У випадку, коли обробка деталі ведеться у центрах з використанням патрона повідкового штирьового, похибка встановлення заготовки $\varepsilon_i = 0$, тобто з розрахунків вилучається.

Значення висоти нерівностей профілю R_Z та глибини дефектного поверхневого шару кувань, що виготовлені штампуванням, h , зазначені у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - Якість поверхні поковок, що виготовлені штампуванням

Маса поковки, кг	R_z , мкм	h , мкм
До 0,25	80	150
Більше 0,25 до 4	160	200
Більше 4 до 25	200	250
Більше 25 до 40	250	300

Значення висоти нерівностей профілю R_z та глибини дефектного поверхневого шару h заготовок після механічної обробки наведені у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 - Точність та якість поверхні штампованих кувань після механічної обробки валів

Спосіб обробки	Квалітет	R_z , мкм	h , мкм
Точіння зовнішніх поверхонь:			
одноразове	11–12	32	30
чорнове	12	50	50
чистове	11	25	25
тонке	7–9	5	5
Підрізка торцевих поверхонь:			
Чорнова	12	50	50
чистова	11	32	30
Шліфування:			
одноразове	7–9	5	10
чорнове	8–9	10	20
чистове	6–7	5	15
тонке	5–6	2,5	5

Сумарне відхилення розташування поверхонь $\Delta_{\Sigma i-1}$ розраховується як середньоквадратичне відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне. У деяких випадках враховується відхилення форми поверхні, тобто відхилення від площинності та

прямолінійності на попередньому переході. Для спрощення розрахунків діаметральних розмірів приймаємо:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Pi}^2 + \Delta_{um}^2}$$

де $\Delta_{\Sigma K}$ – місцеве відхилення вісі деталі від прямолінійності, мкм;

Δ_{Π} – зсув вісі заготовки внаслідок похибки центрування, мкм;

Δ_{um} – відхилення від співвісності елементів, що штампуються в різних половинах штампа, мкм (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 - Відхилення від співвісності Δ_{um} (мкм) елементів, що штампуються в різних половинах штампа

Маса кування, кг	Штапування	
	на молотах	на пресах
До 0,25	400	300
Більше 0,25 до 0,63	500	400
Більше 0,63 до 1,6	600	500
Більше 1,60 до 2,5	800	600
Більше 2,50 до 4,00	1000	700
Більше 4,00 до 6,30	1100	800
Більше 6,30 до 10	1200	900
Більше 10 до 16	1300	1000
Більше 16 до 25	1400	1100
Більше 25 до 40	1600	1200

Місьцеве відхилення осі деталі від прямолінійності при обробці деталі в центрах розраховують за формулою:

$$\Delta_{\Sigma K} = \Delta_K \cdot l, \quad (3.11)$$

де Δ_K – кривизна, мкм/мм (табл. 3.12);

l – відстань від оброблюваного перетину до найближчої опори, мм;

Зсув вісі заготовки внаслідок похибки центрування Δ_{Π} розраховують за формулою:

$$\Delta_{ц} = 0,25 \cdot \delta, \quad (3.12)$$

де δ – допуск на діаметральний розмір заготовки, що використовувався як базовий при центруванні, мкм.

Таблиця 3.12 - Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) кувань типу валів

Діаметр поковки D, мм	Після штамбування	Після правки на пресах	Після термічної обробки в печах
До 25	4	0,2	2,5
Більше 25 до 50	3	0,15	1,5
Більше 50 до 80	2	0,12	1,5
Більше 80 до 120	1,8	0,1	1,0
Більше 120 до 180	1,6	0,08	1,0
Більше 180 до 260	1,4	0,06	–
Більше 260 до 360	1,2	–	–
Більше 360 до 500	1,0	–	–

При розрахунках лінійних розмірів:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma H}^2 + \Delta_{ум}^2} \quad (3.13)$$

де $\Delta_{\Sigma H}$ – відхилення розташування торцевих поверхонь від перпендикулярності, мкм; у випадку, коли різниця суміжних діаметрів менше 100 мм, цей показник не враховується;

$\Delta_{ум}$ – відхилення від співвісності елементів, що штампуються в різних половинах штампа, мкм (див. табл. 3.9).

Величина залишкового викривлення після переходу, що здійснюється, визначається за формулою:

$$\Delta_{зал} = K_y \cdot \Delta_{\Sigma},$$

д

е Δ_{Σ} – сумарне відхилення розташування поверхонь заготовки.

Е Т

М

а

В

О

Е

Технологічний перехід	Коефіцієнт уточнення, K_y
Після обточування:	
чорнового та однократного	0,06
чистового	0,04
Після шліфування:	
чорнового	0,03
чистового	0,02

Розрахункові формули для визначення діаметральних розмірів. Граничний діаметральний розмір d_{\min} визначається для кожного переходу за формулою:

$$d_{\min i-1} = d_{\min i} + 2 \cdot z_{\min i}.$$

Граничний діаметральний розмір d_{\max} обчислюється додаванням допуску до найменшого граничного розміру:

$$d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i$$

де δ – допуск розмірів на попередньому переході; встановлюється залежно від якості та номінального розміру (табл. 3.14), а для кування підвищеної точності – залежно від маси, розмірів та ступеня складності (Додаток А).

Розрахункові формули для визначення лінійних розмірів. Граничний лінійний розмір l_{\min} визначається для кожного переходу за формулою:

$$l_{\min i-1} = l_{\min i} + z_{\min i}.$$

Граничний лінійний розмір l_{\max} обчислюється додаванням допуску до найменшого граничного розміру:

$$l_{\max i} = l_{\min i} + \delta_i.$$

Т

а

б

л

Розмір, мм	Квалітет точності										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
До 3	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3-6	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6-10	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10-18	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18-30	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30-50	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50-80	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80-120	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120-180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180-250	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250-315	32	5	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315-400	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400-500	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Граничні значення припусків z_{\max}^{np} визначаються як різниці найбільших граничних розмірів і z_{\min}^{np} – як різниці найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів:

– максимальний припуск:

$$2 \cdot z_{\max}^{np} = d_{\max i} - d_{\max i-1};$$

$$z_{\max}^{np} = l_{\max i} - l_{\max i-1};$$

– мінімальний припуск

$$2 \cdot z_{\min}^{np} = d_{\min i-1} - d_{\min i};$$

$$z_{\min}^{np} = l_{\min i-1} - l_{\min i}.$$

Загальний номінальний припуск визначаємо за формулою:

$$z_{0 \text{ ном}} = z_{0 \text{ min}} + EI_3 - \delta_0,$$

де EI_3 – нижні відхилення діаметра заготовки;

δ_0 – допуск на деталь.

Номінальний діаметр заготовки визначаємо за формулою:

$$d_{з\text{ ном}} = d_{д\text{ ном}} + z_{о\text{ ном}}.$$

де $d_{д\text{ ном}}$ – номінальний діаметр деталі.

Номінальну довжину заготовки визначаємо за формулою:

$$l_{з\text{ ном}} = l_{д\text{ ном}} - z_{о\text{ ном}}.$$

де $l_{д\text{ ном}}$ – номінальна довжина деталі.

Для перевірки правильності розрахунків треба виконати порівняння різності значень між максимальним та мінімальним припусками та різності значень допусків на операціях чорнового точіння та шліфування:

$$z_{max}^{np} - z_{min}^{np} = \delta_3 - \delta_1.$$

Результати розрахунків зводять до табл. 3.15 та до табл. 3.16.

Таблиця 3.15 - Карта розрахунку проміжних розмірів за операціями на обробку діаметрів

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм			Припуск $2 \cdot z_{\min}$, мкм	Квалітет	Допуск, δ , мкм	Граничні розміри, мм		
	R_z	h	Δ_Σ				d_{\min}	d_{\max}	$d_{\text{ср}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблиця 3.16 - Карта розрахунку проміжних розмірів за операціями на обробку довжин

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм			Припуск z_{\min} , мкм	Квалітет	Допуск, δ , мкм	Граничні розміри, мм		
	R_z	h	Δ_Σ				l_{\min}	l_{\max}	$l_{\text{ср}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Розробка кресленика заготовки

Кресленик заготовки виконується за допомогою CAD системи. Рекомендується автоматична генерація кресленика з попередньо створеної тривимірної моделі заготовки. Приклад кресленика заготовки наведено на рис. 3.17.

Проектування карт технологічних наладок

Інструментальна наладка являє собою комплекс ріжучого і допоміжного інструменту, скомпонованого відповідно вимог технологічної операції. У карті наладки повинні бути узгоджені контактні поверхні інструментів, верстата, пристосування та заготовки, а також перевіряється можливість розміщення засобів технологічного оснащення в робочій зоні верстата. Проектування інструментальних наладок є важливим етапом розробки технологічної операції, тому що від якості цієї роботи залежить наскільки успішно буде виконуватись дана операція. Якщо хоча б один з елементів наладки буде не передбачений – операція не зможе бути виконаною. При проектуванні наладок повинні враховуватися: тип виробництва, точність, що має бути забезпечена на операції, продуктивність, зручність роботи на верстаті тощо.

Кarti наладок бажано креслити в масштабі 1: 1. На них показуються: оброблювана деталь, установчо-затискні пристрої, пристрої для встановлення ріжучих інструментів або для направлення інструментів, ріжучі інструменти. Оброблювана деталь зображується в положенні, яке вона займає на верстаті в процесі обробки. Вказуються всі отримані на даній операції розміри з числовими значеннями граничних відхилень і шорсткості поверхні, налагоджувальні розміри і таблиця з режимами різання.

Ріжучий інструмент зображується в кінці робочого ходу, за необхідності штриховою лінією може бути позначено його початкове положення. Оброблювані поверхні виділяються червоними лініями, вказуються стрілками обертання інструменту або деталі і напрямок руху супортів. Установчо-затискні пристрої

можуть креслитися без розрізів і перетинів, проте студент повинен знати принцип їх роботи.

Для наладок верстатів з ЧПУ розробляється карта наладки, яка повинна містити всі відомості, необхідні під час налагодження верстата на конкретну операцію. По карті виконуються установка заготовки на верстаті і ріжучих інструментів в різцевій голівці або магазині, закріплення блоків корекцій положення інструментів, встановлюється порядок зміни інструментів вручну (за потреби).

Карта наладки складається з графічної частини і таблиці. У графічній частині зображуються деталь, що обробляється, після обробки на даній операції (встановлення), схема закріплення заготовки на верстаті і схема розміщення інструментів, розміри і шорсткість оброблюваних поверхонь; даються графічне зображення траєкторії переміщення інструменту, взаємне розташування нульових точок верстата і заготовки.

На схемі розміщення інструментів відзначають: координати положення вершин інструментів по осям і порядок розташування інструментів із зазначенням номерів блоків, гнізд магазинів або позицій револьверної головки і даних для попереднього налаштування інструментів на розмір поза верстатом.

У табличній частині наводяться дані по вихідній заготовці; технологічного обладнання і оснастки, ріжучого інструменту; зазначаються відомості, рід і основні розміри заготовки; модель верстата; модель системи ЧПУ; номер керуючої програми; шифр і основні характеристики верстатного пристосування; шифр і матеріал ріжучої частини інструменту; номер коректора, закріпленого за інструментом.

Для кожного установа заготовки даються чисельні значення координат вершин інструментів по осях Y, Z і X і налагоджувальні розміри. Дані про застосований ріжучий інструмент записують в суворій послідовності вступу інструменту в роботу.

Карти наладок для різних верстатів з ЧПУ можуть відрізнятися як за формою, так і за змістом. Вид карти залежить від конструктивних особливостей і

технологічних можливостей верстата з ЧПУ. Розглянуті основні положення з оформлення карти наладки є загальними і прийнятними для різних типів верстатів з ЧПУ.

При обробці заготовок на багатопозиційних верстатах кресленик налагодження розробляють на кожну позицію, при цьому установчо-затискні пристрої показуються тільки в завантажувальній позиції. Складний інструмент не слід креслити повністю, досить вказати зовнішні габарити і форму двох-трьох зубів (фреза, протяжка) і спосіб їх кріплення в «Карті наладок верстата на операцію №».

На лист карти наладки заповнюється специфікація. Установчо-затискні пристрої, державки для ріжучого інструменту, ріжучий інструмент вказуються в специфікації як складанні одиниці. Деталі і складальні одиниці верстата в специфікацію не включаються.

При проектуванні інструментальної наладки на токарні багаторізцеві і гідрокопіювальні напівавтомати враховуємо, що контактні поверхні інструментальних повздовжніх, поперечних і гідрокопіювальних супортів виконуються у вигляді площини з Т-подібними пазами, а за необхідності можуть мати додаткові пази для точної фіксації різцетримача в радіальному напрямку вісі шпинделя. В деяких випадках операція може комплектуватися декількома різцетримачами. У цьому випадку один різцетримач може бути встановлений на верстаті, а інші можуть бути налаштовані поза верстатом. При цьому значно скорочується час на зміни різцетримача і відпадає необхідність налагоджувати інструмент на верстаті, що важливо при багатоінструментальній обробці з метою скорочення допоміжного часу. Різцетримач подовжнього супорта гідрокопіювального верстата оснащений одним різцем із пластиною, що не переточується, із твердого сплаву марки T15K6+TiN.

Тримачі кріпляться до супортів за допомогою гвинтів і сухарів, що входять у Т-подібні пази. Точна фіксація тримачів забезпечується виступами на їх контактних поверхнях, які входять в пази супортів. В різцетримачах передбачається можливість регулювання вильоту різців і їх положення по висоті відносно вісі шпинделя верстата. Найбільш відповідальним при проектуванні

наладки для багаторізевого напівавтомата є вибір і взаємне розташування різців у різцетримачі, тому креслити всі елементи наладки в необхідному положенні різців потрібно в єдиному масштабі. Різці в різцетримачі розташовують за методом розподілу довжини обробки, при цьому кожний із них буде навантажений приблизно однаково. Довжина робочого ходу супорта буде мінімальною, а продуктивність процесу максимальною.

Як повідковий засіб на токарних операціях використовується повідковий двокулачковий патрон з плаваючим центром. Такий патрон забезпечує базування заготовки по центровим отворам (штучні бази) і крайнім торцям валу. Для центрування по правому центровому отвору використовується центр, що обертається, який знаходиться в задній бабці верстата.

У наладці фрезерно-центрувального верстата бажано використовувати торцеві фрези зі змінними багатогранними пластинами точного виконання, що виключає підналагодження при повороті і зміні пластин. Передбачено незалежну наладку кожної фрези. Центрувальні свердла закріплюються в змінних втулках з регульованим упором, що дозволяє налагоджувати виліт свердел поза верстатом.

У якості прикладу в Додатку Б методичних вказівок наводиться карта технологічної наладки для операції 005 – фрезерно-центрувальна технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал шліцьовий».

Розрахунок режимів різання

В бакалаврській роботі режими різання розраховуються аналітичним методом (за емпіричними формулами теорії різання) для 1-ї операції [29].

Для інших операцій режими різання призначаються за нормативами з урахуванням поправочних коефіцієнтів [30]. Режими різання розраховують для кожного з переходів операції.

Подачу при чорновому зовнішньому точінні різцями з пластинами з твердого сплаву вибирають з табл. 3.17, а при чистовому точінні – з табл. 3.18.

При обробці пазів, канавок та фасок подачу вибирають з табл. 3.19.

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 хв.; t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об.

Таблиця 3.17 - 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

Таблиця 3.18 - 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 3.19 - 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 прорізання 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 табл. 3.20.

Таблиця 3.20 - 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	Кування 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.

Результати розрахунків зводять до таблиці 3.21.

Таблиці 3.21 - Карта режимів різання

№ операції	Найменування операції, переходу	D_1 , мм	D_2 , мм	t , мм	S , мм/об	K_v	V , м/хв	n_p , об/хв	$n_{вер}$, об/х
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3.3 Приклад виконання технологічної частини

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 кресленика деталі;
- розробити маршрутний технологічний процес обробки деталі;
- виконати розрахунок режимів різання аналітичним (один розмір) та табличним методом (інші розміри).

Вхідні дані для проектування:

- Кресленик деталі (рис. 3.1).
- матеріал деталі – сталь 12ХН3А ДСТУ 7806:2015 [7].
- програма випуску деталей $N = 10000 \text{ шт./рік}$.

Опис службового призначення деталі, аналіз кресленика 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 $\varnothing 20n6$ розташовано шпонковий паз для встановлення на ного призматичних шпонок та

закріплення на валу шківна клинопасової передачі. На одній з поверхонь 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 $A3,15$, що виконано згідно ДСТУ 2744–94 (ГОСТ 24266–94) [19]. В технічних вимогах кресленика вказано, що шліцові поверхні валу Л підлягають термічній обробці, а саме, цементуванню на глибину $h = 0,7 \dots 1,1$ мм з витримуванням твердості поверхонь $56 \dots 63$ HRC.

При виготовленні деталі «Вал шліцьовий» 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 $\varnothing 25js6$ мм не більше $0,04$ мм відносно вісі валу;
- допуск биття шліців по зовнішній поверхні $\varnothing 36$ h7 мм не більше $0,03$ мм відносно вісі валу;
- допуск биття западини зубу шліців по поверхні $\varnothing 32$ f7 мм не більше $0,01$ мм відносно вісі валу;
- допуск биття торцевої поверхні валу, на якій розташовані шліци, не більше $0,01$ мм відносно вісі валу;

Згідно кресленика деталь «Вал шліцьовий» виготовлено з конструкційної легованої хромонікелевої сталі $12ХН3А$ ДСТУ 7806:2015 [7]. Вихідна твердість сталі $HB 260$. Група металу – М 2 (див. п.3.2.1).

М

е

Т

х

	σ_B	σ_T	τ_T	σ_{-1}	τ_{-1}
а	950	700	490	430	240
б					
п					

ц

Т

н

я

р

б

Л9 - Механічні властивості сталі $12ХН3А$, МПа

и

н

C	Cu	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
0,09–0,16	0,3	0,17–0,37	0,3–0,6	0,6–0,9	2,75–3,15	0,025	0,025

3.3.2 Визначення маси деталі

Масу деталі визначаємо згідно формули, наведеної в п. 3.2.2.

Підставимо 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 за тривимірною моделлю, яку виконано в САПР Creo 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 суттєво впливає на розрахунки, що проводяться. Для подальших розрахунків приймаємо масу деталі $M_d = 1 \text{ кг}$.

3.3.3 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 їх масою.

Згідно із завданням при річному випуску $N = 10000 \text{ шт/рік}$ і масі $M_d = 1 \text{ кг}$ тип виробництва визначаємо, відповідно до рекомендацій, наведених в табл. 3.3, як великосерійний.

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

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi} = \frac{(10000 \cdot 6)}{256} = 235 \text{ шт.};$$

де a – кількість днів запасу деталей на складі (прийнято рівною 6); Φ – кількість робочих днів у році (прийнято рівною 256).

Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання

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

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

Клас точності заготовок визначається згідно ДСТУ 9182:2022 [22]. Для кувань, отриманих закритим штампуванням на кривошипному гарячоштампувальному пресі, обирається клас точності Т2.

Для розрахунків припусків і визначення граничних відхилень розмірів заготовки визначаємо індекс заготовки згідно ДСТУ 9182:2022 [22].

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, вісі, цапфи, шатуни» з прямою віссю приймається $K_p = 1,3 \dots 1,6$ (Пр.3, табл. 20, с. 20 ДСТУ 9182:2022 [22]).

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

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 згідно кресленника,

L_d – довжина деталі згідно кресленника.

Визначаємо масу фігури, яка описує кування:

к2,

д

е Відношення розрахункової маси кування до маси фігури:

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

щ Тоді, згідно п.3.2.1 за хімічним складом матеріалу деталі група сталі – М1, згідно 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 кування – 8.

н

і

с **3.3.5 Особливості вибору та обґрунтування методів обробки поверхонь** деталей. Розробка маршрутного технологічного процесу

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

о

Як приклад, наведемо види обробки поверхні $\varnothing 25js6$ (рис. 3.16).

д Відповідно кресленику деталі і річному обсягу випуску приймаємо наступний маршрут обробки (табл. 3.21).

о

р

і

в

н

ю

с



Рисунок 3.16 – Етапи та види обробки поверхні Ø25js6

У розробленому, маршрутному технологічному процесі, заготовкою є кування, форма якого максимально наближена до форми деталі, що дозволяє прискорити та знизити витрати на обробку деталі. Більшість операцій ведеться на верстатах з ЧПУ, 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 спеціальною черв'ячною фрезою, яка забезпечує найбільшу точність.

Таблиця 3.21 - Маршрутний технологічний процес

№ операції	Найменування операції, її зміст	Модель верстата	Робочий інструмент
1	2	3	4
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 багаторізцева Чорнова обробка правого кінця валу	17А30	Різець прохідний Т15К6 Різець підрізний Т15К6
020	Токарна багаторізцева 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 шліцефрезерувальна Фрезерування шліців	5Б352П	Фреза черв'ячна спеціальна
040	Термічна Цементувати поверхні зубів шліців на глибину h 0,7...1,1 мм до НRC 56...63	Установка СВЧ	

Продовження таблиці 3.21

1	2	3	4
045	Виправлення центрових отворів	MP-73	Свердло центрувальне BK8 ГОСТ 14952-75
050	Круглошліфувальна півавтоматна чорнова Шліфувати шийки валу начорно	3A153	Круг шліфувальний
055	Шпонково-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз	6P11Ф2	Фрези кінцеві Ø8
060	Круглошліфувальна півавтоматна чистова Шліфувати шийки валу начисто	3A153	Круг шліфувальний
065	Горизонтальна шліцешліфувальна з ЧПУ Шліфувати поверхні западин шліців	B3-729Ф4	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	Напилок Клеймо
075	Мийна	Мийна машина ММК 7.13.5/1	
080	Контрольна	Стіл ВТК	

Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів

Розрахунок припуску на діаметральні розміри

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

Для розрахунку $2Z_{\min}$ знайдемо значення величини можливого викривлення поверхні деталі при її обробці:

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

Де Δ_k – кривизна, тобто відхилення вісі деталі від прямолінійності, мкм на 1 мм, що залежить від методу її отримання згідно табл. 3.12 для діаметру кування від 25 до 50 мм обираємо $\Delta_k = 3 \text{ мкм} / \text{мм}$;

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

Знайдемо похибку центрування:

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

де δ_3 – допуск заготовки, для штамповки по IT16 з максимальним діаметром поверхні від 30 до 50 мм приймаємо 1600 мкм.

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

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

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

Розрахуємо величини залишкових викривлень після переходів, використовуючи K_y – коефіцієнт уточнення, значення якого наведені в таблиці 3.13, та Δ_Σ – сумарне відхилення розташування поверхонь заготовки.

П

$$i \quad \Delta_{\Sigma 1} = K_y \cdot \Delta_3 = 0,06 \cdot 0,74 = 0,045 \text{ мм} = 45 \text{ мкм}$$

с П

$$ii \quad \Delta_{\Sigma 2} = K_y \cdot \Delta_3 = 0,04 \cdot 0,74 = 0,03 \text{ мм} = 30 \text{ мкм}$$

я П

$$ii \quad \Delta_{\Sigma 3} = K_y \cdot \Delta_3 = 0,03 \cdot 0,74 = 0,022 \text{ мм} = 22 \text{ мкм}$$

я П

$$ii \quad \Delta_{\Sigma 3} = K_y \cdot \Delta_3 = 0,02 \cdot 0,74 = 0,015 \text{ мм} = 15 \text{ мкм}$$

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 Проміжні мінімальні припуски під чорнове точіння:

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

Б Проміжні мінімальні припуски під чистове точіння:

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

Б Проміжні мінімальні припуски під чорнове шліфування:

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

Б Проміжні мінімальні припуски під чистове шліфування:

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

Б Для подальших розрахунків складаємо таблицю 3.22.

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

Б Таблиця 3.22 - Розрахунок припусків та граничних розмірів за операціями на обробку поверхні $\varnothing 25js6 (\pm 0,0065) \text{ мм}$

Б

Б

Б

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, <i>мм</i>			Припуск $2 \cdot z_{\min}$, <i>мм</i>	Квалітет	Допуск, δ , <i>мм</i>	Граничні розміри, <i>мм</i>		
	R_z	h	Δ_Σ				d_{\min}	d_{\max}	$d_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заготовка (кування $h16$)	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 (кування) обираємо згідно її маси, розміру, групи сталі та ступеню складності за таблицями, що наведено в Додатку А. Для заготовки масою 1,5 кг розміром кування до 50 мм з М1С1 обираємо значення $\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$ мм. Для призначення інших допусків користуємося табл. 3.14.

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

Д

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

Л

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

Л

Л

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

Далі знайдемо найбільші діаметри.

Л

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

Л

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

Л

Л

Л

Л

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

—

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

П

Визначимо граничні значення припусків:

р

—

и

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

д

н

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

—

я

р

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

п

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

п

и

—

с

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

о

н

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

—

р

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

п

п

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

В

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

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

В

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

е

п

р

о

р

о

р

о

р

о

р

о

р

о

р

EI_3 – нижні відхилення діаметра заготовки (для розміру $\varnothing 25js6 (\pm 0,0065)$ мм

порівнює - $0,0065$ мм); δ_o – допуск на деталь ($0,013$ мм).

Визначаємо номінальний діаметр заготовки:

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

Виконуємо перевірку правильності розрахунків:

$$z_{\text{тахчистти}}^{\text{np}} - z_{\text{мінчистти}}^{\text{np}} = 124 - 104 = 20 \text{ мкм}; \delta_{\text{чорни}} - \delta_{\text{чистти}} = 33 - 13 = 20 \text{ мкм};$$

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

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

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

Отже, розрахунки припусків виконані правильно.

3.3.6.2 Розрахунок припусків на лінійний розмір

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

Заготовку виробу отримуємо штампуванням на КГШП. Маршрут обробки поверхні складається з токарної чорної 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 чорної 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 Δ_k – кривизна, тобто відхилення вісі 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 чорного підрізання торцю:

$$\Delta_{\Sigma \text{зал}} = K_y \cdot \Delta_3 = 0,06 \cdot 237 = 14,22 \text{ мкм}.$$

де K_y – коефіцієнт уточнення, значення якого наведені в табл. 3.13. Для чорного точіння $K_y = 0,06$.

Розрахуємо припуски на чорнове підрізання торцю:

МКМ.

Для подальших розрахунків складаємо таблицю 3.23.

Таблиця 3.23 - 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, δ , мкм	Граничні розміри, мм		
	R_z	h	Δ_Σ				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

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

а для заготовки:

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

«

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

н

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

и Для заготовки:

ч

$$l_{\max z} = l_{\max \text{чорн}} + \delta_z = 79,8 + 1,2 = 81 \text{ мм}.$$

н

Розрахуємо граничні значення припусків під чорнове підрізання торців:

и

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

й

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

р

В

И

Э

Н

а

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

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

Знайдемо загальний номінальний припуск:

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

Знайдемо номінальний розмір заготовки:

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

Виконаємо перевірку правильності розрахунків:

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

Отже, розрахунки припусків виконані правильно.

На інші поверхні припуски призначаємо по табл. 3 ДСТУ 9182:2022 [22].
Граничні відхилення на розміри заготовки (кування) 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 3.24. Приклад

к

р

Таблиця 3.24 - Припуск і допуски на оброблювані поверхні валу

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

з

а

г

о

т

о

в

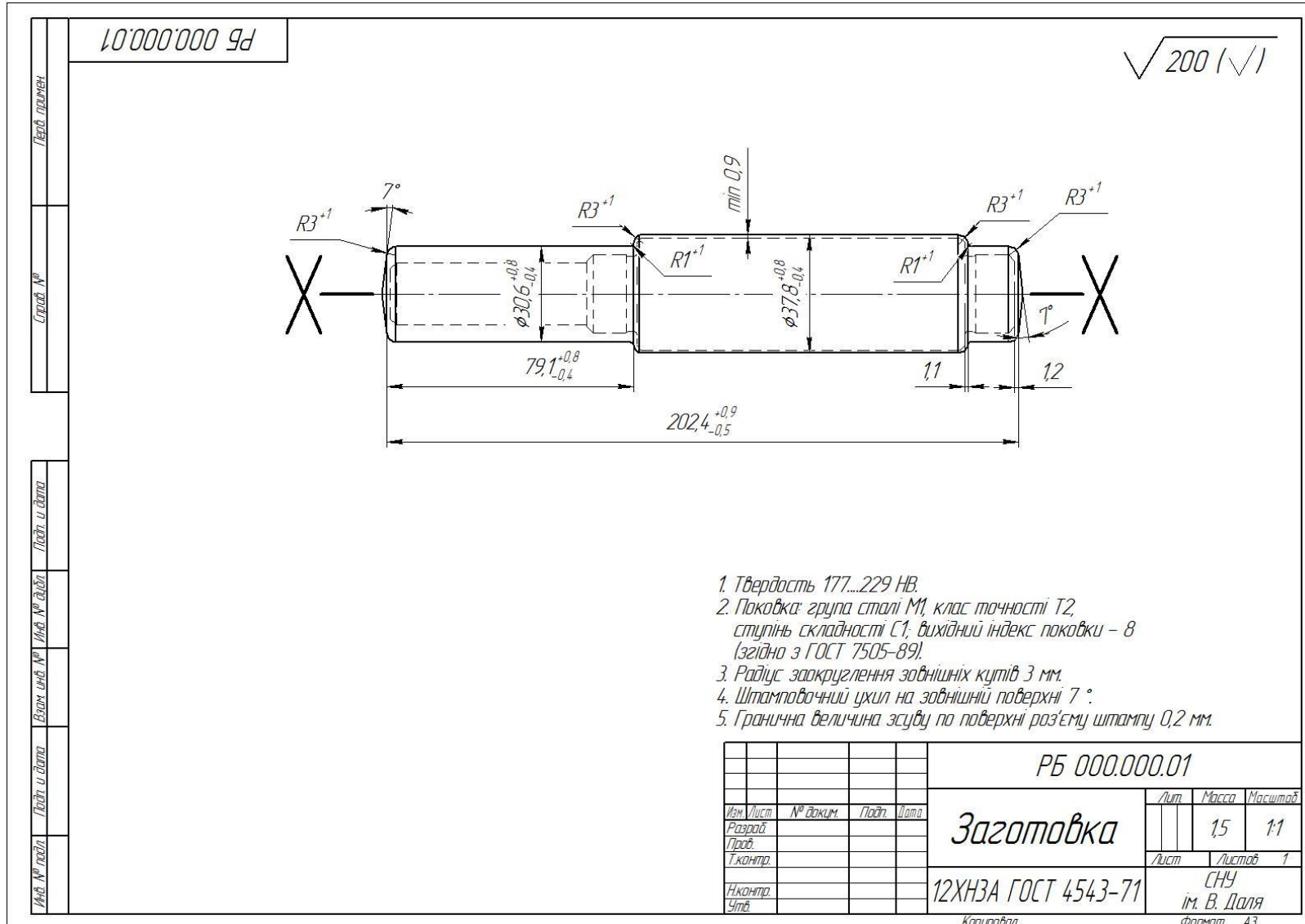


Рисунок 3.17 – Приклад кресленика заготовки деталі «Вал шліцьовий»

3.3.7 Проектування карт технологічних наладок

У якості прикладу в Додатку Б методичних вказівок наводиться карта технологічної наладки для операції 005 – фрезерно-центрувальна. Інформація, яка подана на ній, є достатньою для виконання налагодження обладнання.

3.3.8 Розрахунок режимів різання

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

Операція виконується на верстаті моделі 17А30. Інструменти – різці прохідні з пластинами з твердого сплаву Т15К6.

Зміст операції:

– чорнове точіння поверхні $\varnothing 21$ $h12$;

–

– підрізка торця в розмір 79 $h12$;

ч – підрізка торця в розмір 63 $h12$.

о Режими різання для операції «Токарна багаторізева» розраховуємо для

р

я

й

б

і

л

е

ш

ч

ф

в

н

д

о

в

д

р

і

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

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

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

ф

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

в Д

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

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

Знайдемо дійсну швидкість різання:

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

Визначення режимів різання для всіх наступних операцій виконаємо табличним методом за допомогою довідникової літератури, результати зведемо в табл. 3.25.

Таблиця 3.25 - Карта режимів різання технологічного процесу обробки деталі «Вал шліцьовий»

№ операції	Перехід	Довжина різання, $l_{різ}, \text{ мм}$	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 дотриманням розмірів $\varnothing 25,7 h12$ $\varnothing 36,3 h12$ $16 h12$	30,6	1; 0,5; 0,5	0,5	99,3	1092,2	1000
			0,5				
		5,3	0,5; 0,4				
020	Токарна багаторізева Чорнова обробка лівого кінця валу:	$\varnothing 25,7 h12$	1; 0,5; 0,5	0,5	89,5	984,6	900
		$\varnothing 21 h12$	2; 1,3; 1				
		$79 h12$	0,7; 0,5				
		$63 h12$	0,7; 0,5				
025	Токарна гідрокопіювальна Чистова обробка правого кінця валу $\varnothing 25,4 h12$ $\varnothing 36 h7$ Точити канавку $b=3; \varnothing 24$ Точити фаску $2 \times 45^\circ$		0,4	0,5	99,3	1092,2	1000
			0,3				

Продовження табл. 3.25

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

030	Токарна гідрокопіювальна Чистова обробка лівого кінця валу $\varnothing 25,4 h10$ $\varnothing 20,4 h10$ Точити канавку $b=3$; $\varnothing 24$ Точити 2 фаски $2 \times 45^\circ$	21	0,4 0,6	0,5	89,5	984,6	900
035	Півавтоматна шліцефрезерувальна Фрезерування шліців $d-8 \times 32, 1h8 \times 36h7 \times 6f8$	105	2	5	35	15	15
045	Виправлення центрових отворів Центрувати торці одночасно з двох сторін $A3, 15$ ГОСТ 14034-74	6,97	3,35	0,25	25	240	240
050	Круглошліфувальна півавтоматна чорнова Шліфувати шийки валу начорно $\varnothing 25,1 h8$ $\varnothing 20,1 h8$	20,4	0,3 0,3	0,55	35	145	125
055	Шпонково-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз $8H9$	60	4	0,1	210	500	500
065	Круглошліфувальна півавтоматна чистова Шліфувати шийки валу начисто \varnothing $\varnothing 20 n6$	20,1	0,1 0,1	0,55	35	157	150
070	Горизонтальна шліцешліфувальна з ЧПУ Шліфувати поверхні западин шліців в розмір $\varnothing 32f7$	32,1	0,1	0,9	17	157	150

Висновок

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 матеріалоемності.

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

Заготовкою для деталі «Вал шліцьовий» було обрано кування, отриману штампуванням на кривошипному гарячостампувальному пресі (КГШП). Після розрахунку основних розмірів заготовки було виконано її кресленик.

Відповідно кресленику 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.

Певну увагу було приділено 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.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ГОСТ 2.051:2006 Єдина система конструкторської документації. Електронні документи. Загальні положення.
2. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи.
3. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.
4. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
5. ДСТУ EN 1561:2010 Литво. Сірий чавун. Технічні умови (EN 1561:1997, IDT). [Чинний від 2012-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2012. 20 с.
6. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
7. ДСТУ 7806:2015. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 47 с.
8. ДСТУ 2500-94 Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми.
9. ДСТУ ISO 22:2009. Пасові приводи. Паси приводні пласкі та відповідні шківни. Розміри та допуски (ISO 22:1991, IDT). [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2011. 12 с.
10. ДСТУ ГОСТ 8338:2008 Підшипники шарикові радіальні однорядні. Основні розміри
11. ДСТУ ГОСТ 24696:2008 Підшипники роликові радіальні сферичні дворядні з симетричними роликами. Основні розміри.
12. Технологія машинобудування : посібник-довідник для викон. кваліфікац. робіт студ. базового напрямку "Інженерна механіка" та спец. "Технологія машинобудування" / І. І. Юрчишин [та ін.] ; ред. І. І. Юрчишин ; Національний ун-

т "Львівська політехніка". - Л. : Видавництво Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2009. - 528 с.

13. ГОСТ 8820-69. Канавки для выхода шлифовального круга. Форма и размеры (с Изменением N 1). [Дата введения 1971-07-01].

14. ДСТУ ISO 16589-1:2006 Манжети з термопластичними ущільнювальними елементами для валів. Частина 1. Номінальні розміри та допуски (ISO 16589-1:2001, IDT)

15. ДСТУ ГОСТ 24071:2005 (ISO 3912:1977) Основні норми взаємозамінності. Сегментні шпонки та шпонкові пази.

16. ДСТУ 2691-94. Деталі та складальні одиниці універсально-складальних пристроїв до металорізальних верстатів. Технічні вимоги. Методи контролю. Маркування, пакування, транспортування та зберігання (ГОСТ 31.111.42-93). [Чинний від 1995-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 1995. 26 с.

17. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок (ISO 286-1:1988, IDT). [Чинний від 2003-10-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2003. 47 с.

18. Creo Help Centers. URL: <https://www.ptc.com/en/support/help/creo> (дата звернення: 23.03.2025).

19. ДСТУ 2744–94 (ГОСТ 24266–94). Кінці валів редукторів та мотор-редукторів. Основні розміри, допустимі крутні моменти.

20. ДСТУ 3423-96 Передачі зубчасті. Похибки та допуски. Терміни та визначення

21. ДСТУ ISO 2768-1-2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768-1:1989, IDT)

22. ДСТУ 9182:2022 Поковки з вуглецевої і легованої сталі, виготовлені куванням на пресах. Припуски і допуски.

23. Пижов І. М. Розробка технологічного процесу на прикладі виготовлення ступінчастого вала редуктора: навчально-методичний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – 91 с.

24. ДСТУ ГОСТ 3.1102:2014 Єдина система технологічної документації. Стадії розробки та види документів. Загальні положення (ГОСТ 3.1102-2011, IDT)
25. ГОСТ 3.1107-81. Единая система технологической документации. маршрутные и установочные устройства. Графические обозначения. [Дата введения 1982-07-01]. Изд. офиц. Москва: Изд-во стандартов, 1982, 16 с.
26. ГОСТ 3.1404-86. Единая система технологической документации (ЕСТД). Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием. [Дата введения 1987-07-01]. Изд. офиц. Москва: Изд-во стандартов, 2003, 77 с.
27. ГОСТ 1118-82. ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт. [Дата введения 1984-01-01]. Изд. офиц. Москва: Стандартиформ, 2012, 37 с.
28. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Репінський С.В. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1: практикум. Вінниця : ВНТУ, 2010. 114 с.
29. 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. Т2. 944 с.
30. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок : підручник для студ. машинобуд. спец. вищ. навч. закладів / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с..
31. Norton R. L. Machine Design: An Integrated Approach. – 5th ed. – Pearson, 2019. – 1088 p.
32. Budynas R. G., Nisbett J. K. Shigley's Mechanical Engineering Design. – 10th ed. – New York: McGraw-Hill, 2015. – 1082 p.
33. ДСТУ 2974-95 Технологічне підготовлення виробництва. Основні терміни та визначення.
34. ДСТУ ГОСТ 3.1105:2014 Єдина система технологічної документації. Форми та правила оформлення документів загального призначення
35. Оформлення конструкторської документації: навч. посіб. / В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. — 2-ге вид., випр. — К. : Каравела, 2003. — 160 с.

36. Розробка креслень деталей і складальних одиниць: Довідковий методичний посібник при роботі над курсовими та дипломними проектами для студентів всіх технічних спеціальностей всіх форм навчання / Укладачі С. Г. Карнаух, Т. О. Кулік. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 100 с.

37. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл.

38. ДСТУ ISO 2584:2018 Фрези циліндричні із циліндричним отвором та переданням обертання шпонкою. Метрична серія.

39. ДСТУ ISO 2540:2018 Свердла центрувальні для свердління центрових отворів із запобіжною фаскою. Тип В (ISO 2540:2016, IDT)

40. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2004-10-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 51 с.

41. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – Львів: Світ, 2003. – 560 с.

42. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 122 с.

43. Groover M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. – 6th ed. – Wiley, 2015. – 1128 p.

44. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум /Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67 с.

45. Складальні процеси в машинобудуванні : навчальний посібник /укладач: В. В. Савуляк – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 99 с

46. Деталі машин. Курсове проектування: навчальний посібник. 2-ге видання , стереотипне / Малащенко В.О., Янків В.В. – Львів: “Новий Світ-2000”, 2024. – 230 с.

Додаток А

Допуски на виготовлення кувань підвищеної точності групи сталі М1,
ступені складності кування С1

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+ 0,5 - 0,2	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,7 - 0,5
0,25 – 0,40	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,7 - 0,5	+ 0,7 - 0,6
0,40 – 0,63	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,8 - 0,5	+ 0,9 - 0,5
0,63 – 1,00	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 0,9 - 0,6
1,00 – 1,60	+ 0,8 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6
1,60 – 2,50	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7
2,50 – 4,00	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7	+ 1,2 - 0,8
4,00 – 6,30	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7	+ 1,2 - 0,8	+ 1,3 - 0,9
6,30 – 10	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0
10 – 16	+ 1,0 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0	+ 1,8 - 1,0
16 – 25	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2
25 – 40	+ 1,3 - 0,7	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2
40 – 63	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,5 - 1,5
63 – 100	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,0 - 1,5	+ 2,5 - 1,5

Допуски на виготовлення кувань підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності кування С2 та групи сталі М2, ступені складності кування С1

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,7 - 0,5	+ 0,7 - 0,6
0,25 – 0,40	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,8 - 0,5	+ 0,9 - 0,5
0,40 – 0,63	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 0,9 - 0,6
0,63 – 1,00	+ 0,8 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6
1,00 – 1,60	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7
1,60 – 2,50	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7	+ 1,2 - 0,8
2,50 – 4,00	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7	+ 1,2 - 0,8	+ 1,3 - 0,9
4,00 – 6,30	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0
6,30 – 10,0	+ 1,0 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0	+ 1,8 - 1,0
10 – 16	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2
16 – 25	+ 1,3 - 0,7	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2
25 – 40	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,5 - 1,5
40 – 63	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,0 - 1,5	+ 2,5 - 1,5
63 – 100	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,0 - 1,5	+ 2,5 - 2,0	+ 2,5 - 2,0

Допуски на виготовлення кувань підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності кування С3 та групи сталі М2, ступені складності кування С2

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,8 -0,5	+0,9 -0,5
0,25 – 0,40	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6
0,40 – 0,63	+0,8 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6
0,63 – 1,00	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7
1,00 – 1,60	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8
1,60 – 2,50	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9
2,50 – 4,00	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0
4,00 – 6,30	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0
6,30 – 10,0	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2
10 – 16	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2
16 – 25	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,5 -1,5
25 – 40	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5
40 – 63	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -2,0	+2,5 -2,0
63 – 100	+2,5 -1,4	+2,8 -1,4	+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,6 -2,5	+3,6 -2,5

Допуски на виготовлення кувань підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності кування С4 та групи сталі М2, ступені складності кування С3

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 0,9 - 0,6
0,25 – 0,40	+ 0,8 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6
0,40 – 0,63	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7
0,63 – 1,00	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7	+ 1,2 - 0,8
1,00 – 1,60	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,1 - 0,7	+ 1,2 - 0,8	+ 1,3 - 0,9
1,60 – 2,50	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0
2,50 – 4,00	+ 1,0 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0	+ 1,8 - 1,0
4,00 – 6,30	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,7	+ 1,4 - 0,8	+ 1,5 - 1,0	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2
6,30 – 10,0	+ 1,3 - 0,7	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2
10 – 16	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,5 - 1,5
16 – 25	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,0 - 1,5	+ 2,5 - 1,5
25 – 40	+ 1,8 - 1,0	+ 1,8 - 1,2	+ 2,0 - 1,2	+ 2,0 - 1,5	+ 2,5 - 2,0	+ 2,5 - 2,0
40 – 63	+ 2,5 - 1,4	+ 2,8 - 1,4	+ 3,2 - 1,6	+ 3,6 - 1,8	+ 3,6 - 2,5	+ 3,6 - 2,5
63 – 100	+ 2,8 - 1,4	+ 3,2 - 1,6	+ 3,6 - 1,8	+ 3,8 - 2,0	+ 4,0 - 2,2	+ 4,2 - 2,5

РБ 000.000.02.СХ

Операція 010 Фрезерувально-центрувальна

Фрезерувально-центрувальний верстат моделі МР-73

20 ✓(✓)

205h16₍₋₂₉₎

№опер.	Найменування операції	f, мм	Sx мм/хв	n, хв ⁻¹	V _c м/хв
010	Фрезерувально-центрувальна	3	300	315	160

РБ 000.000.02.СХ			
Лист	№ докум.	Тверд.	Дата
4		Б5508	
У	Маса	Масштаб	1:2
Лист	Листов	1	
ОНУ			
Ім. В. Доля			
Формат А2			

Копіювати

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

**Факультет інженерії
Кафедра машинобудування та прикладної механіки**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі
«Вал шліцьовий»

Студента IV курсу групи _____

спеціальності: 131 Прикладна механіка

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник роботи

(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

доц., к.т.н. Романченко О.В.

(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

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., доц. Романченко О.В.

« _____ » _____ 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
студенту**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розробка технологічного процесу механічної обробки
деталі «Вал шліцьовий»**

керівник роботи

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

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2025 року ____

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані роботи Кресленик деталі. Матеріал деталі. Річна програма випуску деталі

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

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

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

1. Кінематична схема верстату. 2. Вал коробки швидкостей. 3. Кресленик заготовки деталі «Вал». 4. Маршрутний технологічний процес. 5. Наладка інструментальна.

6. Консультанти розділів

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

7. Дата видачі завдання « » _____ 2025 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 щодо виконання бакалаврських робіт		

Студент

.....
(підпис)

.....
(прізвище та ініціали)

**Керівник
бакалаврської роботи**

.....
(підпис)

.....
(прізвище та ініціали)

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

РЕЦЕНЗІЯ

на випускн у кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Група _____

Спеціальність _____

На рецензію представлена випускна кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі Вал шліцьовий».

У зв'язку з постійним зростанням вимог до якості та надійності виробів, відповідно актуальним є питання якості деталей, які використовують в даному обладнанні. В рамках теми в роботі розроблено технологічний процес механічної обробки деталі «Вал», обрано тип заготовки, метод її отримання та розраховано основні розміри заготовки з виконанням кресленика деталі.

Представлено детальний огляд консольно-фрезерувального горизонтального верстату моделі СФ80. Верстат використовується для обробки заготовок, що відрізняються невеликими габаритними розмірами, але дана модель верстата залишається актуальна до теперішнього часу і використовується на багатьох виробництвах. Модель з певними технічними модернізаціями випускають і в наш час.

Також виконано розрахунок режимів різання аналітичним та табличним методом. В роботі були виконані необхідні кресленики.

Робота виконана на високому рівні, тема, є актуальною.

Недоліки:

1. Недостатня кількість іноземної літератури.
2. Недостатньо відкритої інформації для даної моделі верстату.

Ці зауваження не зменшують цінності проекту.

Проект (робота) заслуговує оцінки Відмінно

Підпис _____ к.т.н., доц. ПШБ.

20.06.2025 р.

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра _____

ВІДГУК

керівника випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Прізвище студента _____

Спеціальність _____

Тема роботи _____

ЗМІСТ ВІДГУКУ

Розрахунково-пояснювальна записка бакалаврської роботи виконана на
___ листах формату А4.

Характеристика виконання графічної частини бакалаврської роботи _____
Відповідає висунутим вимогам

Характеристика виконання записки:

Дослідження виконано з дотриманням висунутих кваліфікаційних вимог, задачі роботи виконані повністю. Кожен розділ дослідження виконаний у відповідності до завдання. Висвітлені тези та положення в роботі сформульовані точно та у відповідності до структурно-логічної схеми дослідження. Літературні джерела, використані при написанні роботи, нові та актуальні. Графічний та ілюстративний матеріал відповідає вимогам. Мова викладення матеріалу – наукова, чітка та зрозуміла. Рекомендації витікають з проведеного дослідження, обґрунтовані та значущі для діяльності об'єкта дослідження. В цілому, бакалаврська робота відповідає всім висунутим кваліфікаційним вимогам та може бути допущена до захисту.

Робота заслуговує оцінку _____ *позитивну*

Місце роботи і посада керівника _____
кафедра машинобудування та прикладної механіки

Прізвище _____

Підпис керівника роботи _____

" ___ " _____ 20 р.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра
(для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка»,
133 «Галузеве машинобудування»)

Укладачі:

Романченко Олексій Володимирович,
Логунів Олександр Миколайович,
Шумакова Тетяна Олександрівна,
Сергієнко Оксана Вікторівна,
Шевченко Олександр Володимирович,
Ніколаєнко Анна Павлівна
Мелконов Григорій Леонідович
Боровік Павло Володимирович
Созонтов Віктор Гнатович
Івченко Анатолій Григорович
Святошенко Світлана Миколаївна

Оригінал-макет

Т.О. Шумакова

Підписано до друку _____

Формат 60x84/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Облік. видавн. арк. ____

Тираж ____ екз. Вид. № _____. Замовл. № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.
Адреса видавництва: 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17
адреса електронної пошти uni@snu.edu.ua,
офіційний web-сайт <https://snu.edu.ua>
E-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com