

**Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»**

НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

___ Олександр Охріменко

(підпис)

(власне ім'я, прізвище)

“ ___ ” _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

за освітньо-професійною програмою

«Технології машинобудування»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Розробка технологічного процесу виготовлення гнізда підшипника валу
вертикального.

Виконав:

студент 4 курсу, групи МТ-12

_____ Козішкурт Марко Андрійович _____,

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: Воронцов Борис Сергійович _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2025 рік

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.А. Охріменко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____ Козішкурту Марку Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проекту «Розробка технологічного процесу виготовлення гнізда підшипника валу вертикального»

Керівник проекту _____ Воронцов Борис Сергійович

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

затверджені наказом по університету від

2. Термін подання студентом дисертації _____ червень 2025р

3. Об'єкт дослідження _____ Гніздо підшипника валу вертикального

4. Перелік завдань: Аналіз гнізда підшипника та принцип його функціонування;

Визначення типу гнізда: під підшипник кочення (радіальний/упорний). Визначення допусків та шорсткості посадкової поверхні. Основна функція – забезпечення жорсткої посадки та точної геометрії для стабільної роботи підшипника.

Вибір заготовлі;

Матеріал: СЧ18. Тип заготовки – лита. Визначення припусків на механічну обробку.

Розрахунок припусків і базування;

Встановлення технологічних баз для обробки гнізда. Розрахунок загального та міжопераційних припусків відповідно до стандартів. Вибір чорнової та чистової обробки.

Вибір обладнання, інструменту та оснащення;

Інструмент: свердла, розточувальні головки, шліфувальні круги. Оснащення: центрувальні пристрої, призми, кондуктори.

Контроль якості;

Контроль геометричних розмірів нутромірами, шорсткомірами, індикаторами. Перевірка співвісності та допусків згідно креслення.

5. Дата видачі завдання - 03 лютого 2025р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Терміни виконання окремих етапів	Примітка
1	Виконати патентно-інформаційний пошук та аналіз конструкцій гнізд підшипників і типових вузлів з вертикальним валом	01.12.2024 – 29.02.2025	
2	Обґрунтувати вибір матеріалу заготовки, виконати аналіз функціонування гнізда підшипника, обрати метод виготовлення	01.03.2025 – 15.03.2025	
3	Провести розрахунок припусків, вибір базування та аналіз оброблюваності матеріалу	16.03.2025 – 31.03.2025	
4	Розробити маршрутний технологічний процес виготовлення гнізда підшипника	01.04.2025 – 15.04.2025	
5	Обґрунтувати вибір обладнання, інструменту, оснащення та розрахувати режими різання	16.04.2025 – 30.04.2025	
6	Виконати контрольний аналіз якості виготовлення та точності гнізда	01.05.2025 – 15.05.2025	
7	Розробити креслення обробки гнізда підшипника та графічне зображення маршрутного процесу	16.05.2025 – 31.05.2025	
8	Розробити плакат по патентному пошуку та підготувати інші графічні матеріали	01.06.2025 – 12.06.2025	
9	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та подання проєкту	12.06.2025 – 20.06.2025	

Студент

Козішкурт Марко

Керівник дипломного проєкту

Воронцов Борис

ЗМІСТ

1. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ	10
1.1 Залежність режимів різання від глибини різання	10
1.2 Залежність частоти обертання шпинделя і подачі на оберт від глибини різання	12
1.3 Залежність оптимального режиму різання від головного кута у плані різця	16
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі в вузлі	19
2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація	19
2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі	21
2.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу	22
2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва	23
2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі	25
2.3.1 Якісна оцінка технологічності конструкції	26
2.3.2 Кількісна оцінка технологічності деталі	26
2.4 Проектування конструкції заготовки	28
2.4.1 Визначення виду та способу виготовлення заготовки	28
2.5 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі	31
2.5.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз	31
2.5.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій	34
2.6 Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь заготовки	35
2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі	36
2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання	43

2.9	Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки	44
2.9.1	Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом	45
2.9.2	Визначення припусків аналоговими методами	49
2.10	Визначення режимів різання	50
2.10.1	Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом	50
2.10.2	Визначення режимів різання аналоговими методами	55
2.11	Нормування технологічних операцій	58
2.11.1	Розрахунок поштучного часу для операції	58
2.11.2	Нормування аналоговими методами	60
3	ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ	61
3.1	Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв	61
3.1.1	Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв	61
3.1.2	Послідовність розроблення конструкції пристрою	62
3.2	Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв	63
3.2.1	Розрахунок похибок базування на 005 операцію	63
3.2.2	Визначення похибок закріплення верстатного пристрою	63
3.3	Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв	64
3.3.1	Розрахунок необхідної сили затиску заготовки Q	64
4.	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	70
4.1.	Розрахунок собівартості річного випуску	70
	ВИСНОВКИ	73
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
	ДОДАТКИ	76

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті бакалавра на тему «Розробка процесу виготовлення деталей гнізда підшипника» був розроблений повний набір процесу обробки деталей, включаючи аналіз конструкції, вибір матеріалу, визначення типу виробництва, проектування заготовки, демонстрацію основи процесу, вибір обладнання, вибір інструменту, вибір методу різання та стандартизацію процесу.

Актуальність даної теми пов'язана з вимогами високої якості та високої ефективності виготовлення деталей у сучасному машинобудуванні, де жорсткість, герметичність і точність мають вирішальне значення для надійності обладнання.

Обробка посадочних місць підшипників виконується на верстатах з ЧПК, які підходять для середньосерійного виробництва, що забезпечує високу точність, повторюваність і економічність процесу.

Розрахунково-пояснювальна записка складається з 75 аркушів формату А4, містить 17 ілюстрації та 12 таблиць. При написанні роботи використано 15 джерел літератури.

Графічна частина проєкту включає 6 аркушів креслень формату А1, виконаних відповідно до вимог ЄСКД.

Розроблена технологічна документація може бути використана на машинобудівних підприємствах для впровадження або вдосконалення процесу виготовлення корпусних деталей.

Ключові слова: Гніздо підшипника, технологічний процес, верстат з ЧПК, маршрутна карта, припуски, жорсткість, точність, СЧ18, точіння, свердління.

ANNOTATION

In the bachelor's thesis project on the topic "Development of a process for manufacturing bearing seat parts", a full set of parts processing processes was developed, including design analysis, material selection, determination of the type of production, workpiece design, demonstration of the process basis, equipment selection, tool selection, cutting method selection and process standardization.

The relevance of this topic is associated with the requirements of high quality and high efficiency of manufacturing parts in modern mechanical engineering, where rigidity, tightness and accuracy are crucial for the reliability of equipment.

The machining of bearing seats is performed on CNC machines suitable for medium-volume production, which ensures high accuracy, repeatability and cost-effectiveness of the process.

The calculation and explanatory note consists of 75 sheets of A4 format, contains 17 illustrations and 12 tables. 15 sources of literature were used when writing the work.

The graphic part of the project includes 6 sheets of A1 format drawings, made in accordance with the requirements of the UECD.

The developed technological documentation can be used at machine-building enterprises to implement or improve the process of manufacturing body parts.

Keywords: Bearing seat, technological process, CNC machine tool, route map, allowances, roughness, accuracy, SCh18, turning, drilling.

ВСТУП

Машинобудування є однією з ключових галузей, що визначають рівень національного науково-технічного прогресу та економічного зростання. Виробництво високоякісних деталей і компонентів є основою для створення міцних і довговічних механічних пристроїв. Серед цих деталей особливе місце займають елементи корпусу, особливо корпуси коробки передач. Вони забезпечують захист внутрішніх компонентів механічного пристрою і забезпечують його нормальну роботу.

Розробка ефективного процесу виготовлення корпусів редукторів є актуальним завданням, оскільки від цього залежить ефективність виробництва, економічна доцільність і якість кінцевого продукту. Застосування сучасних методів обробки, оптимізація технологічних процесів і використання нових матеріалів можуть сприяти підвищенню конкурентоспроможності продукції на ринку.

Цей курсовий проект має на меті розробку процесу виготовлення компонентів корпусу «сидіння підшипника». Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Здійснити аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі;

- Вивчити конструктивні особливості деталі та її класифікацію;
- Обґрунтувати вибір конструкційного матеріалу;
- Визначити тип виробництва та проаналізувати його вплив на технологічну підготовку;

- Оцінити технологічність конструкції деталі;
- Спроекувати конструкцію заготовки та обґрунтувати вибір технологічних баз;

- Розробити послідовність обробки поверхонь заготовки та операційний технологічний процес виготовлення деталі;

- Обґрунтувати вибір верстатного обладнання та визначити припуски для технологічних переходів;

- Розрахувати режими різання та нормувати технологічні операції;
- Спроекувати верстатні пристрої, необхідні для виготовлення деталі.

Реалізація цього проекту допоможе набути практичних навичок у галузі технології машинобудування, особливо в розробці процесів та проектуванні технологічного обладнання. Його результати можуть бути використані машинобудівними компаніями для впровадження нових процесів виробництва частин кузова або вдосконалення існуючих процесів.

1. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ

1.1 Залежність режимів різання від глибини різання

Оптимізація режиму різання при точінні полягає в підборі таких параметрів обробки, які забезпечують найкраще співвідношення між продуктивністю, якістю обробленої поверхні, стійкістю ріжучого інструмента та економічністю процесу. Основними параметрами режиму різання є швидкість різання V , подача S , глибина різання h , а також матеріал заготовки, тип і геометрія інструмента та умови охолодження[1].

Мета оптимізації — досягнення мінімальної собівартості обробки при забезпеченні заданої точності та шорсткості поверхні, зменшення зношування інструмента, скорочення часу обробки та підвищення енергоефективності.

Для виконання виконання роботи використовується прикладна програма, інтерфейс якої представлений на рис.1.1. Після введення вхідних даних а саме :

- Параметри верстата;
- Параметри процесу різання;
- Радіус і кути різця;
- Коефіцієнти та показники у залежності для складової сили різання та швидкості різання;

Ми отримаємо функцію за критерієм максимальної продуктивності:

$$f = nS \rightarrow \max \quad (1.1)$$

- Лінія 1 – Мінімальна подача;
- Лінія 2 – Максимальна подача;
- Лінія 3 – Мінімальна частота обертання;
- Лінія 4 – Максимальна частота обертання;
- Лінія 5 – Мінімальна подача за шорсткістю поверхні;
- Лінія 6 – Обмеження за стійкістю інструменту;
- Лінія 7 – Обмеження за потужністю верстата;

- Лінія 8 – Функція максимальної продуктивності;

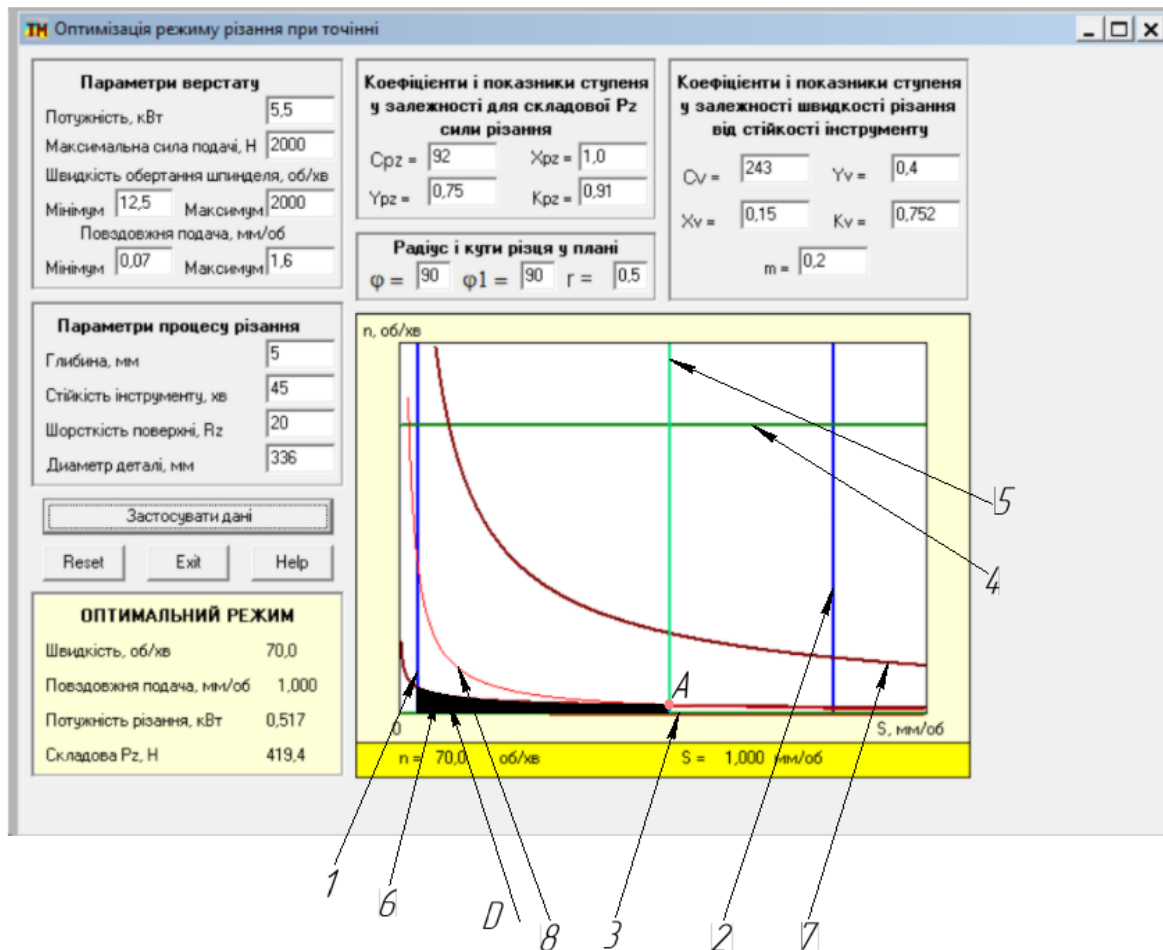


Рисунок 1.1 – інтерфейс прикладеної програми оптимізації точіння.

В даному розділі будемо визначати[1]:

- Залежність частоти обертання шпинделя і подачі на оберт від глибини різання;
- Залежність потужності різання та складової P_z сили різання від глибини різання;
- Залежність критерію оптимальності (оцінювати за величиною повздовжньої подачі) та швидкості різання від глибини різання;
- Залежність критерію оптимальності (оцінювати за величиною повздовжньої подачі) та швидкості різання від головного кута у плані різця.

1.2 - Залежність частоти обертання шпинделя і подачі на оберт від глибини різання;

Для визначення залежності частоти обертання шпинделя і подачі на оберт від глибини різання будемо виконувати в залежності від значення глибини різання від 0,5 до 5 мм. Отримані експериментальні дані, що відповідають оптимальному режиму різання при різних величинах глибини різання заносимо до таблиці 1.1[1]

Таблиця 1.1 – Експериментальні дані

№	h, мм	$n_{\text{опт}}$, об/хв	$S_{\text{опт}}$, мм/об	$N_{\text{різ}}$, кВт	P_z , Н	$S_{\text{хв}}$, об/хв	V , м/хв
1	0,5	110	1,0	0,081	41,9	110	116,05
2	1,0	100	1,0	0,146	83,2	100	105,5
3	1,5	100	1,0	0,221	125,8	100	105,5
4	2,0	90	1,0	0,266	167,8	90	94,95
5	2,5	80	1,0	0,295	209,7	80	84,4
6	3,0	70	1,0	0,315	251,7	70	73,85
7	3,5	70	1,0	0,362	293,6	70	73,85
8	4,0	60	1,0	0,356	336,9	60	63,3
9	4,5	60	1,0	0,398	377,5	60	63,3
10	5,0	50	1,0	0,369	419,4	50	52,75

За експериментальними даними, з використанням пакету Excel побудовані графіки відповідних залежностей, що представлені на рис.1.2-1.7. З аналізу експериментальних результатів можна зробити висновки щодо законів управління за якими досягається оптимальний режим різання при зміні глибини різання[1].

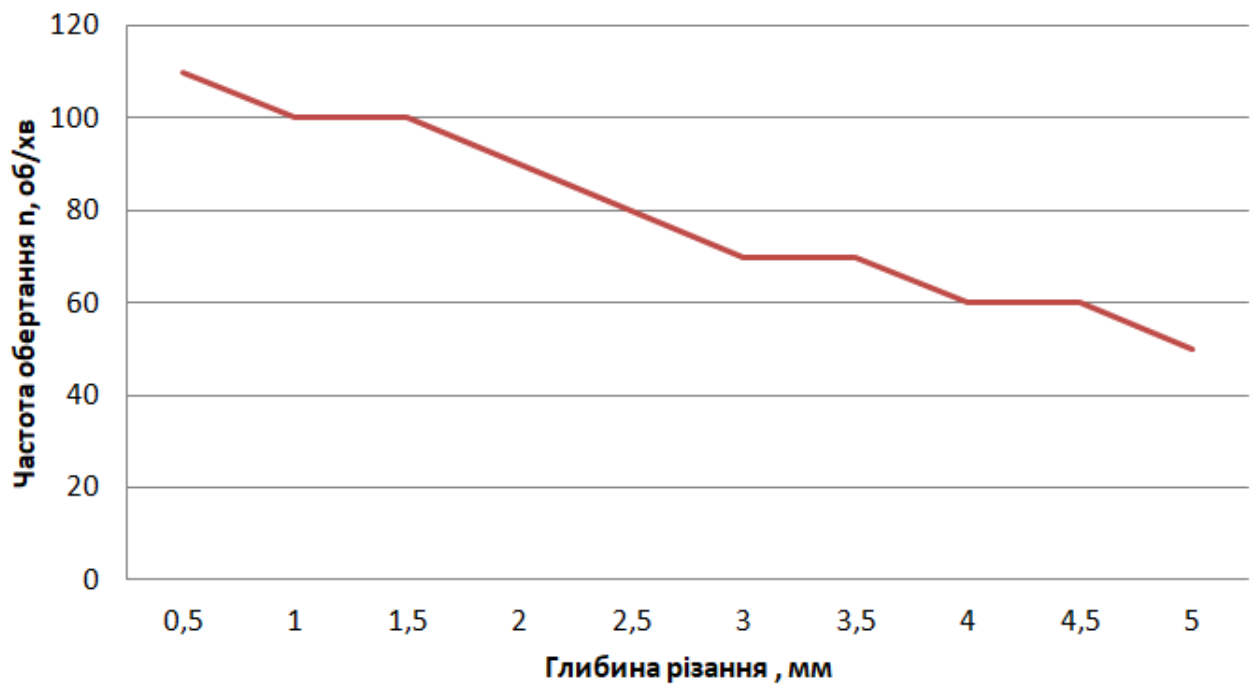


Рисунок 1.2 – Експериментальна залежність частоти обертання від глибини різання

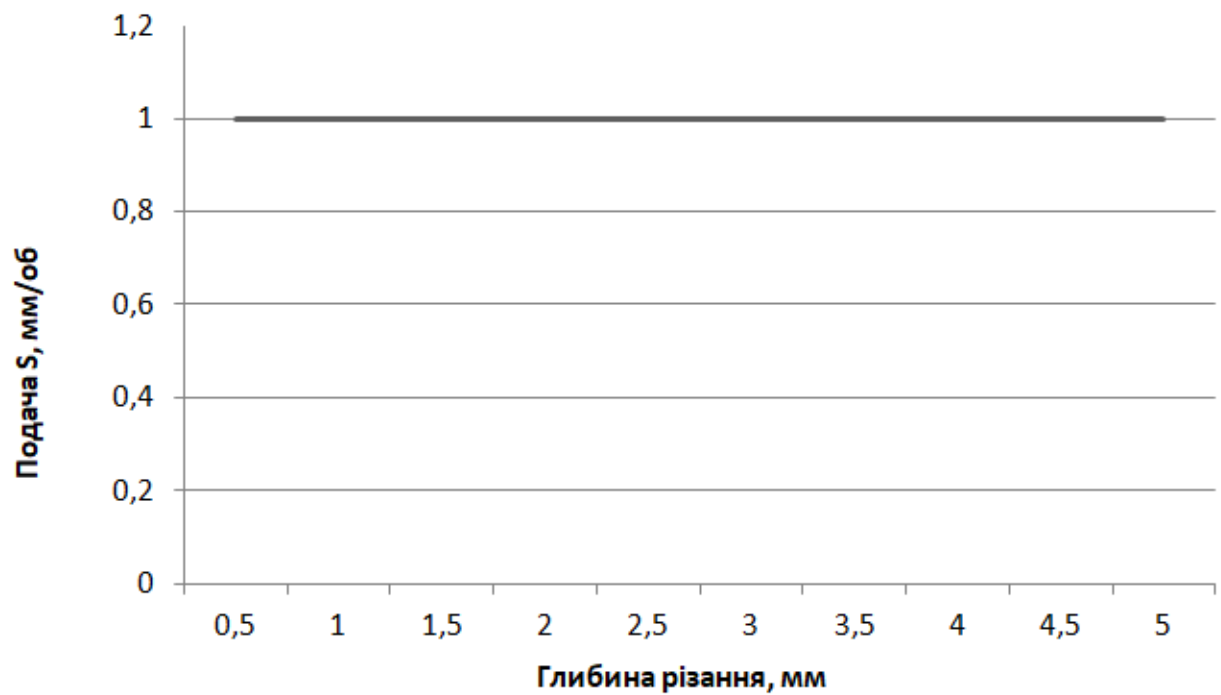


Рисунок 1.3 – Експериментальна залежність подачі від глибини різання

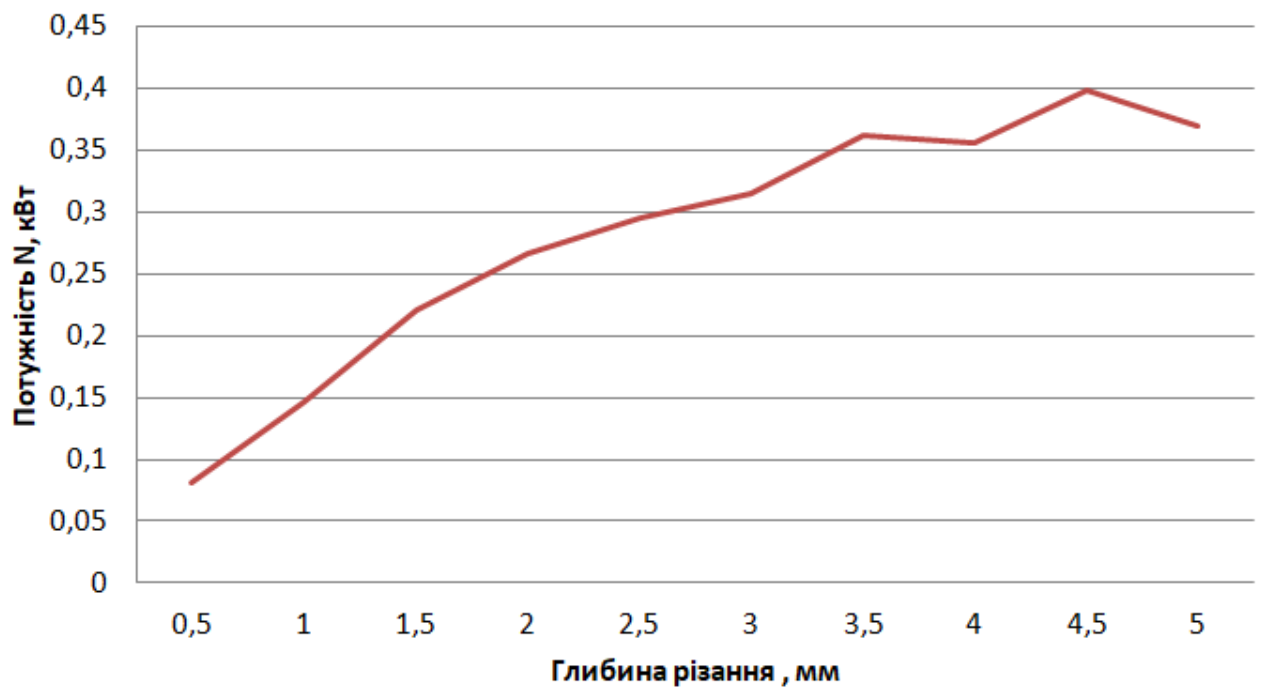


Рисунок 1.4 – Експериментальна залежність потужності різання від глибини різання

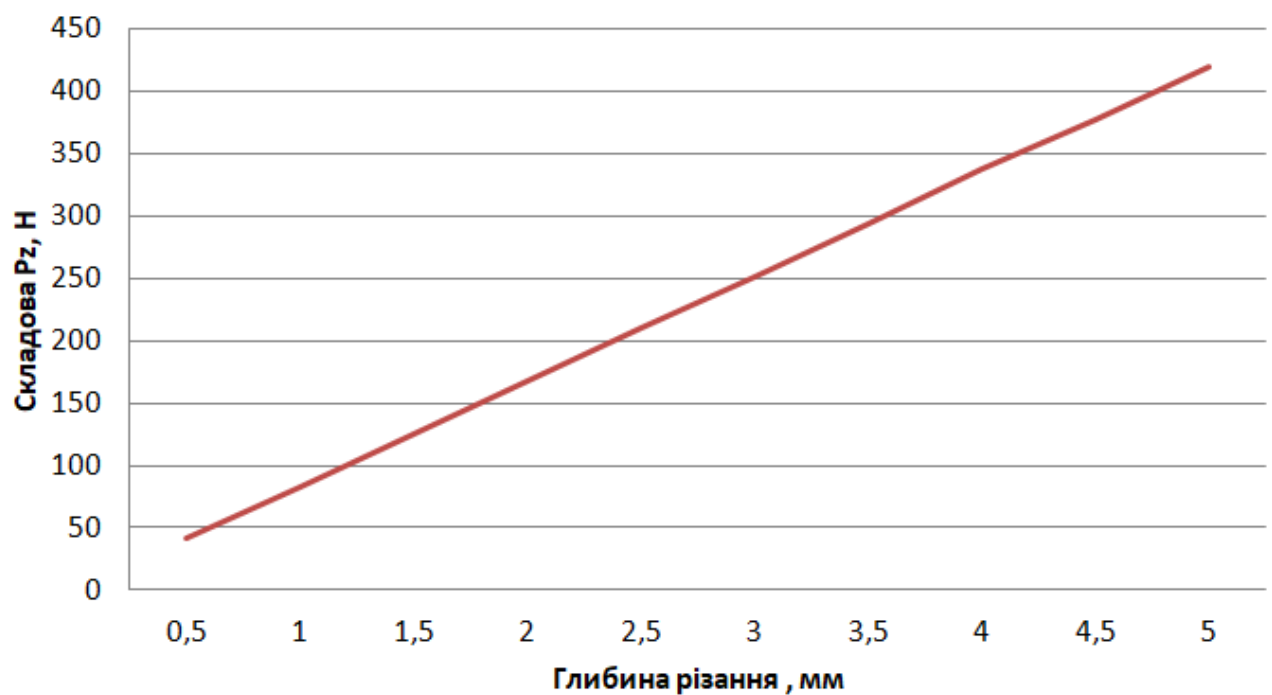


Рисунок 1.5 – Експериментальна залежність складової P_z сили різання від глибини різання

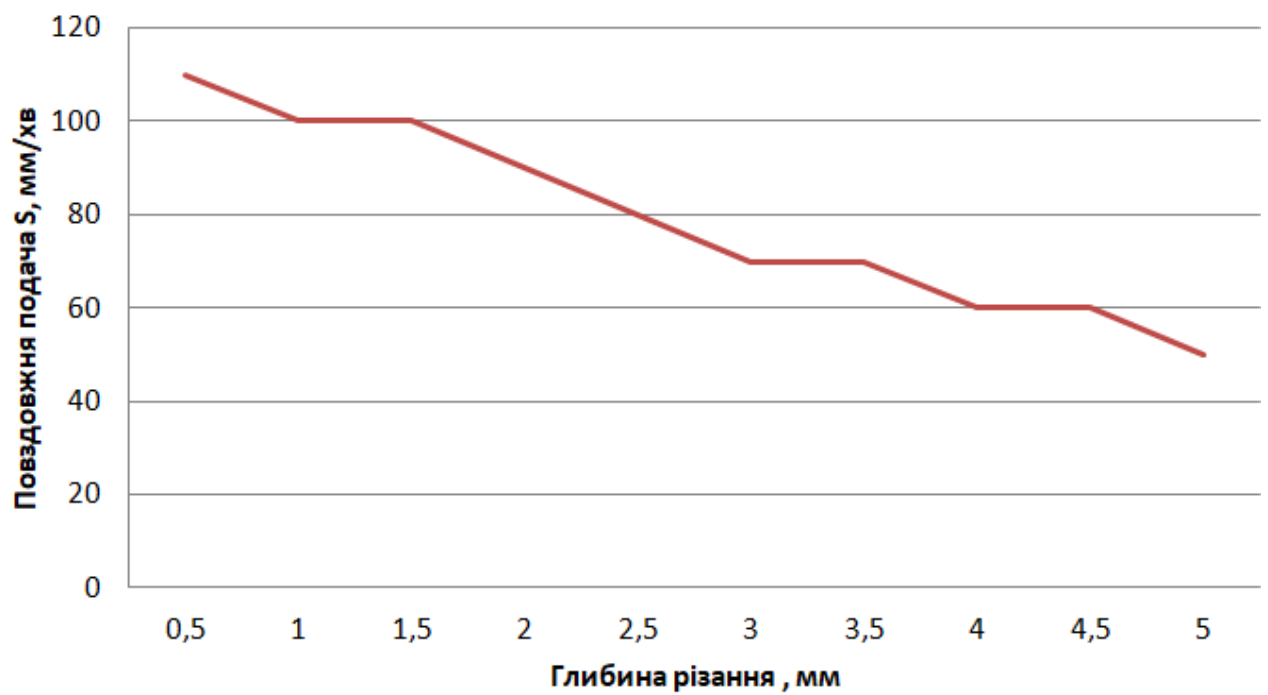


Рисунок 1.6 – Експериментальна залежність пробуктивності від глибини різання

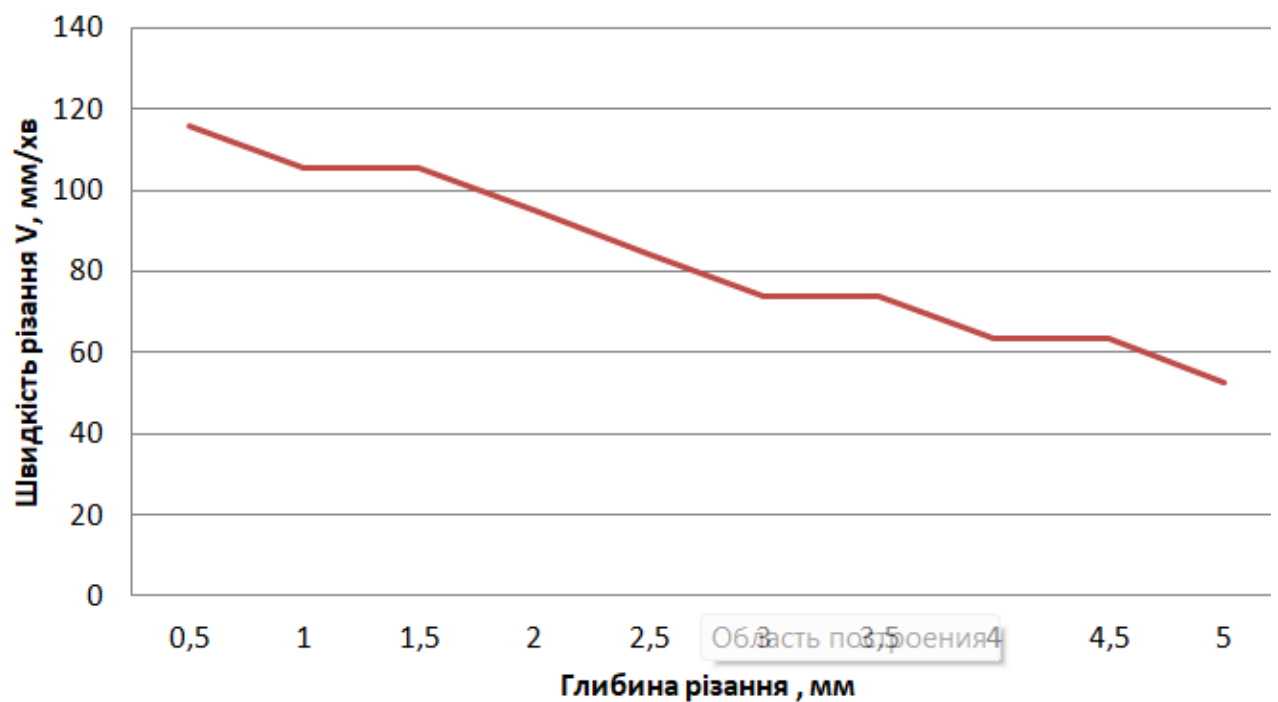


Рисунок 1.7 – Експериментальна залежність пробуктивності від глибини різання

Отже за результатами отриманими на рис. 1.2-1.3 можемо прийти до висновку, Зі збільшенням глибини різання частота обертання шпинделя поступово

зменшується. Це свідчить про необхідність зниження швидкості обертання при більш глибокому різанні для забезпечення оптимальних умов обробки, а подача залишається сталою – це свідчить про стабільні режими роботи обладнання.

За результатами отриманими на рис.1.4-1.5 приходимо до висновку, що потужність різання та складова сили різання мають чітку тенденцію до зростання зі збільшенням глибини різання. Це узгоджується з фізичною природою процесу: чим більша глибина різання, тим більша зона контакту інструмента з матеріалом і, відповідно, тим більші енергетичні та механічні навантаження.

Рис. 1.6-1.7 дають висновок, що продуктивність різання (швидкість різання) знижується зі зростанням глибини різання. Це пов'язано зі зменшенням частоти обертання шпинделя та, відповідно, зниженням швидкості обробки. Така закономірність демонструє компроміс між глибиною різання та загальною ефективністю процесу: більша глибина дозволяє знімати більше матеріалу за один прохід, але знижує швидкість різання.

1.3 Залежність оптимального режиму різання від головного кута у плані різця

Для визначення залежності оптимального режиму різання від головного кута у плані різця будемо виконувати в залежності від значення головного кута у плані від 20 до 80 град. Отримані експериментальні дані, що відповідають оптимальному режиму різання при різних значеннях головного кута у плані заносимо до таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Експериментальні дані, що відповідають режиму різання

№	φ, град	S, мм/хв	V, м/хв	№	φ, град	S, мм/хв	V, м/хв
1	20	35,35	100	5	60	40,04	80
2	30	38,631	100	6	70	44,51	80
3	40	36,85	90	7	80	49,4	80
4	50	40,52	90	8			

За експериментальними даними, з використанням пакету Excel побудовані графіки відповідних залежностей, що представлені на рис.1.8-1.9. З аналізу експериментальних результатів можна зробити висновки щодо зміни головного кута у плані різця.

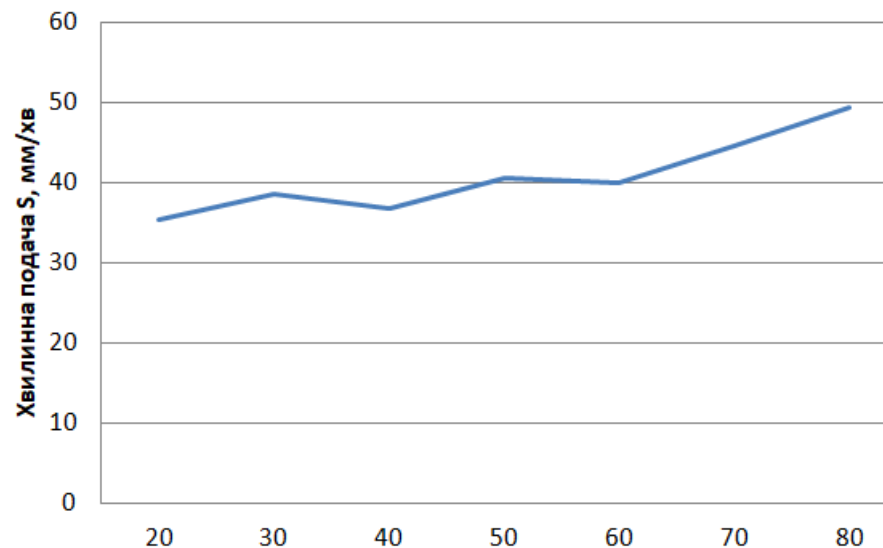


Рисунок 1.8 – Залежність хвилинної подачі відносно зміни головного кута у плані різця

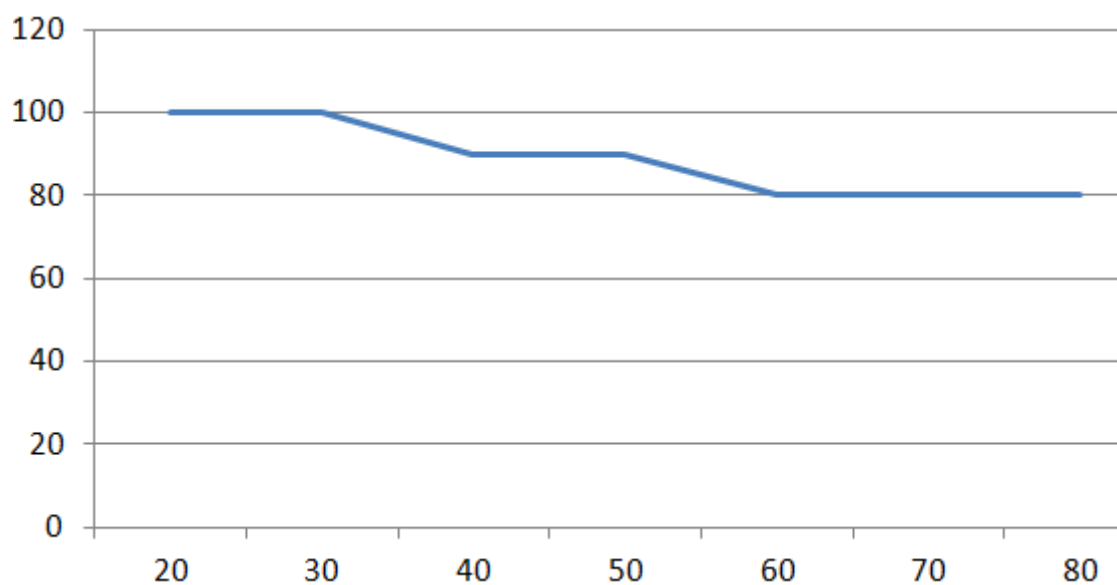


Рисунок 1.9 – Залежність швидкості різання відносно зміни головного кута у плані різця

Зі збільшенням головного кута у плані різця спостерігається зростання хвилинної подачі, що свідчить про покращення умов різання та ефективніше формування стружки. Водночас швидкість різання або залишається сталою, або має тенденцію до зниження при значних кутах. Це може пояснюватись зменшенням жорсткості інструмента або необхідністю зниження швидкості для уникнення перевантаження. Загалом, оптимальний режим різання залежить від балансу між геометрією інструмента та стійкістю процесу обробки.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі

2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація

Деталь "Гніздо підшипника" є корпусною деталлю, основним призначенням якої є забезпечення фіксації підшипника у конструкції механізму. Завдяки своїй формі та точності виготовлення вона гарантує правильне розташування підшипника, що впливає на стабільність та довговічність роботи всього механізму.

Деталь виготовлена з сірого чавуну марки СЧ18 згідно з [2]. Цей матеріал має високу міцність, добрі амортизаційні властивості та стійкість до зношування, що є важливим для деталей, які працюють під навантаженням. Завдяки використанню чавуну, деталь отримує необхідну жорсткість, а також хороші ливарні характеристики, що полегшує її виготовлення.

Геометрія деталі ретельно продумана для забезпечення її функціональності. Основний діаметр отвору складає 240 мм з допуском H7. Крім цього, передбачені посадочні отвори різних розмірів:

- Внутрішній посадочний отвір діаметром 190 мм з допуском H7.
- Отвір 166 мм з допуском h8.
- Отвір 320 мм з допуском f7.
- Конструкція передбачає також додаткові елементи:
- Фаски різних розмірів: $0,5 \times 45^\circ$, $12,5 \times 45^\circ$, $15 \times 45^\circ$.
- Скруглення для зменшення концентрації напружень: R1, R0,5.
- Різьбові отвори: чотири отвори M10 та чотири отвори M8.
- Два наскрізні отвори діаметром 5 мм.
- Наявність кутових елементів під кутами $22,18^\circ$ та 30° .

Деталь проходить ретельну механічну обробку для забезпечення необхідної шорсткості поверхонь. Вона має наступні показники шорсткості:

- Ra 2,5 для більшості поверхонь.
- Ra 12,5 для допоміжних поверхонь.

Допуски на розміри відповідають стандарту ISO 2748-mK, що забезпечує взаємозамінність деталей і відповідає сучасним вимогам точності.

Компонент «Корпус підшипника» був розроблений з урахуванням високих вимог до міцності, точності та зносостійкості. Він складається з прецизійного посадкового місця підшипника, різьбових отворів для кріплення та елементів для скидання тиску. Матеріал із сірого чавуну забезпечує необхідну жорсткість і довговічність, а механічна обробка гарантує точність виготовлення. Це дозволяє використовувати компонент в критичних механізмах, що працюють під високими навантаженнями.

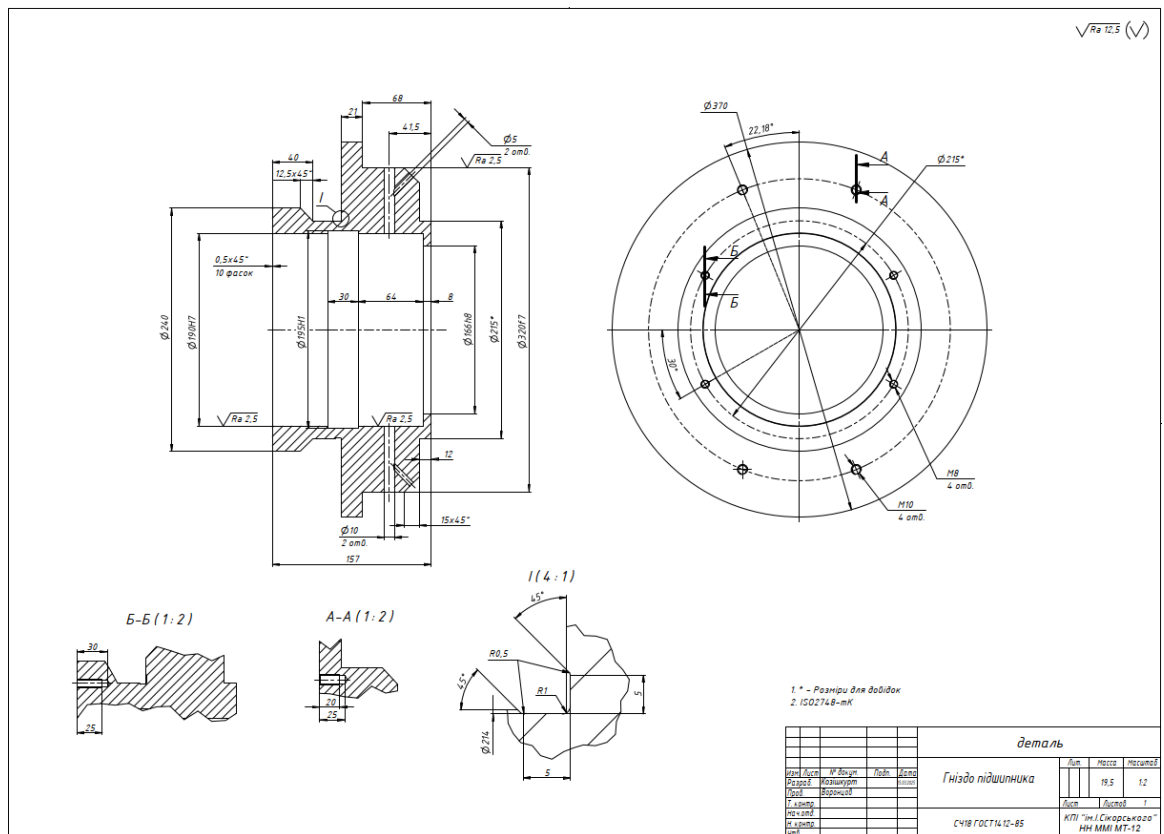


Рисунок 2.1- Кресленик деталі «Гніздо підшипника»

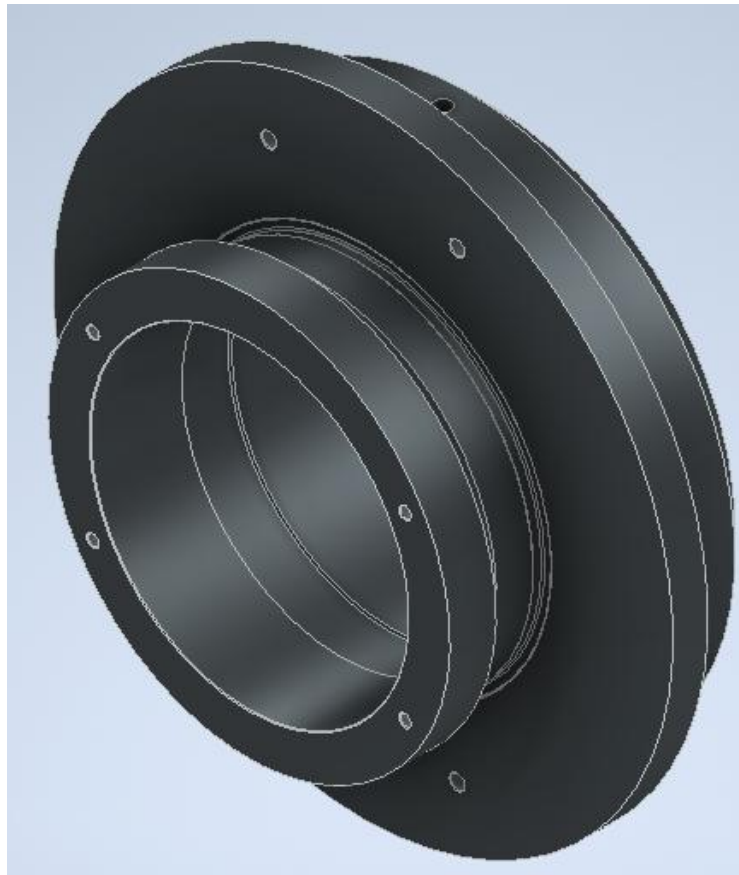


Рисунок 2.2 - 3D – модель деталі «Гніздо підшипника»

2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

В результаті аналізу кресленика деталі "Гніздо підшипника" та умов експлуатації встановлено, що дана деталь працює у складі складального вузла, виконуючи функцію фіксації та підтримки підшипників. Вона закріплюється за допомогою фланцевого з'єднання та різьбових з'єднань, забезпечуючи стабільність та жорсткість конструкції під час роботи механізму.

- Отвір $\varnothing 190H7$ також служить для встановлення підшипника, що забезпечує точну посадку та мінімізує радіальні зміщення під час роботи.
- Додаткові посадочні отвори $\varnothing 166h8$ та $\varnothing 320f7$ використовуються для з'єднання з іншими елементами вузла, що забезпечує необхідну взаємну фіксацію деталей.

- Наявність різьбових отворів (M10, M8) дозволяє виконувати монтаж та демонтаж підшипника та супутніх елементів без порушення точності установки.
- Фаски та скруглення R1, R0,5 сприяють зниженню концентрації напружень, що позитивно впливає на довговічність деталі при динамічних навантаженнях.
- Деталь має шорсткість поверхонь Ra 2,5 на посадочних місцях, що забезпечує необхідний рівень точності для монтажу підшипників.
- Робочі поверхні проходять додаткову механічну обробку для зменшення тертя та підвищення зносостійкості.
- Допуски розмірів відповідають стандарту ISO 2748-mK, що гарантує відповідність сучасним нормам точності та взаємозамінності деталей.

Деталь "Гніздо підшипника" розроблена з урахуванням експлуатаційних вимог, що включають точну посадку підшипників, жорстку фіксацію у складальному вузлі та забезпечення необхідної надійності конструкції. Використання високоякісного матеріалу, правильна геометрія та ретельна механічна обробка дозволяють забезпечити довговічність та ефективність роботи вузла в умовах навантаження.

2.1.1 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Деталь «Гніздо підшипника» являється складальною одиницею вузла типу «Вал вертикальний», тому для виготовлення деталі обираємо матеріал сірий чавун СЧ18[2], який має наступні хімічні та фізико-механічні властивості:

Таблиця 2.1.1 - Хімічні та фізико-механічні властивості СЧ18 [2]

C	Si	Mn	S	P
3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	≤0,15	≤0,02

Межа міцності $\sigma_B = 200$ МПа

Твердість 143-255HB

2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва[3]

Вид виробництва — це класифікаційний розряд продукції, що виділяється за номенклатурою, законом виробництва та випуском продукції. Відповідно до ГОСТ 3.1108-74 Єдиної системи технічної документації (ЄСТД) і ГОСТ 14.004-74 Єдиної системи технічної документації (ЄСТД), однією з основних характеристик виду продукції є технологічний коефіцієнт (КЗО), який визначається як відношення кількості виконаних або незавершених процесів до кількості операцій у місяці, а формула розрахунку виглядає наступним чином:

$$K_{з.о} = \frac{\sum_{i=1}^n TO}{\sum_{j=1}^m PM}, \quad (2.1)$$

де: $\sum_{i=1}^n TO$ - число технологічних операцій,

$\sum_{j=1}^m PM$ - число робочих місць з різними операціями.

Оскільки кількість усіх процесів і кількість операцій не визначені на поточному етапі розробки, фіксований коефіцієнт процесу не може бути розрахований. При цьому тип виробництва може визначатися за обсягом випуску продукції та річним обсягом виробництва або згідно з вимогами курсового проекту. Тип виробництва визначимо за таблицею 2.2.

Таблиця 2.2 - Допоміжна таблиця для орієнтовного визначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт.		
	Легкі, масою до 20 кг	Середні, масою 20...30 кг	Важкі, масою більше 30кг
одиничне	До 100	До 10	1...5
малосерійне	101...500	11...200	6...10
середньосерійне	501...5000	201...1000	101...300
великосерійне	5001...50000	1001...5000	201...1000
масове	більше 50000	більше 5000	більше 1000

Отже, для деталі, що має масу $m=19,5$ кг, та річний обсяг випуску 2000 одиниць, можна розглядати середньосерійний тип виробництва. Для нього коефіцієнт закріплення операцій (КЗО) знаходиться в межах 10...20. Обираємо КЗО=15.

Тип виробництва визначає характер технологічних процесів, форму організації, вибір металорізальних верстатів і інструментів, спосіб проектування процесу і загальну організацію праці на виробництві.

Конкретний тип виробництва впливає на структуру технологічних процесів, спосіб організації, вибір металорізальних верстатів і інструментів, метод проектування технологічних процесів і загальну структуру праці підприємства.

Для виробництва середніх обсягів організованість процесу зазвичай відсутня. Виробничі зони розділені за принципом обробки деталей зі схожою конструкцією, наприклад деталей кузова автомобіля. У цих зонах використовується спеціальне обладнання, таке як верстати з числовим програмним керуванням (NC), і розташовані відповідно до послідовності технологічних операцій. Розмір партії деталей можна визначити за такою формулою:

$$n = \frac{N \cdot t}{F}, \text{ шт} \quad (2.2)$$

де: N - річна програма випуску деталей, N=2000 шт.;

t - кількість днів, на який необхідно мати запас деталей, t=5 днів;

F - кількість робочих днів у році, F=261 днів.

отже,

$$n = \frac{2000 \cdot 5}{261} = 38,3$$

Висновок: Тип виробництва - середньосерійний. Всі подальші технологічні рішення будемо виконувати для середньо серійного типу виробництва з $K_{30} = 15$.

2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі[3]

Технічна здійсненність відноситься до набору характеристик продукту, які полегшують виробництво продукту та забезпечують ефективність процесу.

У процесі проектування та розробки врахування технічної здійсненності вимагає низки заходів для досягнення найкращих показників технічної здійсненності. Це сприяє підвищенню продуктивності праці, зниженню собівартості продукції та прискоренню виробництва продукції без шкоди для її якості.

Оцінка технічної здійсненності може здійснюватися двома способами:

- Якісна оцінка - заснована на досвіді та загальному аналізі проекту, може використовуватися як попередня оцінка на будь-якому етапі проекту.
- Кількісна оцінка - представлена в числовій формі, використовується, коли її вплив на технічну здійсненність критичний.

Обидва методи будуть використані частково в рамках курсового проекту для об'єктивної оцінки технічної можливості виробу.

2.3.1 Якісна оцінка технологічності конструкції

Під час аналізу конструкції компонента «Гніздо підшипника» оцінювалася його технологічність, тобто чи відповідає конструкція вимогам ефективного та економічного виробництва, обробки, складання та використання.

З економічної точки зору гніздо підшипника є розумним рішенням: вибір чавуну СЧ18 в якості основного матеріалу забезпечує низькі витрати на лиття, а використання стандартних посадок і різьбових з'єднань полегшує обробку і монтаж. Симетричний дизайн і мінімізація складних геометричних елементів дозволяють скоротити час обробки, що позитивно впливає на ефективність виробництва.

Тому конструкція гнізда підшипника є технічно обґрунтованою, оскільки поєднує в собі економічну вигоду, простоту виготовлення та високу точність обробки. Це забезпечує стабільну роботу обладнання та його надійність при роботі в складі механічного пристрою.

Деталь "Гніздо підшипника" виглядає вигідною для серійного випуску з технічної точки зору, бо її вона чудово підходить для лиття, а далі - для механічної обробки. Воно здатне витримувати потрібне навантаження, зберігає форму й довго служитиме в роботі. Усі параметри й місця посадок відповідають нормам, гарантуючи легке збирання та можливість заміни.

2.3.2 Кількісна оцінка технологічності деталі

Рівень технологічності конструкції по точності оброблення: [4]

де: $K_{б.тч}$, $K_{тч}$ - відповідно базовий і отриманий коефіцієнти точності оброблення. Коефіцієнт точності оброблення $K_{тч}$ визначається по формулі

$$K_{у.тч} = \frac{K_{б.тч}}{K_{тч}} \quad (5.4)$$

де T_c - середній квалітет точності оброблення виробу;

n_i - кількість розмірів одного квалітету точності;

T - квалітет точності оброблення.

Таблиця 2.3 - Кількісна характеристика технологічності деталі по точності

Поверхня	Квалітет			
	7	8	11	14
Циліндрична	2	1	1	3
Лінійна	-	-	-	10
Отвори	-	-	-	12

$$T_c = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}; \quad (2.5)$$

$$T_c = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 14 \cdot 3 + 14 \cdot 10 + 14 \cdot 12}{2 + 1 + 1 + 13 + 10 + 12} = 9,82$$

$$K_{тч} = 1 - \frac{1}{T_c} = 1 - \frac{\sum ni}{\sum Tni} = 1 - \frac{1}{9,82} = 0,9$$

$$K_{тч} = 0,9 > 0,8$$

умова виконується, отже за точність деталь технологічна.

Рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхонь:

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш n_i}{\sum n_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} \quad (2.6)$$

де: $K_{б.ш}$, $K_{ш}$ – відповідно базовий та отриманий коефіцієнт шорсткості.

Таблиця 2.4 - Якісна характеристика технологічності деталі по шорсткості

Поверхня	Шорсткість	
	2,5	12,5
Циліндрична	3	5
Торцева	-	5

$$\text{Ш}_{\text{cp}} = \frac{2,5 \cdot 3 + 12,5 \cdot 5 + 12,5 \cdot 5}{3 + 5 + 5} = 10,2$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{cp}}} = \frac{1}{10,2} = 0,1$$

$$K_{\text{ш}} = 0,1 < 0,32$$

Умова виконується, отже за шорсткістю деталей технологічна.

Відпрацювання деталі на технологічність за кількісними показниками показало, що деталь технологічна за показниками точності розмірів поверхонь, використання матеріалу заготовки, за показником шорсткості поверхонь.

Висновок: З урахуванням виконаного аналізу можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

2.4 Проектування конструкції заготовки

2.4.1 Визначення виду та способу виготовлення заготовки[5]

Для виготовлення заготовки деталі, виконаної з сірого чавуну СЧ18, необхідно обрати найбільш раціональний метод, що забезпечить відповідність геометричним параметрам, мінімальну подальшу механічну обробку та економічну ефективність виробництва.

З урахуванням матеріалу (сірий чавун СЧ18) та конструктивних особливостей деталі, найкращим варіантом є лиття в піщано-глиняні форми. Цей метод дозволяє отримати заготовку з мінімальними припусками на механічну обробку та забезпечити необхідну міцність і жорсткість виробу.

Метод лиття в піщано-глинисті форми є доцільним через такі причини:

- **Технологічність** – можливість виготовлення деталей зі складною геометрією без значного подорожчання процесу.
- **Економічність** – низька собівартість лиття порівняно з іншими методами отримання заготовок.

- **Механічні властивості** – сірий чавун СЧ18 має гарні антифрикційні та демпфуючі характеристики, що важливо для роботи деталі у вузлі.
- **Мінімізація механічної обробки** – після лиття поверхні, що не потребують високої точності, можуть залишатися без додаткового шліфування.
- Заготовка формується з припусками на механічну обробку відповідно до[6].
- Включає ливарні ухили (1-2°) для полегшення видалення з форми.
- Передбачає технологічні припуски для обробки точних поверхонь (наприклад, місць посадки підшипників).
- Відливка проходить охолодження і термічну нормалізацію для зняття внутрішніх напружень.

Отже оптимальним способом виготовлення заготовки для деталі з чавуну СЧ18 є лиття в піщані форми. Цей метод забезпечує необхідну точність, механічні властивості та економічну ефективність виробництва, що робить його найбільш доцільним для серійного типу виготовлення деталі.

Визначаємо Квалітет точності заготовки виходячи з матеріалу деталі та способу отримання заготовки за [7]

Method	Steel	Grey iron	S. G. iron
Sand cast, hand- moulded	11 to 14	11 to 14	11 to 14

Рисунок 2.3 – Квалітет точності заготовки

Визначаємо Клас точності заготовки виходячи з матеріалу деталі та способу отримання заготовки за [6]

Method	Steel	Grey iron
Sand cast, hand-moulded	G to K	F to H

Рисунок 2.4 – Клас точності заготовки

Визначаємо вартість заготовки по формулі:

$$S_z = \left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}; \quad (2.6)$$

де: C_i - базова вартість однієї тони заготовок, $C_i = 100000$ грн.

$K_T, K_C, K_B, K_M, K_{II} = 1$ - коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва заготовок.

Q - маса заготовки, кг; $Q = 28,6$ кг;

q - маса готової деталі, $q = 19,5$ кг;

$S_{\text{відх}}$ - ціна 1 т відходів, $S_{\text{відх}} = 5000$ грн.

Підставивши дані у формулу (1.9), одержимо:

$$S_z = \left(\frac{100000}{1000} \cdot 28,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (28,6 - 19,5) \frac{5000}{1000} = 2814,5 \text{ грн}$$

Таблиця 2.5 – зведена таблиця розмірів заготовки

Розмір деталі, мм	Точність розмірів, квалітет	Шорсткість R_a , мкм	Припуск на розміри заготовки, мм	Розмір заготовки, мм
Ø190	H14	Ra 20	19x2	Ø152 ^{+1,5}
Ø166	H14		7x2	Ø152 ^{+1,5}
Ø320	h14		8x2	Ø336 _{-2,5}

Ø370	h14		8x2	Ø386 _{-2,5}
157	JS14		6x2	169±0,75
Ø240	h14		7x2	Ø254 _{-2,5}
21	JS14		4x2	29±0,25

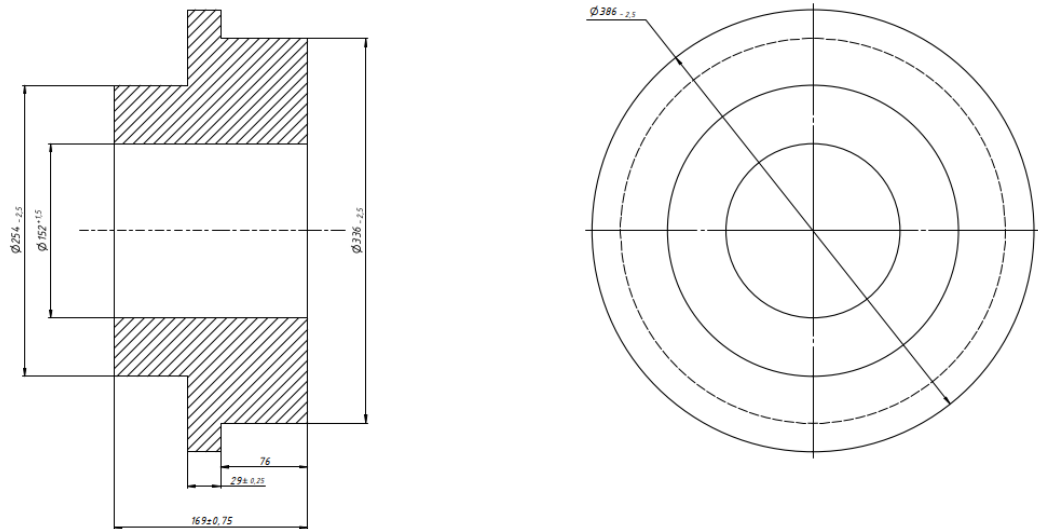


Рисунок 2.4 – Ескіз заготовки

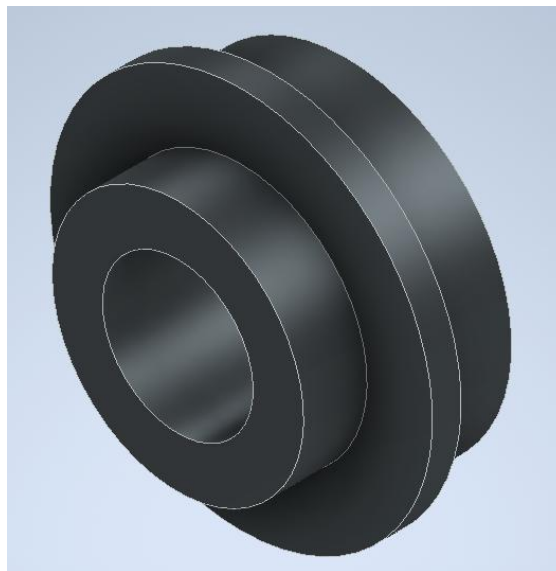


Рисунок 2.5 – 3D- модель заготовки

2.5 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі

2.5.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз

Якість виробничих деталей можна забезпечити, ретельно вибираючи правильні технологічні бази. Якщо вони не будуть обрані правильно, це може призвести до того, що заготовка не вирівнюється з інструментом, поверхня заготовки пошкоджена, обробка є нерівномірною і навіть причиною браку.

Вибір технологічних основ керується двома принципами: вони повинні бути об'єднаними та стійкими. Поверхня, така як вісь або площина симетрії, вибирається як основа для технології, яка також функціонує як інструмент дизайну та вимірювання. Коли це неможливо, технологічна основа поєднується з принаймні одним із перелічених нижче варіантів. Мета цього принципу - зменшити шанси на помилки та зробити технологічний процес максимально ефективним. Загальний алгоритм визначення технологічних баз передбачає спершу вибір загальних технологічних баз (ЗТБ). На першій операції (або на декількох операціях) необхідно визначити загальну технологічну базу - це сукупність поверхонь заготовки, що забезпечує обробку на більшості операцій технологічного процесу з незмінним закріпленням заготовки. ЗТБ визначається шляхом аналізу конструктивних особливостей заготовки та класифікації її поверхонь за функціональним призначенням.

Всі поверхні деталей поділяються на чотири класи:

- основні конструкторські бази (ОКБ), які використовуються для орієнтації деталі в процесі роботи;
- допоміжні конструкторські бази (ДКБ);
- кріпильні поверхні (КП), які визначають положення приєднувальних деталей та елементів;
- вільні поверхні (ВП), які не належать до жодного з попередніх класів.

За основну технологічно базу приймаємо зовнішню поверхню Ø320f7

Основні конструкторські бази (ОКБ):

- Внутрішній діаметр 190H7 — використовується для орієнтації деталі під час встановлення підшипників.
- Зовнішній діаметр Ø320f7 — для посадки гнізда підшипника у корпус механізму.

Допоміжні конструкторські бази (ДКБ):

- Поверхня під різьбовий отвір М10,М8 — використовується для орієнтації при накручуванні кришки.
- Торцеві поверхні фланця — для додаткового позиціонування під час складання вузла.

Кріпильні поверхні (КП):

- Отвори Ø10,Ø5— для подачі мастила до вузла

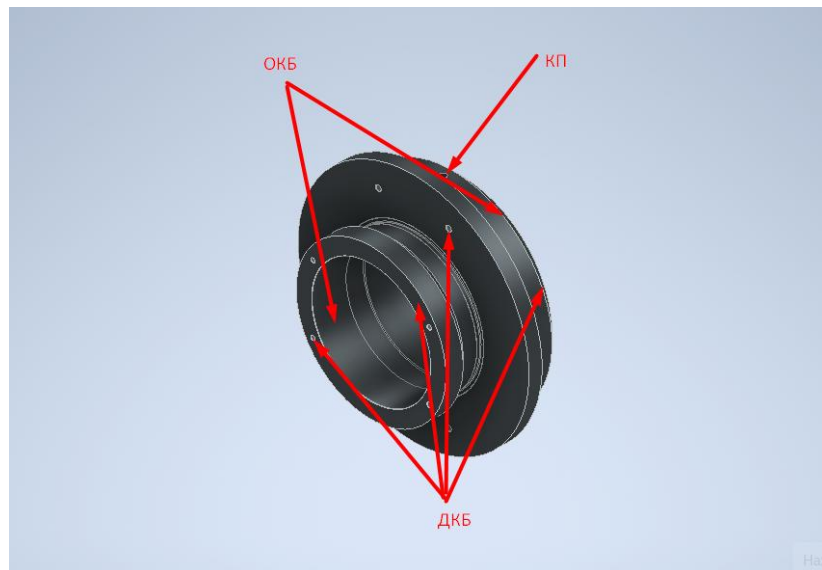


Рисунок 2.6 - Класифікація баз за призначенням

2.5.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій

1. Як технологічні бази для первинних операцій слід обирати ті поверхні заготовлі, що за кресленням не підлягають механічній обробці (гарантуючи вірне взаємне розташування необроблених поверхонь відносно оброблених).
2. За ТБ потрібно приймати поверхні з мінімальним припуском, або такі, де недопустима поява браку.
3. Обирати в якості ТБ слід поверхні, на яких потрібно забезпечити стабільний (одноманітний) припуск на всіх етапах обробки.
4. У випадку наявності декількох можливих схем базування, як ТБ необхідно застосовувати ту, що з'єднує поверхню, яка підлягає обробці, з базою найкоротшим розмірним ланцюгом.

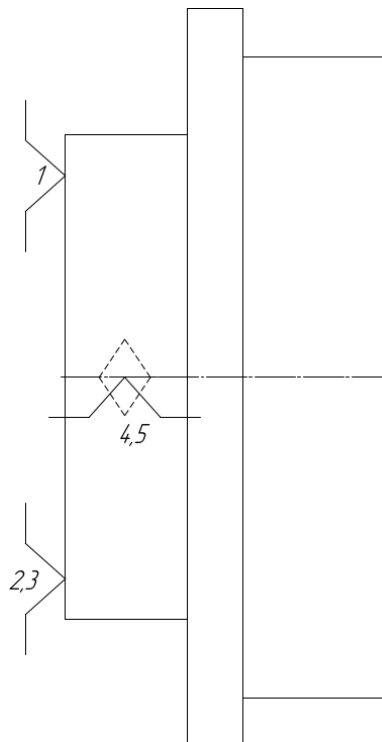


Рисунок 2.7 – Схема базування для операції 005

2.6 Проектування маршрутів оброблення елементарних поверхонь заготовки

Форма об'єкта може бути показана за допомогою загальних геометричних форм, а технічний малюнок визначає точні вимірювання та стандарти якості для кожної форми. Багато знань було здобуто в машинобудуванні, створюючи методи для створення поверхонь для економічного використання з правильним рівнем точності та плавності. Більшість технологічних каталогів дають коротке пояснення цих процесів. Те, як технологія використовується для лікування поверхонь, важлива і її потрібно ретельно переглянути та змінювати під час процесу. Послідовність обробки поверхні процесу обробки, економічна точність та шорсткість поверхонь, які можна досягти, представлені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 –Маршрут оброблення елементарних поверхонь

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічний маршрут оброблення ЕП (можливі варіанти)	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості R_a , мкм		Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості R_a , мкм
1	2	3	4	5	6
Ø320	7	2,5	Точіння чорнове Точіння н/чистове Точіння чистове Точіння тонке	14 12 9 7	12,5 6,3 3,2 2,5
Ø190	7	2,5	Розточування чорнове Розточування н/чистове Розточування чистове Розточування тонке	14 12 9 7	12,5 6,3 3,2 2,5
Ø166	8	12,5	Розточування чорнове Розточування напівчистове Розточування чистове	12 10 8	12,5
Ø215	14	12,5	Точіння чорнове	14	12,5
Ø240	14	12,5	Точіння чорнове	14	12,5
M8	-	-	Центрування Свердлення Нарізання різьби	12 9	6,3 2,5
M10	-	-	Центрування Свердлення Нарізання різьби	12 9	6,3 2,5
Ø10	14	12,5	Центрування Свердлення	14	12,5
Ø5	14	12,5	Центрування Свердлення	14	12,5

2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі

На поточному етапі розробки важливо створити послідовний технологічний процес для обробки деталі “Гніздо підшипника”. Під час чорнових операцій слід зосередитися на поверхнях з найбільшими припусками та на тих, що мають критичне значення[7]. Кожен подальший етап або операція має сприяти покращенню якісних характеристик оброблюваних поверхонь. Останні етапи технологічного процесу мають бути присвячені фінішній обробці ключових поверхонь, що дозволить виправити будь-які попередні помилки та запобігти їх випадковому пошкодженню. Також у технологічному процесі потрібно включити контрольні операції, які найкраще розташовувати між основними етапами обробки, перед виконанням важливих та високовартісних операцій, а також на завершальному етапі[7].

005 Токарна з ЧПК (CORMAK SKT400/1000SAH)

А. Встановити, закріпити;

1. Підрізати торець в розмір F_1 під чистове підрізання торця згідно креслення по програмі;
2. Точити начорно циліндричну поверхню D_1 на довжину F_2 згідно креслення по програмі;
3. Точити напівчисто циліндричну поверхню D_1 на довжину F_2 згідно креслення по програмі;

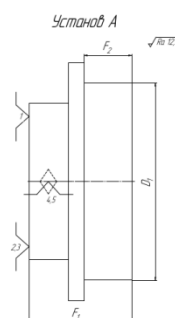


Рисунок 2.8 – Операційний ескіз на 005(А)

Б. Перевстановити;

1. Підрізати торець в розмір F_1 під чистове підрізання торця згідно креслення по програмі;
2. Точити начорно циліндричну поверхню $\varnothing 240_{-1,15}$ на довжину $71 \pm 0,37$ з утворенням фаски $12,5 \times 45^\circ$ та канавки під ущільнення креслення по програмі;
3. Точити начорно циліндричну поверхню $\varnothing 370_{-1,4}$ на довжину $21 \pm 0,26$ згідно креслення по програмі.
4. Розточити начорно циліндричну поверхню D_1 на прохід згідно креслення по програмі.
5. Розточити напівчисто циліндричну поверхню D_1 на прохід згідно креслення по програмі.
6. Розточити начорно циліндричну поверхню D_2 на довжину F_2 згідно креслення по програмі.
7. Розточити напівчисто циліндричну поверхню D_2 на довжину F_2 згідно креслення по програмі.

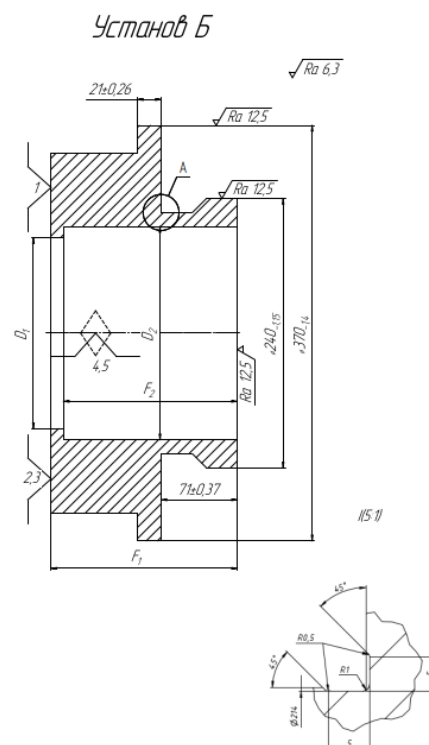


Рисунок 2.9 – Операційний ескіз на 005(Б)

В. Зняти

010 Токарна з ЧПК (CORMAK SKT400/1000SAH)

А. Встановити, закріпити;

1. Підрізати торець начисто в розмір F_1 згідно креслення по програмі;
2. Точити начисто циліндричну поверхню D_1 на довжину 68 ± 0.37 згідно креслення по програмі;
3. Точити тонко циліндричну поверхню $\varnothing 320_{-0.062}^{+0.062}$ на довжину 68 ± 0.37 згідно креслення по програмі;
4. Точити начорно циліндричну поверхню $\varnothing 215_{-0.15}^{+0.15}$ на довжину 12 ± 0.215 з утворенням фаски $15 \times 45^\circ$ згідно креслення по програмі;

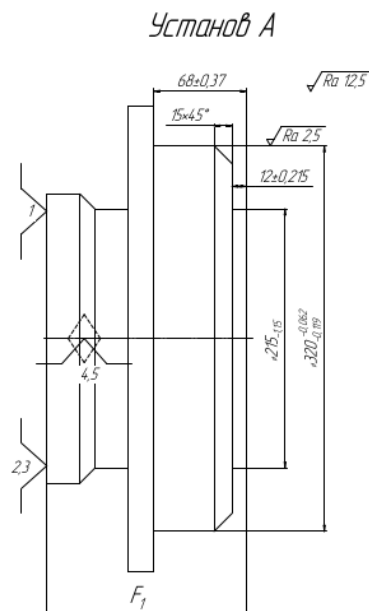
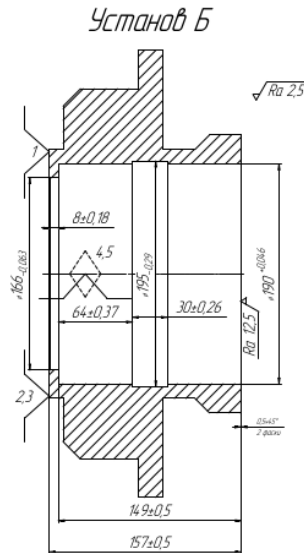


Рисунок 2.10 – Операційний ескіз на 010(А)

Б. Перевстановити

1. Підрізати торець начисто в розмір 157 ± 0.5 згідно креслення по програмі;
2. Розточити начисто циліндричну поверхню D_1 на довжину 149 ± 0.5 згідно креслення по програмі;
3. Розточити начисто циліндричну поверхню $\varnothing 166_{-0.063}^{+0.063}$ на довжину 8 ± 0.18 з утворенням фаски $0.5 \times 45^\circ$ згідно креслення по програмі;

5. Точити канавку Ø195_{-0,29} на ширину 30±0,26 мм згідно витримуючи розміри 64±0,37 та 55±0,37 згідно креслення по програмі.



1. Центрувати 8 отворів Ø3,15 на глибину 6 мм витримуючи розміри Ø215±0,65 та Ø298±0,575 згідно креслення по програмі.
2. Свердлити 4 отвори під різьбу М8 на глибину 30±0,26 витримуючи розміри 215±0,575 та кут 30° згідно креслення по програмі.
3. Свердлити 4 отвори під різьбу М10 на глибину 25±0,26 витримуючи розміри 298±0,65 та кут 22,18° згідно креслення по програмі.

4. Нарізати різьбу M8 в 4х отворах на глибину $25 \pm 0,26$ витримуючи розміри $215 \pm 0,575$ та кут 30° згідно креслення по програмі.

5. Нарізати різьбу M10 в 4х отворах на глибину $20 \pm 0,26$ витримуючи розміри $298 \pm 0,65$ та кут $22,18^\circ$ згідно креслення по програмі.

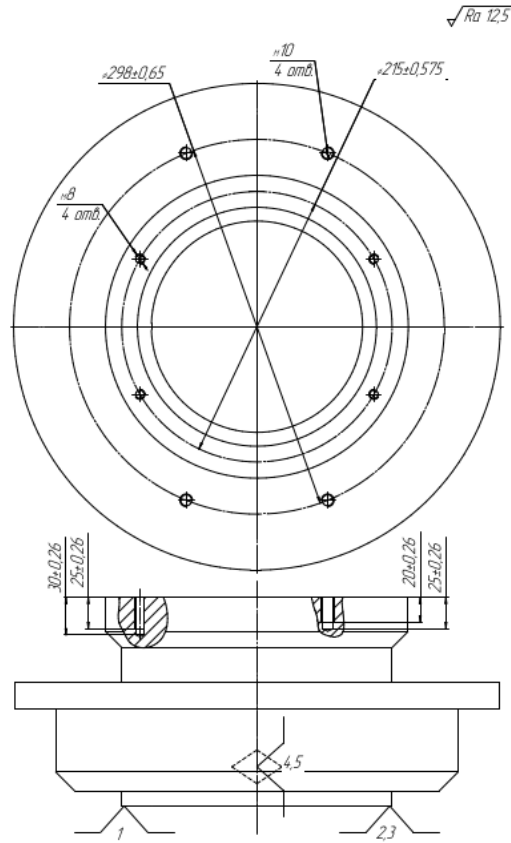


Рисунок 2.12– Операційний ескіз на 020

Б. Зняти

025. Вертикально-фрезерна з ЧПК (MAST MM855 S24)

А. Встановити закріпити

1. Центрувати 1 отвір $\varnothing 3,15$ на глибину 6 мм витримуючи розміри 41,5 згідно креслення по програмі.

2. Свердлити отвір $\varnothing 10$ на прохід витримуючи розмір 41,5 згідно креслення по програмі.

3. Свердлити отвір $\varnothing 5$ на прохід під кутом 45° згідно креслення по програмі.

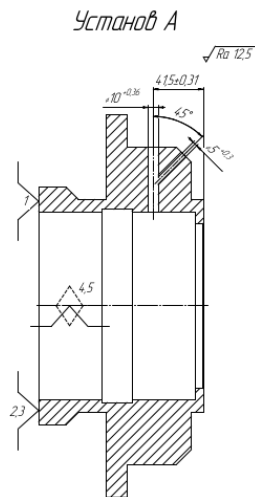


Рисунок 2.13 – Операційний ескіз на 025(А)

Б. Повернути на 180°

1. Центрувати 1 отвір Ø3,15 на глибину 6 мм витримуючи розміри 41,5 згідно креслення по програмі.
2. Свердлити отвір Ø10 на прохід витримуючи розмір 41,5 згідно креслення по програмі.
3. Свердлити отвір Ø5 на прохід під кутом 45° згідно креслення по програмі.

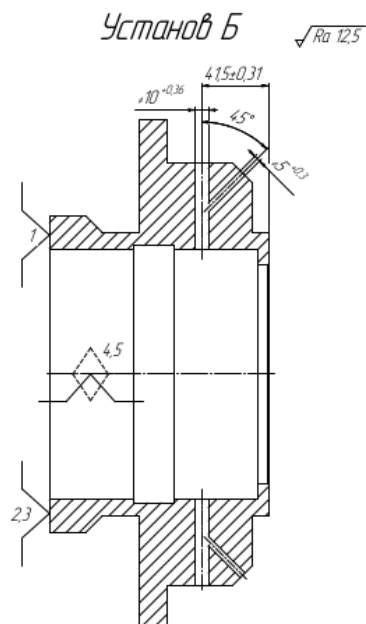


Рисунок 2.13 – Операційний ескіз на 025(Б)

В. Зняти

030 Контрольна

1. Перевірити оброблені поверхні згідно кресленика

35 Мийна

2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання

Токарний верстат з ЧПК CORMAK SKT400/1000SAN



Рисунок 2.14 – Токарний верстат з ЧПК CORMAK SKT400/1000SAN [8]

Максимальна довжина оброблюваної деталі, мм	1000
Найбільший діаметр оброблення деталі, мм	400
Частота обертання шпинделя, хв^{-1}	2000
Кількість інструментів, шт	6
Потужність головного двигуна, кВт	5,5
Габаритні розміри верстата, мм	2640x1500x1766
Маса верстата, кг	1300

Обробляючий центр MAST MM855 S24



Рисунок 2.15 – Обробляючий центр MAST MM855 S24 [9]

Розміри робочого стола, мм	1000x550
Максимально – допустима вага заготовки, мм	600
Частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	10000
Кількість інструментів, шт	24
Потужність головного двигуна, кВт	7,5
Габаритні розміри верстата, мм	2600x2300x2400
Маса верстата, кг	5500

2.9 Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки

Припуск - це тонкий шар металу, який знімається з заготовки під час обробки, щоб створити кінцевий продукт. Допуск обробки визначається або за допомогою спеціальних таблиць, або застосуванням аналітичного методу.

Під час технологічної експлуатації один шар операційного припуску видаляється, тоді як під час технологічного переходу усувається проміжний припуск.

2.9.1 Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом

Розрахуємо міжопераційні припуски для оброблення точної поверхні Ø190H7

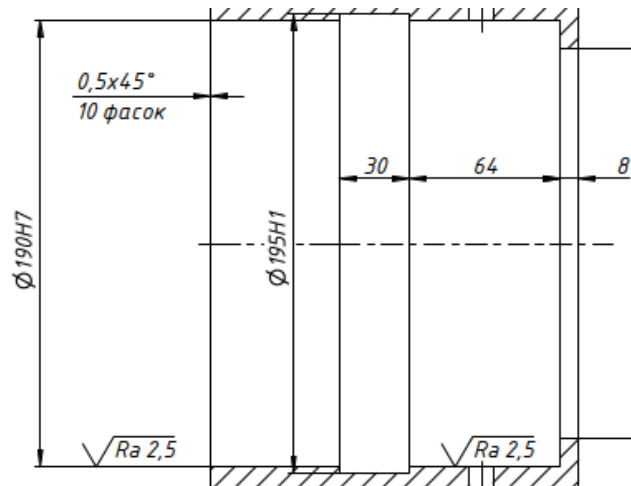


Рисунок 2.16 – Ескіз поверхні, що обробляється

Технологічний процес обробки містить у собі 4-ри переходів:

- Розточування чорнове H14, Ra = 12,5 мкм,
- Розточування напівчистове H12, Ra = 6,3 мкм,
- Розточування чистове H9, Ra=3,2мкм.
- Розточування тонке H7, Ra=2,5мкм.

Розрахунок мінімальних припусків проводимо за формулою [10, с.175, ф. (2)]:

$$2Z_{mini} = 2 \left(R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (2.10)$$

де $R_{z(i-1)}$ – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина поверхневого дефектного шару на попередньому переході;

Δ_{i-1} – сумарне відхилення розташування поверхні на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення заготовки.

Мінімальні розрахункові припуски.

$$R_{z0} + h_0 = 400 \text{ мкм}; - \text{якість заготовки [10, с. 185, табл. 11]}$$

Розточування чорнове за формулою 1.10:

$$R_{z1} + h_1 = 100 + 100 = 200 \text{ мкм}; [10, с. 185, табл. 11]$$

$$\Delta_0 = \Delta_k l = 2,5 \cdot 149 = 372,5 \text{ мкм}; [10, с. 187, табл. 19]$$

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} - \text{однопозиційне оброблення};$$

$\varepsilon_6 = 0$ – суміщення технологічної та вимірювальної баз;

$$\varepsilon_3 = 150 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{min1} = 2 \left(400 + \sqrt{200^2 + 372,5^2} \right) = 2 \cdot 822,8 = 1645,6 \text{ мкм}$$

Розточування напівчистове за формулою 1.10:

$$R_{z2} + h_2 = 50 + 50 = 100 \text{ мкм} - \text{після чорнового розточування}; [10, с. 188, \text{табл. 25}]$$

$$\Delta_1 = \Delta_0 \cdot k_y = 372,5 \cdot 0,6 = 223,5 \text{ мкм} - \text{після чорнового розточування}; [10, с. 186, \text{табл. 16}]$$

$$\varepsilon_1 = 0 \text{ мкм}$$

$$2Z_{min2} = 2 \left(100 + \sqrt{223,5^2 + 0^2} \right) = 2 \cdot 323,5 = 647,0 \text{ мкм}$$

Розточування чистове за формулою 1.10:

$$R_{z3} + h_3 = 50 \text{ мкм} - \text{після чистового розточування}; [10, с. 188, \text{табл. 24}]$$

$$\Delta_3 = \Delta_2 \cdot k_y = 223,5 \cdot 0,4 = 89,4 \text{ мкм} \text{ після чистового розточування}; [10, с. 186, \text{табл. 16}]$$

$$\varepsilon_3 = 80 \text{ мкм}$$

$$2Z_{min3} = 2 \left(50 + \sqrt{89,4^2 + 80^2} \right) = 2 \cdot 170 = 340 \text{ мкм}$$

Розточування тонке за формулою 1.10:

$$R_{z3} + h_3 = 10 \text{ мкм} - \text{після тонкого розточування}; [10, \text{ с. 188, табл. 24}]$$

$$\Delta_4 = \Delta_3 \cdot k_y = 89,4 \cdot 0,4 = 35,8 \text{ мкм після тонкого розточування}; [10, \text{ с. 186, табл. 16}]$$

$$\varepsilon_4 = 0 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\min 4} = 2(10 + 35,8 + 0) \approx 91,6 \text{ мкм}$$

Технологічні допуски (ДСТУ 2500-94) [11]:

$$T_{\text{розт.чорн}} = 1150 \text{ мкм (14 квал.)};$$

$$T_{\text{розт.н/чист}} = 0,460 \text{ мм (12 квал.)};$$

$$T_{\text{розт.чист}} = 0,115 \text{ мм (9 квал.)}.$$

$$T_{\text{розт.тонк}} = 0,046 \text{ мм (7 квал.)}.$$

Найменші граничні розміри:

$$D_{\text{мін.розт.чист}} = D_{\text{мін.розт.тонк}} - 2Z_{\min 4} = 190,0 - 0,0916 = 189,9 \text{ мм}$$

$$D_{\text{мін.розт.н/чист}} = D_{\text{мін.розт.чист}} - 2Z_{\min 3} = 189,9 - 0,34 = 189,56 \text{ мм}$$

$$D_{\text{мін.розт.чорн}} = D_{\text{мін.розт.н/чист}} - 2Z_{\min 2} = 189,56 - 0,647 = 188,91 \text{ мм}$$

Враховуючи допуски оброблення, приймаємо такі значення розмірів:

$$D_{\text{макс.розт.чист}} = 190,015 \text{ мм}$$

$$D_{\text{макс.розт.н/чист}} = 190,01 \text{ мм}$$

$$D_{\text{макс.розт.чорн}} = 190,0 \text{ мм}$$

Перераховуємо найбільші граничні розміри:

$$D_{\text{мін.розт.чист}} = D_{\text{макс.розт.чист}} - T_{\text{розт.чист}} = 190,015 - 0,115 = 189,9 \text{ мм}$$

$$D_{\text{мін.розт.н/чист}} = D_{\text{макс.розт.н/чист}} - T_{\text{розт.н/чист}} = 190,01 - 0,46 = 189,55 \text{ мм}$$

$$D_{\text{мін.розт.чорн}} = D_{\text{макс.розт.чист}} - T_{\text{розт.чист}} = 190,0 - 1,15 = 188,9 \text{ мм}$$

Перераховуємо мінімальні розміри припусків:

$$2Z_{\min 4} = D_{\text{мін.розт.тонк}} - D_{\text{мін.розт.чист}} = 190 - 189,9 = 0,1 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 3} = D_{\text{мін.розт.чист}} - D_{\text{мін.розт.н/чист}} = 189,9 - 189,55 = 0,36 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 2} = D_{\text{мін.розт.н/чист}} - D_{\text{мін.розт.чорн}} = 189,54 - 188,9 = 0,63 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 1} = D_{\min. \text{розт. чорн}} - D_{\min. \text{загот}} = 188,91 - 165,0 = 23,91 \text{ мм}$$

Перераховуємо максимальні розміри припусків:

$$2Z_{\max 4} = D_{\max. \text{розт. тонк}} - D_{\max. \text{розт. чист}} = 190,046 - 190,015 = 0,031 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max 3} = D_{\max. \text{розт. чист}} - D_{\max. \text{розт. н/чист}} = 190,015 - 190,01 = 0,005 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max 2} = D_{\max. \text{точ. ост}} - D_{\max. \text{точ. поперед}} = 190,01 - 190,0 = 0,01 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max 1} = D_{\max. \text{точ. поперед}} - D_{\max. \text{загот}} = 190,0 - 165,74 = 24,26 \text{ мм}$$

Таблиця 2.7- Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічним переходами обробки поверхні Ø30h6

Технол. перех.	Елементи припуску, мкм				Розр., мм		Т, мкм	Прийняті розміри, мм		Значення припусків, мм	
	R _Z	h	Δ	ε	2Z _{min}	D _{min}		D _{min}	D _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Загот.	400		-	-	-	165	740	165	165,74	-	-
Розт. чорнове	100	100	372,5	150	1,6456	188,9	1150	188,85	190,0	23,91	24,26
Розт. н/чистове	50	50	223,5	0	0,647	189,55	460	189,55	190,01	0,63	0,01
Розт. чистове	25	25	89,4	80	0,34	189,9	115	189,9	190,015	0,36	0,005
Розт. тонке	5	5	35,8	0	0,0916	190	46	190	190,046	0,1	0,031
Σ										25	24,306

$$T_0 - T_5 = \sum 2Z_{\min} - \sum 2Z_{\max}$$

$$740 - 46 = 25,0 - 24,306$$

$$694 \text{ мкм} = 0,694 \text{ мм} - \text{умова виконується.}$$

2.9.2 Визначення припусків аналоговим методом

Таблиця 2.8 – Припуски на обробку за аналоговим методом

Розміри деталі, вид обробки	Точність розмірів, квалітет	Шорсткість поверхні, Ra, мкм	Операційн ий припуск, мм	Міжопераційн ий розмір, мм
$\varnothing 320_{-0,119}^{-0,062}$				
Точіння токне	f7	2,5	0,2x2	$\varnothing 320_{-0,119}^{-0,062}$
Точіння чистове	h9	3,2	0,8x2	$\varnothing 320,4_{-0,14}$
Точіння н/чистове	h12	6,3	2x2	$\varnothing 322_{-0,57}$
Точіння чорнове	h14	12,5	5x2	$\varnothing 326_{-1,4}$
Заготовка				$\varnothing 336_{-2,5}$
$\varnothing 166_{-0,063}$				
Розточування чистове	h8	12,5	0,1x2	$\varnothing 166_{-0,063}$
Розточування н/чистове	h10		0,4x2	$\varnothing 165,8_{-0,016}$
Розточування чорнове	h12		6,5x2	$\varnothing 165_{-0,4}$
Заготовка				$\varnothing 152^{+1,5}$
$\varnothing 215_{-1,15}$				
Точіння чорнове	H14	12,5	55,5x2	$\varnothing 215_{-1,15}$
Заготовка				$\varnothing 326_{-1,4}$
$\varnothing 240_{-1,15}$				
Точіння чорнове	h14	12,5	7x2	$\varnothing 240_{-1,15}$
Заготовка				$\varnothing 254_{-2,5}$
$\varnothing 10^{+0,36}$				
Свердління	H14	12,5	5x2	$\varnothing 10^{+0,36}$
Центрування	-	-	-	-
Заготовка				0
$\varnothing 5^{+0,36}$				
Свердління	H14	12,5	2,5x2	$\varnothing 5^{+0,36}$
Центрування	-	-	-	-

Заготовка				0
M8				
Нарізання різі	-	-	-	M8
Свердління	H14	12,5	3,4x2	6,8 ^{+0,36}
Центрування	-	-	-	-
Заготовка				0
M10				
Нарізання різі	-	-	-	M10
Свердління	H14	12,5	4,25x2	8,5 ^{+0,36}
Нарізання різі	-	-	-	-
Заготовка				0

2.10 Визначення режимів різання

2.10.1 Визначення режимів різання розрахунково - аналітичним методом для операції 005 Токарна з ЧПК

Перехід 2. Точити начорно циліндричну поверхню D_1 на довжину F_2 згідно креслення по програмі;

$$h = \frac{(D-d)}{2} = \frac{(336,0-326,0)}{2} = 5,0 \text{ мм}$$

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (2.10.1)$$

де h – припуск на обробку, мм;

i – кількість проходів інструменту.

$i=1$

$$t = \frac{5,0}{1} = 5,0 \text{ мм}$$

Подача S_o , мм/об призначається для чорнового точіння деталі з сірого чавуну різцями розмірами до 25х25, глибини різання, мм від 5 до 8 [12, с. 266 табл. 11]

$$S_o = 0,6 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання V_s , м/хв визначається за формулою:

$$V_s = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_{od}^y} \cdot K_u, \quad (2.10.2)$$

де C_v , K_v , m , x , y – коефіцієнти та показники степені, що враховують дійсні умови різання;

T – стійкість різця, хв.

Приймається для повздовжнього точіння деталі з сірого чавуну різцем з ВК6, подачі, мм/об від 0,4: [12, с.270, табл.17]

$$C_v = 243; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,4; T = 45 \text{ [12, с.268]}$$

K_v поправочний коефіцієнт розраховується за формулою:

$$K_v = K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{mv}, \quad (2.10.3)$$

де K_{nv} - коефіцієнт, що залежить від стану заготовки;

K_{nv} - коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучого інструмента;

K_{mv} - коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучого інструменту та матеріалу оброблюємої поверхні.

$K_{nv} = 0,8$ – для заготовки сірого чавуна виливки [12, с.263, табл.5];

$K_{uv} = 1,0$ - для обробки сірого чавуна різцем з ВК6 [12, с.263, табл.6];

K_{mv} призначається за $HB = 190/200$; $K_{mv} = 0,94$ [12, с.263, табл.4]:

$$K_v = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,94 = 0,752$$

$$V_s = \frac{243}{45^{0,2} \cdot 5,0^{0,15} \cdot 0,6^{0,4}} \cdot 0,752 = 82,24 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , хв⁻¹ визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V_u}{\pi \cdot D}, \quad (2.10.4)$$

де D - діаметр оброблюємої поверхні, мм;

$$D=336,0$$

$$n = \frac{1000 \cdot 82,24}{3,14 \cdot 336,0} = 77,94 \text{ хв}^{-1}$$

Дійсна частота обертання n_d , хв^{-1} приймається розрахунковій частоті обертання, бо у верстаті працює безступінчасте регулювання

$$n_d = 80,0 \text{ хв}^{-1}$$

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою :

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} \quad (2.10.5)$$

$$V_o = \frac{3,14 \cdot 336,0 \cdot 80,0}{1000} = 84,4 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача $S_{хв}$, мм/хв розраховується за формулою:

$$S_{хв} = S_o \cdot n_o \quad (1.10.6)$$

$$S_{хв} = 0,6 \cdot 80 = 48,0 \text{ мм/хв}$$

Приймається дійсне значення хвилинної подачі $S_{хв,д}$, мм/хв, приймається розрахунковій хвилинній подачі, бо у верстаті працює безступінчасте регулювання:

$$S_{хв} = 48,0 \text{ мм/хв}$$

Потужність різання $N_{різ}$, кВт розраховується за формулою:

$$N_{різ} = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60}, \quad (2.10.7)$$

де P_z – тангенціальна сила різання, Н розраховується за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{pz}, \quad (2.10.8)$$

де C_{pz} , K_{pz} , x , y , n - коефіцієнти та показники степеней, що враховують дійсні умови різання;

K_{pz} розраховується за формулою:

$$K_{pz} = K_{mpz} \cdot K_{\varphi pz} \cdot K_{\gamma pz} \cdot K_{\lambda pz} \cdot K_{\tau pz}, \quad (2.10.9)$$

де K_{mpz} – коефіцієнт враховуючий вплив якості сталей на силові залежності та розраховується за формулою:

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n = \left(\frac{200}{190}\right)^{0,4} = 1,02$$

$K_{\varphi pz}$, $K_{\gamma pz}$, $K_{\lambda pz}$, $K_{\tau pz}$ - коефіцієнти призначаються по [12, с.275, табл.23];

$K_{\varphi pz}=0,89$ – для різця з твердого сплаву з $\varphi=90^\circ$,

$K_{\gamma pz}=1,0$ – для різця з твердого сплаву з $\gamma=10^\circ$,

$K_{\lambda pz}=1,0$ - для різця з твердого сплаву,

$K_{\tau pz}=1,0$ - – для різця з твердого сплаву.

$$K_{pz} = 1,02 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,91$$

- Приймаються для розточування алюмінієвих сплавів різцями з швидкорізальної сталі: [12, с.273, табл.22]

$C_{pz}=92$; $x=1,0$; $y=0,75$; $n=-0,15$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 5,0^{1,0} \cdot 0,6^{0,75} \cdot 84,4^{-0,15} \cdot 0,91 = 1475,1 \text{ Н}$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{1475,1 \cdot 84,4}{1020 \cdot 60} = 2,0 \text{ кВт}$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується із умови за формулою:

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta, \quad (2.10.10)$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна верстата;

η - коефіцієнт корисної дії двигуна;

$$\eta = 0,9; N_{\text{дв}} = 5,5$$

$$2,0 \leq 5,5 \cdot 0,9$$

$$2,0 \leq 4,95$$

Умова виконується, тобто потужність двигуна дозволяє працювати на розрахованих режимах різання.

Основний машинний час T_o , хв розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{L_{\text{рх}}}{S_{\text{хв}}} \cdot i, \quad (2.10.11)$$

де $L_{\text{рх}}$ – довжина робочого ходу, мм.

Довжина робочого ходу $L_{\text{рх}}$, мм розраховується за формулою:

$$L_{\text{рх}} = l + y + \Delta, \quad (2.10.12)$$

де l - довжина різання, мм;

Δ - величина перебігу інструменту, мм;

y - величина врізання інструменту, мм.

$$l = 76; \Delta = 3,0; y = 1,0$$

$$L_{\text{рх}} = 76 + 3,0 + 1,0 = 80,0 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{80,0}{48,0} \cdot 1 = 1,67 \text{ хв}$$

2.10.2 Визначення режимів різання аналоговими методами

Для подальших розрахунків режимів різання буде використовуватись сайт Sandvik coromant[13]

Таблиця 2.9 – Зведена таблиця режимів різання

№ опер.	Перехід	Обробка	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
005 (А)	1	Підрізання торця	 DSSNR 2525M 15 Tool  SNMG 15 06 16-KR 3210 Insert	225	3	0,863	2000	0,54
	2	Точіння		84.4	5.0	0,6	80	1,67
	3	Точіння		274	2	0,38	271	0,9
005 (Б)	1	Підрізання торця	 DSSNR 2525M 15 Tool  SNMG 15 06 16-KR 3210 Insert	225	3	0,863	2000	0,3
	2	Точіння		274	3,5	0,38	363	1,1
	3	Точіння		262	4	0,35	242	0,6
	4	Розточування	 570-SCLCR-40-12 Tool  CCMT 12 04 12-KR 3210 Insert  570-2C 40 283 Adaptor	279	2,1 7	0,36	568	2,5
	5	Розточування		347	0,4	0,173	666	1,4
	6	Розточування		279	2,8 9	0,36	518	3,75

	7	Розточування		347	0,3 25	0,186	582	1,5
$T_o = 0,54+1,67+0,9+0,3+1,1+0,6+2,5+1,4+3,75+1,5=14,26$								
010 (А)	1	Підрізання торця	 DSSNR 2525M 15 Tool  SNMG 15 06 16-KR 3210 Insert	225	3	0,863	2000	0,54
	2	Точіння	 DCLNR 2020K 12 Tool	274	0,8	0,38	272	0,65
	3	Точіння	 CNMA 12 04 08-KR 3210 Insert	340	0,2	0,256	338	0,8
	4	Точіння	 DSSNR 2525M 15 Tool  SNMG 15 06 16-KR 3210 Insert	282	5,5 5	0,35	408	2,0
010 (Б)	1	Підрізання торця	 DSSNR 2525M 15 Tool  SNMG 15 06 16-KR 3210 Insert	225	3	0,863	2000	0,3
	2	Розточування	 E25T-SCLCR 09-R Tool  CCMT 09 T3 08-KF 3210 Insert	347	0,1 75	0,239	581	1,1
	3	Розточування	 A16R-SCLCR 09 Tool  CCMT 09 T3 04-KF 3210 Insert	359	0,1	0,166	689	0,1
	4	Розточування	 A40T-SVPBR 16 Tool  VBMW 16 04 04 H13A Insert	130	0,0 5	0,181	218	3,8
	5	Розточування канавки	 C2R-CF40-RK11GB Tool  C2I-K2N-0635-0003- GM3115 Insert	167	6,3 5	0,14	279	0,3
$T_o = 0,54+0,65+0,8+2,0+0,3+1,1+0,1+3,8+0,3=9,59$								
020	1	Центрування	 462.1-0350-011A1-XM X2BM Tool	117	1,7 5	117	1000 0	0,32

2.11 Нормування технологічних операцій

2.11.1 Розрахунок поштучного часу для операції

Нормування вертикально-фрезерної операції з ЧПК виконується по [14] з урахуванням особливостей нормування операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК в послідовності:

Призначається час $T_{\text{вст.зн}}$, хв для встановлення деталі вагою, кг до 30 в патроні. [14, с.36, карта 5].

$$T_{\text{вст.зн}} = 3,3$$

Розраховується машинно-допоміжний час $t_{\text{м.в}}$, хв, зв'язаний з виконанням допоміжних переходів і переміщень, що складається з суми часів одночасного переміщення робочих органів верстата по вісям Z та X: [14, с.605, табл. 12];

- прискореного – 0,03: ураховується 6 рази;
- установочного – 0,1: ураховується 3 рази;
- установочного в зоні різання – 0,04: ураховується 10 раз;
- повороту револьверної головки на одну позицію – 0,02: ураховується 2 рази.

$$t_{\text{м.в.}} = 0,03 \cdot 6 + 0,1 \cdot 3 + 0,04 \cdot 10 + 0,02 \cdot 2 = 0,92$$

Допоміжний час $T_{\text{доп}}$, хв визначається за формулою

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{вст.зн}} + t_{\text{м.в.}} \quad (2.11.1)$$

$$T_{\text{доп}} = 3,3 + 0,92 = 4,22$$

Оперативний час $T_{\text{оп}}$, хв розраховується за формулою

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_{\text{вст.зн.}} + t_{\text{м.в.}} \quad (2.11.2)$$

$$T_{\text{оп}} = 14,26 + 3,3 + 0,92 = 18,48$$

Додатковий час $T_{\text{дод}}$, хв. становить 10% від оперативного часу по [14, с.605, табл. 12]

$$T_{\text{дод}} = \frac{10 \cdot 21,78}{100} = 2,178$$

Розраховується штучний час $T_{\text{шт}}$, хв за формулою

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}, \quad (2.11.3)$$

$$T_{\text{шт}} = 21,78 + 2,178 = 23,958$$

Розраховується підготовчо-заклучний час, $T_{\text{пз}}$, хв за формулою

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз1}} + T_{\text{пз2}} + T_{\text{пз3}}, \quad (2.11.4)$$

де $T_{\text{пз1}}$ - затрати часу на прийоми підготовки до роботи, хв;

$T_{\text{пз2}}$ - затрати часу, що враховує додаткові прийоми, хв;

$T_{\text{пз3}}$ - час на пробну обробку деталі, хв.

Час $T_{\text{пз1}}$, хв складається з [14 , с.605]:

- ознайомлення з документами та огляд заготовки - 4
- інструктаж майстра - 2
- встановлення робочих органів верстата в нульове положення - 4
- введення програми - 2

$$T_{\text{пз1}} = 4+2+4+2=12$$

Час, що враховує додаткові прийоми $T_{\text{пз2}}$, хв складається з [14 , с.605]:

- часу на складання інструмента - 2 хв;
- часу на отримання інструменту - 7 хв;

$$T_{\text{пз2}} = 2 + 7 = 9$$

Час на пробну обробку $T_{\text{пз3}}$, хв. приймається для обробки пробної деталі [14 , с.605]:

$$T_{\text{пз3}} = 20$$

$$T_{\text{пз}} = 12 + 9 + 20 = 41$$

Штучно калькуляційний час $T_{\text{ш.к.}}$, хв розраховується за формулою

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{Tn}{n} \quad (2.11.5)$$

$$T_{шт.к} = 23,958 + \frac{41}{38,3} = 25,0$$

2.11.2 Нормування аналоговими методами

Подальші розрахунки заносимо до таблиці 2.11.2

Таблиця 2.11.2 – Зведена таблиця нормування часу

№	T _о хв	T _{вст.зн} хв	t _{м.в} , хв	T _{пз} хв	T _{шт} хв	T _{доп} хв	T _{дод} хв	T _{оп} хв	T _{шт.к} хв
005	14,26	6,6	0,92	41	23,958	7,52	2,178	21,78	25,0
010	9,59	6,6	2,44	21	20,493	9,04	1,863	18,63	21,04
020	1,88	1,1	3,78	34	7,436	4,88	0,676	6,76	8,32
025	0,48	2,2	1,32	24	4,4	3,52	0,4	4,0	5,03

3. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв

3.1.1 Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв

Мета поєднання структури та пристрою - створити найкращу конфігурацію спеціального обладнання, вибору з усіх можливих систем обладнання, зокрема:

універсально-збірні (УЗП);

універсальні безналагоджувальні (УБП);

збірно-розбірні (ЗРП);

нерозбірні спеціальні (НСП);

спеціалізовані налагоджувальні (СНП);

універсально-збірні переналагоджувальні (УЗПП).

Оскільки деталь «Гніздо підшипника» випускається у середньосерійному виробництві, доцільним є використання універсальних збірних, безналагоджувальних та збірно-розбірних пристосувань (УЗП, УБП, ЗРП).

Зважаючи на те, що в ас вікорістовується фрезерування деталі, гарним варіантом пристрою будуть призматичні лещата для затиску деталі

3.1.2 Послідовність розроблення конструкції пристрою

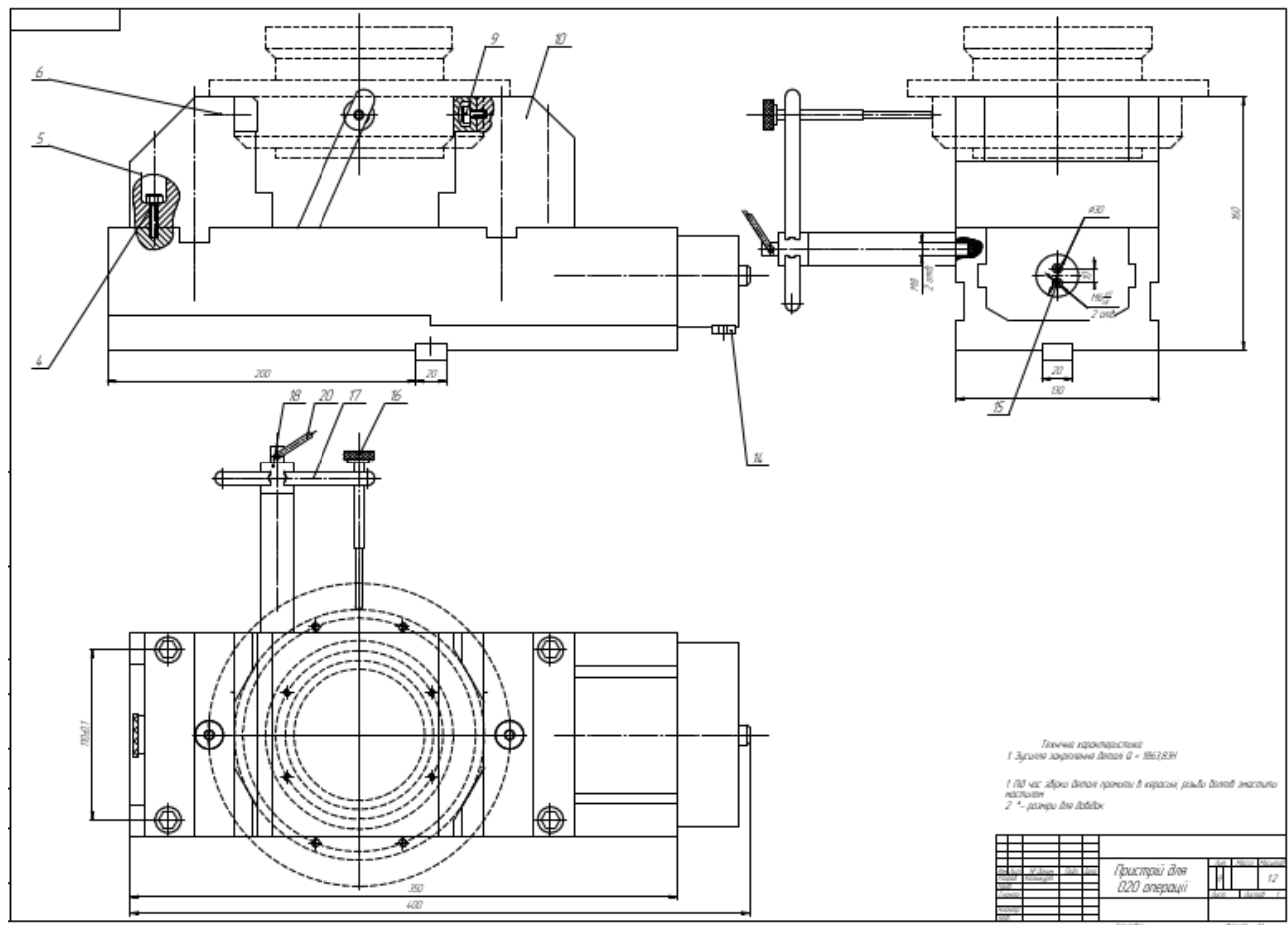


Рисунок 3.1 – Лещата призматичні

3.2 Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв

3.2.1 Розрахунок похибок базування на 005 операцію

3.2.2 Визначення похибок закріплення верстатного пристрою

Розраховуємо похибку зміщення осей пазів:

$$\varepsilon_{\text{np}} = \sum \Delta_i + \Delta_3 + \Delta_{\Pi} + \Delta_{\text{H}} + \Delta_{\text{y.}\Pi}$$

$\sum \Delta_i$ – сумарна похибка виготовлення окремих деталей пристосування, яка регламентована допускам на робочих кресленнях.

$\Sigma \Delta_i = 2500$ мкм – згідно допуску на поверхню, яка затискається.

Δ_3 – похибка обумовлена наявністю зазорів при посадці заготовок на складання пристосування.

$$\Delta_3 = 150 \text{ мкм} - \text{згідно з [15, с. 75, табл. 2.11]}$$

Δ_{Π} – похибка обумовлена перекосом або зміщенням ріжучого інструменту.

Припустимо, $\Delta_{\Pi} = 30 \text{ мкм}$, тому що різець при врізанні може змінити положення початкової осі.

$\Delta_{\text{и}}$ – похибка обумовлена зносом установчих направляючих елементів. Можливу величину зносу можна оцінити по наступній формулі [15, с. 76, ф. 2.25]:

$$U = U_0 \cdot k_t \cdot k_l \cdot k_y$$

де U_0 – величина зносу по нормалі до поверхні, отримана на підставі дослідних даних. Для числа контактів з заготовкою рівним 5000, опора установча має середню величину зносу $U_0 = 16 \text{ мкм}$.

k_t – коефіцієнт, який враховує час контакту заготовки з опорами (орієнтовно $k_t = 0,79t_{\text{маш}}$, де $t_{\text{маш}}$ – машинний час, хв).

Беремо час обробки 25,0 хв та додамо час на прив'язку інструменту і операції з закріплення і розкріплення деталі:

$$t_{\text{маш}} = 25,0 + 7,52 = 32,52 \text{ хв.}$$

$$k_t = 0,79 \cdot 32,52 = 25,7$$

k_l – коефіцієнт, який враховує довжину шляху ковзання при установці заготовки для верстатів з ЧПК – $k_l = 1,25$.

k_y – коефіцієнт, що враховує умови оброблення. Для точіння незагартованої сталі з охолодженням $k_y = 0,94$.

$$\Delta_{\text{и}} = U = U_0 k_t k_l k_y = 16 \cdot 25,7 \cdot 1,25 \cdot 0,94 \approx 483,16 \text{ мкм}$$

$\Delta_{\text{у.п}}$ – похибка установки пристосування на верстаті.

Спосіб встановлення пристосування на конус шпинделя[15, с. 86, табл. 2.15]:

$$\Delta_{y.l.} = 30 \text{ мкм}$$

В результаті, похибка пристосування:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sum \Delta_i + \Delta_z + \Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{y.l.} = 2500 + 150 + 30 + 483,16 + 30 = 3193,16 \text{ мкм}$$

3.3 Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

3.3.1 Розрахунок необхідної сили затиску заготовки Q[16]

З огляду на технологічний процес представленого оброблення деталі для операції 005, можна зробити висновок, що найбільші сили різання будуть виникати при свердленні, тому розрахунки проведемо з умови рівноваги заготовки при такій обробці.

Вихідні дані:

Матеріал заготовки: СЧ18

Державка: DSSNR 2525M 15

Ріжуча пластина : SNMG 15 06 16-KR 3210

Подача: $S_o = 0,38 \text{ мм}$;

Швидкість різання: $V = 84,4 \text{ м/хв}$;

Частота обертання шпинделя: $n = 80 \text{ об/хв}$;

Тангенціальна складова сили різання: $P_z = 1475,1 \text{ Н}$;

Радіальна складова сили різання: $P_y = 0,85 \cdot P_z = 0,85 \cdot 1475,1 = 1253,8 \text{ Н}$;

Осьова складова сили різання: $P_x = 0,5 \cdot P_z = 0,5 \cdot 1475,1 = 737,55 \text{ Н}$

Конструкція верстатного пристрою для обробки деталі «Гніздо підшипника» на операції 005 фіксується таким чином:

Заготовка закріплюється в самоцентруючому трьохкулачковому патроні.

Спочатку визначаємо необхідну силу затиску деталі в самоцентруючому трьохкулачковому патроні за формулою:

$$Q = K \cdot \sqrt{\left(\frac{P_z D_1}{3f D_2}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{3f}\right)^2} \quad (3.1)$$

де, $f = 0,3$ – коефіцієнт тертя між кулачками і заготовкою (сталі кулачки–чавуна заготовка); $D_1 = 336 \text{ мм}$; $D_2 = 500 \text{ мм}$

Коефіцієнт запасу, який враховує нестабільність силових дій на заготовку, вводять при визначення сили для забезпечення надійного закріплення:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

K_0 –гарантований коефіцієнт запасу приймають $K_0 = 1,5$;

K_1 –коефіцієнт, що враховує нерівномірність припуску по оброблюваній поверхні заготовки, що призводить до збільшення сили різання, для чорнової обробки $K_1 = 1,2$;

K_2 –коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні ріжучого інструменту $K_2 = 1,2 - 1,4$ обираю $K_2 = 1,2$;

K_3 –коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробці уривчастих поверхонь, в моєму випадку $K_3 = 1,0$;

K_4 –коефіцієнт, що враховує мінливість сили затиску, для автоматичного затискання $K_4 = 1,0$;

K_5 – коефіцієнт, що враховує ергономіку ручних затискних елементів, $K_5 = 1,0$;

K_6 – коефіцієнт, що враховується лише за наявності моментів, які прагнуть повернути заготовку. Якщо заготовка встановлена базовою площиною опори з обмеженою поверхнею контакту $K_6 = 1,0$.

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,16$$

$$Q = K \cdot \sqrt{\left(\frac{P_z D_1}{3f D_2}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{3f}\right)^2} = 2,16 \cdot \sqrt{\left(\frac{1475,1 \cdot 336}{3 \cdot 0,3 \cdot 500}\right)^2 + \left(\frac{737,55}{3 \cdot 0,3}\right)^2} = 2274,0 \text{ Н '}$$

Деталь фіксується в пристосуванні за допомогою трьох кулачків, отже потрібно розраховану силу затиску рівномірно розподілити по трьом кулачкам. Кожен кулачок має передавати силу затиску не менше ніж $\frac{2274,0}{3} \approx 758,0 \text{ Н}$

Визначаємо потрібний тиск в циліндрі для надійного закріплення за формулою:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4W}{\pi P \eta_{\text{ц}}}} \quad (3.2)$$

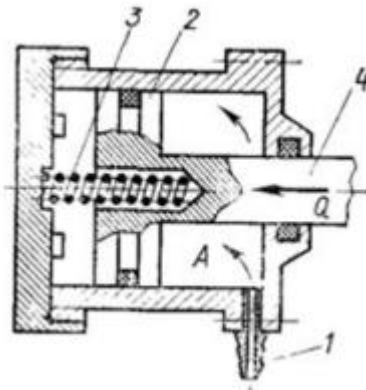
$$W = Q \cdot (K(1 + \frac{3af}{b}) \cdot \text{tg}(a + \varphi)) \quad (3.3)$$

$$W = 758,0 \cdot (1,05 \cdot (1 + \frac{3 \cdot 60 \cdot 1,05}{110})) \cdot \text{tg}(2,55 + 10) = 481,6 \text{ Н}$$

$$P = \frac{4 \cdot W}{D_{\text{ц}}^2 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{ц}}} = \frac{4 \cdot 481,6}{0,29^2 \cdot 3,14 \cdot 0,9} = 0,8 \text{ МПа}$$

Максимально можливий тиск гідропривода 10МПа, що задовольняє умови затиску заготовки.

Параметри гідроциліндра обираємо за ГОСТ 19897-74. Гідроциліндр тягнучий з цільним штоком.



Розрахунок сили на штоці для тягнучого гідроциліндру за формулою:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p \eta - Q_1 = \frac{\pi}{4}$$

$$Q = \frac{3,14}{4} (D^2 - d^2) p \eta - Q_1 = \frac{\pi}{4}$$

де D = 60 мм, - діаметр поршня гідроциліндра.

$p = 10 \text{ МПа}$ – тиск у системі;

η - ККД гідроциліндру, $\eta = 0,9$.

d – діаметр штока, 15 мм.

Q_1 - сила затиску пружини при крайньому положенні поршня, $Q_1 = 700$

$$Q = \frac{3,14}{4} (60^2 - 15^2) 5 \cdot 0,9 - 950 = 10972,2 \text{ Н}$$

Гідроциліндр забезпечує силу затиску за умовою:

$$Q < Q_1 = 2274,0 \text{ Н} < 10972,2 \text{ Н}$$

Умова виконується

Для контролю точності розміру шийки $\varnothing 320f7_{-0,119}^{-0,062}$ при виготовленні деталі «Гніздо підшипника» використовується калібр – скоба 320f7 спеціальна. Калібр– скоба має прохідну і непрохідну сторони, які роз'єднує паз. Креслення калібру – скоби надається в графічній частині проекту.

Виконавчі розміри прохідної (ПР) та непрохідної (НЕ) сторонни скоби розраховуються за формулами:

$$ПР_{\max} = d_{\max} - Z_1 + H_1/2 \quad (3.4)$$

$$ПР_{\min} = d_{\max} - Z_1 - H_1/2 \quad (3.5)$$

$$ПР_{\text{вин.}} = d_{\max} + Y_1 \quad (3.6)$$

$$ПР_{\text{викон.}} = ПР_{\min}^{+H_1} \quad (3.7)$$

$$НЕ_{\max} = d_{\min} + H_1/2 \quad (3.8)$$

$$НЕ_{\min} = d_{\min} - H_1/2 \quad (3.9)$$

$$НЕ_{\text{викон.}} = НЕ_{\min}^{+H_1}, \quad (3.10)$$

де $d_{\max}$ – найбільший граничний розмір виробу, мм;

$d_{\min}$ – найменший граничний розмір виробу, мм;

Z_1 – відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для вала відносно найбільшого граничного розміру виробу, мм;

H_1 – допуск на виготовлення калібрів для вала, мм;

Y_1 – допустимий вихід розміру зношеного прохідного калібру для валу за границю поля допуску виробу, мм.

$$d_{\max}=319,938; d_{\min}=319,881.$$

Приймається для інтервалу розмірів 315...400 мм, 7 квалітету, по [17]:

$$Z_1=0,01; H_1=0,013; Y_1=0,008$$

$$ПР_{\max}=319,938-0,01+0,013/2=319,935$$

$$ПР_{\min}=319,938-0,01-0,013/2=319,922$$

$$ПР_{\text{вин.}}=319,938+0,008=319,946$$

$$ПР_{\text{викон.}}=319,922^{+0,013}$$

$$НЕ_{\max}=319,881+0,013/2=319,888$$

$$НЕ_{\min}=319,881-0,013/2=319,875$$

$$НЕ_{\text{викон.}}=319,875^{+0,013}$$

Точність обробки калібр-скоби контролюється контрольним калібром пробкою.

Розрахунок розмірів прохідної та непрохідної вставок контрольного калібру - пробки ведеться по формулам:

$$К-ПР_{\max}=d_{\max}-Z_1+H_p/2 \quad (3.11)$$

$$К-ПР_{\min}=d_{\min}-Z_1-H_p/2 \quad (3.12)$$

$$К-ПР_{\text{викон.}}=К-ПР_{\max}-H_p \quad (3.13)$$

$$К-НЕ_{\max}=d_{\min}+H_p/2 \quad (3.14)$$

$$К-НЕ_{\min}=d_{\min}-H_p/2 \quad (3.15)$$

$$К-НЕ_{\text{викон.}}=К-НЕ_{\max}-H_p, \quad (3.16)$$

де H_p – допуск на виготовлення контрольного калібру для скоби, мм;

$$H_p=0,007 \text{ – за [17]}$$

$$К-ПР_{\max}=319,938-0,01+0,007/2=319,932$$

$$К-ПР_{\min}=319,938-0,01-0,007/2=319,925$$

$$К-ПР_{\text{викон.}}=319,932-0,007$$

$$К-НЕ_{\max}=319,881+0,007/2=319,885$$

$$К-НЕ_{\min}=319,881-0,007/2=319,878$$

$$K-HE_{\text{викон.}} = 319,885_{-0,007}$$

Схема розташування полів допусків калібру–скоби надається на рисунку 2.9

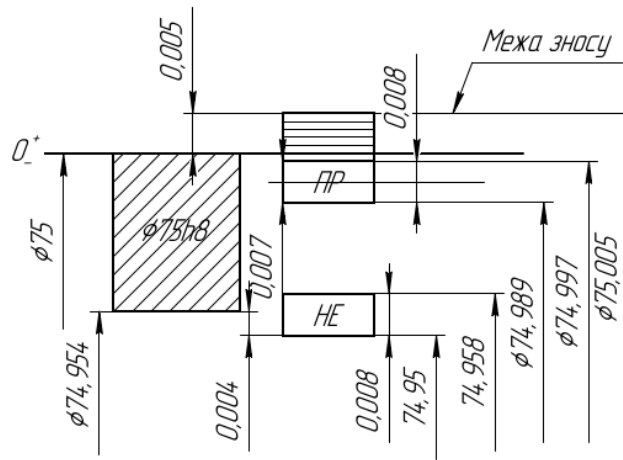


Рисунок 3.9 - Схема розташування полів допусків калібру – скоби для 75h8

4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Розрахунок собівартості річного випуску

Заробітна плата основних робітників, $Z_{\text{осн}}$, грн., розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{t_{\text{шк}} \cdot C_{\text{год}} \cdot N_{\text{вип}}}{60} \quad (4.1)$$

де $C_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка, грн./год;

$T_{\text{шк}}$ – штучно-калькуляційний час, хв;

$N_{\text{вип}}$ – річний випуск, шт.

Розрахунок заробітної плати надається в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. - Розрахунок заробітної плати

№ операції	Штучно калькуляційний час $T_{\text{шк}}$, хв	Розряд робітника	Годинна тарифна ставка $C_{\text{год}}$, грн./год.	Заробітна плата $Z_{\text{осн}}$. грн..
005	25,0	4	118,0	98333,3
010	21,04	4	118,0	82757,3
020	8,32	4	118,0	32725,3
025	5,03	4	118,0	19,784,7
Разом	59,39	4	118,0	233600,6

Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, $Z_{\text{дод}}$, грн., розраховується за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{дод}}, \quad (4.2)$$

де $K_{\text{дод}}$ – коефіцієнт додаткової заробітної плати(0,5).

$$З_{\text{дод}} = 233600,6 \cdot 0,5 = 116800,3$$

Витрати на єдиний соціальний внесок, ЄСВ, грн., визначається за формулою

$$\text{ЄСВ} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{дод}}) \cdot K_{\text{ЄСВ}}, \quad (4.3)$$

де $K_{\text{ЄСВ}}$ – коефіцієнт єдиного соціального внеску.

$$\text{ЄСВ} = (233600,6 + 116800,3) \cdot 0,22 = 77088,2$$

Вартість сировини і матеріалів, $V_{\text{м}}$, грн., розраховується за формулою

$$V_{\text{м}} = (m_{\text{заг}} \cdot \Pi_{\text{мат}}) \cdot (1 + K_{\text{тр}}) \cdot N_{\text{вип}} \quad (4.4)$$

де $m_{\text{заг}}$ – маса заготовки, кг, л, м;

$\Pi_{\text{мат}}$ – ціна одного кг. матеріалу заготовки, грн.;

$K_{\text{тр}}$ – коефіцієнт який враховує витрати на транспортування матеріалу від постачальника до виробника, складає 0,02.

$$V_{\text{м}} = (28,6 \cdot 1000,0) \cdot (1 + 0,02) \cdot 2000 = 2098344,0$$

Витрати на електроенергію на технологічні цілі, $V_{\text{ел}}$, грн., розраховується за формулою

$$V_{\text{ел}} = W_{\text{е}} \cdot F_{\text{еф}} \cdot \Pi_{\text{ел}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot K_{\text{з}} \quad (4.5)$$

де $W_{\text{е}}$ – загальна потужність верстатів, кВт-год.;

$F_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи обладнання. год.;

$\Pi_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн. (4,32);

$K_{\text{зм}}$ - кількість змін;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження обладнання.

$$V_{\text{ел}} = 13 \cdot 292,5 \cdot 10,5 \cdot 3 \cdot 0,95 = 113789,8$$

Амортизація основних фондів, A , грн., розраховується за формулою

$$A = \frac{N_{\text{а}} \cdot V_{\text{ел}}}{100} \quad (4.6)$$

де H_a – річна норма амортизації, приймається 15%.

$$A = \frac{15 \cdot 113789,8}{100} = 17068,5$$

Розрахунок собівартості річного випуску надається у таблиці 4.2

Таблиця 4.2. -Собівартість річного випуску

Найменування статей	Сума, грн.
Сировина і матеріали	2098344,0
Паливо та енергія на технологічні цілі	113789,8
Основна заробітна плата основних робітників	233600,6
Додаткова заробітна плата виробників	116800,3
Єдиний соціальний внесок	77088,2
Амортизація	17068,5
Разом	2656691,4
Собівартість однієї деталі	1328,4

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було проведено комплексну технологічну підготовку виготовлення деталі типу «Гніздо підшипника» з урахуванням вимог середньосерійного виробництва. Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

1. Проведено техніко-конструктивний аналіз деталі, встановлено її функціональне призначення у складальному вузлі та підтверджено відповідність форми, розмірів, допусків і шорсткості умовам експлуатації під навантаженням.
2. Обґрунтовано вибір конструкційного матеріалу — сірого чавуну СЧ18, завдяки його високій зносостійкості, жорсткості, гарним ливарним характеристикам і низькій собівартості.
3. Визначено тип виробництва як середньосерійний, що зумовило вибір відповідної технологічної стратегії, маршруту обробки та організації робочих місць.
4. Оцінено технологічність деталі як якісно, так і кількісно, що підтвердило раціональність її конструкції з точки зору виготовлення, обробки, складання та експлуатації.
5. Розроблено раціональну заготовку методом лиття в піщано-глиняні форми, що забезпечує оптимальне співвідношення між точністю, вартістю та зручністю подальшої механічної обробки.
6. Визначено обґрунтовані технологічні бази та класифіковано поверхні деталі, що дозволило сформувати точну схему базування для кожної операції обробки.
7. Сформовано маршрут оброблення елементарних поверхонь, включаючи чорнові, напівчистові, чистові та фінішні переходи, з дотриманням вимог до точності та шорсткості.
8. Розроблено повний операційний технологічний процес обробки деталі на сучасному обладнанні з ЧПК, включаючи всі необхідні ескізи, режими різання, контрольні операції та маршрути перевстановлень.

9. Визначено режими різання аналітичним і аналоговим методами, які забезпечують баланс між продуктивністю, стійкістю інструменту та навантаженням на обладнання. Проведена перевірка потужності двигуна підтвердила придатність режимів до реальних умов.

10. Розраховано припуски на обробку аналітичним і аналоговим методами, що дозволило забезпечити точність і зменшити надлишкове знімання матеріалу.

11. Розроблено спеціальне пристосування для забезпечення надійного закріплення заготовки, що підвищує точність та стабільність обробки, а також дозволяє зменшити втрати часу на переналагодження обладнання.

12. Виконано нормування технологічних операцій, у тому числі розрахунок поштучного, підготовчо-заключного та допоміжного часу, що дозволяє об'єктивно оцінити тривалість виробничого циклу.

13. Розраховано повну собівартість виготовлення деталі, враховуючи витрати на матеріал, енергію, інструменти, амортизацію обладнання та оплату праці, що дозволяє планувати економічно доцільне виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання: Навчальний посібник для студентів, що навчаються за напрямом “Інженерна механіка”. – Київ: Політехніка, 2006. –с.
2. Марка СЧ18. URL: <https://auremo.org/materials/chugun-sch18.html> (дата звернення: 24.05.2025).
3. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740> (дата звернення: 24.05.2025).
4. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 2. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740>
5. ДСТУ3022-95. Лиття в пічасно-глинистих формах. Загальні вимоги та норми. Від 28.02.1995. Розроб: Науково- виробниче об'єднання спеціальних методів лиття.
6. ISO8062:1994. Castings - System of dimensional tolerances and machining allowances;
7. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 2. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник ; КПІ ім. Ігоря

Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740>

8. Токарний верстат з ЧПК Cormak SKT400/1000SAH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://promptovari.com.ua/ua/verstaty-ua/tokarni-verstaty-ua/tokarnyj-stanok-s-chpu-cormak-ckt400-1000sah-uk#gallery-2>, вільний. – Назва з екрана.

9. Оброблювальний центр з ЧПК MAST MM855 S24 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mast-group.com.ua/ru/catalog/verstati_z_chpk/metaloobrobni_verstati_z_chpk/obrobni_tse_ntri_z_chpk_2/6416/, вільний. – Назва з екрана.

10. Мазур, Н. П. Основи теорії різання матеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Н. П. Мазур. – Київ : Міленіум, 2013. – 240 с. – Режим доступу: <https://mybook.biz.ua/ua/materialoznavstvo-tehnichni-nauki/osnovi-teorii-rizannya-materialiv/> (дата звернення: 24.05.2025).

11. ДСТУ 2500-94. Основні норми взаємозамінності. Допуски на обробку. Нормування технологічних допусків. – [Чинний від 01.07.1995]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 32 с.

12. Мазур, Н. П. Основи теорії різання матеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Н. П. Мазур. – Київ : Міленіум, 2013. – 240 с. – Режим доступу: <https://mybook.biz.ua/ua/materialoznavstvo-tehnichni-nauki/osnovi-teorii-rizannya-materialiv/> (дата звернення: 24.05.2025).

13. Калькулятор інструменту та режимів різання Sandvik Coromant [Електронний ресурс] // Sandvik Coromant. – URL: <http://surl.li/hdldg> (дата звернення: 24.05.2025).

14. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування. Підручник.: ЖДТУ, Житомир.–2005, 835 с

15. ДСТУ ISO 1938-1:2015. Геометричні допуски. Контрольні калібри. Частина 1. Гладкі калібри для циліндричних розмірів. – [Чинний від 2016-01-01]. – К. : Мінекономрозвитку України, 2016. – 28 с. – На заміну ГОСТ 24853-83.