

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
**«Розробка технології виготовлення деталі
корпус із дослідженням геометрії
спірального свердла»**

Виконав здобувач вищої освіти 2-го
року магістратури групи ПМ-24М-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»
_____ Сергій КОЛОДІЙ

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач
_____ Антон АПАРАКІН

Рецензент: к.т.н., доцент
_____ Руслан ОСІН

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА

Колодія Сергія Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення деталі корпус із
дослідженням геометрії спірального свердла

2. Керівник роботи: _____ к.т.н., ст. викл., Антон АПАРАКІН

3. Строк подання роботи до захисту _____ « ____ » грудень 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням зміни геометрії кута різання в залежності від положення леза свердла та вплив його на силові показники процесу, з метою покращення показників процесу механічної обробки отворів.

Завдання:

- визначити конструкцію свердла, що найчастіше використовується у виробництві;
- визначити вплив кута різання свердла на силові характеристики процесу різання;
- виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення корпусу НШ100А-3-01А на підприємстві, розробити рекомендації по підвищенню ефективності;
- розробити вдосконалений техпроцес: здійснити підбір заготовки, верстатів, верстатних пристроїв, різального інструменту, засобів вимірювання, розрахунок припусків та міжопераційних розмірів, режимів різання та норм часу;
- розробити конструкцію затискного верстатного та контрольно-вимірювального пристрою та металорізального інструменту;
- виконати організаційно-планові та економічні розрахунки для спроектованого технологічного процесу.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 2	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 3	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 4	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		
РОЗДІЛ 6	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Жовтень 2025	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Жовтень 2025	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Жовтень 2025	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Жовтень-листопад 2025	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Листопад 2025	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад-грудень 2025	вик.
7	РОЗДІЛ 6	Листопад-грудень 2025	вик.
8	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Грудень 2025	вик.
9	Графічна частина та оформлення	Жовтень-грудень 2025	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ Антон АПАРАКІН

(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025 р.

Здобувач _____ Сергій КОЛОДІЙ

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Сергій КОЛОДІЙ. Розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням геометрії спірального свердла. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. – 99 с. Матеріали презентації 7 креслень.

Метою роботи є розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням зміни геометрії кута різання в залежності від положення леза свердла та вплив його на силові показники процесу, з метою покращення показників процесу механічної обробки отворів.

У роботі здійснено аналіз сучасного стану технології свердління отворів, та визначено шляхи покращення силових показників процесу за допомогою визначення оптимального кута різання. Проведено аналіз техпроцесу механічної обробки деталі корпус НШ100А-3-01А, розроблено рекомендації по підвищенню ефективності. Розроблено вдосконалений техпроцес із підбором заготовки, верстатів, верстатних пристроїв, різального інструменту, засобів вимірювання, виконано розрахунок припусків та міжопераційних розмірів, режимів різання та норм часу. Розроблено конструкцію затискного верстатного та контрольно-вимірювального пристроїв, та металорізального інструменту – зенкера. Проведено економічне обґрунтування.

Актуальність. Основним інструментом для формування отворів є спіральне свердло, геометрія якого значною мірою впливає на точність, шорсткість поверхні та продуктивність процесу обробки. Саме тому дослідження способу свердління отворів та оптимальної геометрії спірального свердла це актуальна задача для досліджень.

Практичне значення. Проведене у роботі дослідження зміни геометрії кута різання в залежності від положення леза свердла та вплив його на силові показники процесу, мають практичну цінність при встановленні технологічних режимів різання, при виборі конструкції свердла та його геометричних параметрів, зокрема заднього кута α і кута різання δ . Розроблено рекомендації щодо раціоналізації техпроцесу виготовлення деталі корпус.

Ключові слова: свердління, корпус, спіральне свердло, геометрія різальної частини, технологія виробництва.

ABSTRACT

Serhiy KOLODIY. Development of a technology for manufacturing a housing part with research into the geometry of a spiral drill bit. Master's thesis: CUNTU, 2025. – 99 p. Presentation materials 7 drawings.

The purpose of the work is to develop a technology for manufacturing a body part with a study of the change in the geometry of the cutting angle depending on the position of the drill blade and its influence on the force parameters of the process, in order to improve the performance of the process of machining holes.

The work analyzes the current state of hole drilling technology, and identifies ways to improve the force parameters of the process by determining the optimal cutting angle. The technical process for machining a body part NSh100A-3-01A was analyzed, and recommendations for increasing efficiency were developed. An improved technical process has been developed with the selection of the workpiece, machines, fixtures, cutting tools, measuring tools, and the calculation of allowances and interoperation dimensions, cutting parameters and time standards has been performed. The design of the clamping machine tool and control and measuring device, and the metal-cutting tool - a countersink, has been developed. An economic justification has been carried out.

Relevance. The spiral drill is the primary tool for producing holes, and its geometry significantly affects accuracy, surface roughness, and machining productivity. Therefore, investigating hole-drilling methods and the optimal geometry of a spiral drill is a relevant and important research task.

Practical value. The study of the change in the geometry of the cutting angle depending on the drill edge position and its influence on the force parameters of the machining process has practical value for establishing technological cutting conditions and for selecting drill design and geometric parameters, particularly the back angle α and cutting angle δ . Recommendations for improving the technological process of manufacturing the housing part have been developed.

Key words: drilling, housing, spiral drill, cutting-edge geometry, manufacturing technology.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЇ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Основні положення	8
1.2 Конструкція різального інструменту, межі та можливості застосування методу свердління	12
1.3 Обладнання та верстати	17
1.4 Висновки, постановка мети і задачі дослідження	18
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ СПІРАЛЬНОГО СВЕРДЛА	20
2.1 Основні геометричні характеристики спірального свердла та їх вплив на процес свердління	20
2.2 Аналітичне визначення кутів різання спірального свердла	21
2.3 Висновки	25
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС	26
3.1 Службове призначення корпусу НШ100А-3-01А	26
3.2 Розробка технології виготовлення деталі корпус	29
3.3 Висновки	62
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ	63
4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристрою	63
4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою	72
4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту	74
4.4 Висновки	76
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	77
5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	77
5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів	78
5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху	82
5.4 Висновки	82
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	83
6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу	83
6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі	91
6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	94
6.4 Висновки	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97

ВСТУП

Машинобудування, попри економічні коливання, залишається провідною галуззю економіки, що визначає рівень технічного розвитку держави. Постійне зростання вимог до надійності та точності машин зумовлює підвищення якості обробки корпусних деталей, які забезпечують взаємне розташування елементів механізмів та сприймають навантаження під час роботи. Особливо важливою є точність отворів у корпусах, адже вони визначають правильність встановлення валів, підшипників та інших спряжених деталей.

Основним інструментом для формування отворів є спіральне свердло, геометрія якого значною мірою впливає на точність, шорсткість поверхні та продуктивність процесу обробки. Оптимальний вибір параметрів свердла та режимів різання дозволяє мінімізувати похибки формоутворення й підвищити якість отворів у корпусних деталях.

У зв'язку з цим актуальними є як дослідження впливу геометрії спірального свердла на якість та точність механічної обробки, так і розробка раціональної технології виготовлення корпусної деталі. Комплексний підхід до аналізу конструкції деталі, вибору інструменту та технологічних режимів сприятиме підвищенню стабільності та ефективності виробничого процесу.

З огляду на це, у роботі необхідно виконати дослідження зміни геометрії кута різання в залежності від положення леза свердла та вплив його на силові показники процесу, з метою покращення показників процесу механічної обробки отворів. Також розробити вдосконалений техпроцес обробки деталі корпус НШ100А-3-01А, який би відрізнявся від базового технологічного процесу меншою кількістю операцій, робітників, задіяним обладнанням, часом на обробку. Метою такого вдосконалення є підвищення ефективності машинобудівного виробництва та зниження собівартості продукції, зберігаючи при цьому якість продукції.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЇ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні положення

Способи та засоби утворення отворів у заготовках відомі людству з давніх давен. Складно уявити деталі механізмів і машин без отворів, які утворюють кріпильні, функціональні та допоміжні поверхні.

Переважна більшість отворів у машинобудуванні являють собою циліндричну внутрішню поверхню. За конфігурацією деталі, найбільшу кількість отворів різної конфігурації, призначення, форм та розташування у тілі деталі мають корпусні деталі. До таких отворів можуть відноситись:

- функційні отвори (встановлення підшипників, валів, зубчастих передач, вісей тощо);
- базові (технологічні, конструкторські та вимірювальні);
- кріпильні (різьбові отвори, болтові з'єднання);
- елементи технологічних систем, гідравліки, подачі мастила.

Схематичне зображення класифікації отворів за призначенням показане на рисунку 1.1 [22].

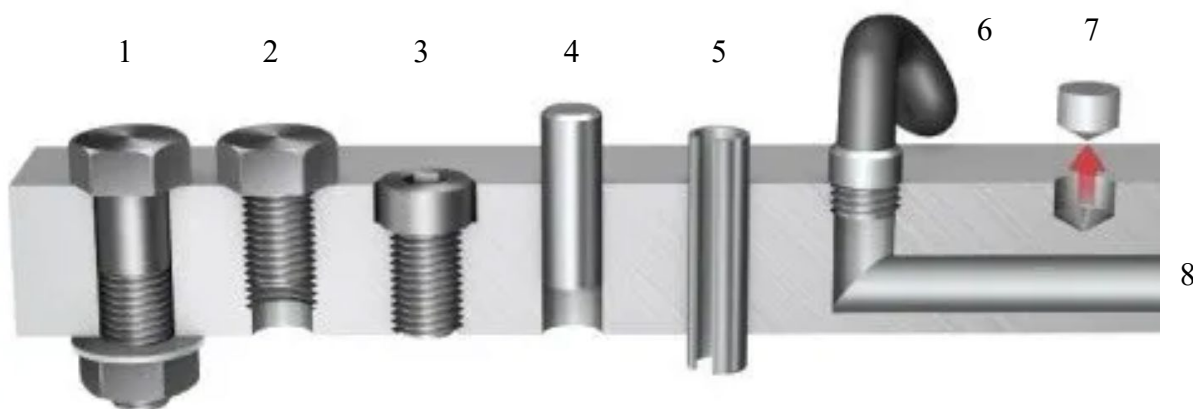


Рисунок 1.1 Класифікація отворів за призначенням

- 1 – з зазором, для болтового з'єднання; 2 – різьбові, загального призначення;
 3 – з різьбою, поглиблені (зенковані); 4 – отвори з точною посадкою;
 5 – отвори для трубок (теплообмінників); 6 – отвори, що утворюють канали;
 7 – отвори для зняття ваги, балансування; 8 – глибокий отвір.

Усі перелічені отвори корпусних деталей можуть мати різні вимоги до точності розмірів, форми та розташування, якості (шорсткості) поверхні. Отвори з високими вимогами підлягають послідовній механічній обробці, в той час як отвори із низькими вимогами до якості можуть бути отримані під час формування заготовки деталі.

Виробники металорізального інструменту для обробки отворів [22, 24] надають наступну класифікацію, рисунок 1.2.

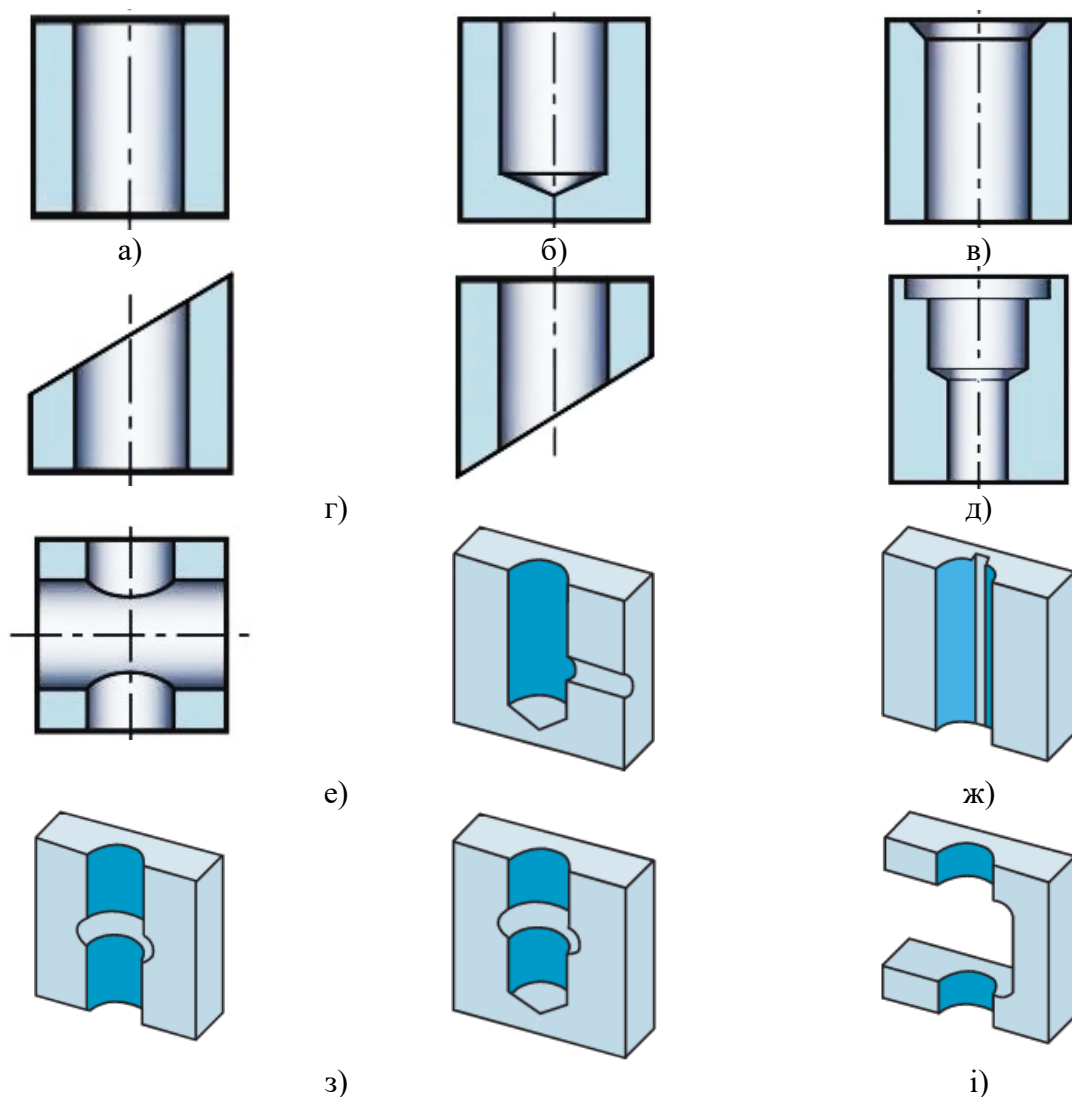


Рисунок 1.2 Конструкція отворів у деталях машин

- а) наскрізний; б) глухий; в) із фаскою; г) вхід та вихід отвору під кутом; д) ступінчастий із проточною; е) перетинається іншим отвором у тілі деталі (наскрізний та глухий); ж) повздовжній паз; з) внутрішня канавка (наскрізний та глухий); і) переривчастий.

Приведена класифікація отворів необхідна, перш за все, для правильної побудови технології обробки, так як перелічені конструктивні відмінності

можуть мати вплив на режими різання, процес відведення стружки із зони різання (глухі отвори), подачу мастильно охолоджувальної рідини, необхідність у попередньому centruванні суцільного матеріалу заготовки. Впливовість конструкції отвору на якість обробленої поверхні тим більша, чим більші вимоги до якості обробки.

Загалом, існує узагальнена система класифікації отворів за конструктивними признаками у машинобудуванні [22, 24]. Вона передбачає ідентифікацію отвору по наступним признакам:

- форма поперечного перерізу (круглі, некруглі);
- форма повздовжнього перерізу (глухий, наскрізний, циліндричний, конічний, багатоступінчастий);
- наявність додаткових конструктивних елементів (різьба, канавка, шліц, пази, проточка, фаска, цековка);
- габаритні параметри (відношення довжини до діаметру).

Окремим питанням стоїть обробка глибоких отворів, тобто таких у яких відношення довжини до діаметру більше 20. Такі отвори вимагають спеціального підходу до побудови технології, спеціального інструменту, іноді – навіть спеціальних верстатів.

На сьогодні, наявними методами обробки отворів (рис. 1.3) – свердлінням, розвертчуванням, фрезеруванням отворів, можна досягти високої точності та якості обробки, зокрема 5...6 квалітету точності та шорсткості поверхні Ra 0,25...1,0 мкм [22]. Крім цього, вимоги до отворів висуваються також по наступним параметрам точності:

- форми (циліндричність, круглість, профіль повздовжнього перерізу, прямолінійність);
- відносного розташування (перпендикулярність, паралельність, співвісність, радіальне биття, перетин вісей).

Загальна послідовність обробки отворів показана на рисунку 1.4 [17]. На рисунку видно, що першим етапом є centruвання деталі. Ця операція підвищує точність позиціонування отвору виключаючи вигин свердла. Далі, суцільний

матеріал заготовки знімають свердлінням. Після свердління, в залежності від призначення та конфігурації отвору, виконують нарізання різьби мітчиком, або розвертчування, або зенкування [21].



Рисунок 1.3 Обробка отворів корпусної деталі

- 1 – обробка свердлінням, свердлом із механічним кріпленням різальної частини;
 2 – обробка фрезеруванням; 3 – обробка свердлінням, суцільнометалевим свердлом;
 4 – обробка розвертчуванням; 5 – нарізання різьби мітчиком.

Рішення про призначення подібного маршруту обробки отворів деталі, або будь якого іншого, приймається технологом на виробництві з огляду на цілий ряд факторів:

- специфіка виробництва та продукції;
- обладнання;
- габаритні розміри деталі та отвору, матеріал деталі;
- способи подачі мастильно-охолоджувальної рідини та видалення стружки;
- методи вимірювання та контролю.

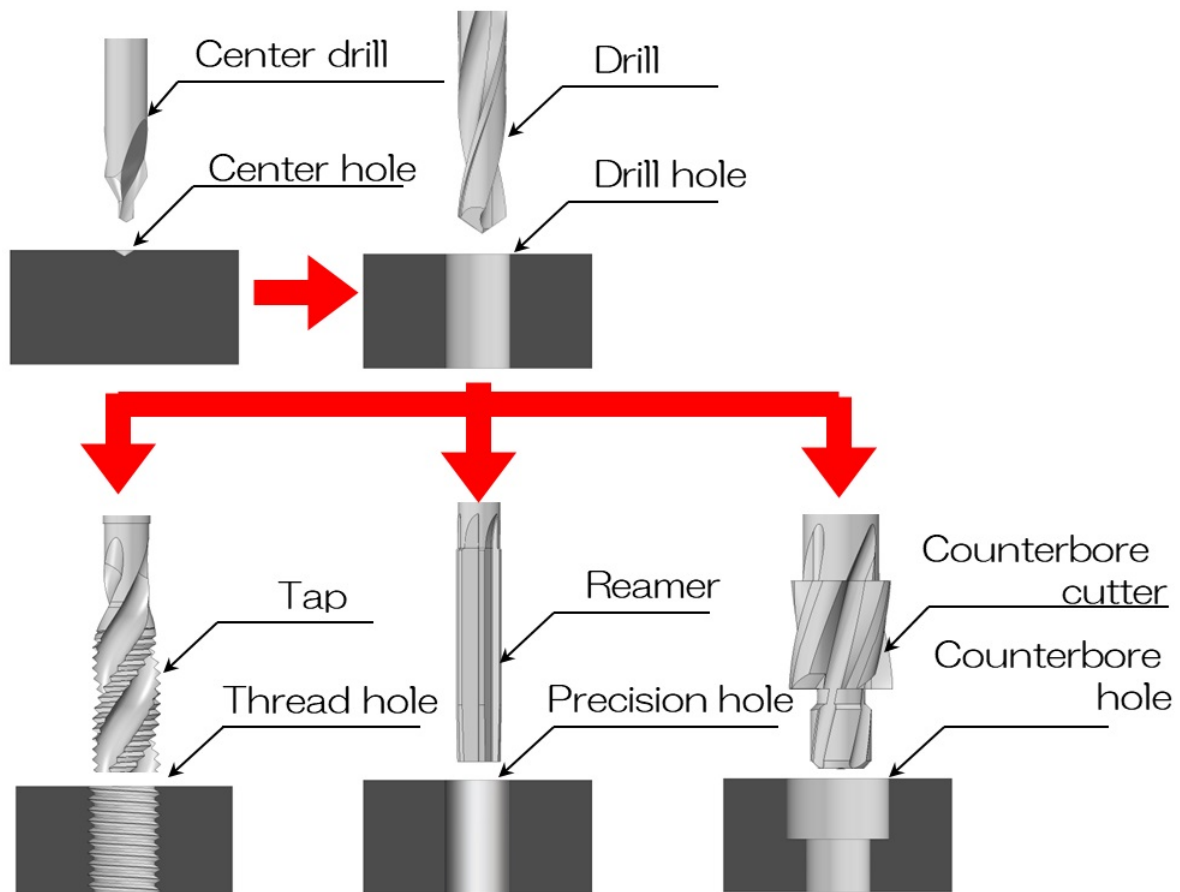


Рисунок 1.4 Послідовність обробки отвору деталі.

1.2 Конструкція різального інструменту, межі та можливості застосування методу свердління

Свердління це найпоширеніший спосіб обробки отворів у машинобудуванні, а спіральні свердла, в свою чергу - найпоширеніший вид свердл.

Як видно з рисунку 1.5, свердло являє собою циліндричний стрижень, який складається з робочої частини та хвостовика [11].

Робоча частина має дві спіральні канавки, призначені для виводу назовні отвору стружки під час обробки. На кінці робочої частини розташована безпосередньо різальна частина свердла, призначена для порушення цілісності оброблюваного матеріалу та відділення окремих його частин (стружок). З цією метою різальна частина має спеціальну заточку «по двом конусам», що утворює геометрію різальної частини – передні і задні поверхні, різальні кромки.

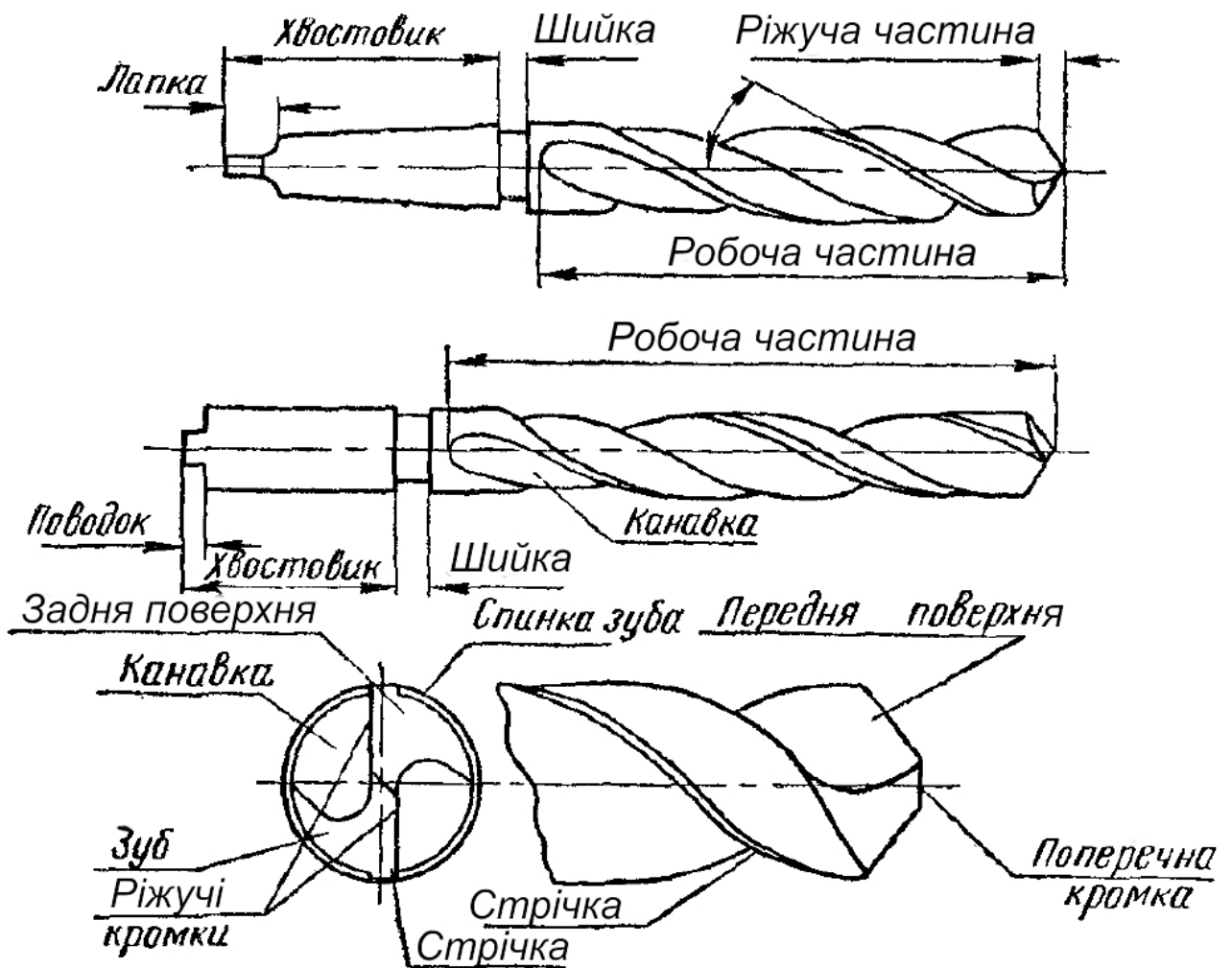


Рисунок 1.5 Елементи будови спіральних сверدل.

Загалом, свердло має п'ять різальних кромок:

- дві головні різальні кромки – утворені стружковими канавками і заточкою по конусам;
- перемичка – з'єднує головні різальні кромки, зазвичай під кутом 55° , знаходиться на самій вершині різальної частини;
- дві стрічки – розташовані на циліндричній частині, утворені стружковими канавками і зовнішньою циліндричною поверхнею, призначені для придання оброблюваному отвору необхідного діаметру та відводу стружки.

Обумовлені стрічки також допомагають при обробці центрувати та направляти свердло в отворі, знижують тертя інструменту по обробленій поверхні деталі, а також запобігають його заклинюванню через утворений зворотній конус у напрямку хвостовика.

Описана конструкція свердл справедлива для суцільнометалевого інструменту загального вжитку, середніх діаметрів. Якщо у виробництві виникає необхідність у обробці спеціальних отворів, то використовують інші типи свердл, які можуть задовільнити вимогам щодо обробки цих отворів. До таких свердл відносять гарматні свердла, перові, корончасті, центровочні, трепанаційні, велика кількість конструкцій як із напаяними різальними елементами, так і з механічним кріпленням непереточуваних різальних пластин.

Переважає більшість свердл виготовляється із швидкорізальної сталі [14], рідше – з твердого сплаву (малого діаметру); для обробки деревини чи пластику – із легованих та вуглецевих сталей. Сучасні свердла мають декілька усталених конструктивних рішень по оснащенню інструменту змінними непереточуваними пластинками.

На різальну частину свердл наносять різні інструментальні зносостійкі покриття, в залежності від призначення та умов обробки [18, 20]. Призначення таких покриттів аналогічне як і для іншого інструменту – підвищення ресурсу свердла, його зносостійкості, підвищення робочих значень подачі та швидкості різання (режимів обробки). Самим розповсюдженим видом покриття є TiN (нітрид титану), яке легко відрізнити від інших за жовто-золотистим кольором. Також, на замовлення споживача, різальна частина свердла може бути покрита TiAlN (титан алюміній нітридом), TiCN (карбонітридом титану), Fe₃O₄ (оксид заліза - магнетит) та навіть синтетичним алмазом – для обробки особливо твердих матеріалів.

Стосовно збірних конструкцій, та конструкцій із змінними швидкорізальними пластинами, то на теперішній час найбільшою популярністю користуються дві схеми [16, 21, 23].

Перша – саме зі змінними різальними пластинками, які встановлюються у відповідні їм місця у корпусі свердла, рисунок 1.6, а. Як видно, у процесі різання приймають участь дві різальні пластини – спершу встановлена по центру свердла, яка здійснює порушення цілісності суцільного шару заготовки та

видалення матеріалу ближче до вісі обертання, потім у роботу вступає пластина, встановлена на розмір діаметру відповідного оброблюваного отвору.

Друга схема механічного кріплення різального елемента являє собою корпус свердла із змінною різальною частиною, рисунок 1.6, б. Така конструкція має більшу жорсткість, дозволяє забезпечити ширший діапазон геометричних параметрів (стружколомів, елементів віброгасіння), однак має більшу матеріалоємність по дороговартісному інструментальному матеріалу.

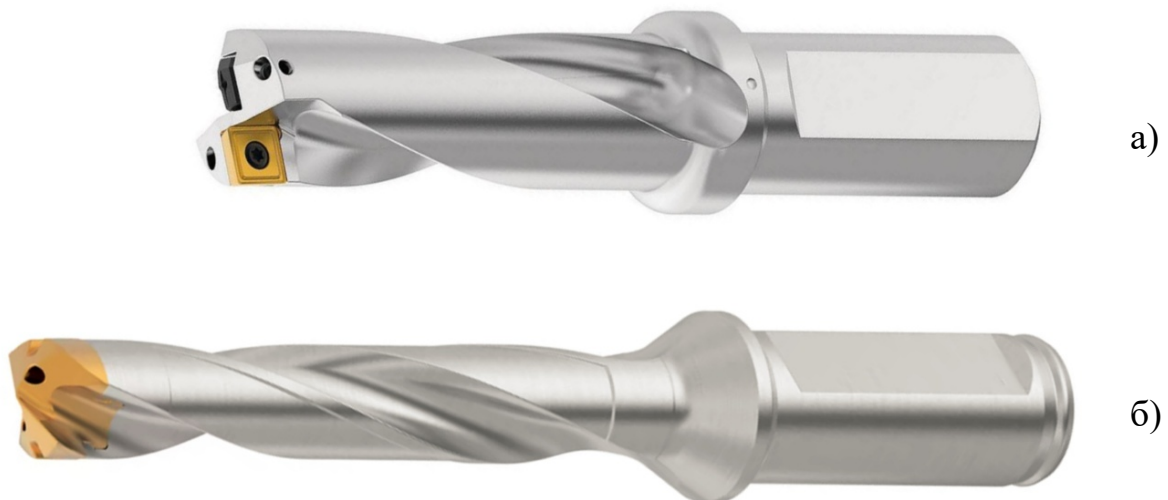


Рисунок 1.6 Свердла із механічним кріпленням різальних елементів

а) різальних пластин; б) різальної частини.

Обидві конструкції мають спіральні стружкові канавки та канали всередині корпусу для підведення мастильно-охолоджуваної рідини (МОР) у зону різання.

Габаритні розміри та технологічні можливості таких сверدل приведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Конструкція	Діапазон діаметрів свердл, мм	Діапазон довжин свердл, мм	Точність обробки	
			Допуск, мм	Квалітет
Зі змінними різальними пластинами	Ø12...65	24...325	0,15...0,4	11...14
Зі змінною різальною частиною	Ø6...26	9...312	0,018...0,033	8...10

Свердла із змінними різальними елементами, очікувано, дозволили зменшити до мінімуму об'єм використовуваного інструментального матеріалу, спростити процедуру відновлення працездатності свердла у разі поломки чи затуплення, а отже підвищити зручність та зменшити вартість експлуатації такого інструменту.

Операція свердління отворів, у сучасному машинобудуванні, зазвичай перебуває у складі багатоінструментальної обробки на фрезерних обробних центрах з ЧПУ (обробних центрах). Рідше зустрічається обробка свердлінням на токарному верстаті (переважно для тіл обертання), та в якості окремої операції, безпосередньо на свердлильному верстаті. Незалежно від цього, для якісної реалізації процесу свердління, потрібно враховувати декілька технологічних моментів:

- перевірка оброблюваного отвору технологічність;
- прийняття рішення щодо необхідності зацентровки отвору (за допомогою спеціального інструменту «spot drill» утворюють лунки по координатам оброблюваних отворів з метою зменшення відхилення свердла від вісі обертання);
- видалення та подрібнення стружки (за допомогою гвинтової канавки, подачі МОР, зокрема під тиском, за допомогою режимів обробки, циклів переривчастого свердління системи ЧПУ).

Окремо слід відмітити обробку глибоких отворів, так як крім перелічених питань, потрібно враховувати міцність та жорсткість інструменту, температуру та вібрації під час обробки, гостро постає питання видалення стружки та забезпечення подачі МОР. Контроль та вимірювання глибоких отворів також складна технологічна задача.

Загалом, технології механічної обробки різанням рухаються в напрямі вдосконалення інструментальних матеріалів завдяки порошковій металургії та застосуванню зносостійких покриттів. Це дає змогу підвищувати режими різання (швидкість і подачу), покращує довговічність інструменту та, зрештою,

підвищує ефективність обробки і зменшує її собівартість. Технологія свердління підтримує цей напрямок розвитку.

1.3 Обладнання та верстати

Як було обумовлено у р. 1.2, обробку свердлінням у сучасному машинобудуванні застосовують частіше всього в комплексі багатоінструментальної обробки на обробних центрах з ЧПУ.

На рисунку 1.7 показано обробний центр з ЧПУ виробництва HAAS [15]. Обробний центр має компоновку з вертикальним шпінделем, плоским столом із Т-подібними пазами, магазином інструменту на 20 інструментів та терміналом системи ЧПУ Fanuc.



Рисунок 1.7 Обробний центр з ЧПУ HAAS.

При виборі верстату, для здійснення безпечної та продуктивної обробки свердлінням, необхідно звертати увагу на такі технологічні аспекти [22]:

- можливість концентрації операцій;
- тип використовуваного допоміжного інструменту, а саме тип тримачів інструментів та/або цанг;
- стабільність верстата загалом та шпинделя зокрема;
- швидкість обертання шпинделя (об/хв), достатня для обробки отворів малих діаметрів;
- вид та тип подачі МОР, її достатній об'єм у накопичувачі для свердл великого діаметра, достатній тиск для свердл малого діаметра;
- тип системи затиску заготовки (гідро, пневмо);
- горизонтальний чи вертикальний шпиндель (горизонтальний шпиндель забезпечує краще видалення стружки);
- потужність та крутний момент приводу головного руху;
- обмеження простору в магазині інструментів.

1.4 Висновки, постановка мети і задачі дослідження

У розділі проведений аналіз сучасного стану методу свердління. Визначено, що свердління – один із дуже поширених методів механічної обробки матеріалів з метою отримання отворів. Форми та конструкції сучасного інструменту для обробки отворів досягли значного розвитку у зв'язку з численними технологічними завданнями різних напрямів машинобудівної промисловості. І все ж таки, найбільш широко застосовуються спіральні свердла, які є досить геометрично складним різальним інструментом. Працюють спіральні свердла у більш важких умовах, порівняно з фрезерними та токарними інструментами.

На процес різання матеріалу шляхом свердління впливають багато чинників. Можна виділити три основні групи [17, 24]:

- 1) фактори, що відносяться до матеріалу, який досліджується (фізико-механічні властивості матеріалів);

2) фактори, що відносяться до різального інструменту (геометричні параметри свердла, кути різання та ін.);

3) фактори, що стосуються режимів експлуатації інструмента, такі як швидкість різання або обробки (швидкість головного руху, швидкість подачі).

У роботі здійснимо дослідження зміни геометрії кута різання в залежності від положення леза свердла та вплив його на силові показники процесу, з метою покращення показників процесу механічної обробки отворів.

Таким чином, **мета дослідження** – покращення силових показників процесу механічної обробки отворів методом свердління шляхом визначення оптимального кута різання.

Об'єкт дослідження – свердло.

Предмет дослідження – трансформація кута різання.

Задачі дослідження:

1) визначити конструкцію свердла, що найчастіше використовується у виробництві.

2) Визначити вплив кута різання свердла на силові характеристики процесу різання.

3) Здійснити аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі корпус НШ100А-3-01А, розробити рекомендації по підвищенню ефективності. Розробити вдосконалений техпроцес: здійснити підбір заготовки, верстатів, верстатних пристроїв, різального інструменту, засобів вимірювання, розрахунок припусків та міжопераційних розмірів, режимів різання та норм часу.

4) Розробити конструкцію затискного верстатного та контрольно-вимірювального пристроїв та металорізального інструменту.

5) Виконати організаційно-планові та економічні розрахунки для спроектованого технологічного процесу.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ СПІРАЛЬНОГО СВЕРДЛА

2.1 Основні геометричні характеристики спірального свердла та їх вплив на процес свердління

Як правило, експериментальне рішення інженерних задач зводиться до знаходження закономірностей впливу вхідних змінних чинників процесу на вихідні показники. Отримані закономірності дозволяють оцінити вплив вхідних змінних, що дає можливість надалі керувати технологічним процесом, роблячи його оптимальним.

Обробка матеріалів шляхом свердління залишається важливою технологічною операцією в машинобудуванні. Існують різні методики проведення експериментів з вивчення властивостей металорізального інструменту. Але більшість з них охоплює не більше одного досліджуваного параметра, що варіюється, який впливає на досліджуваний показник - якість обробленої поверхні [10]. А теоретичні дослідження процесів різання спіральних сверدل, в свою чергу, завжди є наближеними і не враховують усіх факторів, що впливають на досліджуваний параметр [19].

Важливими характеристиками свердлильного інструменту, які впливають на якість обробки, сили та потужність різання, є кут нахилу гвинтової канавки ϵ , кут підйому гвинтової канавки τ , діаметр свердла D і кут при вершині 2ϕ , як показано на рисунку 2.1.

Найпоширенішою конфігурацією різальної частини свердла є конічна заточка та форма з підрізувачами та напрямним центром. При цьому, при другій формі, свердло має чотири різальні елементи: дві головні різальні кромки і два підрізувачі. Дуже рідко застосовують конічну заточку, при якій свердло має дві різальні кромки, нахилені під кутом до вісі обертання. У цій роботі ми розглядатимемо свердла з конічною заточкою, так як у свердл із центром і підрізувачами кут нахилу гвинтової канавки, як правило, 90° [5].

Найбільший вплив на зусилля різання мають геометричні параметри головної різальної кромки – кут різання δ та задній кут α . Напрямний центр,

призначення якого підвищити точність свердління, та підрізувачі, що покращують якість свердління, характеризуються в основному відстанню над головною різальною кромкою. Зміна кутів різання головної різальної кромки впливає тільки на силові показники процесу свердління, оскільки якість свердління залежить тільки від бічних різальних елементів свердла [10, 5].

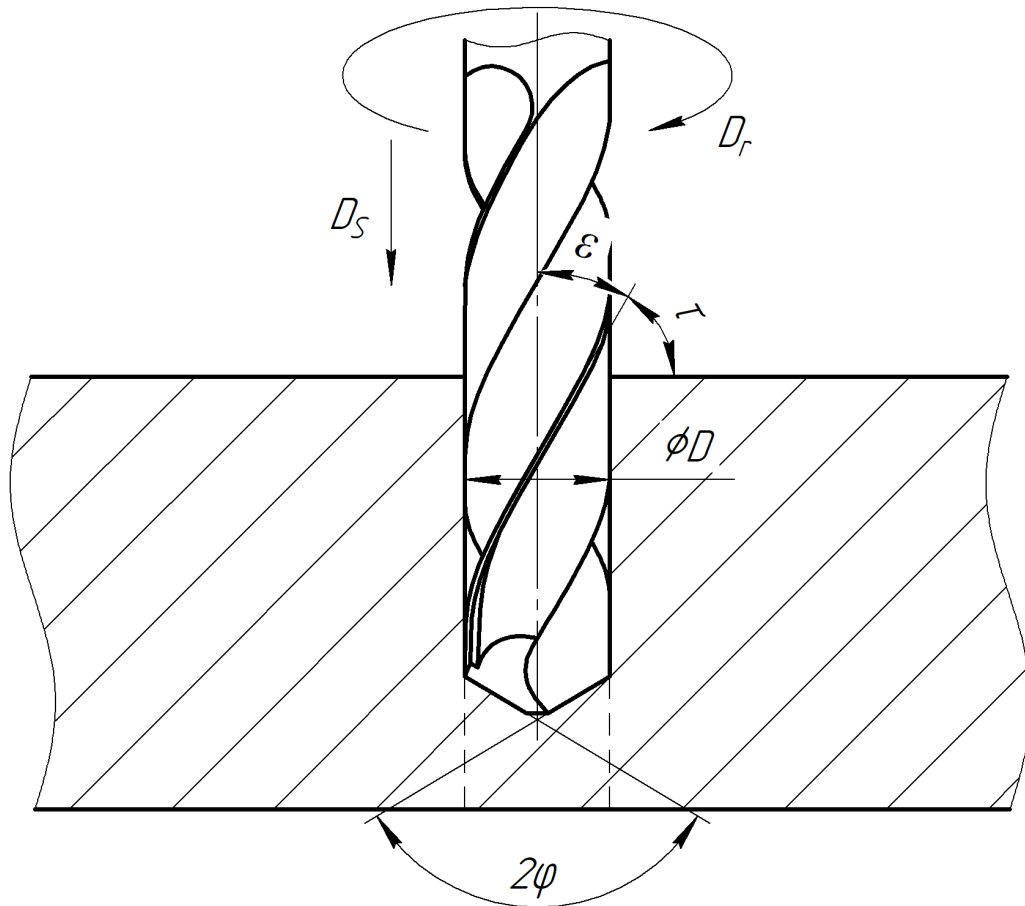


Рис. 2.1 Схема обробки свердлінням.

2.2 Аналітичне визначення кутів різання спірального свердла

Як відомо, кути різання пов'язані між собою і залежать від площини руху і площини, нормальної до різальної кромки. В залежності від кута нахилу різальної кромки ϵ до осі свердла, кути різання будуть мати різні значення. Вони не співпадатимуть з контурними, за винятком випадку, коли $\angle \epsilon = 90^\circ$. Крім того, внаслідок розташування канавки відповідного профілю по гвинтовій лінії, кути різання набувають різних значень по всій довжині різальної кромки [10, 13].

Відомо, що кути нахилу ε та підйому τ гвинтової канавки залежать від кроку останньої, та обумовлюються такими співвідношеннями:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{H}{2\pi R}; \quad (2.1)$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{2\pi R}{H}, \quad (2.2)$$

де H - крок гвинтової канавки, мм;

R – радіус свердління, мм;

ε – кут нахилу гвинтової канавки, град;

τ – кут підйому гвинтової канавки, град.

Отже, при даному кроці гвинтової канавки H , що визначає для периферійної точки різальної кромки значення кутів ε і τ , значення кутів у площині перерізу, що паралельна вісі, для точок різальної кромки, прилеглих до вісі свердла, будуть інші – значення кута нахилу ε буде зменшуватися, а кути підйому τ збільшуватись. Це стосується і значень кутів різання.

Аналітична залежність кутів різання та контурних кутів гвинтової канавки може бути визначена графічним способом, що наведений нижче.

На рисунку 2.2 представлено спіральне свердло з конічною заточкою, з кутом підйому гвинтової канавки τ і кутом при вершині $\varphi = 2 \cdot \varepsilon$.

Для визначення кута δ' будемо на різальній кромці ряд площин, що утворюють паралелепіпед, де K - площина, що дотична до конічної поверхні, яка описується різальною кромкою при обертанні; S – площина, що дотична до циліндричної поверхні свердла; R – площина (вісева), що проходить через вісь свердла та різальну кромку; H – площина, що дотична до передньої поверхні (по гвинтовій канавці) свердла в точці a ; N – площина, перпендикулярна до різальної кромки у точці a .

Утворений даними площинами паралелепіпед містить у собі такі кути: $\angle abc$, $\angle bcd$, $\angle bac$ у прямокутних трикутниках $\triangle abc$, $\triangle abd$, $\triangle bcd$.

$$\angle bdc = -\frac{\varphi}{2} = \varepsilon, \quad (2.3)$$

де φ - кут при вершині, град;

ε – половина кута при вершині, град. (Він дорівнює ω).

$$\angle bad = \angle \tau, \quad (2.4)$$

де τ - кут підйому гвинтової канавки, град.

$$\angle bac = \delta', \quad (2.5)$$

де δ' - кут різання, град.

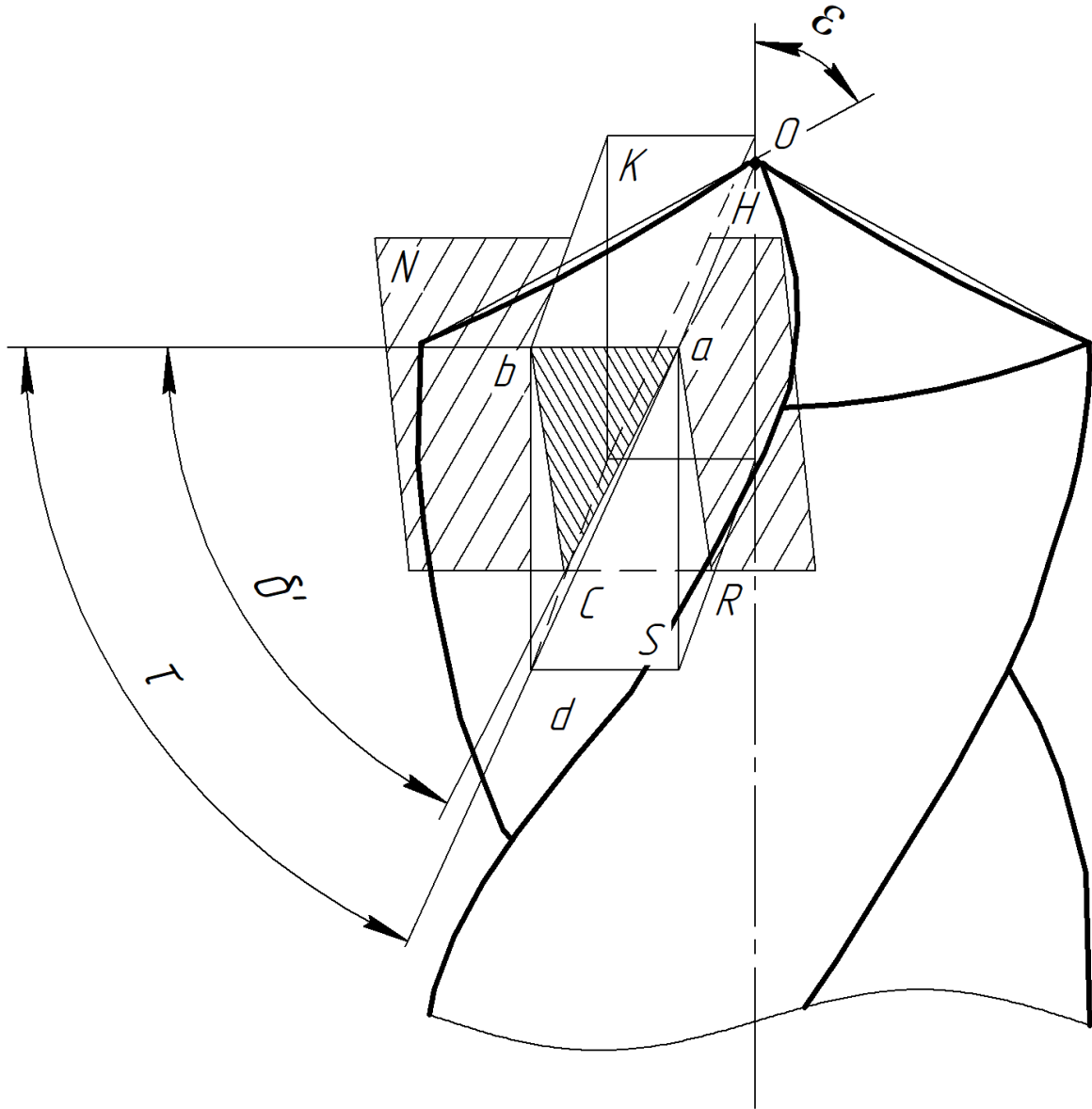


Рис. 2.2 Графічне зображення контурних і просторових кутів різання

З прямокутних трикутників $\triangle abc$, $\triangle abd$, $\triangle bcd$ знаходимо залежність між кутами δ' та τ .

З трикутника $\triangle abc$ випливає, що:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{bc}{ab}, \quad (2.6)$$

З трикутника $\triangle abd$ випливає, що:

$$ab = \frac{db}{tg \tau}. \quad (2.7)$$

З трикутника $\triangle bcd$ випливає, що:

$$bc = db \cdot \sin \varepsilon. \quad (2.8)$$

З формул (2.3-2.8) виходять наступні залежності:

$$\begin{aligned} tg \delta' &= \frac{db \cdot \sin \varepsilon}{db} \cdot tg \tau, \\ tg \delta' &= \sin \varepsilon \cdot tg \tau. \end{aligned} \quad (2.9)$$

На основі формул (2.1) і (2.2) можна зробити наступний висновок:

$$tg \tau = (tg \varepsilon)^{-1} = ctg \varepsilon. \quad (2.10)$$

Формула (2.9) набуде вигляду:

$$tg \delta' = \sin \varepsilon \cdot ctg \varepsilon. \quad (2.11)$$

Кут різання складе:

$$\delta' = arctg(\sin \varepsilon \cdot ctg \tau). \quad (2.12)$$

Для свердл малого діаметра (у даній роботі, для прикладу, розглянемо свердло $D = 10$ мм) кут нахилу гвинтової канавки становить $\varepsilon = 20 \dots 28^\circ$. Для побудови графіка візьмемо три значення кута нахилу гвинтової канавки $\varepsilon = 20^\circ$, $\varepsilon = 24^\circ$ і $\varepsilon = 28^\circ$. Половина кута при вершині прийнята з конструкції свердла $\omega = 30^\circ$ і величина стала.

$$\delta'_1 = arctg(\sin 30 \cdot ctg 20) = 53,9^\circ.$$

$$\delta'_2 = arctg(\sin 30 \cdot ctg 24) = 48,3^\circ.$$

$$\delta'_3 = arctg(\sin 30 \cdot ctg 28) = 43,2^\circ.$$

На основі отриманих даних побудуємо графік. На рисунку 2.3 представлений графік залежності кута різання δ , град, від кута нахилу гвинтової канавки ε , град.

З графіка можна зробити наступний висновок: зі збільшенням кута нахилу гвинтової канавки ε , град, кут різання δ , град, зменшується. Також із зменшенням кута різання зменшуються крутний момент M_k , Н·м, і вісьове зусилля F_o , Н [3].

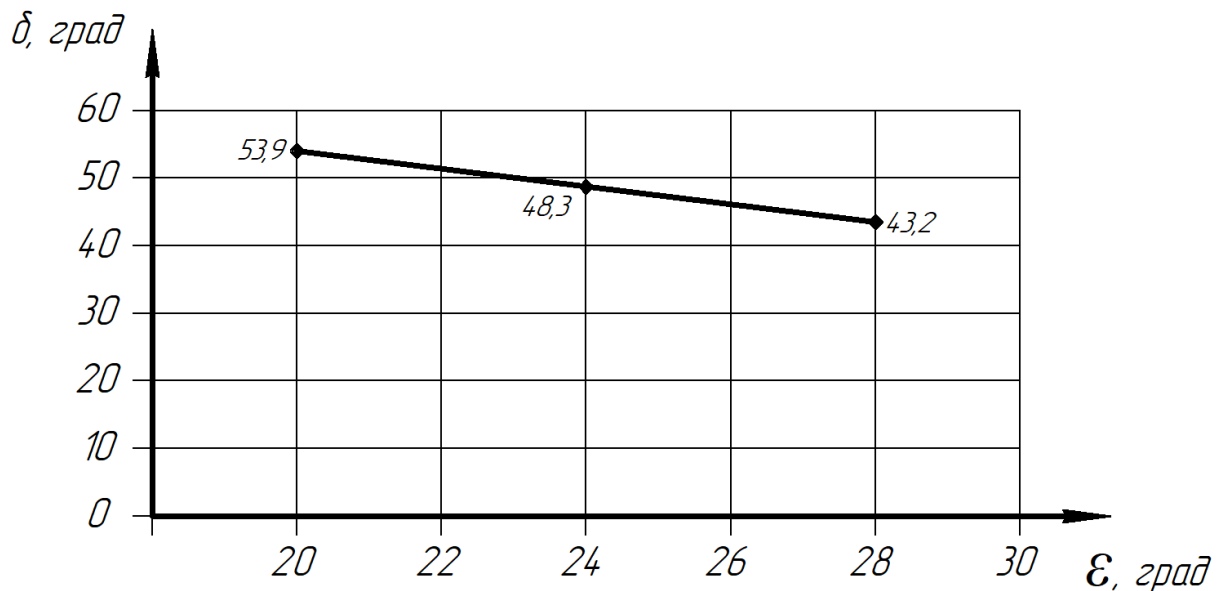


Рис. 2.3 Графік залежності кута різання δ від кута нахилу гвинтової канавки ϵ .

2.3 Висновки

З метою покращення силових показників процесу механічної обробки отворів методом свердління у розділі встановлена залежність кута різання від кута нахилу різальної кромки леза спірального свердла. Визначено, що зі збільшенням кута нахилу леза кут різання зменшується, а зі зменшенням кута різання зменшуються крутний момент M_k , Н·м, і вісьове зусилля F_o , Н, внаслідок чого покращується якість поверхні, що отримується при свердлінні.

Таким чином, визначено трансформацію кута різання в залежності від зміни кута нахилу гвинтової канавки. З незначною зміною положення леза свердлувального інструменту, статичний кут різання зменшується на 5 град. Особливістю трансформації кута різання свердлильного інструменту в залежності від положення його леза є велика зміна кута δ , а саме з 20° до 24° зміна відбувається майже на 11% (5,6 град), а з 24° до 28° більш ніж на 10% (5,1 град).

Приведені результати дослідження мають практичну цінність при встановленні технологічних режимів різання, при виборі конструкції свердла та при виборі таких геометричних параметрів, як задній кут α і кут різання δ .

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС

3.1 Службове призначення корпусу НШ100А-3-01А

Деталь корпус НШ100А-3-01А є основною деталлю шестеренного насосу НШ100А-3, який призначений для нагнітання робочої рідини в гідравлічну систему тракторів, сільськогосподарських та інших машин [4]. Корпус НШ100А-3-01А служить для зборки в ньому качаючого вузла насоса і монтажу його на агрегатній машині.

Насос є невід'ємною складовою будь-якої гідравлічної системи, де він перетворює механічну енергію двигуна в енергію потоку рідини [1]. Тому, по відношенню до інших гідроагрегатів його називають джерелом енергії. Шестеренний насос є роторною машиною об'ємного типу, а його шестерні слугують виштовхувачем, який забезпечує передачу (нагнітання) рідини.

Працюють шестеренні насоси при високій частоті обертання, що дає змогу приєднувати їх безпосередньо до валів теплових та електричних двигунів.

Корпус НШ100А-3-01А являє собою відливку із внутрішньою порожниною. На бокових поверхнях корпусу є дві симетрично розташовані площини із отворами вхідним і вихідним отворами гідросистеми. На площинах розташовані приєднувальні отвори.

Внутрішня циліндрична поверхня призначена для встановлення качаючого вузла насосу – комплекту шестерень у піджимній та підшипниковій обоймах.

Для герметизації площини роз'єму корпусу з кришкою в зоні їх прилягання виконана канавка для установки в ній гумового ущільнення.

Для з'єднання корпусу з агрегатною машиною передбачено фланець, на привалочній площині якого наявні чотири отвори і циліндричний борт.

Для герметизації корпусу в зоні вихідного валу ведучої шестерні передбачено виточку під манжету.

На рис. 3.1 показано зовнішню будову насосу НШ100А-3.

Коротка технічна характеристика насоса НШ100А-3 наведена в табл. 3.1.

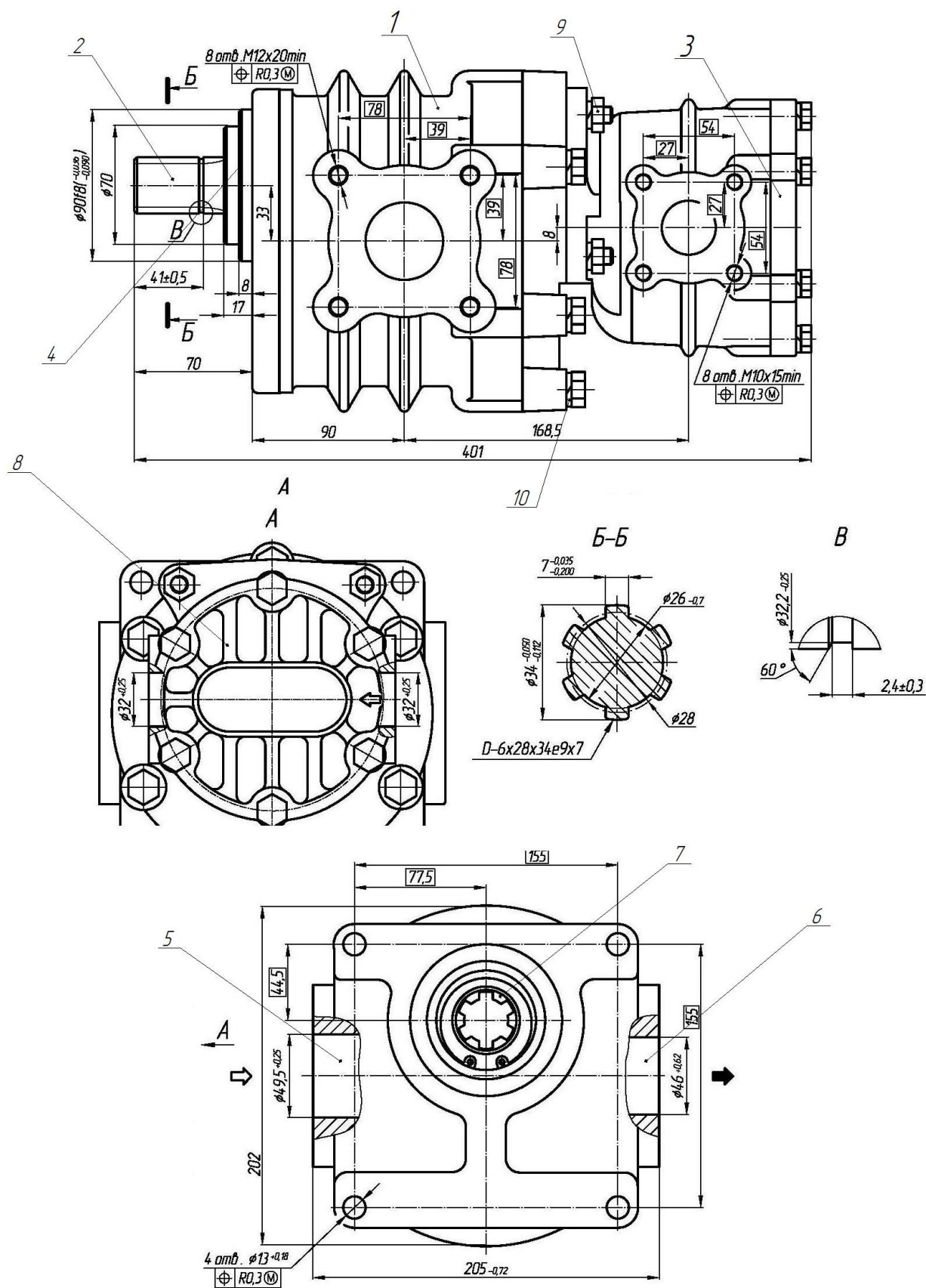


Рис. 3.1 Будова насосу НШ100А-3

1 – корпус; 2 – шестерня ведуча; 3 – кришка; 4 – манжета; 5 – всмоктувальний отвір; 6 – вихідний отвір; 7 – отвір під сальник; 8 – пластик; 9 – болт; 10 – шайба пружинна.

Таблиця 3.1

Найменування показника	Значення	
	Перша секція	Друга секція
1. Номінальний робочий об'єм, см ³	100	50
2. Тиск на виході, МПа		
• -номінальна		16
• -максимальне		21
3. Тиск на вході, Мпа		
• -номінальна		0,08
• -максимальне		0,15
4. Частота обертання, с ⁻¹		
• -номінальна		32
• -мінімальна		8,3
• -максимальна		40
5. Номінальна об'ємна подача, л/хв, не менше	173,4	107,2
6. Коефіцієнт подачі, не менше	0,95	0,94
7. Загальний коефіцієнт корисної дії, не менше		0,83
8. Номінальна потужність, кВт, не більше	66,4	41,5
9. Маса, кг, не більше		23
10. Габаритні розміри, мм		401x205x202
11. Температура навколишнього середовища, °С		
• -мінімальна		-60
• -максимальна		+50
12. Характеристика робочої рідини:		
• -кінематична в'язкість, мм ² /с		
а) номінальна		від 55 до 70
б) мінімальна		15
в) короткочасно, при запуску, не більше		1000
• -температура, °С		
а) мінімальна		0
б) максимальна		+80

Дійсні значення номінального робочого об'єму можуть мати відхилення $\pm 3\%$ від номінального значення.

Максимальний тиск на виході – короткочасно допустиме тривалістю не більше 1% від загального часу роботи насоса. Робота насоса в режимі максимального навантаження тривалістю не більше 3 с за цикл, інтервал між циклами не менше 4 хв.

Значення номінальної подачі, номінальної потужності, коефіцієнта подачі і загального коефіцієнта корисної дії визначають при роботі насоса в номінальному режимі на робочій рідині з кінематичною в'язкістю від 55 мм²/с до 70 мм²/с.

3.2 Розробка технології виготовлення деталі корпус

3.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначаємо згідно із значенням коефіцієнта закріплення операції $K_{з.о}$, який визначається за формулою:

$$K_{з.о} = \frac{Q}{P},$$

де: Q – кількість різних операцій, що виконуються на дільниці протягом місяця;
 P – кількість робочих місць (верстатів) на дільниці, які забезпечують виконання операцій.

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о}$ показує відношення усіх різних технологічних операцій, які виконуються в підрозділах за місяць до кількості робочих місць.

Використовуючи вказані в таблиці дані базових технологічних процесів обробки деталей, за допомогою ПК та відповідного програмного забезпечення [9, 12] визначаємо тип виробництва, що дає можливість скоротити об'єм і час розрахунків. Результати визначення типу виробництва приведено нижче.

Розрахунок типу виробництва

Корпус НШ100А-3-01А

Вихідні дані

Програма випуску 6000 шт.

Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
5	4060	3.8400
10	4060	1.6124
15	4060	4.4431
20	3890	0.6330
25	4060	1.3340
30	3890	0.3961
35	3890	1.3813
40	3890	1.1100
45	3890	1.0021
50	3890	1.5859
55	3890	1.6164
60	3890	0.5680
65	3890	1.2255

Результати розрахунку

Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.1182	1	6.77
10	0.0496	1	16.12
15	0.1368	1	5.85
20	0.0203	1	39.33
25	0.0411	1	19.48
30	0.0127	1	62.85
35	0.0444	1	18.02
40	0.0357	1	22.43
45	0.0322	1	24.84
50	0.0510	1	15.70
55	0.0519	1	15.40
60	0.0183	1	43.83
65	0.0394	1	20.31

Коефіцієнт закріплення операцій 23.91799
 Тип виробництва – дрібносерійне.

Як показують розрахунки, тип виробництва виготовлення деталі – дрібносерійне. Дрібносерійне виробництво – перехідний тип виробництва, який займає проміжну ланку між одиничним виробництвом та серійним випуском продукції. При такому типі виробництва, вироби та деталі випускається партіями, повторюваність яких дуже рідка, або відсутня. Збут виробів обмежений договорами чи замовленнями, а розмір серії не стійкий. Це є причиною швидкого припинення виготовлення поточного виду продукції та підготовки виробництва до освоєння нового. При даному виробництві можлива часткова спеціалізація обладнання та використання верстатів, які мають можливість швидкого переналагодження. Різальний інструмент – універсальний і спеціальний. Затискні пристрої – спеціальні та універсальні. Вимірювальні пристрої – в основному універсальні в поєднанні з калібрами та спеціальними вимірювальними пристроями. Використовуються робітники різної кваліфікації.

3.2.2 Аналіз точності та технологічності

Деталь відноситься до класу корпусних деталей. Для забезпечення точності виготовлення заданої деталі і правильного її збирання виконуємо технологічне креслення деталі з нумерацією її основних поверхонь (елементів) деталі [9, 12], рис. 3.2.

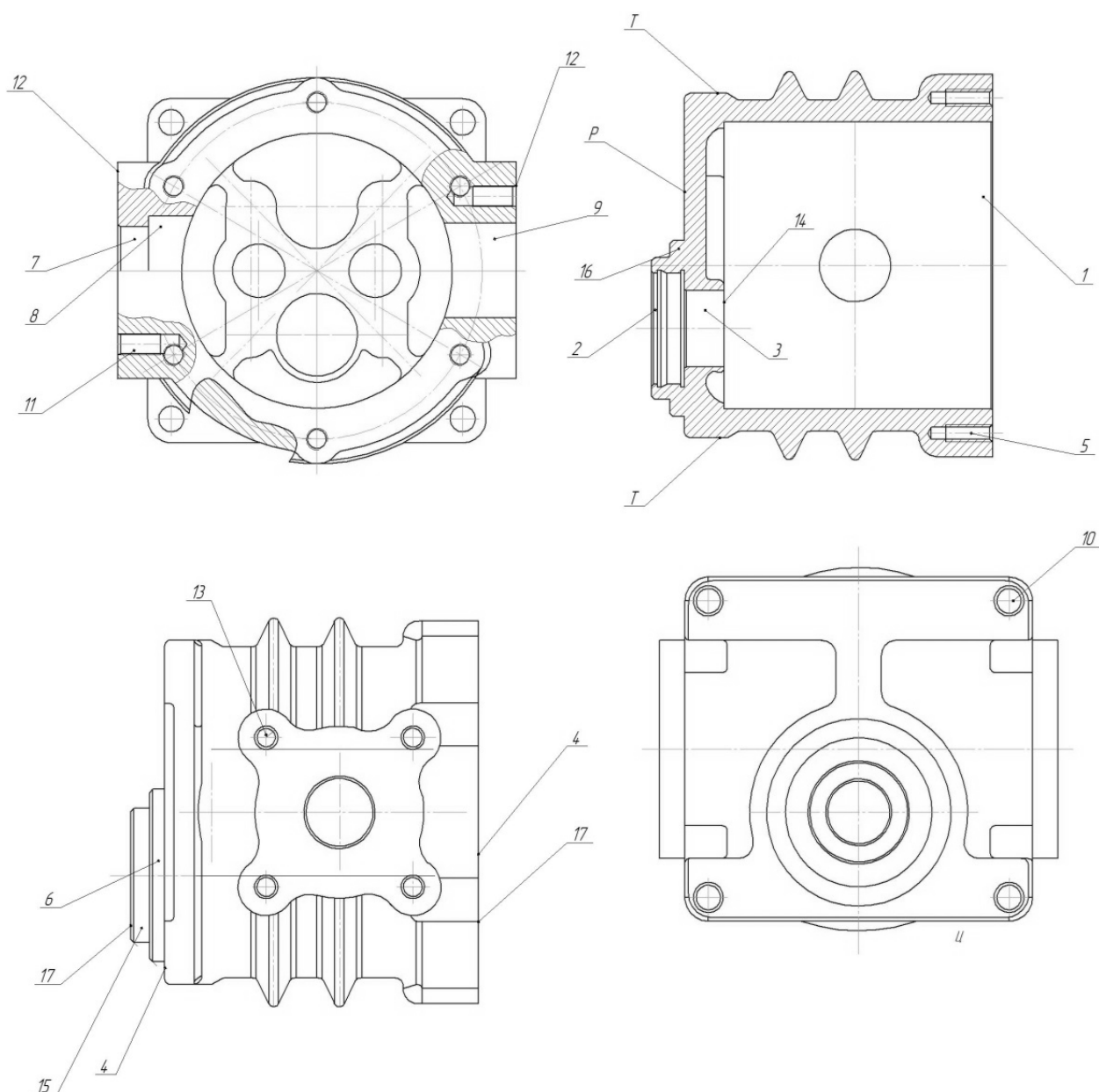


Рис. 3.2 Технологічне креслення деталі.

Результати аналізу деталі по точності наведено в таблиці 3.2.

Точність та якість поверхонь деталі знаходиться у взаємному зв'язку і відповідає призначенню деталі та умовам її роботи в вузлі. Кількість розмірів на кресленні деталі достатня, правильна, а також зберігається однозначність заданих вимог точності та відповідність діючим стандартам.

На бокових поверхнях корпусу є дві симетрично розташовані площини з чотирма різьбовими отворами М12. В центрі одної з них розташовано всмоктувальний отвір $\varnothing 57^{+0,046}$ мм. В центрі другої - вихідний отвір $\varnothing 46^{+0,067}$ мм.

В середині корпусу у вихідному отворі виконана виточка $\varnothing 57^{+0,062}$ мм для установки манжети радіального піджиму.

Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 150^{+0,04}$ мм, глибиною $135^{+0,1}$ мм.

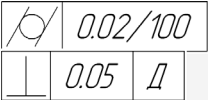
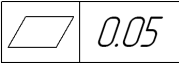
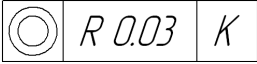
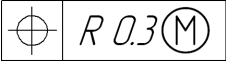
Для герметизації площини роз'єму корпусу з кришкою в зоні їх зтискання виконана канавка $\varnothing 190^{+0,23}$ мм, глибиною $2,3^{+0,05}_{-0,10}$ мм для установки в ній гумового ущільнення.

Для з'єднання корпусу з агрегатною машиною на привалочній площині є чотири отвори $\varnothing 13 \pm 0,2$ мм і бурт $\varnothing 90^{-0,036}$ мм висотою 8 мм.

Для з'єднання корпусу з кришкою в площині роз'єма є шість отворів М12. Для герметизації корпусу в зоні виходу вала ведучої шестерні з зовнішньої сторони є отвір $\varnothing 58^{+0,06}$ мм під манжету.

Таблиця 3.2

Аналіз точності деталі

Назва поверхні	Розмір, поле допуску, квалітет, відхилення, мм	Допуск, мм	Допуск форми або розташування поверхні, мм	Шорсткість Ra, мкм
1. Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 150H7^{+0,04}$	0,04		1,25
2. Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 58H9^{(+0.071)}$	0,071		2,5
3. Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 40^{+0.03}$	0,03	В межах допуску на розмір	1,6
4. Площина роз'єму	$160h13_{(-0.63)}$	0,63		2,5
5. Шість різьбових отворів	M12-5H6H	5H6H		2,5
6. Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 90f8^{(-0.04}_{-0.09})}$	0,05		2,5
7. Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 46H9^{(+0.062)}$	0,062		2,5
8. Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 57^{+0.06}$	0,06	В межах допуску на розмір	2,5

Продовження табл. 3.2

Назва поверхні	Розмір, поле допуску, квалітет, відхилення, мм	Допуск, мм	Допуск форми або розташування поверхні, мм	Шорсткість Ra, мкм
9. Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 49,5^{+0.4}$	0,4	 $R 0.3 \text{ (M)}$	12,5
10. Різьбові отвори в платику	M12-5H6H	5H6H	 $R 0.3 \text{ (M)}$	2,5
11. Різьбові отвори в платику	M12-5H6H	5H6H	 $\varnothing 0.3 \text{ (M)}$  /// (M)	2,5
12. Торці пластиків	205h13 _(-0,72)	0,72	В межах допуску на розмір	2,5
13. Чотири отвори у фланці	$\varnothing 13\text{H}14^{(+0.430)}$	0,43	 $R 0.03 \text{ (M)}$	12,5
14. Дно колодязя	$135^{+0.1}$	0,1	В межах допуску на розмір	12,5
15. Торець бурта	$8_{-0.36}$	0,36	В межах допуску на розмір	12,5
16. Торець деталі	$7,5_{-0.33}$	0,33	 0.100 (M)	12,5
17. Торець вихідного отвору	$177_{-1.0}$	1,0	В межах допуску на розмір	12,5
18. Фланець	$16_{-1.0}^{+3.0}$	4,0	В межах допуску на розмір	12,5

Поняття «технологічність конструкції» - це сукупність властивостей виробу, що визначають його пристосованість до мінімізації витрат під час виготовлення, експлуатації та ремонту за умови забезпечення заданих показників якості, обсягів випуску й умов виконання робіт. Серед вимог до техніко-економічних характеристик промислових виробів важливе значення мають питання технологічності конструкції. Аналіз технологічності деталі здійснюється з урахуванням особливостей її виготовлення, розглядаючи конструкційні рішення та вимоги до якості як технологічні завдання виробника. До основних показників якості належать: безвідмовність роботи, довговічність, точність спряжень, рівень шуму, безпека, коефіцієнт корисної дії, зручність і простота обслуговування, ступінь механізації тощо.

Проводимо оцінку технологічності за кількісним методом. Проводимо розрахунок по деяким із цих показників.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{y.B} = \frac{Q_{y.B}}{Q_B},$$

де $Q_{y.B}$ - число уніфікованих елементів деталі, $Q_{y.B} = 14$;

Q_B - загальне число конструктивних елементів, $Q_B = 17$.

$$K_{y.B} = \frac{14}{17} = 0,8.$$

При $K_{y.B} > 0,6$ – деталь вважається технологічною.

Деталь технологічна по точності якщо коефіцієнт точності обробки $K_{\text{точ}} \geq 0,8$. Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_{\text{точ}} = 1 - 1/A_{\text{ср}},$$

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

$$A_{\text{ср}} = \Sigma A * n_i / \Sigma n_i,$$

де A – квалітет точності обробки;

n – число розмірів, що відповідають цьому квалітету, шт.

$$A_{\text{ср}} = \frac{14 \times 2 + 13 \times 3 + 9 \times 3 + 8 \times 2 + 5 \times 3 + 7 \times 1}{2 + 3 + 3 + 2 + 3 + 1} = 9,428.$$

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{9,428} = 0,902.$$

Деталь технологічна за точністю, так як $K_{\text{точ}} \geq 0,8$.

Враховуючи параметри $K_{y.B}$ і $K_{\text{точ}}$ деталь загалом можна вважати технологічною.

3.2.3 Аналіз базового технологічного процесу

Базовий (з підприємства) маршрут обробки деталі корпус НШ100А-3-01А, який взято за основу, розроблено з урахуванням обраних маршрутів обробки

окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей металорізального обладнання, технічних вимог та розмірних зв'язків на кресленні деталі. Його зміст приведено як послідовність назв технологічних операцій, короткого змісту технологічних переходів та використовуваних верстатів [9, 12].

Базовий маршрут обробки поверхонь корпусу наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Базовий технологічний процес обробки деталі НШ100А-3-01А

Номер та назва операції	Тип та модель обладнання	Зміст операції
005 Транспортування	Навантажувач	Транспортувати заготовку на механічну дільницю.
010 Спеціальна токарна	1К283 Токарний н/а	Позиція I 01.Встановити та закріпити деталь. Позиція II 02. Розточити отвір витримавши розмір 2 ,4 , підрізати залишок живильника 1. Позиція III 03. Розточити отвори витримавши розмір 1,2,3,4. Позиція IV 04. Розточити отвір витримавши розмір1,2. Позиція V 05. Розточити отвори витримавши розмір 1,3 підрізати залишок живильника. Позиція VII 06. Розточити отвір витримавши розміри 1,2,3, підрізати залишок живильника. 07.Зняти деталь, укласти у візок. 08.Перевірити розміри 1,2,3-5%.
015 Спеціальна токарна	1К283 Токарний н/а	Позиція I, II 01.Встановити і закріпити деталь. Позиція III, IV 02. Розточити отвір витримавши розмір 1,2,3. Позиція V, VI 03. Розточити отвір витримавши розмір 1,2,3,4. 04. Підрізати днище і площину роз'єму, витримавши розмір 5. Позиція VII,VIII 05. Розточити отвір витримавши розмір 1. 06.Підрізати послідовно днище і площину роз'єму , витримавши розмір 2,3. 07. Зняти деталь, укласти у візок. 08.Перевірити розміри 1,2,3-5%.

Продовження табл. 3.3

Номер та назва операції	Тип та модель обладнання	Зміст операції
020 Агрегатна	АМ 16328 Агрегатно - свердильний	Позиція I 01.Встановити та закріпити деталь. Позиція II 02. Центрувати 6 отворів, витримавши розмір 1. Позиція III 03.Свердлити 4 отвори витримавши розміри 1,2 , свердлити 2 отвори витримавши розміри 3,4 одночасно. Позиція IV 04.Зенкерувати 2отв. Ø 10,1 витримавши розмір 1,2. Позиція V 05.Розвернути 2 отв. Ø10,35, витримавши розміри 2,3. 06.Відкріпити та зняти деталь. 07.Перевірити розміри 1,2(перехід 3)-1%;1,2,3 (перехід 5) – 5%.
025 Спеціальна токарна	1K283 Вертикальний 8-ми шпиндельний н/а	Позиція I 01.Встановити та закріпити деталь. Позиція II 02.Підрізати торець витримавши розміри 2,3, і торець бурта витримавши розмір 1. Позиція III 03.Точити 2 поверхні витримавши розміри 1,4,5, розточити 2 отвори витримавши розміри 1,3,6. Позиція IV 04. Обточити поверхню витримавши розміри 4,2, одночасно розточити 2 отвори витримавши розміри 1,3,5 Позиція V 05. Підрізати поверхню витримавши розмір 1,2,3,4,5. Позиція VI 06.Точити поверхню витримавши розмір 4,врізати канавку витримавши розмір 5,6,7,8 розточити 2 отвори витримавши розміри 1,2,3. Позиція VII 07. Точити фаску витримавши розміри 1,2 , підрізати фасонну канавку, витримавши розміри 3,4,5,6,7. Позиція VIII 08. Точити поверхню витримавши розмір 1,зняти фаски витримавши розміри 3,4;розточити отвір витримавши розмір 2.
030 Вертикально – свердильна	ГМ 3226 Вертикально - свердильний	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Свердлити отвір на фланці. 03.Зняти деталь, укласти у візок
035 Токарно - гвинторізна	МК 653 Токарно-гвинторізний	01. Встановити та закріпити деталь. 02. Розточити отвір витримавши розмір 3. 03. Підрізати торець витримавши розміри 1,2,4,5. 04. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження табл. 3.3

Номер та назва операції	Тип та модель обладнання	Зміст операції
040 Агрегатно - свердлильна	АМ 11433 Агрегатно – свердлильний	Позиція І 01.Встановити та закріпити деталь. Позиція ІІ 02.Фрезерувати платики витримавши розміри 1,2. Позиція ІІІ 03.Центрувати 4 отвір витримавши розмір 2. 04.Свердлити 4 отвір витримавши розмір 1,2,3. Позиція ІV 05.Зенкерувати отвір, витримавши розмір 1 і позиційний допуск 2. Позиція V 06.Зняти деталь, укласти у візок.
045 Алмазно – розточна	2706 ВОС8696 Алмазно - розточний	01.Встановити та закріпити деталь 02. Розточити отвір в двох деталях одночасно витримавши розміри 1,3,4 і позиційний допуск 2. 03.Зняти деталь, укласти у візок.
050 Токарна – гвинторізна	16K20 Токарно-гвинторізний	01.Встановити та закріпити деталь. 02. Розточити отвір радіального піджиму виходжуванням на зворотній подачі, витримавши розмір 1,2. 03.Зняти деталь, укласти у візок.
055 Алмазно-розточна	ОС 2574, ОС 3904 Алмазно-розточний	Праві головки 01.Встановити та закріпити деталь. 02.Розточити 2 отвори витримавши розміри 1,2,11,12 допуск перпендикулярності та прямолінійності 7. Ліві головки 03.Розточити отвір витримавши розміри 3,5,8,9, обточити бурт витримавши розміри 4,10. 04. Зняти деталь, укласти у візок.
060 Вертикально – свердлильна	СС10108 Вертикально-свердлильний	Позиція І 01.Завантажувальна Позиція ІІ 02. Свердлити 4 отвори витримавши розміри 1,2,3. Позиція ІІІ 03.Зняти фаски в 4-х отворах витримавши розмір 3. 04. Зняти деталь, укласти у візок.
065 Слюсарна	ГМ 765 Стіл слюсарний	01.Гострі кромки притупити по поверхням А,В,Г,Д,Ж,И,М 02.Зачистити заусенці, гострі кромки притупити по поверхням К,Е,Л,З,В,Г. 03. Зачистити заусенці по поверхням Н з обох сторін, Б,О (з обох сторін) 04. Перевірити якість слюсарної обробки, заусенців, гострі кромки притупити.
070 Різьбонарізна	020-078 Різьбонарізний н/а	01.Встановити та закріпити. 02. Нарізати різьбу одночасно в чотирьох отворах в бокових платиках послідовно з двох боків, витримавши розміри та в 6 отв по площині роз'єму, витримавши розміри 1,2,4,5 та допуск 3. 03. Нарізати різьбу в отворах по площині роз'ємну 18,19,20,21. 04.Зняти деталь, укласти на стіл для стоку масла. 05.Взяти деталь та встановити в обдувну камеру. 06. Продути деталь.

Базовий (заводський) технологічний процес відповідає вимогам дрібносерійного виробництва, забезпечує виготовлення деталей із заданими вимогами. Однак, він має ряд недоліків, зокрема технологічне обладнання, яке використовується, переважно застаріле. Також, широко застосовуються агрегатні верстати, які не задовольняють вимоги сучасного, гнучкого виробництва.

При створенні проектного варіанту технологічного процесу, пропонується замінити вертикальний восьми шпиндельний напівавтомат 1K283 на одній із операцій на фрезерний обробний центр з ЧПУ Haas UMC-750 (який має значно ширші технологічні можливості), та переглянути можливість максимальної концентрації механічної обробки на ньому. Це зменшить кількість операцій технологічного процесу, а отже й кількість верстатів, інструменту, оснащення, працівників та міжопераційного переміщення заготовок.

3.2.4 Вибір заготовки

Здійснюємо вибір заготовки відповідно до конструкції деталі, її призначення, та умов експлуатації [9, 12].

Деталь корпус НШ100А-3-01А виготовляється з алюмінієвого сплаву марки АК5М2Ц4. Алюмінієвий сплав АК5М2Ц4 використовують для деталей складної форми та середньої міцності, при виготовленні заготовок для яких необхідна висока пластичність в гарячому стані. Матеріал має чудову стійкість до корозії та добру оброблюваність різанням.

Хімічний склад алюмінієвого сплаву наведений в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4

Марка матеріалу	Склад елементів, %						
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Сума домішок	Al
АК5М2Ц4	0,2 – 0,8	4,0 – 6,0	0,2 – 0,8	1,5 – 3,5	–	1,8	решта

Фізичні властивості алюмінієвого сплаву наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Фізичні властивості алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4

Марка	Спосіб лиття	Вид термообробки	σ_{ϵ} , кг/см ²	δ , %	НВ
			не менше		
АК5М2Ц4	в кокіль	—	16	≥1	90...125

Властивості вибраного матеріалу відповідають технічним вимогам до заготовки. За хімічним складом та механічними властивостями деталь відповідає експлуатаційному призначенню та умовам роботи в агресивному середовищі.

Метод отримання заготовки – лиття в металеві форми (кокіль).

Приведемо економічне обґрунтування вибору методу отримання заготовки. Вартість заготовок, які отримані литвом в кокіль можна визначити за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000},$$

де: С – базова вартість 1 т заготовок, грн.; С = 224860 грн;

$k_T = 1,0$, $k_c = 0,94$, $k_b = 0,81$, $k_m = 1,0$, $k_n = 1,09$ – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, ваги, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

Q – вага заготовки, кг; Q = 6,82 кг;

q – вага деталі, кг; q = 5,252 кг;

$S_{\text{від}}$ – вартість 1 т відходів, грн; $S_{\text{від}} = 48200$ грн.

Розраховуємо вартість заготовки:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{224860}{1000} \times 6,820 \times 1 \times 0,94 \times 0,81 \times 1 \times 1,09 \right) - (6,820 - 5,252) \times \frac{48200}{1000} = 1197,15 \text{ грн.}$$

Вибраний спосіб виготовлення заготовки дозволяє отримати відливку високої якості з мінімальним об'ємом механічної обробки деталі.

3.2.5 Вибір маршрутів обробки окремих поверхонь

Сучасна теорія технології машинобудування розглядає розробку раціонального технологічного процесу виготовлення деталі як цілеспрямований пошук, що враховує широкий спектр конструктивних, функціональних і економічних факторів та обмежень, а також особливості організації й управління виробництвом. Важливу роль при цьому відіграють підмножини маршрутів обробки окремих поверхонь деталі. Їх можна визначити, виходячи з вимог до точності й шорсткості поверхонь та параметрів заготовки, спираючись на закон копіювання похибок і використовуючи типові маршрути обробки разом із довідковими даними про економічну точність різних методів.

Визначаємо загальне уточнення за формулою [9, 12]:

$$\varepsilon_z = \delta_z / \delta_d$$

Розрахунок проводимо для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 150^{+0,04}$.

Допуск на деталь становить $\delta_d = 0,04$ мм, шорсткість Ra 1,25 мкм, а допуск на заготовку $\delta_z = 2,4$ мм.

Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_z = \frac{\delta_z}{\delta_d},$$

де: δ_z – допуск на розмір заготовки;

δ_d – допуск на розмір деталі.

$$\varepsilon_z = \frac{2,4}{0,04} = 60.$$

Вибираємо два маршрути обробки поверхні:

- 1) чорнового, чистового і тонкого розточування.
- 2) розвертчування чорнового, чистового та тонкого.

По кожному проміжному методу обробки вибираємо допуски на обробку і розраховуємо частинні коефіцієнти уточнень за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i},$$

де: δ_{i-1}, δ_i – допуск на розмір відповідно до попереднього і поточного методу обробки.

За першим маршрутом:

$$\varepsilon_1 = \frac{6,820}{0,63} = 10,83; \quad \varepsilon_2 = \frac{0,63}{0,160} = 3,94; \quad \varepsilon_3 = \frac{0,160}{0,04} = 4,0.$$

За другим маршрутом:

$$\varepsilon_1 = \frac{6,820}{0,250} = 27,28; \quad \varepsilon_2 = \frac{0,250}{0,100} = 2,5; \quad \varepsilon_3 = \frac{0,100}{0,025} = 4,0.$$

Розраховуємо фактичні уточнення за формулою:

$$\varepsilon_3 \leq \varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdots \varepsilon_n.$$

Для першого варіанту $\varepsilon_{\phi 1} = 170,68$; для другого $\varepsilon_{\phi 2} = 272,68$. Для обох варіантів умова $\varepsilon_3 \leq \varepsilon_\phi$ виконується. Із двох варіантів перевагу віддаємо тому, який при виконанні нерівності ближче відповідає рівності, тому приймаємо другий варіант.

Результати розрахунків по іншим поверхням деталі зведені до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Технологічні маршрути обробки поверхонь корпус НШ100А-3-01А

Позначення поверхні	Допуск на поверхню за кресленням δ_d , мм	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Допуск на заготовку поверхні δ_z , мм	Загальне уточнення ε_z	Можливі технологічні маршрути обробки	Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення
1	0,04	1,25	2,4	60	1.Розточування чорнове 2.Розточування чистове 3.Розточування тонке	0,630 0,160 0,04	10,83 3,94 4
					1.Розверчування чорнове 2.Розверчування чистове 3.Розверчування тонке	0,250 0,100 0,025	27,28 2,5 4
2	0,071	2,5	2,2	31	1.Розточування чорнове 2.Розточування чистове	0,46 0,074	4,8 6,5
3	0,03	1,6	2,0	67	1.Свердління 2.Протягування чистове після свердління	0,39 0,025	5,128 15,6
4	0,63	2,5	2,8	4,44	1.Точіння чорнове	0,63	4,4
5, 10, 11	0,008	2,5	1,4	175	1.Розточування чорнове 2.Розточування чистове 3. Розточування тонке	0,27 0,07 0,008	5,185 3,857 8,75
6	0,05	2,5	2,2	44	1. Точіння чорнове 2. Однократне чистове 3. Точіння тонке	0,35 0,14 0,035	6,28 2,5 4
7	0,062	2,5	2,0	32,25	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове	0,39 0,062	5,13 6,29
8	0,06	2,5	2,0	33,3	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Шліфування	0,46 0,12 0,046	4,38 3,83 2,61
9	0,4	12,5	2,0	5,0	1. Розточування чистове	0,12	16,6
12	0,720	2,5	2,8	3,88	1.Точіння чорнове	0,720	3,88
13	0,430	12,5	1,4	3,25	1.Свердління	0,27	5,18
14	0,1	12,5	2,4	24	1.Розверчування нормальне 2.Розверчування точне	0,250 0,100	9,6 2,5
15	0,306	12,5	1,2	3,33	1.Точіння чорнове	0,22	5,45
16	0,33	12,5	1,2	3,63	1.Точіння чорнове	0,22	5,45
17	1,0	12,5	2,8	2,8	1.Точіння напівчистове	0,720	3,8
18	4,0	12,5	1,4	0,35	1.Точіння чорнове	0,270	5,18

3.2.6 Розробка маршруту виготовлення деталі, структури та змісту технологічних операцій

Маршрут обробки деталі корпус НШ100А-3-01А розробляємо з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей металорізального обладнання, технічних вимог та розмірних зв'язків на кресленні деталі. Його зміст приводиться як послідовність назв технологічних операцій, короткого змісту технологічних переходів та використовуваних верстатів [8, 9, 12].

На підставі розробленого технологічного маршруту обробки деталі загалом та поверхонь окремо, аналізу розмірів та технічних вимог до окремих поверхонь, виконуємо розробку структури та змісту кожної операції технологічного процесу із зазначенням її номера та назви. Важливо враховувати взаємозв'язок між операціями задля уникнення зайвих переходів, які призводять до збільшення витрат на виробництво та збільшення часу обробки.

Структура та зміст технологічних операцій наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Розроблений маршрут обробки деталі

Номер та назва операції	Тип та модель обладнання	Зміст операції
005 Транспортування	Електрокара ЕВ-2	Транспортувати заготовку на механічну дільницю.
010 Спеціальна токарна	1К283 Токарний н/а	Позиція I 01. Встановити та закріпити деталь. Позиція II 02. Розточити отвір витримавши розмір 2 ,4 , підрізати залишок живильника 1. Позиція III 03. Розточити отвори витримавши розмір 1,2,3,4. Позиція IV 04. Розточити отвір витримавши розмір 1,2. Позиція V 05. Розточити отвори витримавши розмір 1,3 підрізати залишок живильника. Позиція VI 06. Розточити отвір витримавши розміри 1,2,3, підрізати залишок живильника. 07. Зняти деталь, укласти у візок. 08. Перевірити розміри 1,2,3-5%.

Продовження табл. 3.7

Номер та назва операції	Тип та модель обладнання	Зміст операції
015 Спеціальна токарна	1K283 Токарний н/а	Позиція I, II 01.Встановити і закріпити деталь. Позиція III, IV 02. Розточити отвір витримавши розмір 1,2,3. Позиція V, VI 03. Розточити отвір витримавши розмір 1,2,3,4. 04. Підрізати днище і площину роз'єму, витримавши розмір 5. Позиція VII,VIII 05. Розточити отвір витримавши розмір 1. 06.Підрізати послідовно днище і площину роз'єму, витримавши розмір 2,3. 07. Зняти деталь, укласти у візок. 08.Перевірити розміри 1,2,3-5%.
020 Агрегатна	AM 16328 Агрегатно - свердильний	Позиція I 01.Встановити та закріпити деталь. Позиція II 02. Центрувати 6 отворів, витримавши розмір 1. Позиція III 03.Свердлити 4 отвори витримавши розміри 1,2 , свердлити 2 отвори витримавши розміри 3,4 одночасно. Позиція IV 04.Зенкерувати 2отв. Ø 10,1 витримавши розмір 1,2. Позиція V 05.Розвернути 2 отв. Ø10,35, витримавши розміри 2,3. 06.Відкріпити та зняти деталь. 07.Перевірити розміри 1,2(перехід 3)-1%;1,2,3 (перехід 5) – 5%.
025 Комплексна з ЧПК	Обробний центр Haas UMC-750	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Фрезерувати платики, витримавши розмір 1,2. 03. Центрувати 4-отвора витримавши розмір 2. 04.Свердлити 4 отвора (Ø 10,2) витримавши розмір 1,2,3. 05.Зенкерувати отвори(Ø 49,5; Ø 43), витримавши розмір 1 та позиційний допуск 2. 06.Підрізати торець витримавши розміри 2,3, і торець бурта витримавши розмір 1. 07.Точити 2 поверхні витримавши розміри 2,4,5, розточити 2 отвори витримавши розміри 1,3,6. 08. Обточити поверхню витримавши розміри 4,2, одночасно розточити 2 отвори, витримавши розміри 1,3,5 09. Підрізати поверхню витримавши розмір 1,2,3,4,5. 10. Точити поверхню витримавши розмір 4,врізати канавку витримавши розмір 5,6,7,8 розточити 2 отвори витримавши розміри 1,2,3. 11. Точити фаску витримавши розміри 1,2 , підрізати фасонну канавку, витримавши розміри 3,4,5,6,7. 12. Точити поверхню витримавши розмір 1,зняти фаски витримавши розміри 3,4; розточити отвір витримавши розмір 2. 13.Свердлити отвір на фланці Ø10,2. 14.Зняти деталь
030 Токарно - гвинторізна	МК 653 Токарно-гвинторізний	01.Встановити та закріпити деталь. 02. Розточити отвір витримавши розмір 3. 03. Підрізати торець витримавши розміри 1,2,4,5. 04.Відкріпити та зняти деталь.

Продовження табл. 3.7

Номер та назва операції	Тип та модель обладнання	Зміст операції
035 Алмазно-розточна	2706 ВОР8696 Алмазно-розточний	01.Встановити та закріпити деталь 02. Розточити отвір в двох деталях одночасно витримавши розміри 1,3,4 і позиційний допуск 2. 03.Зняти деталь, укласти у візок.
040 Токарно-гвинторізна	16K20 Токарно-гвинторізний	01.Встановити та закріпити деталь. 02. Розточити отвір радіального піджиму виходжуванням на зворотній подачі, витримавши розмір 1,2. 03.Зняти деталь, укласти у візок.
045 Алмазно-розточна	ОС 2574, ОС 3904 Алмазно-розточний	Праві головки 01.Встановити та закріпити деталь. 02.Розточити 2 отвори витримавши розміри 1,2,11,12 допуск перпендикулярності та прямолінійності 7. Ліві головки 03.Розточити отвір витримавши розміри 3,5,8,9, обточити бурт витримавши розміри 4,10. 04. Зняти деталь, укласти у візок.
050 Вертикально-свердлильна	СС10108 Вертикально-свердильний	Позиція І 01.Завантажувальна Позиція ІІ 02. Свердлити 4 отвори витримавши розміри 1,2,3. Позиція ІІІ 03.Зняти фаски в 4-х отворах витримавши розмір 3. 04. Зняти деталь, укласти у візок.
055 Слюсарна	ГМ 765 Стіл слюсарний	01.Гострі кромки притупити по поверхням А,В,Г,Д,Ж,И,М 02.Зачистити заусенці, гострі кромки притупити по поверхням К,Е,Л,З,В,Г. 03. Зачистити заусенці по поверхням Н з обох сторін, Б,О(з обох сторін) 04. Перевірити якість слюсарної обробки, заусенців, гострі кромки притупити.
060 Різьбонарізна	020-078 Різьбонарізний н/а	01.Встановити та закріпити. 02. Нарізати різьбу одночасно в чотирьох отворах в бокових платиках послідовно з двох боків, витримавши розміри та в 6 отв по площині роз'єму, витримавши розміри 1,2,4,5 та допуск 3. 03. Нарізати різьбу в отворах по площині роз'єму 18,19,20,21. 04.Зняти деталь, укласти на стіл для стоку масла. 05.Взяти деталь та встановити в обдувну камеру. 06. Продути деталь.

3.2.7 Вибір технологічних баз

Вибір раціональної схеми базування деталі під час механічної обробки забезпечить відповідність її технічним вимогам, які до неї висуваються. Схема базування заготовок на верстатах повинна забезпечити достатню жорсткість встановлення заготовки, а також задану тонічність орієнтації її в пристрої, та надійність закріплення [8, 9, 12].

Технологічні бази для деталі корпус НШ100А-3-01А виглядають наступним чином. За чорнову базу приймаємо поверхні Р (див. рис. 3.2). Поверхні використовуються на першій операції для обробки площини роз'єму – чистової бази для послідовних операцій.

При обробці на операції 010 деталь закріплюється в патроні. Базовими поверхнями при цьому є поверхні Т – упорна база та вісь – напрямна база.

На операції 015 деталь базується на площину – установча база та виступ Т.

На послідовних операціях технологічного процесу схеми базування повторюються, додається схема базування на площину роз'єму та отвори (циліндричний та зрізаний палець).

3.2.8 Вибір обладнання

Моделі верстатів та їх технічні характеристики взято із каталогів та довідників. Вибрані верстати та їх технічна характеристика наведені у табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Металорізальні верстати для обробки деталі корпус НШ100А-3-01А

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
010 015	1K283 Токарний н/а	250	42-628 66-980	0,041-4,053	22,30,40,50	3070x2945x3872
020	АМ 16328 Агрегатно-свердильний	50	22-1000	0,05-2,24	7,5	1355x890x2930
025	Haas UMC 750 Обробний центр	630x500	8100; 12000	16,5-30,5	2,4	762x559x508
030	МК 653 Токарно-гвинторізний	125	320-3200	-	0,27	695x520x300
035	2706 ВОС8696 Алмазно-розточний	150	135-3000	0,015-0,06	1,0	1790x900x2020
040	16K20 Токарно-гвинторізний	710	12,5-1600	0,05-2,8	11	2505x1190x1500
045	ОС 2574, ОС 3904 Алмазно-розточний	600	50-2000	0,03-0,16	2,0	3305x2705x2800
050	СС 10108 Вертикально-свердильний	250	1000-8000	0,1-3,2	0,4	560x405x625
055	ГМ-1765 Стіл слюсарний	60x24x80	-	-	-	-
065	020-078 Різьбонарізний н/а	M4-M16	90-500	300-450	1,1	1865x1150x1380

Тип та модель металорізальних верстатів призначається відповідно до обраних методів обробки поверхонь, їх точності, схеми базування, типу виробництва, також враховуючи розміри заготовки.

3.2.9 Вибір верстатних пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів

Наступним етапом у проектуванні технологічного процесу механічної обробки деталі корпус НШ100А-3-01А є вибір затискних верстатних пристроїв, різальних інструментів та контрольних і вимірювальних засобів для кожної операції механічної обробки [9, 12].

Вибір верстатних пристосувань

Вплив на вибір типу та конструктивних особливостей затискних пристроїв для виконання кожної окремої технологічної операції мають обрана теоретична схема базування деталі та типу виробництва.

Обрані затискні пристрої наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Номер операції	Найменування пристрою	Позначення	Вид приводу
010	Патрон	7122-4191	Механічний
015	Патрон	7122-4191	Механічний
020	Втулка Планка Планка Кондуктор	7003-4033 7003-4034 4003-4035 АМ1 6328-440СБ	Механічний
025	Пристосування з гідрозажимом	7125-4019	Гідравлічний
	Патрон	6157-4006	Механічний
030	Пристосування	7135-4012	Механічний
035	Пристосування гідравлічне	7430-4067	Гідравлічний
040	Пристосування пневматичне Накладка	7130-4031-01 6490-4190	Пневматичний
045	Пристосування Пристосування для накладки	7430-4085 8534-4052-01	Механічний
055	Плита прижимна Планка опорна Палець Ø9 Палець зрізаний Патрон	7930-4050 7930-4047 7930-4048 7930-4049 6157-4006	Механічний
065	Пристосування зажимне Патрон	020-078-01-000 6157-4006	Механічний

Вибір різального інструменту

Обираємо для кожного переходу, поопераційно, різальний інструмент враховуючи ряд параметрів: метод та стадію обробки, тип виробництва, матеріал заготовки та інструменту, а також характер обробки. Технічні дані обраних інструментів знаходимо у довідниках та каталогах. Характеристики вибраного інструменту для обробки поверхонь деталі наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Номер			Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Опер.	Поз.	Перех.			Матеріал, пластина	Стандарт
010	II	2	Різець	2112-4028	BK6	3882-81
	III	3	Різець розточний	2141-4018	BK6	
	IV	4	Різець	2112-4028	BK6	
	V	5	Різець розточний	2141-4018	BK6	
	VI	6	Різець	2112-4028	BK6	
			Різець розточний	2141-4018	BK6	
			Різець	2112-4028	BK6	
			Різець розточний	2141-4018	BK6	
015	III, IV	2	Різець	2112-4028	BK8	3882-81
	V, VI	3	Різець розточний	2141-4018	BK8	
		4	Різець	2112-4028	BK8	
	VII, VIII	5	Різець розточний	2141-4018	BK8	
		6	Різець	2100-4032	BK8	
			Різець	2112-4028	BK8	
020	II	2	Свердло Ø14; $2\varphi = 90^\circ$	2301-0054	KF1	TRTT
	III	3	Свердло Ø10,2	2301-0030	KF1	TRTT
			Свердло Ø9	2301-0023	KF1	TRTT
	IV	4	Зенкер Ø10,1	2323-4074-00	BK6	19265-73
	V	5	Розвертка Ø10,35	2363-4037	BK6	19262-81
025	-	2	Фреза	2214-0505	BK6	16223-70
		3	Свердло Ø14	2301-0054	KF1	TRTT
		4	Свердло Ø10,2	6700-4072	BK8	3882 - 81
		5	Зенкер ф43	2320-4277	BK6	19265-73
			Зенкер ф49,5	2330-4086	BK6	19265-73
		6	Різцетримач підрізний	2110-4033	BK8	3882 - 81
			Різець	2142-4010	BK8	3882 - 81
			Різець	2141-4009	BK8	3882 - 81
		7, 8	Різець розточний	2112-4013	BK8	3882 - 81
		9	Різець	2110-4033	BK8	3882 - 81
		10	Різець	2141-4009	BK8	3882 - 81
			Різець розточний	2141-4012	BK8	3882 - 81
		11	Різець	2110-4020	BK8	3882 - 81
		12	Різець	2141-4009	BK8	3882 - 81
		13	Різець розточний	2141-4012	BK8	3882 - 81
			Свердло Ø10,2	2301-4004	P6M5	19262-81

Продовження табл. 3.10

Номер			Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Опер.	Поз.	Перех.			Матеріал, пластина	Стандарт
030	-	2	Різець	2142-4001	T15K6	18877-73
		3	Різець	2136-4010	T15K6	18877-73
035	-	2	Різець	2145-4011	T15K6	18877-73
040	-	2	Різець	2136-6002	BK8	3882 - 81
045	-	2	Різець	2145-4011	T15K6	18877-73
		3	Різець	2142-4009	T15K6	18877-73
050		2	Сверло Ø13,2	2301-0043	P6M5	10903-77
		3	Втулка	2353-4032	BK6	19265-73
060	-	2	Мітчик M12	2620-4218	P6M5	19265-73

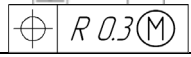
Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Вимірювальні засоби технічного контролю обираються з врахуванням точності замірів, розмірів та якості вимірювальної поверхні та типу виробництва. Вибрані вимірювальні пристрої та інструменти наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Номер операції	Параметр деталі, що контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
010	Ø135	ШЦ-I-150-0,1	166-89
015	Ø156	ШЦ-II-200-0,1	166-80
		ШЦ-I-150-0,1 Пристосування для контролю розміру	166-89 8150-8071
020	Ø10,2 Ø10,35	ШЦ-I-125-0,1	166-89
		Калібр-пробка Калібр-пробка Калібр для контролю міжцентрового розміру базових отворів	СТП 23.113.01-73 СТП 23.113.01-73 8133-0903 8364-4127
025	8 _{-0,35} 160,5 _{-0,26} Ø91,3 _{0,23} Ø38,5 _{+0,17} 17,5 _{-0,33} Ø56,7 _{+0,4} Ø1,9 _{+0,25}	ШЦЦ-I-200-0,01 ШЦЦ-I-150-0,1	166-89 166-89
		Калібр на розмір	8150-4100
		Калібр на розмір	8150-4099
		Калібр-скоба	8113-0107
		Калібр-пробка	8133-0907
	Ø14,3 _{+0,33} Ø61 2 × 45° Ø59 _{+0,74} 1,6 × 45° 1 × 45° Ø70 _{-0,74}	Калібр на розмір	8151-6172
		Калібр-пробка	СТП 23.113.01.075-78
		Калібр	8154-4017
		Калібр	8150-6075
		Нутромір	8144-4011
	Ø10,2	Калібр	8371-4067-09
		Калібр-пробка	8136-0101
		Калібр	8371-4067
		Калібр	8371-4067-01
		Калібр-скоба	8113-0106
		Пристосування для контролю допуску биття бурта та паралельності площини	8531-4011
		Індикатор Ікл.	577:2009
	Ø 10,2	ШЦЦ-I-150-0,1	166-89
		Калібр-пробка	8133-0903

Продовження табл. 3.11

Номер операції	Параметр деталі, що контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
030	135  Ø 10,2 30 max	Індикатор 1,0 кл Пристосування для контролю розміру ШЦЦ-1-200-0,01 Контрольний зразок на розмір Контрольне пристосування для контролю допуску паралельності Щуп Пристосування ШЦЦ-1-150-0,1 Пробка Калібр для контролю Пристосування для контролю ШЦЦ-1-150-0,1 Калібр	577-68 8151-4062 166-89 8151-6173-00-01 8531-4011 ТУ2-034-225-87 8534-4051 166-89 8133-0903 8151-4709 8534-4133 166-89 8364-4073
035	Ø 46 Ø 10,2  1,6x30°	Калібр-пробка Калібр для контролю розташованих 4-х отворів з позиційним допуском відносно отворів. Профілометр системи «М» Калібр на розмір	8133-0908 8364-4073 19300-86
040	Ø57 ^{+0,062}	Пробка спеціальна	8133-4019
045	 Ø58 ^{+0,074} 100...150 Ø150  Ø40 ^{+0,027} Ø58 ^{+0,06} Ø90 ^{-0,036} Ø90 ^{-0,090} 1 × 20°	Еталон для наладки верстату Пристосування для контролю допуску зміщення ШЦЦ-1-150-0,1 Нутромір Кільце для настроювання нутроміру Пристосування для контролю перпендикулярності Калібр-пробка Калібр –пробка Калібр – скоба Калібр Індикатор Контрольний зразок для наладки верстата Оправка контрольна Індикатор	8530-4079 8534-4103 166-89 9244-75 8124-0308 83338-4007 8102-0104 8136-0101 8133-0107 8371-6025 9696-82 8530-4079 8530-4078 577-68
050	Ø 13,2 	Пристосування для контролю позиційного допуску ШЦЦ-1-150-0,1 Калібр-пробка	8364-4070 166-89 8133-0903
060	M12  	M12 5H6H Калібр на глибину різьби Калібр для контролю перпендикулярності	17158-72 8151-4034-01 8532-4006

Для контролю циліндричних поверхонь використовуються переважно калібр-скоби та калібр-пробки, а для найбільш точних поверхонь – важільні скоби з контрольними зразками. Лінійні розміри вимірюються за допомогою калібрів. Для контролю технічних вимог використовуються спеціальні

пристосування оснащені індикаторами різних типів. Для контролю шорсткості поверхонь використовується профілометр системи “М”.

3.2.10 Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Наступним етапом, після вибору плану обробки поверхонь та розробки маршрутної технології, є розрахунок припусків на механічну обробку [9, 12]. Припуски розраховуємо аналітичним методом на поверхню $\varnothing 150^{+0,04}$.

Маршрут обробки поверхні:

- 1) розточування чорнове;
- 2) розточування чистове;
- 3) розточування тонке;

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу (відливка) визначаємо за формулою:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}.$$

Величина короблення отвору розраховується за формулою, мкм:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_k \times D)^2 + (\Delta_k \times L)^2},$$

де $\Delta_k = 0,8 \text{ мкм/мм}$ – питома кривизна заготовки;

d, l – діаметр та довжина отвору.

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(0,8 \times 150)^2 + (0,8 \times 135)^2} = 162.$$

$$\rho_{\text{см}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_B^2}{2}\right) + \left(\frac{\delta_\Gamma^2}{2}\right)} = \sqrt{\left(\frac{400^2}{2} + \frac{400^2}{2}\right)} = 283.$$

Таким чином сумарне значення просторових відхилень заготовки становить:

$$\rho_z = \sqrt{162^2 + 283^2} = 326 \text{ мкм}$$

Залишкові просторові відхилення по переходах визначаємо за формулою:

$$\rho_{\text{зал}} = K_y \times \rho_3.$$

1 перехід - розточування чорнове $\rho_1 = 0,05 \times 326 = 16,3$ мкм;

2 перехід - розточування чистове $\rho_2 = 0,03 \times 326 = 9,78$ мкм;

3 перехід - розточування тонке $\rho_3 = 0,003 \times 326 = 0,978$ мкм.

Визначаємо похибку установки заготовки:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}$$

де: ε_3 - похибка закріплення заготовки, $\varepsilon_3 = 0,01$ мкм;

$\varepsilon_6 = 0$, так як базується деталь один раз;

$\varepsilon_{\text{пр}}^2$ - похибка положення заготовки в пристосуванні, $\varepsilon_{\text{пр}}^2 = 0,05$ мкм .

$$\varepsilon = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2 + 0} = 0,051 \text{ мкм.}$$

ε_y точіння чорнове = 0,0306 (визначається , як 60% від ε_y заготовки).

Для заготовки значення шорсткості, дефектного шару та коробління складають відповідно:

$$R_z = 0,5 \text{ мм; } T = 0,5 \text{ мм; } \Delta_k = 0,8 \text{ мкм/мм}$$

- для розточування чорнового: $R_z = 0,5 \text{ мм; } T = 0,5 \text{ мм;}$

- для розточування чистового: $R_z = 0,3 \text{ мм; } T = 0,3 \text{ мм;}$

- для розточування тонкого: $R_z = 0,003 \text{ мм; } T = 0 \text{ мм.}$

Визначаємо мінімальний припуск по переходах за формулою:

$$2Z_{\min i} = 2(R_z + T + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$$

Значення мінімального припуску:

- при розточуванні чорновому $2Z_{\min 1} = 2 \times 826 \text{ мм;}$

- при розточуванні чистовому $2Z_{\min 2} = 2 \times 116 \text{ мм;}$

- при розточуванні тонкому $2Z_{\min 3} = 2 \times 70 \text{ мм.}$

Визначаємо розрахунковий розмір d_p , починаючи з кінцевого розміру:

$$d_{p3} = 150,004 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 149,864 \text{ мм};$$

$$d_{p1} = 149,632 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 147,982 \text{ мм}.$$

Визначення граничних розмірів виконуємо, починаючи з кінцевого розміру:

$$d_{\min 3} = d_{\max 3} = 150,004 - 0,04 = 149,964 \text{ мм};$$

$$d_{\min 2} = d_{\max 2} = 149,864 - 0,16 = 149,704 \text{ мм};$$

$$d_{\min 1} = d_{\max 1} = 149,632 - 0,63 = 149,002 \text{ мм};$$

$$d_{\min \text{ заг}} = d_{\max \text{ заг}} = 147,982 - 1,8 = 146,182 \text{ мм}.$$

Визначимо мінімальні та максимальні значення припусків:

- для розточування тонкого:

$$2Z_{\min}^{\text{пр}} = 150,004 - 149,864 = 0,140 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max}^{\text{пр}} = 149,964 - 149,704 = 0,26 \text{ мм};$$

- для розточування чистового:

$$2Z_{\min}^{\text{пр}} = 149,864 - 149,632 = 0,232 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max}^{\text{пр}} = 149,704 - 149,002 = 0,702 \text{ мм};$$

- для розточування чорнового:

$$2Z_{\min}^{\text{пр}} = 149,632 - 147,982 = 1,65 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max}^{\text{пр}} = 149,002 - 146,182 = 2,82 \text{ мм}.$$

Перевірка:

$$Z_{\max 3}^{\text{пр}} - Z_{\min 3}^{\text{пр}} = 260 - 140 = 120 \text{ мм};$$

$$Z_{\max 2}^{\text{пр}} - Z_{\min 2}^{\text{пр}} = 702 - 232 = 470 \text{ мм};$$

$$Z_{\max 1}^{\text{пр}} - Z_{\min 1}^{\text{пр}} = 2820 - 1650 = 1170 \text{ мм};$$

$$\delta_{3-2} = 160 - 40 = 120 \text{ мм};$$

$$\delta_{2-1} = 630 - 160 = 470 \text{ мм};$$

$$\delta_{3-1} = 1800 - 630 = 1170 \text{ мм}.$$

Розрахунки виконано вірно.

Будуємо схему графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 150^{+0,04}$, рис. 3.3.

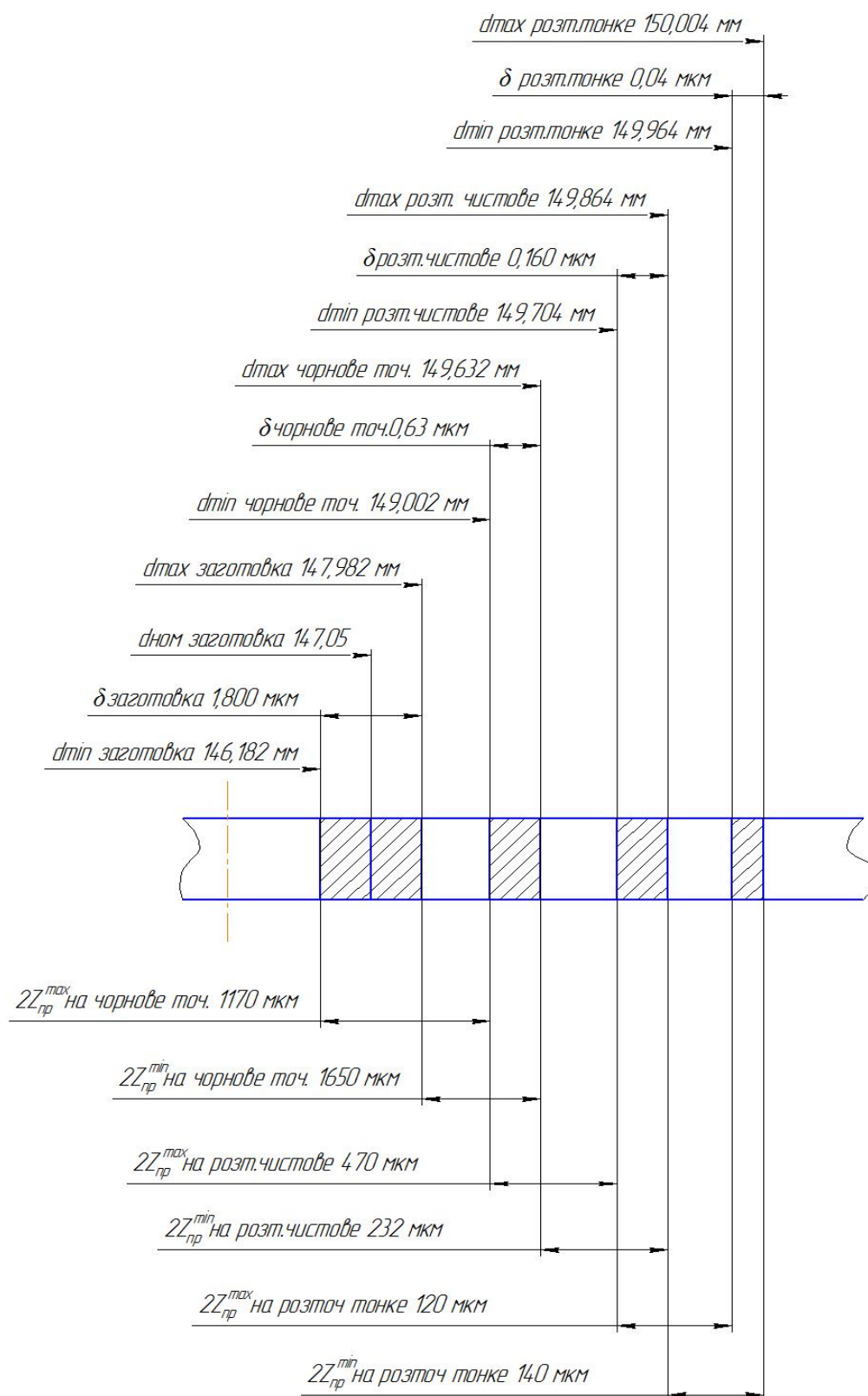


Рис. 3.3 Схема розташування припусків

Результати розрахунку припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні $\varnothing 150^{+0,04}$ мм, корпусу НШ100А-3-01А зводимо до табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску				Розрахунковий припуск	Розрахунковий діаметр	Допуск	Граничні розміри		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	p	ϵ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{\text{пр}}$	$2Z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка	200	300	326	0,051	-	147,982	1,8	146,182	147,982	-	-
Розточування чорнове	50	50	16,3	0,0306	2x826	149,632	0,63	149,002	149,632	1650	1170
Розточування чистове	30	30	9,78		2x116	149,864	0,16	149,704	149,864	232	470
Розточування тонке	30		0,978		2x70	150,004	0,04	149,964	150,004	140	120

На інші поверхні припуски визначаємо по нормативним даним, і заносимо їх до табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Припуски на обробку деталі корпусу НШ100А-3-01А

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1	Внутрішня циліндрична поверхня	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове. 3. Розточування тонке.	2,416 0,44 0,08	0,630 0,160 0,04
2	Внутрішня циліндрична поверхня	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове	2,28 1,52	0,46 0,074
3	Внутрішня циліндрична поверхня	1. Свердління 2. Зенкерування чистове після свердління	2,16 1,44	0,39 0,025
4	Площина роз'єму	1. Точіння чорнове	4	0,63
5, 10, 11	Шість різьбових отворів	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Розточування тонке.	1,56 0,91 0,13	0,27 0,07 0,008
6	Зовнішня циліндрична поверхня	1. Точіння чорнове 2. Однократне чистове 3. Точіння тонке	2,4 1,4 0,2	0,35 0,14 0,035
7	Внутрішня циліндрична поверхня	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове	1,8 1,2	0,39 0,062
8	Внутрішня циліндрична поверхня	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Шліфування	1,98 0,82 0,5	0,46 0,12 0,046

Продовження табл. 3.13

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
9	Внутрішня циліндрична поверхня	1. Розточування чистове	0,93	0,12
12	Торці платиків	1. Точіння чорнове	0,5	0,720
13	Чотири отвори у фланці	1. Свердління	0,6	0,27
14	Дно колодязя	1. Розверчування нормальне 2. Розверчування точне	0,86 0,3	0,250 0,100
15	Торець бурта	1. Точіння чорнове	0,5	0,22
16	Торець деталі	1. Точіння чорнове	0,5	0,22
17	Торець вихідного отвору	1. Точіння напівчистове	0,2	0,720
18	Фланець	1. Точіння чорнове	0,6	0,270

3.2.11 Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання здійснюємо для технологічної операції 025 обробки деталі корпус НШ100А-3-01А. Деталь оброблюється на фрезерному обробному центрі з ЧПК Haas UMC-750. Розрахунок здійснюємо за допомогою емпіричних формул [9, 12].

Виконуємо розрахунок для 04 переходу («Свердлити 4 отвори Ø10,2», див. табл. 3.7).

1. Визначаємо глибину різання. При свердлінні глибина різання, мм:

$$t = 0,5D = 0,5 \times 10,2 = 5,1.$$

2. Визначаємо подачу, мм/об:

$$S_{\text{табл}} = 0,45 \times 0,5 \times 0,6 = 0,135.$$

3. Подача корегується за паспортними даними верстата, мм/об:

$$S_{\text{ф}} = 0,14.$$

4. Визначаємо швидкість різання за формулою, м/хв:

$$V_{\text{розр}} = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} \times K_v,$$

де: C_v , q , m , y – коефіцієнт та показники степені, що залежать від умов процесу різання, $C_v=36,3$; $q = 0,25$; $m = 0,125$; $y = 0,55$;

T – період стійкості інструменту, $T = 45$ хв;

D – діаметр інструменту, $D = 10,2$ мм;

S – подача, $S_\phi = 0,14$ мм/об;

K_v – поправочний коефіцієнт, розраховується за формулою:

$$K_v = K_{MV} \times K_{UV} \times K_{LV} \times K_{NV},$$

де: K_{MV} – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки, $K_{MV} = 0,8$;

K_{UV} – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу інструмента, $K_{UV} = 2,5$;

K_{LV} – коефіцієнт, який враховує глибину свердління, $K_{LV} = 1,0$;

K_{NV} – коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні, $K_{NV} = 0,9$.

$$K_v = K_{MV} \times K_{UV} \times K_{LV} \times K_{NV} = 0.8 \times 2.5 \times 1 \times 0.9 = 1.8.$$

$$V_{\text{роз}} = \frac{36,3 \times 10,2^{0,25}}{45^{0,125} \times 0,14^{0,55}} \times 1,8 = 213,9.$$

5. Розраховуємо частоту обертання інструмента за формулою, об/хв:

$$n_{\text{роз}} = \frac{1000 \times V_{\text{роз}}}{\pi D};$$

$$n_{\text{роз}} = \frac{1000 \times 213,9}{3,14 \times 10,2} = 6678.$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_\phi = 1400$ хв⁻¹.

6. Розраховуємо фактичну швидкість різання, м/хв:

$$V_\phi = \frac{\pi D n_\phi}{1000} = \frac{3,14 \times 10,2 \times 1400}{1000} = 44,84.$$

7. Розраховуємо крутний момент, Нм:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q S^y K_p,$$

де: C_M , q , y - коефіцієнт та показники степені, що залежать від умов процесу різання, $C_M = 0,005$, $q = 2,0$; $y = 0,8$;

K_p – поправочний коефіцієнт, $K_p = K_{mp} = 1,0$.

Розрахунок:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,005 \cdot 10,2^{2,0} \cdot 0,14^{0,8} \cdot 1,0 = 1,079.$$

8. Розраховуємо осьову силу, Н:

$$P_o = 10 C_p t^x s^y K_p ,$$

де C_p , x , y - коефіцієнт та показники степені, що залежать від умов процесу різання, $C_p = 9,8$; $q = 1,0$; $y = 0,7$.

K_p – поправочний коефіцієнт, $K_p = 1$.

Розрахунок:

$$P_o = 10 \times 9,8 \times 5,1 \times 0,14^{0,7} \times 1 = 126,2.$$

9. Розраховуємо основний час, хв:

$$t_o = \frac{L_p}{n_\phi \times s_\phi} \times i = \frac{33 + 2,5}{1400 \times 0,14} \times 1 = 0,18.$$

10. Розраховуємо потужність різання, кВт:

$$N_e = 6 \times \frac{M_{кр} \times n}{9750} = 6 \times \frac{1,079 \times 1400}{9750} = 0,93.$$

Проводимо перевірку потужності приводу:

$$N_e \leq 1,2 \cdot N_{ел} \cdot \eta;$$

$$0,93 \leq 1,2 \times 4 \times 0,85 = 4,08.$$

Умова різання по потужності приводного двигуна виконана, процес різання виконати реально.

На решту операцій елементи режимів різання для деталі корпус НШ100А-3-01А приведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

Режими різання на операціях механічної обробки

Номер		t, мм	S _o , мм/об, S _{xb} , мм/xb	V, м/xb	n, об/xb	t _o , хв	
Опер.	Перех.					Перех.	Опер.
010	2	1,5	0,18	178	404	0,13	1,42
	3	2	0,4	182	404	0,15	
	4	1,5	0,4	182	404	0,18	
	5	1,5	0,18	178	404	0,14	
	6	1,5	0,18	178	404	0,82	
015	2	1,5	0,18	183	404	0,18	0,36
	3,4	1,5	0,4	183	404	0,14	
	5,6	1	0,4	183	404	0,04	
020	2	1	0,2	31,4	700	0,06	0,54
	3	5,1	0,2	25	900	0,15	
	4	0,55	0,2	30	700	0,12	
	5	0,1	0,37	10,4	380	0,21	
025	2	1,5	0,18	183	404	0,14	5,72
	3	1	0,2	31,4	700	0,06	
	4	1	565	378	750	0,56	
	5	6,75	0,145	30	800	1,06	
	6	5,11	0,2	30	700	0,82	
	7	0,1	0,37	10,4	380	0,14	
	8	3	0,402	296	316	1,04	
	9	3	0,288	94	357	1,01	
	10	1	0,402	297	816	0,5	
	11	1	0,203	116	404	0,2	
	12	1	0,203	58	250	0,09	
	13	2	0,203	55	250	0,1	
030	2	0,5	0,43	470	1000	0,12	0,27
	3	0,5	0,21	470	1000	0,15	
035	2	1,5	0,08	285	1600	0,12	0,12
040	2	1,5	0,08	285	1600	0,15	0,15
045	2	0,7	0,08	470	1000	0,36	0,54
	3	0,45	0,08	385	1387	0,18	
050	2	6,5	0,2	34,4	840	0,16	0,28
	3	1,5	0,2	34,4	840	0,12	
060	2	1,5	1,75	6,78	180	0,19	0,19
	3	1,5	1,75	6,78	180	0,19	

3.2.12 Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу [9, 12] проведемо на операцію 025, яка виконується на обробному центрі з ЧПК Naas UMC-750.

Норма штучного часу $t_{шт}$, розраховується за формулою, хв:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{т.о} + t_{о.о} + t_{відп},$$

де: t_o – основний час, згідно табл. 3.14 – $t_o = 5,72$ хв;

t_d – допоміжний час, який включає в себе: час на встановлення та зняття деталі; час на підведення, відведення та зміну різального інструменту; час на керування верстатом; час на проведення контрольних вимірів.

Елементи допоміжного часу вибираються з нормативних таблиць:

$$t_d = t_{в.з.} + t_{з.д.} + t_{п.в.} + t_{кер.} + t_{вим.},$$

$t_{в.з.}$ – час на встановлення та зняття деталі – 0,024 хв;

$t_{з.д.}$ – час закріплення деталі – 0,063 хв;

$t_{п.в.}$ – час на підведення та відведення інструмента – 0,05 хв;

$t_{кер.}$ – час на керування верстатом – 0,01 хв;

$t_{вим.}$ – час на проведення контрольних вимірів – 0,13 хв.

Тоді допоміжний час дорівнює, хв:

$$t_d = 0,024 + 0,063 + 0,01 + 0,05 + 0,13 = 0,513.$$

Визначаємо оперативний час на операцію, хв:

$$t_{опер.} = t_o + t_d.$$

$$t_{опер.} = 5,72 + 0,513 = 6,233 \text{ хв.}$$

Час на технічне обслуговування обладнання $t_{т.о}$ розраховується за формулою, хв:

$$t_{т.о} = \alpha \times t_{опер.},$$

де: α - нормативний відсоток від оперативного часу – 4%;

$$t_{т.о} = 0,04 \times 6,233 = 0,249.$$

Час на організаційне обслуговування $t_{o.o}$ розраховується за формулою, хв:

$$t_{o.o} = \beta \times t_{оп},$$

де: β – нормативний відсоток від оперативного часу – 8%;

$$t_{o.o} = 0,08 \times 6,233 = 0,498.$$

Час на перерви, відпочинок та особисті потреби $t_{відп}$ розраховується за формулою, хв:

$$t_{відп} = \gamma \cdot t_{оп},$$

де: γ – нормативний відсоток від оперативного часу – 7%;

$$t_{відп} = 0,07 \times 6,233 = 0,436.$$

Тоді норма штучного часу становить, хв:

$$t_{шт} = 5,72 + 0,513 + 0,249 + 0,498 + 0,436 = 7,416.$$

Для дрібносерійного виробництва проводять розрахунок штучно-калькуляційного часу, хв:

$$t_{шт.-к.} = t_{шт.} + \frac{t_{п.з.}}{n},$$

де $t_{п.з.}$ - підготовчо-заключний час, згідно довідкової літератури $t_{п.з.} = 35$ хв;

n – кількість деталей в партії, шт., згідно формули:

$$n = \frac{N_{\epsilon} \times a}{F},$$

де N_{ϵ} - програма випуску продукції – 6000 шт;

a - періодичність запуску виробу, $a = 14$ днів;

F - число робочих днів в році, $F = 260$ днів (2025 рік).

Отже:

$$n = \frac{6000 \times 14}{260} = 323 \text{ шт.}$$

$$t_{шт.-к.} = 7,416 + \frac{35}{323} = 7,524 \text{ хв.}$$

На решту операцій механічної обробки деталей виконуємо нормування згідно відомих рекомендацій з використанням таблиць, довідників, виробничих нормативних документів.

Результати вибору та розрахунку норм часу заносимо в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Технічне нормування операцій механічної обробки

№ опер.	t_o , хв	t_d , хв	$t_{т.о.}$, хв	$t_{о.о.}$, хв	$t_{відп.}$, хв	$t_{шт.}$, хв	$T_{п-з.}$, хв	$t_{шт-к.}$, хв
010	1,42	0,8	0,088	0,155	0,177	2,642	22	2,71
015	0,36	0,55	0,045	0,082	0,073	1,11	22	1,178
020	0,54	0,42	0,048	0,067	0,076	1,152	35	1,26
025	5,72	0,513	0,249	0,498	0,436	7,416	35	7,524
030	0,27	0,21	0,024	0,034	0,038	0,576	10	0,607
035	0,12	0,4	0,026	0,042	0,036	0,624	10	0,655
040	0,15	0,32	0,018	0,033	0,037	0,559	15	0,606
045	0,54	0,44	0,049	0,078	0,068	1,176	15	1,222
050	0,28	0,54	0,041	0,065	0,057	0,984	10	1,015
060	0,19	0,64	0,033	0,058	0,066	0,987	12	1,025

3.3 Висновки

У розділі приведено етапи розробки технологічного процесу механічної обробки деталі корпус НШ100А-3-01А.

Спершу було виконано аналіз конструкції деталі та базового технологічного процесу. Запропоноване технічне раціоналізаторське рішення, яке в перспективі може знизити собівартість виробу. Використання обробного центру з ЧПУ Haas UMC-750 скоротить час на обробку деталі, зменшить кількість задіяного металорізального обладнання, різального інструменту, вимірювальних засобів, підвищить гнучкість виробництва. Для розробленого технологічного процесу здійснено підбір технічного забезпечення, зокрема:

- металорізальних верстатів;
- верстатних затискних пристосувань;
- різальних інструментів;
- вимірювальних засобів.

Проведено розрахунки припусків на механічну обробку, режимів різання і технічне нормування операцій.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристрою

4.1.1 Опис, призначення, будова та принцип роботи затискного пристрою

Пневматичний затискний пристрій призначений для встановлення та затиску деталі корпус НШ100А-3-01А на верстаті Haas UMC-750 на операції 025. Схема затискного пристрою показана на рисунку 4.1.

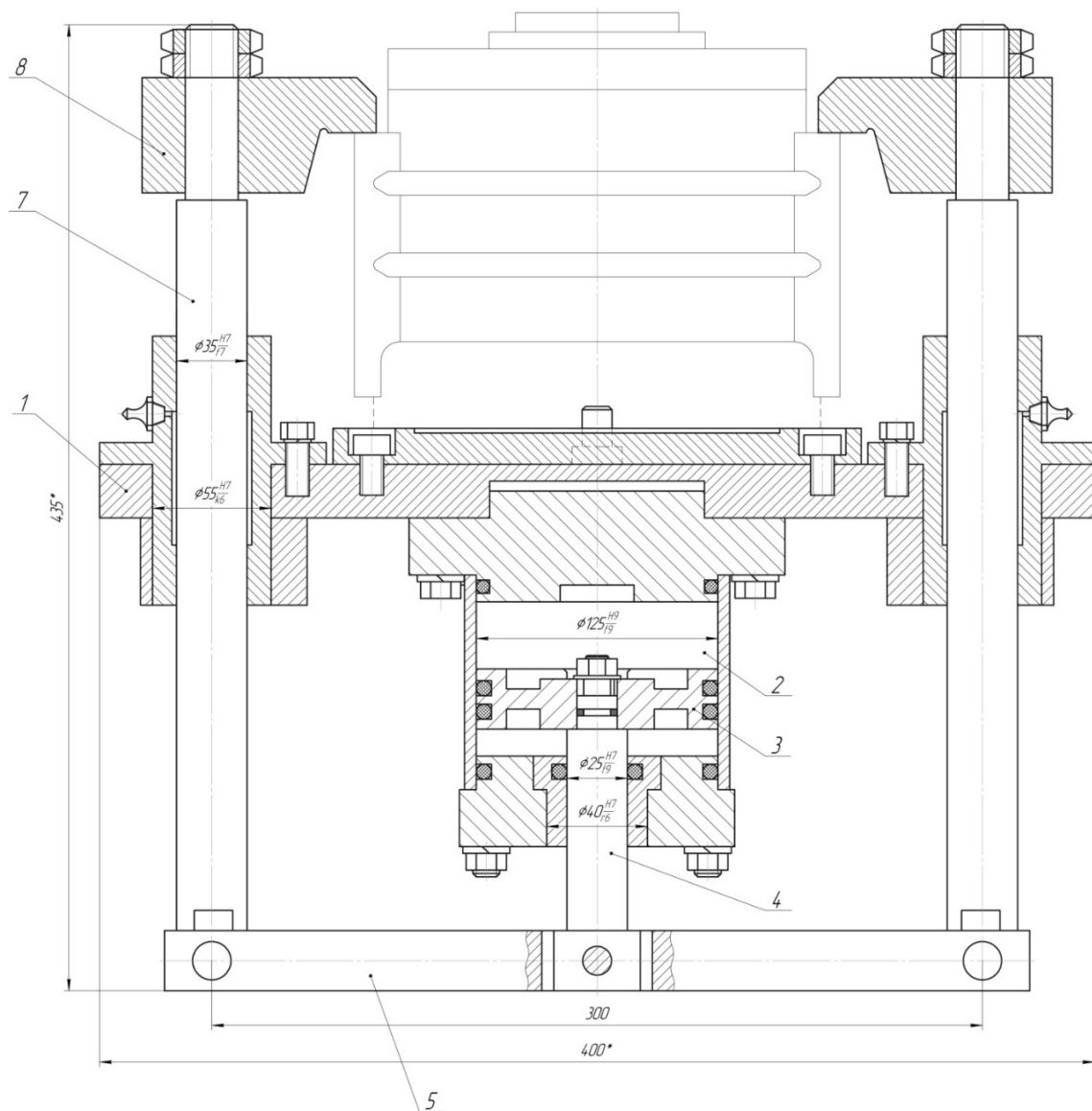


Рис. 4.1 Схема затискного верстатного пристрою

1 – основа; 2 – пневмоциліндр; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – коромисло;
6 – тяги; 7 – прихвати.

Затискний пристрій складається з основи поз. 1, до якої кріпиться пневмоциліндр поз. 2. Поршень поз. 3, який знаходиться у пневмоциліндрі з'єднаний з штоком поз. 4, до вихідного кінця якого приєднане з коромислом поз. 5, на якому знаходиться дві тяги поз. 6, до яких кріпляться прихвати поз. 7.

Принцип роботи затискного пристрою полягає в наступному. Деталь встановлюється на площину і базується на два пальці (циліндричний і зрізаний). При повороті рукоятки пневмокрана в положення затиск, стиснуте повітря поступає в без штокову порожнину пневмоциліндра поз. 2, чим спричиняє тиск на поршень поз. 3, який з'єднаний з штоком поз. 4. Шток, разом із приєднаним до нього коромислом поз. 5, переміщується вниз. На коромислі поз. 5, приєднано дві тяги поз. 6 із двома прихватами поз. 7. Після чого тяги разом з прихватами рухаються вниз затискають деталь.

Після механічної обробки розтиск деталі здійснюється таким чином. При повороті рукоятки пневмо крана в положення розтиск, стиснуте повітря поступає в штокову порожнину пневмоциліндра поз. 2, чим спричиняє тиск на поршень поз. 3, який тягне за собою шток поз. 4 з коромислом поз. 5, і переміщується верх. Після чого тяги разом з прихватами розтискають деталь.

4.1.2. Розробка схеми базування деталі та розрахунок пристрою на точність

Схему базування деталі, тобто схему її орієнтації за допомогою опорних точок в координатній системі верстата, розробляємо в залежності від кількості і характеру вимог до операції з урахуванням принципу суміщення конструкторських та технологічних баз. Схема базування деталі показана на рис. 4.2.

Матеріалізація схеми базування за допомогою стандартних установчих елементів представлена на рис. 4.3.

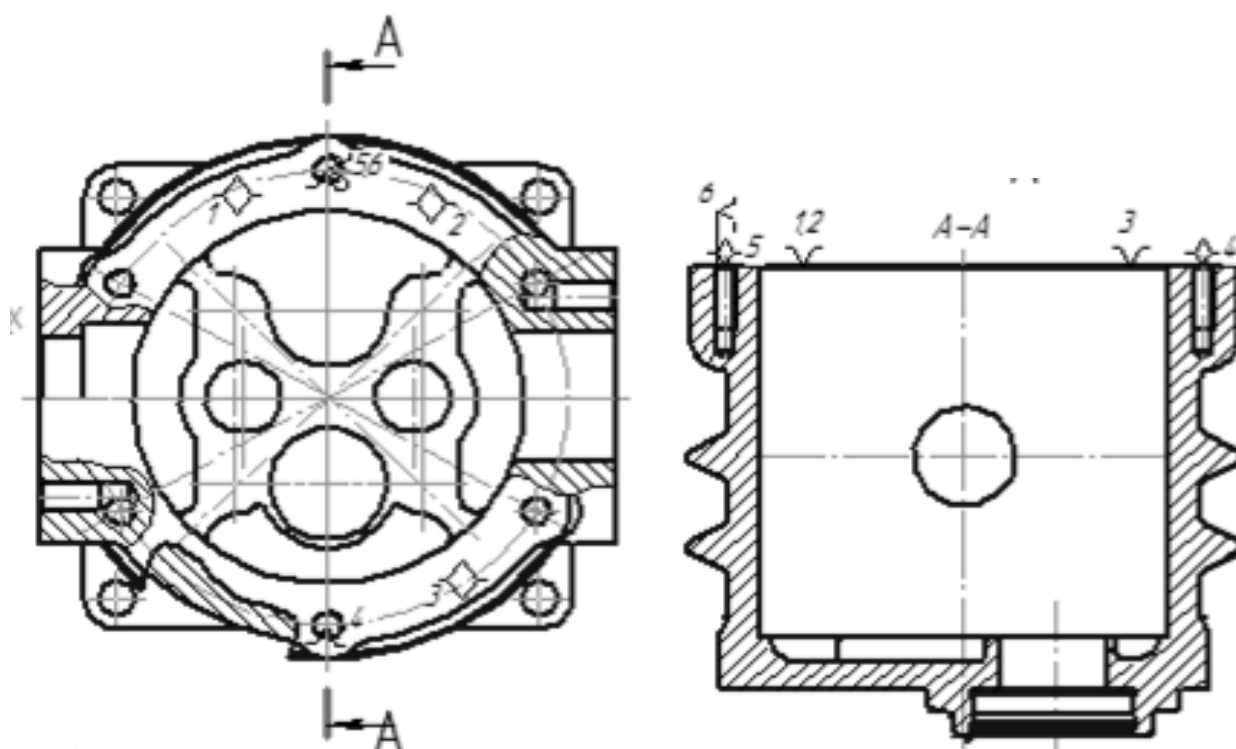


Рис. 4.2 Схема базування

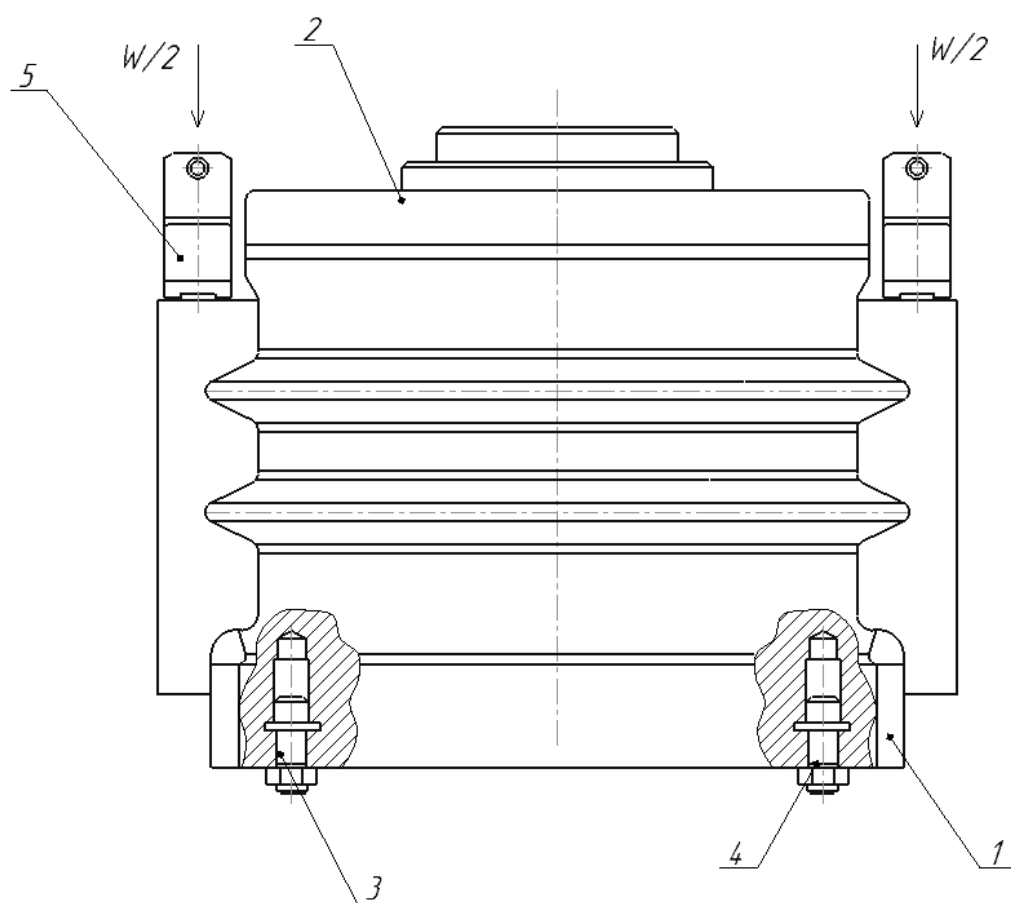


Рис. 4.3 Матеріалізація схеми базування

1 - плита; 2 - оброблювана деталь; 3 - палець циліндричний; 4 - палець зрізаний; 5 - прижим.

Метою розрахунку пристосування на точність [9, 12] є визначення необхідної точності його виготовлення, тобто допусків, що розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{np} = T_A - k_m \cdot \sqrt{(k_{m1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z^2 + (k_{m2} \cdot \omega_{m.o})^2},$$

де T_A – допуск на виконуваний розмір;

ε_{δ} – похибка базування деталі;

k_m – коефіцієнт, який враховує відхилення розподілення значень складових величин від закону нормального розподілу ($k_m = 0,9 \dots 1,2$);

k_{m1} – коефіцієнт, який враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налагодженому обладнанні ($k_{m1} = 0,8 \dots 0,85$);

k_{m2} – коефіцієнт, який враховує частку похибки обробки в сумарній похибці, що є наслідком факторів, які не залежать від пристосування ($k_{m2} = 0,6 \dots 0,8$);

$\omega_{m.o}$ – середня економічна точність обробки (визначається по таблицям допустимих похибок для методу обробки, що розглядається);

ε_z – похибка закріплення деталі;

При використанні затискних пристосувань із механізованим приводом, що забезпечують сталість сили затиску, похибка закріплення деталі дорівнює нулю.

Розраховуємо фактичну похибку затискного пристосування, мм:

$$\varepsilon_{np} = 0,12 - 0,9 \cdot \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0 + (0,6 \cdot 0,17)^2} = 0,028.$$

4.1.3 Розрахунок сили затиску деталі

Призначення затискних пристосувань - надійне закріплення, яке виключає вібрації і зміщення заготовки відносно опор пристосування при обробці [9, 12].

Розрахунок конструкції затискного верстатного пристосування зводиться до пошуку сили затиску, яка виходиться із умов рівноваги заготовки під дією сил різання, інерції, тертя, сил тяжіння та реакції в опорах та сили затиску.

Схема затиску деталі, із вказанням точки прикладання сили затиску та її напрямком, та вказанням сил різання, сил тертя, реакцій в опорах показана на рис. 4.4.

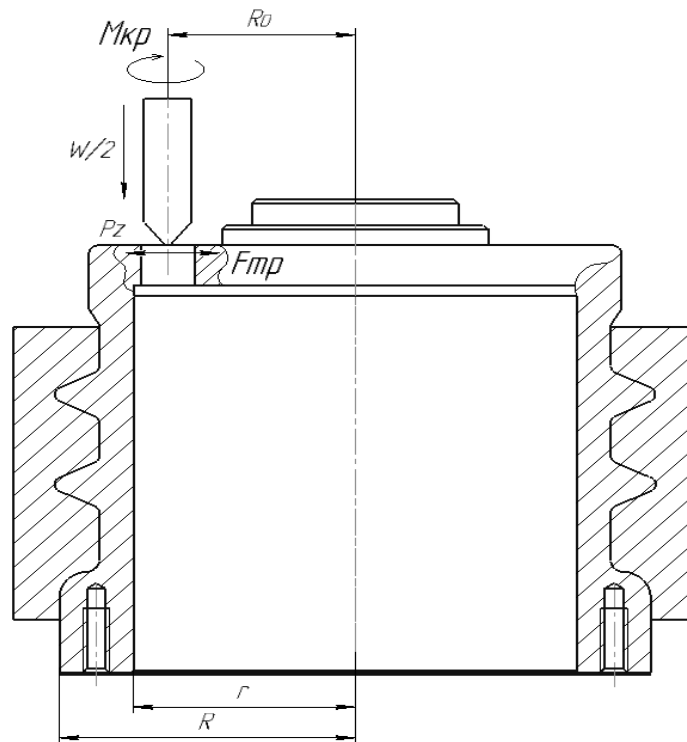


Рис. 4.4 Схема до розрахунку затиску деталі при свердлінні

При свердлінні, зенкеруванні, розвертчуванні, шліфуванні отворів, рівно розташованих по колу на торці деталі циліндричної форми, умова її рівноваги виражається рівнянням:

$$\left(\frac{2M_{\text{св}}}{d} \left(R_o + \frac{d}{2} \right) - \frac{2M_{\text{св}}}{d} \left(R_o - \frac{d}{2} \right) \right) n = \frac{2}{3} (W + P_o \cdot n) f \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2};$$

звідки:

$$W = \left\{ \frac{3(R^2 - r^2) \left[\frac{2M_{\text{св}}}{d} \left(R_o + \frac{d}{2} \right) - \frac{2M_{\text{св}}}{d} \left(R_o - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot n}{2f(R^3 - r^3)} - P_o \cdot n \right\} \cdot K$$

де $M_{\text{св}}$ – момент від сил різання на одному інструменті;

P_o – осьова сила на одному інструменті;

n – кількість інструментів які працюють одночасно;

f – коефіцієнт тертя ковзання, який враховує характеристики матеріалів контактуючих елементів і шорсткості їх поверхонь;

K – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт K розраховується за формулою:

$$K = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$$

де K_0 - гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 1,5$;

K_1 - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання внаслідок зносу інструмента в процесі обробки, $K_1 = 1,2 \dots 1,9$;

K_2 - коефіцієнт, який враховує характеристику обробки; $K_2 = 1,0$ – для чистової обробки; $K_2 = 1,2$ – для чорнової обробки;

K_3 - коефіцієнт, який враховує наявність ударів під час обробки, $K_3 = 1,0 \dots 1,3$;

K_4 - коефіцієнт, який враховує вид приводу; $K_4 = 1,0$ - для механізованого приводу; $K_4 = 1,2$ – для ручного приводу;

K_5 - коефіцієнт, що враховує зручність розташування органів керування, $K_5 = 1,0$.

Розраховуємо коефіцієнт запасу:

$$K = 1,5 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,8.$$

Розраховуємо необхідну силу затиску, H :

$$W = \left(\frac{3 \times (90^2 - 75^2) \times \left[\frac{2 \times 1079}{10.2} \times \left(78 + \frac{10.2}{2} \right) - \frac{2 \times 1079}{10.2} \times \left(78 - \frac{10.2}{2} \right) \right] \times 1}{2 \times 0.085 \times (90^3 - 75^3)} - 126.2 \right) 1.8 =$$

$$= 4270.$$

4.1.4 Розробка або вибір приводу затискного пристрою

При розробці затискного пристрою, його конструкція повинна бути такою, щоб елементи пристрою не заважали доступу інструмента до оброблюваних поверхонь та огляду їх оператором під час обробки деталі.

В якості силового приводу вибираємо поршневий пневмоциліндр. Це обумовлено насамперед умовами обробки та конструкцією самого верстату.

Приймаємо пневмоциліндр двох сторонньої дії, коли затиск деталі відбувається при висуванні штока. Робочий тиск приймаємо 0,6 МПа.

Діаметр циліндра визначаємо за формулою:

$$D_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_g \cdot \eta}},$$

де Q – зусилля на штоці, $Q = W = 4270$ Н;

P_{ϵ} – тиск в системі, $P_{\epsilon} = 0,6 \text{ МПа}$;

η – ККД приводу, $\eta = 0,8$;

Тоді:

$$D_{\epsilon} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4270}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,8}} = 116 \text{ мм}.$$

Розрахункове значення діаметра циліндра округляємо до найбільшого значення із нормального ряду діаметрів, приймаємо:

$$D_{\epsilon} = 125 \text{ мм}.$$

4.1.5 Розрахунок слабкої ланки пристрою на міцність

Слабкими ланками розробленого захватного пристосування слід вважати ланки, які найбільш навантажені силами від силового приводу, а саме затиск важеля та вісі коромисла. У коромислі під час затиску заготовки виникають напруження згину. Для визначення цих напружень побудовано епюри поперечних та крутних перерізів, що діють на нього.

Для побудови епюр необхідно визначити реакції опор. Реакція опори в точці контакту важеля з штовхачем має розмір сили затиску $W=4270 \text{ Н}$, рис. 4.5.

Реакція в точці качання важеля визначається з рівняння рівноваги:

$$\Sigma Y = 0,$$

звідки:

$$R = 2/W + Q,$$

$$Q = \frac{W}{i},$$

де i - передаточне відношення механізму, яке визначається за формулою:

$$i = \frac{L}{l} = \frac{435}{170} = 2.56.$$

Отже:

$$Q = \frac{W}{i} = \frac{4270}{2.56} = 1667 \text{ Н},$$

$$R = 2/W + Q = 2/4270 + 1667 = 5937 \text{ Н}.$$

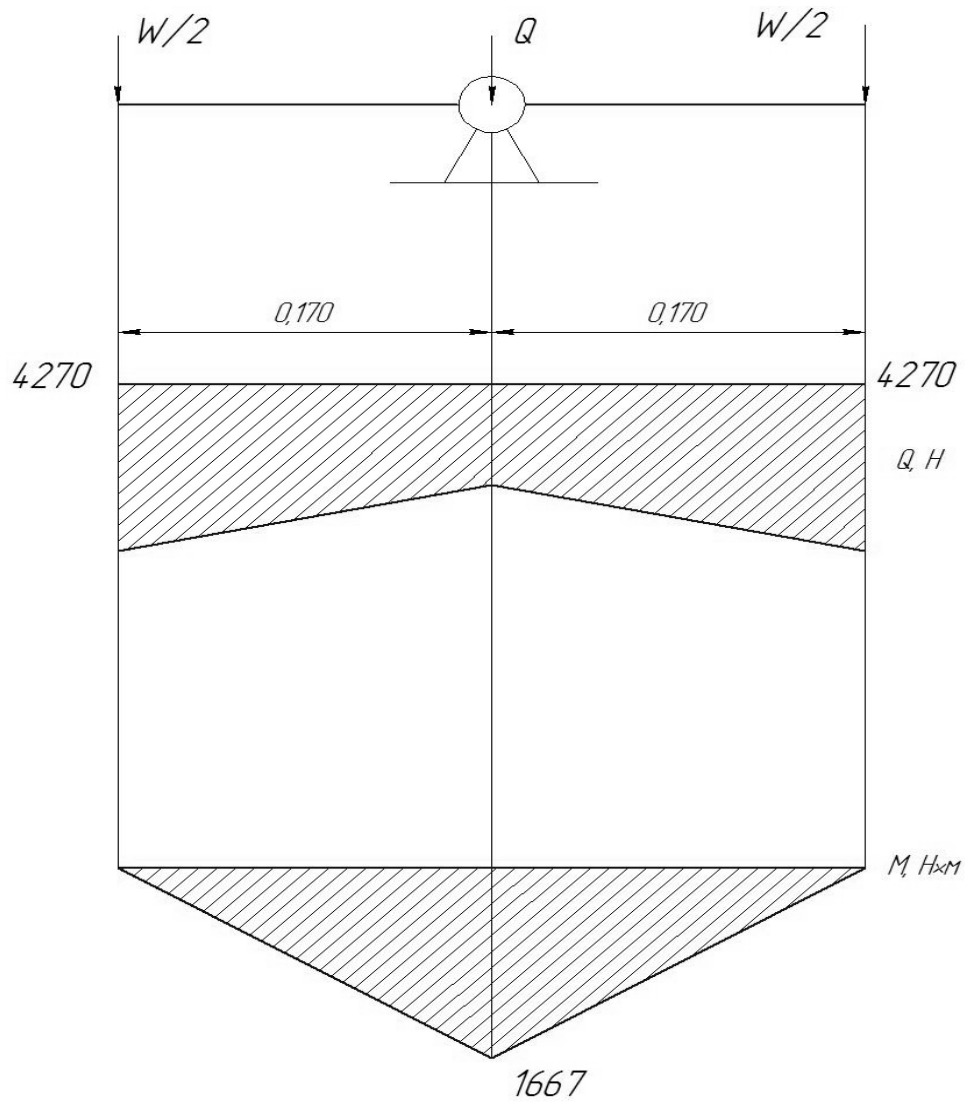


Рис. 4.5 Епюра поперечних перерізів та згинаючого моменту

Для розрахунку важеля на згин, проводимо розрахунок напруження $\sigma_{зг}$, яке виникає у небезпечному перерізі:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{\max}}{W},$$

де: $M_{\max}$ – максимальний згинаючий момент;

W – момент опору поперечного перерізу важеля.

Так як важіль має прямокутний поперечний переріз 35x30 мм, то момент опору визначаємо за формулою:

$$W = \frac{B \cdot (H^3 \times d^3)}{3H} = \frac{0.04(0.05 \times 0.012^2)}{3 \cdot 0.05} = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Найбільший згинаючий момент, як видно з епюри $M_{\max} = 75H \cdot \text{м}$, отже:

$$\sigma_{32} = \frac{75}{0,0000196} = 37 \cdot 10^5 \text{ Па} = 3,8 \text{ МПа}$$

Має виконуватися умова:

$$\sigma_{32} \leq [\sigma_{32}]$$

де $[\sigma_{32}] = 100 \text{ МПа}$ – допустиме напруження згину матеріалу важеля.

Умова міцності на згин витримується.

Слабкою ланкою в пристосуванні є штифтове з'єднання, яке з'єднує прижим із штоком гідроциліндру. Виконуємо розрахунок для вісі $\varnothing 12$ із сталі 45.

Умова міцності штифтового з'єднання на зрізання:

$$\tau = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq [\tau];$$

$$\tau = \frac{4270}{\frac{3,14 \cdot 12^2}{4}} = 37,77 \text{ МПа},$$

$$[\tau] = 160 \text{ МПа};$$

Умова міцності штифтового з'єднання виконується.

4.1.6. Розробка креслення загального виду пристрою

Загальний вид пристрою показано на кресленні у додатках до роботи. Креслення виконане в необхідній для пояснення його конструкції кількості проекцій в положенні затиску оброблюваної деталі, яка зображується прозорою.

Креслення розпочинається з корпусу, в конструкції корпусу передбачені елементи його кріплення та орієнтування на столі верстату.

На корпусі послідовно розміщуємо опори для встановлення деталі, затискні елементи, його привід. На кресленні проставляються габаритні розміри, посадки основних спряжень деталей, допуски розташування найбільш важливих поверхонь, зазначаються технічні вимоги виготовлення пристрою.

4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою

4.2.1 Опис конструкції та роботи пристрою

Контрольний пристрій призначений для контролю допуску биття 0,3 мм бурта $\varnothing 90$ мм відносно базових отворів і допуску паралельності 0,1 мм площин А, Б в деталі корпус НШ100А-3-01А.

Технічна характеристика пристрою наведена в таблиці 4.1.

Ескіз пристрою показано на рисунку 4.6.

Контрольний пристрій складається з обертової плити поз. 2, в яку встановлюється пальці поз. 3 і поз. 4 для базування деталі. Індикатор типу ІЧ5 577-68 поз. 6 кріпиться на стойці поз. 5. Весь пристрій кріпиться до основи поз. 1. Для зручності в роботі пристрою передбачено рукоятку поз. 7.

Таблиця 4.1.

Параметри пристрою	Значення параметрів
Межі вимірювання, мм	0...1
Варіація, мм	0,003
Вимірювальне зусилля, Н	1,5
Габаритні розміри, мм	355x200x268

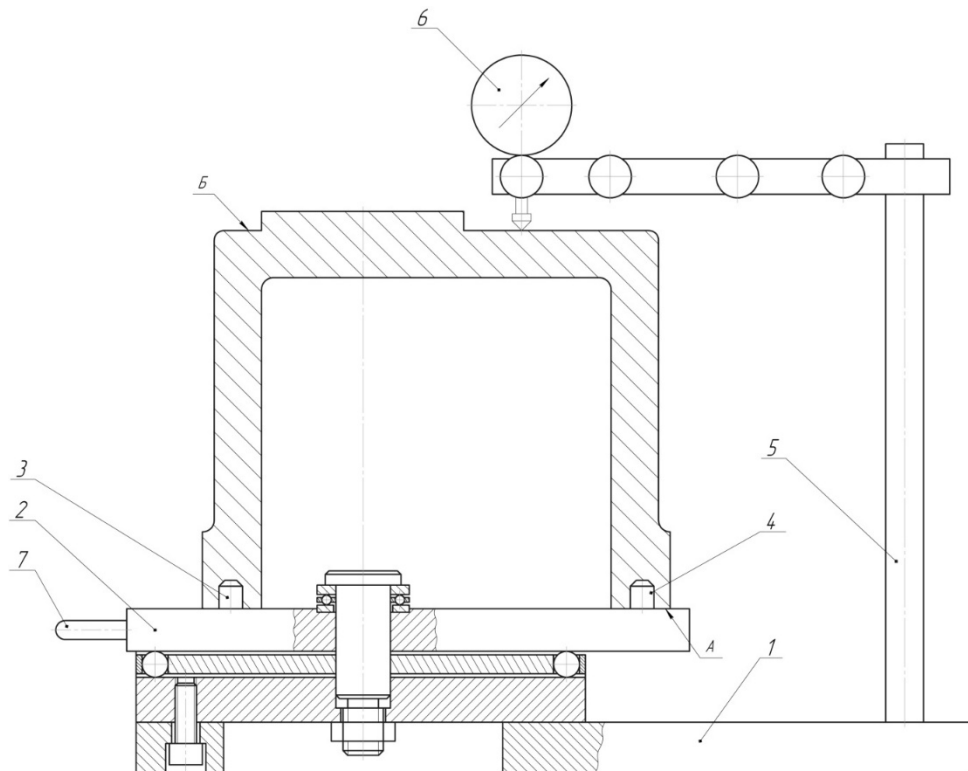


Рис. 4.6 Ескіз контрольного пристрою

1 – основа; 2 – обертова плита; 3 – палець циліндричний; 4 – палець зрізаний;
5 – стойка; 6 – індикатор; 7 – рукоятка.

Перевірка та налаштування контрольного пристрою полягає в наступному: еталон встановлюють на базові пальці, підводять індикатор до бурту $\varnothing 90$ мм та повернувши пристрій на 360° , перевіряють його працездатність. Пристрій вважається годним якщо показання індикатора не більше 60 мкм за оберт.

Принцип роботи контрольного пристрою полягає в наступному: деталь перед початком роботи ретельно протирають, встановлюють на базові пальці. Індикатор підводять до контрольованої поверхні, після чого деталь повертають на 360° . Отриманні показання індикатора і являються величиною допуску биття або паралельності контрольованої деталі. Деталі вважається годною при різниці показання індикатора 300 мкм за оберт при контролі биття і 100 мкм при контролі паралельності.

4.2.2 Визначення похибок вимірювання і перевірка умов працездатності пристрою

Перевірку умов працездатності контрольного пристрою визначаємо за формулою [9, 12]:

$$\Delta_{\Sigma_{\text{вим}}} = \sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_{\text{вд}}^2 + \Delta_{\text{пп}}^2 + \Delta_{\text{вп}}^2 + \Delta_{\text{від}}^2 + \Delta_{\text{вг}}^2 + \Delta_{\text{взв}}^2} \leq [\Delta_{\text{вим}}],$$

де: Δ_{δ} - похибка базування контрольованої деталі, $\Delta_{\delta} = 0,02$ мм;

$\Delta_{\text{вд}}$ - похибка встановлення деталі, $\Delta_{\text{вд}} = 0,002$ мм;

$\Delta_{\text{пп}}$ - похибка передавального пристрою, $\Delta_{\text{пп}} = 0,03$ мм;

$\Delta_{\text{вп}}$ – похибка зазорів в рухомих з'єднаннях важільних передач, $\Delta_{\text{вп}} = 0,007$ мм;

$\Delta_{\text{від}}$ - похибка відліку, $\Delta_{\text{від}} = 0,2j$, де j – ціна поділки шкали вимірювального засобу, $\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot 0,01 = 0,002$ мм;

$\Delta_{\text{вг}}$ - похибка вимірювальної головки, $\Delta_{\text{вг}} = 0,01$ мм;

$\Delta_{\text{взв}}$ - похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\text{взв}} = 0,06$ мм;

$[\Delta_{\text{вим}}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,075$ мм.

Тоді:

$$\Delta_{\Sigma_{\text{вим}}} = \sqrt{0,02^2 + 0,002^2 + 0,030^2 + 0,007^2 + 0,002^2 + 0,01^2 + 0,06^2} = 0,070 \text{ мм}.$$

Умова виконується. Складальне креслення вимірювального пристосування представлено в додатках до роботи.

4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту

Різальний інструмент, який розглядається – зенкер, призначений для обробки попередньо сформованого отвору діаметром $\varnothing 49,5^{+0,46}$ мм.

Основне завдання зенкерування полягає у тому, щоб довести отвори, отримані після лиття, до потрібних параметрів. За допомогою цього інструмента здійснюють обробку внутрішніх циліндричних поверхонь, усуваючи дефекти лиття та надаючи отвору більш правильної, стабільної геометричної форми. Крім того, застосування зенкера дозволяє досягти вищої точності розмірів, покращити якість поверхні та забезпечити відповідність отвору встановленим технічним вимогам і допускам [7].

Вихідні дані:

- деталь – корпус НШ100А-3-01А;
- матеріал деталі – АК5М2Ц4 ДСТУ3925-99;
- верстат – обробний центр з ЧПУ Наас UMC-750;

Зенкер (рис. 4.7) являє собою збірний різальний інструмент, конструкція якого включає кілька основних елементів. Його робоча частина оснащена твердосплавними пластинами, які закріплені методом напаявання на гвинтові канавки. Інструмент має калібруючу ділянку завдовжки 155 мм, циліндричний хвостовик довжиною 120 мм та шийку довжиною 15 мм. Особливістю конструкції є наявність чотирьох гвинтових канавок, які розташовані під кутом 20° , що забезпечує стабільний відвід стружки та підвищує ефективність різання.

Матеріали, з яких виготовлені частини зенкера підібрані з урахуванням їх функцій та вимог до міцності. Так, робоча частина виготовляється із твердого сплаву марки ВК6, що вирізняється високою твердістю та зносостійкістю. Хвостовик виконують зі сталі 40, яка добре поєднує міцність і технологічність у механічній обробці. Для напаявання твердосплавних пластин застосовується латунний припій марки Л63, що забезпечує надійне з'єднання та витримує

навантаження під час експлуатації.

Зенкерування може виконувати подвійну роль: у деяких випадках воно є остаточним методом обробки отвору, який дозволяє отримати необхідні розміри й чистоту поверхні, а в інших випадках – виступає проміжною операцією перед подальшим розвертчуванням для досягнення ще вищої точності та якості обробленої поверхні.

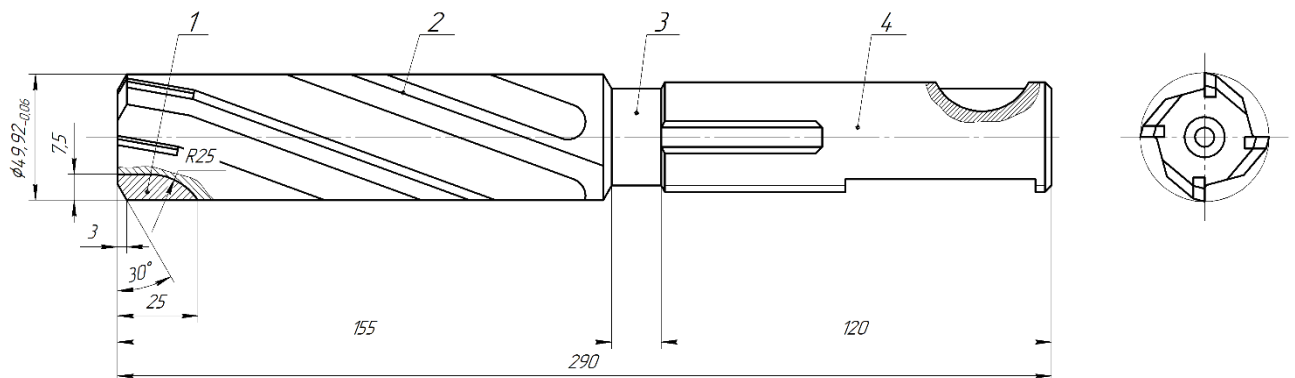


Рис. 4.7 Зенкер

1 – різальна пластина; 2 – калібруюча частина, 3 – шийка; 4 – хвостовик.

Геометрія торцевої частини зенкера:

- передній кут – 0°;
- задній кут на пластині – 12°;
- задній кут на корпусі – 30°.

Геометрія циліндричної частини зенкера:

- передній кут – 30°;
- задній кут на пластині – 15°;
- задній кут на корпусі – 40°;
- кут в плані ϕ – 0°.

Розробка конструкції зенкера

Діаметр зенкера приймаємо наближеним діаметру оброблюваного отвору, з врахуванням допуску та умов обробки: $D_z = \text{Ø}49,92_{-0,06}$ мм.

Визначаємо геометричні і конструктивні параметри різальної частини зенкера, приймаємо: кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 20^\circ$.

Розраховуємо крок гвинтової канавки:

$$H = \pi D \operatorname{ctg} 20^{\circ} = 3,14 * 49,92 * 0,2126 = 33,34 \text{ мм.}$$

Приймаємо величину зворотної конусності на довжині твердосплавної напаяної пластини: 0,15 мм.

Технічні вимоги на зенкер, оснащений пластинами із твердого сплаву:

1. 37...42 HRC корпусу, не менше 88,5 HRA різальної пластини.
2. Невказані граничні відхилення розмірів H14, h14, Js14.
3. Паяти латунню марки Л63.
4. Крок гвинтової канавки $S \sim 33,34$ мм.
5. Маркувати позначення: Ø49,92 BK6.
6. Інші технічні вимоги по 3231-71.
7. Застосовується для обробки отв. $\text{Ø}49,5^{+0,46}$ мм в деталі корпус НШ100А-3-01А, на обробному центрі з ЧПУ Haas UMC-750.

В додатках до роботи представлено складальне креслення зенкера.

4.4 Висновки

Конструкція розробленого затискного пристосування на операцію 025 «Комплексна з ЧПУ» забезпечить швидке, надійне та безпечне закріплення деталі та отримання необхідної точності під час обробки деталі корпус НШ100А-3-01А на обробному центрі Haas UMC-750.

Розроблена конструкція контрольного пристрою дасть змогу контролювати допуск биття 0,3 мм бурта Ø90 мм відносно базових отворів і допуску паралельності 0,1 мм площин А, Б в деталі корпус НШ100А-3-01А. Параметри, що контролюються пристроєм мають суттєвий вплив на загальну якість шестеренного насосу.

Розроблена конструкція різального інструменту – зенкера, дозволить виконувати обробку зливного отвору корпусу насосу на обробному центрі Haas UMC-750 із необхідною точністю та якістю.

РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць, зайнятих у виготовленні даних деталей, розраховуємо у такій послідовності.

Кількість робочих місць на операціях проектного техпроцесу деталі «корпус НШ100А-3-01А» визначаємо за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot k_{\text{в}}}, \quad (5.1)$$

де $t_{um(i)}$ - штучний час i -ої операції, хв.;

$F_{\text{дрм}}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин;

$k_{\text{в}}$ - нормативний коефіцієнт виконання норм часу ($k_{\text{в}} = 1,0-1,1$ [2, 6]).

На операції 005 техпроцесу обробки деталі:

$$q_{p(010)} = \frac{6000 \cdot 2,642}{4160 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,064.$$

Аналогічно виконуємо розрахунки по інших операціях техпроцесів, та зводимо до таблиці 5.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}}; \quad (5.2)$$

$$\eta_{z(010)} = \frac{0,064}{1} = 0,064.$$

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,414}{10} = 0,041 \quad (5.3)$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць;

m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ опер.	Найменування операції	$t_{шт}, \text{хв.}$	Кількість обладнання		η_z	$\overline{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
010	Спеціальна токарна	2,642	0,064	1	0,064	0,04
015	Спеціальна токарна	1,11	0,027	1	0,027	
020	Агрегатна	1,152	0,028	1	0,028	
025	Комплексна з ЧПК	7,416	0,178	1	0,178	
030	Токарно-гвинторізна	0,576	0,014	1	0,014	
035	Алмазно-розточна	0,624	0,015	1	0,015	
040	Токарно-гвинторізна	0,559	0,013	1	0,013	
045	Алмазно-розточна	1,176	0,028	1	0,028	
050	Вертикально-свердлильна	0,984	0,024	1	0,024	
060	Різьбонарізна	0,987	0,024	1	0,024	
	Всього	17,226	0,414	10	0,414	

Середній коефіцієнт завантаження по цеху $\overline{\eta}_z = 0,04$, що відповідає встановленому раніше дрібносерійному типу виробництва (ДС) [2].

5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать: розмір партії деталей; кількість запусків партії деталей; періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей; тривалість операційних та технологічних циклів обробки деталі; розмір циклового запасу деталей.

Розмір партії деталей розраховуємо у два етапи: спочатку визначимо розрахунковий розмір партії, а потім цю величину скорегуємо з урахуванням виробничих умов.

Для визначення розрахункового розміру партії деталей n_p скористаємося методом, який застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі є трудомісткі за переналагоджуванням операції (підготовчо-заклучний час перевищує 30 хв.) [2, 6]. В цьому випадку, розрахунковий розмір партії деталей:

$$n_p = \frac{t_{n-3}^{np}}{t_{um}^{np} \cdot k_{\partial}}, \quad (5.4)$$

де $t_{n-3}^{np}, t_{шт}^{np}$ - відповідно підготовчо-заключний і штучний час «провідної» операції технологічного процесу, хв. (за «провідну» приймається операція, для якої відношення $t_{n-3}^{np} / t_{шт}^{np}$ є найбільшим);

k_d - коефіцієнт припустимих втрат часу на переналагоджування (для металорізального обладнання приймається у розмірі 0,05).

$$n_p = \frac{35}{1,152 \cdot 0,05} = 608 \text{ шт.}$$

Для спрощення планування та обліку, партія деталей повинна укладатися в річну програму запуску ціле число разів. Тому, після визначення розрахункової кількості партій протягом року за формулою:

$$A_p = \frac{N_3}{n_p} = \frac{6000}{608} \approx 10, \quad (5.5)$$

визначимо фактичну кількість партій (A_ϕ) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду: 1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250, і скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_ϕ , розмір партії деталей:

$$A_\phi = 12.$$

$$n_{np} = \frac{6000}{12} = 500 \text{ шт.} \quad (5.6)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_3 = \frac{253}{12} = 21,1 \text{ роб. днів,} \quad (5.7)$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу межопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-d(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (5.8)$$

де n_{np} - остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{\kappa-\partial(i)}$ – калькуляційно-дійсний час на даній деталі-операції, хв.

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{um(i)}}{k_{\kappa} \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-3(i)}}{n_{np}}, \quad (5.9)$$

де k_{κ} - коефіцієнт виконання норм на даній операції;

$p_{m(i)}$ - технологічна партія деталей (кількість деталей, що одночасно оброблюються в багатопозиційному пристосуванні), шт.

$q_{np(i)}$ - кількість робочих місць, які працюють на даній операції паралельно.

Наприклад, для першої операції техпроцесу:

$$t_{\kappa-\partial(010)} = \frac{2,642}{1,0 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{22}{500} = 2,686 \text{ хв.}$$

$$T_{o(010)} = \frac{500 \cdot 2,686}{2 \cdot 440} = 1,53 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зводимо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ опер.	Найменування операції	t_{um} , хв.	t_{n-3} , хв.	$t_{\kappa-\partial}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
010	Спеціальна токарна	2,642	22	2,686	1,53	0,5
015	Спеціальна токарна	1,11	22	1,154	0,66	0,5
020	Агрегатна	1,152	35	1,222	0,69	0,5
025	Комплексна з ЧПК	7,416	35	7,486	4,25	0,5
030	Токарно-гвинторізна	0,576	10	0,596	0,34	0,5
035	Алмазно-розточна	0,624	10	0,644	0,37	0,5
040	Токарно-гвинторізна	0,559	15	0,589	0,33	0,5
045	Алмазно-розточна	1,176	15	1,206	0,69	0,5
050	Вертикально-свердлильна	0,984	10	1,004	0,57	0,5
060	Різьбонарізна	0,987	12	1,011	0,57	0,5
	Всього	17,226	-	17,598	10,00	5,0

Для даної партії деталей може бути обраний послідовний рух, який рекомендується приймати при груповому розташуванні обладнання, невеликій масі деталей та тривалості операційних циклів, що в середньому не перевищують два дні [2].

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 10,0 + 5,0 = 15,0 \text{ днів}, \quad (5.10)$$

де t_{mo} - час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,5 \cdot 10,00}{10} = 0,5 \text{ дні}. \quad (5.11)$$

Графік послідовного виду руху партії деталей «корпус» представлено на рисунку 5.1.

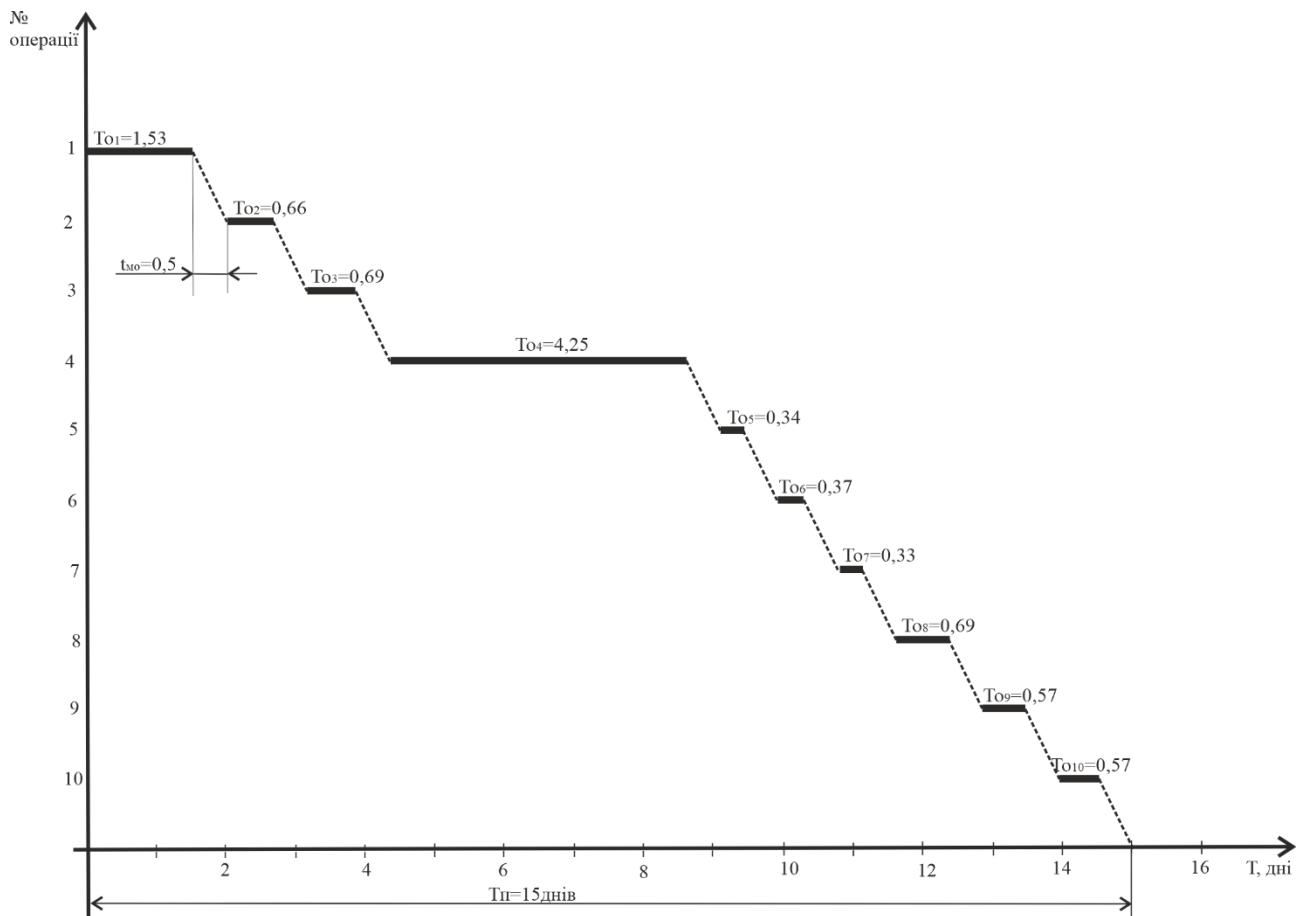


Рис. 5.1 Графік послідовного виду руху партії деталей «корпус» $n=500$ шт.

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_u = \frac{n_{np} \cdot T_u}{R_z} = \frac{500 \cdot 15,0}{21,1} = 356 \text{ шт.}, \quad (5.12)$$

де T_u - тривалість виробничого циклу виготовлення партії деталей, дн.

5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху

До основних належать робітники, безпосередньо зайняті виконанням технологічних операцій. Їх чисельність у серійному виробництві визначається за формулою:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{op}}, \quad (5.13)$$

де T_p - трудомісткість річної виробничої програми, нормо-годин.

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{дов} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (5.14)$$

де $K_{дов}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного (η_{zn}) для даного типу виробництва [2]:

$$K_{дов} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,95}{0,04} = 23,75 \quad (5.15)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15...20\%$ [2, 6];

F_{op} - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год. (залежить від номінального фонду часу поточного року F_n , зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин C_n (8...10%)):

$$F_{op} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (5.16)$$

$$T_p = 6000 \cdot \frac{17,226}{60} \cdot 23,75 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 49094,1 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{49094,1}{1840} = 27 \text{ осіб.}$$

5.4 Висновки

У розділі виконано розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнтів його завантаження, календарно-планових нормативів, визначено чисельність основних робітників цеху по виробництву деталі корпус НШ100А-3-01А.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

Для визначення доцільності впровадження запропонованого варіанту техпроцесу механічної обробки деталі «корпус НШ100А-3-01А», проведемо його економічний аналіз [2, 6] шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P, \quad (6.1)$$

де V – змінні витрати у технологічній собівартості, величина яких змінюється пропорційно зміні обсягу випуску продукції, грн./рік.

P – постійні витрати, величина яких не змінюється або змінюється неістотно в залежності від зміни річного випуску продукції грн./рік.

При цьому, аналізувати та порівнювати доцільно лише ті операції та статті витрат, які відрізняються у базовому та проектному техпроцесах (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Характеристика змін при обробці деталі «корпус НШ100А-3-01А»

Номер опер.	Базовий варіант		Номер опер.	Проектний варіант	
	Модель обладнання	t_{um} , хв.		Модель обладнання	t_{um} , хв.
025	1K283	3,84	025	Haas UMC-750	7,416
030	ГМ3226	0,428			
040	AM11433	1,63			

6.1.1 Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку [2, 6] змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{еп}, \quad (6.2)$$

де M_o – вартість основних матеріалів (не розраховується, оскільки не змінюється в порівнюваних варіантах), грн.;

$Z_{одв}$ – заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на матеріали допоміжні, грн.;

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального різального інструменту, грн.;

$B_{ам.у}$ – витрати на амортизацію універсального обладнання, грн.;

$B_{ен}$ – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову з урахуванням єдиного соціального внеску:

$$З_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (6.3)$$

де $C_{z(i)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду i -тої операції техпроцесу, грн./год.;

$t_{ум(i)}$ - штучний час i -тої операції, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти, які враховують відповідно додаткову заробітну плату та відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок).

$$З_{одв.баз} = \frac{127,847 \cdot (3,84 + 0,428 + 1,63)}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 16,8654 \text{ грн.}$$

$$З_{одв.пр} = \frac{127,847 \cdot 7,416}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 21,2061 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язані з утриманням та експлуатацією обладнання. Їх характеристики зведено до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина×ширина, м	Потужність електро-двигунів верстата, кВт	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Ціна, тис. грн.
Базовий варіант					
1K283	3,070×2,945	40	14/15	9,04	420,0
ГМ3226	1,660×1,200	10	12/8	1,99	93,0
АМ11433	5,000×4,400	36,05	34/21	22,0	1800,0
Проектний варіант					
Haas UMC-750	0,762×0,559	21	21/12	0,43	6950,0

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_e \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_\partial}{\eta_e \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{um}}{60} \cdot \Pi_{el}, \quad (6.4)$$

де N_e – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_o = 0,65 \dots 0,8$;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,5...0,6 – для токарних, 0,6...0,7 – для фрезерних верстатів);

K_∂ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_\partial = 0,3 \dots 0,5$;

η_e – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_e = 0,92 \dots 0,96$;

η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m = 0,86 \dots 0,9$;

Π_{el} – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

Наприклад, для операцій 025 проєктного техпроцесу:

$$E_{c.пр} = \frac{2,4 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{7,416}{60} \cdot 18,10 = 1,5414 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Розрахунок витрат на електроенергію

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	N_e , кВт	K_N	t_{um} , хв.	$E_{c.баз}$, грн.	№ опер.	N_e , кВт	K_N	t_{um} , хв.	$E_{c.пр}$, грн.
025	40	0,8	3,84	13,3018	025	2,4	0,8	7,416	1,5413
030	10	0,6	0,428	0,2780					
040	36,05	0,8	1,63	4,8184					
Всього	-	-	5,898	18,3982	Всього	-	-	7,416	1,5413

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{F_{дрм}} \cdot \frac{t_{um}}{60}, \quad (6.5)$$

де W_m , W_e – витрати на всі види ремонту та обслуговування за ремонтний цикл, які припадають на одиницю ремонтної складності, відповідно механічної та електричної частини обладнання, грн.;

R_m, R_e – категорія ремонтної складності відповідно механічної та електричної частин обладнання, УРО;

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.

$$B_{р.пр} = \frac{980 \cdot 21 + 750 \cdot 12}{4160} \cdot \frac{7,416}{60} = 0,8789 \text{ грн.}$$

Виконуємо розрахунки за іншими операціями, та зводимо до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Розрахунок витрат на ремонт обладнання

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	W_m , УРО	W_e , УРО	$t_{ум}$, хв.	$B_{р.баз}$, грн.	№ опер.	W_m , УРО	W_e , УРО	$t_{ум}$, хв.	$B_{р.пр}$, грн.
025	14	15	3,84	0,3842	025	21	12	7,416	0,8789
030	12	8	0,428	0,0305					
040	34	21	1,63	0,3204					
Всього	-	-	5,898	0,7351	Всього	-	-	7,416	0,8789

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{св} \cdot R_m \cdot t_{ум}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\epsilon}, \quad (6.6)$$

де $M_{св}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

K_{ϵ} – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.пр} = \frac{78,5 \cdot 21 \cdot 7,416}{100 \cdot 60} \cdot 0,85 = 1,7319 \text{ грн.}$$

Виконуємо розрахунки за іншими операціями та зводимо до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

Базовий варіант				Проектний варіант			
№ опер.	W_m , УРО	$t_{ум}$, хв.	$B_{мд.баз}$, грн.	№ опер.	W_m , УРО	$t_{ум}$, хв.	$B_{мд.пр}$, грн.
025	14	3,84	0,5979	025	21	7,416	1,7319
030	12	0,428	0,0571				
040	34	1,63	0,6163				
Всього	-	5,898	1,2713	Всього	-	7,416	1,7319

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}}, \quad (6.7)$$

де $\Phi_{бал}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$\Phi_{бал} = \Pi_{опт} \cdot K_{тмф}, \quad (6.8)$$

де $\Pi_{опт}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{тмф}$ – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{ам.баз(025)} = \frac{420000 \cdot 1,19 \cdot 20 \cdot 3,84}{4160 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,95} = 1,6188 \text{ грн};$$

$$B_{ам.пр(025)} = \frac{6950000 \cdot 1,16 \cdot 15 \cdot 7,416}{4160 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,95} = 37,8212 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{ен} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (6.9)$$

де $S_{од}$ – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, м²;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [2, 6].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією 1 м² виробничого приміщення, грн.

$$B_{ен.пр(025)} = \frac{0,43 \cdot 4,0 \cdot 780}{4160 \cdot 0,95} \cdot \frac{7,416}{60} = 0,0420 \text{ грн.}$$

Виконуємо розрахунки за іншими операціями та зводимо до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Розрахунок витрат на утримання приміщення

Базовий варіант						Проектний варіант					
№ опер.	$S_{од}, \text{м}^2$	k_f	$S_{од} \times k_f, \text{м}^2$	$t_{ум}, \text{хв.}$	$B_{ен.баз}, \text{грн.}$	№ опер.	$S_{од}, \text{м}^2$	k_f	$S_{од} \times k_f, \text{м}^2$	$t_{ум}, \text{хв.}$	$B_{ен.пр}, \text{грн.}$
025	9,04	2,5	22,6	3,84	0,2855	025	0,43	4,0	1,72	7,416	0,0420
030	1,99	4,0	7,96	0,428	0,0112						
040	22,0	1,5	33	1,63	0,1769						
Всього	-	-	63,56	5,898	0,4736	Всього	-	-	1,72	7,416	0,0420

6.1.2 Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (6.10)$$

де $B_{нал}$ – витрати на налагодження обладнання, грн.;

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн (у порівнюваних варіантах відсутні);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання, грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення управляючої програми верстату з ЧПК, грн.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{зн} \cdot \frac{t_{н-з}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (6.11)$$

де $C_{зн}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.;

$t_{н-з}$ – підготовчо-заключний час даної операції, хв.;

A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень за рік.

$$B_{нал.баз} = \frac{170,464 \cdot (25 + 30) + 144,892 \cdot 16}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 3138,61 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.пр} = \frac{170,464 \cdot 16}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 732,04 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію спеціального обладнання:

$$B_{ам.сп} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a}{100}, \quad (6.12)$$

де $\Phi_{бал}$ – балансова вартість спеціального обладнання, грн.

$$B_{ам.сп.баз} = \frac{(1800000 + 93000) \cdot 1,19 \cdot 20}{100} = 450534,0 \text{ грн.}$$

Витрати на створення управляючої програми:

$$B_{пр} = T_{пр} \cdot Z_{год} \cdot K_{дс}, \quad (6.13)$$

де $T_{пр}$ – трудомісткість підготовки управляючої програми, яка враховує трудомісткість розробки операційної карти техпроцесу, керуючої програми, карт налагодження інструменту, карти кодування інформації, год.;

$Z_{год}$ – середньогодинна заробітна плата інженерів з підготовки управляючої програми, грн./год.;

$K_{дс}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату та єдиний соціальний внесок.

$$B_{пр.пр} = 98,5 \cdot 142,045 \cdot 1,342 = 18776,56 \text{ грн.}$$

6.1.3 Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зводимо до таблиці 6.7.

Таблиця 6.7

Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий	Проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	16,8654	21,2061
1.2	Електроенергія силова	18,3982	1,5413
1.3	Ремонт обладнання	0,7351	0,8789
1.4	Матеріали допоміжні	1,2587	1,7319
1.5	Амортизація універсального обладнання	1,6188	37,8212
1.6	Експлуатація приміщень	0,4736	0,0420
	Всього змінних витрат	39,3498	63,2214
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	3138,61	732,04
2.2	Амортизація спеціального обладнання	450534,0	-
2.3	Програмне забезпечення	-	18776,56
	Всього постійних витрат	453672,6	19508,60
	Технологічна собівартість річного випуску деталей	689771,4	398837,0

Технологічна собівартість:

$$C_{\text{тех.баз}} = 39,3498 \cdot 6000 + 453672,60 = 689771,4 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{тех.пр}} = 63,2214 \cdot 6000 + 19508,60 = 398837,0 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «корпус НШ100А-3-01А» $N_3=6000$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Для розмежування області ефективного використання того чи іншого варіанту технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{\text{кр}}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{\text{тех.баз}} = C_{\text{тех.пр}}$:

$$N_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{баз}}}{V_{\text{баз}} - V_{\text{пр}}} = \frac{19508,60 - 453672,60}{39,3498 - 63,2214} = 18187 \text{ шт.} \quad (6.14)$$

Висновок: за програми запуску деталі «корпус», яка перевищує 18187 шт. доцільно застосовувати базовий варіант технологічного процесу механічної обробки, а за програми запуску-випуску даної деталі, яка менше значення $N_{кр}$, у тому числі для заданої програми $N_3=6000$ шт., ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки корпусу НШ100А-3-01А.

6.1.4 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (6.15)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{баз}$, $K_{пр}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів техпроцесу, грн.

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $\Phi_{бал}$ (табл. 6.4), оснащення $B_{осн}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{буд}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих детале-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{zi}, \quad (6.16)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot \Pi_{буд}, \quad (6.17)$$

де h - висота приміщення цеху, м;

$\Pi_{буд}$ – ціна 1м² виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м³.

$$K_{буд.баз} = 63,56 \cdot 8 \cdot 5500 = 2796640 \text{ грн.}$$

$$K_{буд.пр} = 1,72 \cdot 8 \cdot 5500 = 75680 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = (420000 + 1800000 + 93000) \cdot 1,19 = 2752470 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.нр}} = 6950000 \cdot 1,16 = 8270500 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2796640 + 2752470) \cdot \frac{0,092 + 0,010 + 0,039}{3} = 260808 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{нр}} = (75680 + 8270500) \cdot 0,178 = 1485620 \text{ грн.}$$

$$E_p = (689771 + 0,16 \cdot 260808) - (398837 + 0,16 \cdot 1485620) = 95000 \text{ грн.}$$

Для впровадження нового технологічного процесу необхідні додаткові капітальні вкладення, визначимо строк їх окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{нр}} - K_{\text{баз}}}{C_{\text{тех.баз}} - C_{\text{тех.нр}}} = \frac{1485620 - 260808}{689771 - 398837} = 4,2 \text{ роки.} \quad (6.18)$$

6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталей визначається як сума калькуляційних статей витрат [2, 6]:

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{\text{од}} + B_c + B_{\text{ін}} + B_o + B_{\text{ц}}, \quad (6.19)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

$Z_{\text{од}}$ - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.;

$B_{\text{ін}}$ - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$B_{\text{ц}}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot \Pi_m \cdot K_{\text{тр}} - a_{\text{в}} \cdot \Pi_{\text{в}}, \quad (6.20)$$

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (алюмінієвий сплав АК5М2Ц4), кг;

Π_m - ціна матеріалу, грн./кг.;

$K_{\text{тр}}$ - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати на зберігання матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

$a_{\text{в}}$ - маса відходів, кг.;

$\Pi_{\text{в}}$ - ціна відходів, грн./кг.

$$M_o = 6,82 \cdot 123,03 \cdot 1,05 - (6,82 - 5,252) \cdot 18,60 = 851,853 \text{ грн.};$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{od} = P_{\epsilon} (1 + K_o), \quad (6.21)$$

де P_{ϵ} - відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{on(i)}$:

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{zod_i}^{\epsilon} \cdot t_{um-\kappa_i}}{60}, \quad (6.22)$$

де $e_{zod_i}^{\epsilon}$ - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

$t_{um-\kappa_i}$ - штучно-калькуляційний час i -ої операції технологічного процесу, хв.:

n_{np} – розмір партії деталей, шт.

На першій операції техпроцесу обробки деталі:

$$P_{on(005)} = 127,847 \cdot \frac{2,710}{60} = 5,7744 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
010	Спеціальна токарна	2,710	4	127,847	5,7744
015	Спеціальна токарна	1,178	4	127,847	2,5101
020	Агрегатна	1,260	4	127,847	2,6848
025	Комплексна з ЧПК	7,524	4	127,847	16,0320
030	Токарно-гвинторізна	0,607	4	127,847	1,2934
035	Алмазно-розточна	0,655	4	127,847	1,3957
040	Токарно-гвинторізна	0,606	4	127,847	1,2913
045	Алмазно-розточна	1,222	4	127,847	2,6038
050	Вертикально-свердлильна	1,015	3	115,062	1,9465
060	Різьбонарізна	1,025	3	115,062	1,9656
	Всього	17,802	—	—	37,498

Отже, заробітна плата:

$$Z_{od} = 37,498 \cdot (1 + 0,1) = 41,247 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = Z_{od} \cdot \frac{K_c}{100}, \quad (6.23)$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

$$B_c = 41,247 \cdot \frac{22}{100} = 9,074 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 40-55 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{ocn} = 40 \cdot \frac{17,226}{60} = 11,484 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = Z_o \cdot \frac{P_{eo}}{100}, \quad (6.24)$$

де P_{eo} - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

$$B_o = 37,498 \cdot \frac{320}{100} = 119,994 \text{ грн.}$$

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{\text{ц}} = Z_o \cdot \frac{P_{\text{ц}}}{100}, \quad (6.25)$$

де $P_{\text{ц}}$ – процент цехових витрат.

$$B_{\text{ц}} = 37,498 \cdot \frac{240}{100} = 89,995 \text{ грн.}$$

Калькуляцію цехової собівартості деталей зведено до таблицю 6.9.

Таблиця 6.9

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	851,853
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	37,498
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3,750
4.	Відрахування у соціальні фонди	9,074
5.	Експлуатація спеціального оснащення	11,484
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	119,994
7.	Цехові витрати	89,995
8.	Всього цехова собівартість $C_{\text{ц}}$	1123,648

6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників

Крім показників, розрахованих у попередніх розділах кваліфікаційної роботи, слід додатково визначити такі:

- *виробіток продукції на одного робітника:*

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{49094}{27} = 1818,3 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (6.26)$$

де T_p – трудомісткість річної виробничої програми цеху, нормо-год.;

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб.

- *зарплатомісткість продукції:*

$$З_{zn} = \frac{З_{од}}{C_{ц}} \cdot 100, \quad (6.27)$$

де $З_{од}$ – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

$C_{ц}$ - цехова собівартість деталі, грн.

$$З_{zn} = \frac{41,247}{1123,648} \cdot 100 = 3,7\%$$

- *матеріаломісткість продукції:*

$$З_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100, \quad (6.28)$$

де M_o – матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів у собівартості деталі, грн.

$$З_{mn} = \frac{851,853}{1123,648} \cdot 100 = 75,8\%$$

- *собівартість товарної продукції цеху:*

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} \quad (6.29)$$

де N_z - річна програма запуску деталей, шт./рік.

$$C_{mn} = 1123,648 \cdot 6000 \cdot 23,75 = 160119840 \text{ грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведено до таблиці 6.10.

Таблиця 6.10

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z), шт./рік	6000
2.	Трудовісткість виробничої програми (T_p), нормо-год.	49094
3.	Цехова собівартість деталі, грн.	191,6
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn}), тис. грн./рік	160120
5.	Чисельність основних робітників, осіб	27
6.	Виріток продукції на одного робітника, нормо-год.	1818,3
7.	Матеріаломісткість продукції, %	75,8
8.	Зарплатомісткість продукції, %	3,7
9.	Річний економічний ефект від впровадження проектного варіанту техпроцесу, грн.	95000
10.	Строк окупності додаткових капітальних витрат, років	4,2

6.4 Висновки

У розділі зроблено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого у даній роботі варіанту технологічного процесу. Цей аналіз виконано шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по базовому і проектному варіантах техпроцесів.

Визначено, що за програми запуску деталі «корпус», яка перевищує 18187 шт. доцільно застосовувати базовий варіант технологічного процесу її механічної обробки, а за програми запуску-випуску даної деталі, яка менше значення $N_{кр}$, у тому числі для заданої програми $N_z=6000$ шт., ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки деталі. Річний економічний ефект від впровадження проектного варіанту техпроцесу 95000 грн., а строк окупності додаткових капітальних витрат 4,2 роки.

Тож впровадження проектного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням геометрії спірального свердла» було здійснено аналіз сучасного стану технології свердління отворів, окреслено напрямок покращення показників процесу механічної обробки отворів свердлінням. Також розроблено вдосконалений технологічний процес виготовлення корпусу НШ100А-3-01А, на основі аналізу базового технологічного процесу.

У технологічному розділі здійснено аналіз конструкції деталі та операцій базового техпроцесу. Запропоновано в якості раціоналізаторського рішення, використання обробного центру з ЧПУ Haas UMC-750, що може знизити собівартість виробу, скоротити час на обробку деталі, зменшить кількість задіяного металорізального обладнання, різального інструменту, вимірювальних засобів, підвищить гнучкість виробництва. Для розробленого технологічного процесу здійснено підбір технічного забезпечення, зокрема: металорізальних верстатів, верстатних затискних пристосувань, різальних інструментів, вимірювальних засобів. Проведено розрахунки припусків на механічну обробку, режимів різання і технічне нормування операцій.

Розроблено конструкції затискного верстатного пристрою для обробного центру Haas UMC-750, контрольного пристосування та різального інструменту – зенкера. Виконано усі необхідні розрахунки.

Виконано економічний розрахунок доцільності впровадження розробленого технологічного процесу. Визначено, що ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки деталі. Річний економічний ефект від впровадження проектного варіанту техпроцесу 95000 грн., а строк окупності додаткових капітальних витрат 4,2 роки.

Всі прийняті у роботі технічні рішення супроводжуються необхідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник / В. О. Федорець, М. Н. Педченко, В. Б. Струтинський та ін. ; За ред. В. О. Федорця. – Київ: Вища школа, 1995. – 463 с.
2. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». / Укл. І.В. Журило, Л.М. Романюк – Кропивницький: ЦНТУ, 2017 – 25 с.
3. Кукляк М.Л., Афтаназів І. С., Юрчишин І. І. Металорізальні інструменти. Проектування / М.Л. Кукляк, І.С. Афтаназів, І.І. Юрчишин. – Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2003.– 556 с.
4. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід / В. Р. Кулінченко. – Київ: ІНКОС: Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
5. Металорізальні інструменти: підручник / Н. С. Равська – Житомир: ЖДТУ, 2016. – 612 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090202. Організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. / Укл.: Л.В. Лебедева. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 44 с.
7. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.
8. Методичні рекомендації до виконання самостійних робіт з дисципліни: «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Для здобувачів спеціальностей: 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / Укл.: О.І. Скібінський, В.М. Селехова. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 93 с.
9. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. – Кроп-цький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
10. Різальний інструмент. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 131

«Прикладна механіка», спеціалізацією «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. М. Данилова, С. В. Лапковський, В. П. Приходько. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с. – Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/items/fe806ad5-8bad-4998-8a3f-34a66740d882>.

11. Робоча професія: метод. вказ. до викон. практ. робіт / уклад. : А.Р. Апаракін, І.А. Валявський. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. - 80 с. – Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12088>.

12. Технологія машинобудування. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / Укл.: І.І. Павленко, А.М. Артюхов, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, М.О. Сторожук. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 68 с.

13. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах / Г.М. Стискін, М.П. Ревнівцев, В.В. Томашенко. М.М. Берізко. – К.: Техніка, 2005. – 512 с.

14. Швидкорізальна сталь [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкорізальна_сталь.

15. Haas Automation, Inc – CNC Machine Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/vf-series.html#gsc.tab=0>.

16. Kennametal – Products – Metalworking Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kennametal.com/us/en/products/metalworking-tools.html>.

17. Ogawa-tech – Manufacturing Knowledge – Basics of hole machining. Basic flow of hole drilling [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.tokyo-machinery.com/2024/05/22/005-milling-basics-of-hole-machining/>.

18. Oerlikon - Oerlikon Balzers Coating Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.oerlikon.com/balzers/at/en/coating-guide/?selector%5Bnode%5D=8>.

19. Pramanik, A., Basak, A.K. Effects of Input Parameters on the Hole Quality During the Drilling of Al Metal Matrix Composites. MDPI Designs? 2024. Vol. 8(6). Is. 111. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs8060111>.
20. PVD Coating Explained: Benefits and Applications in Modern Industries [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://at-machining.com/pvd-coating-explained>.
21. Sandvik Coromant – Metal cutting tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools>.
22. Sandvik Coromant – Metal cutting knowledge – Drilling [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling>.
23. Seco Tools Interactive Catalogues [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.secotools.com/article/84565>.
24. Walter – Tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.walter-tools.com/en-us/products>.