

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 параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні»

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

_____ Ярослав ПАНЬКІН

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

Панькіна Ярослава Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення деталі корпус із
дослідженням параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні

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 параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні, з метою підвищення ефективності механічної обробки.

Завдання:

1. Виконати аналіз сучасний стан технології фрезерування, визначити основні напрямки підвищення ефективності процесу механічної обробки.
2. Виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі корпус НШ10У-3-02 на підприємстві. На основі аналізу розробити рекомендації по підвищенню ефективності заводського технологічного процесу.
3. Розробити вдосконалений технологічний процес із підбором технологічного обладнання, різального та вимірювального інструментів, верстатних пристосувань. Виконати необхідні розрахунки припусків, режимів різання та провести технічне нормування операцій техпроцесу.
4. Виконати конструювання та розрахунок затискного верстатного пристосування, контрольно-вимірювального пристрою та різального інструменту із розробкою конструкторської документації.
5. Виконати необхідні економічні розрахунки запропонованих заходів по підвищенню ефективності заводського 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 _____ Ярослав ПАНЬКІН

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Ярослав ПАНЬКІН. Розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. – 89 с. Матеріали презентації 8 креслень.

Метою роботи є розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні, з метою підвищення ефективності механічної обробки.

У роботі виконано аналіз сучасного стану технології фрезерування, різального інструменту та обладнання, визначено основні тенденції розвитку, зокрема впровадження високошвидкісних стратегій різання. Виконано аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі корпус НШ10У-3-02 на підприємстві, та розроблено рекомендації по підвищенню ефективності. Розроблено вдосконалений технологічний процес із підбором технологічного обладнання, різального та вимірювального інструментів, верстатних пристосувань. Виконано необхідні розрахунки припусків, режимів різання та проведено технічне нормування. Виконано проектування верстатного пристосування, контрольно-вимірювального пристрою та різального інструменту. Проведено необхідні економічні розрахунки запропонованих заходів по підвищенню ефективності заводського технологічного процесу.

Актуальність. У сучасному машинобудуванні одним з найпоширеніших конструкційних матеріалів є алюмінієвий сплав, складність обробки якого полягає у чутливості до температурних перепадів та дії сили різання, особливо при обробці тонкостінних елементів. Саме тому актуальною задачею є дослідження шляхів зниження впливу силового фактору на якісні показники обробленої деталі. Одним із таких напрямків є обробка на підвищених і високих швидкостях різання.

Практичне значення. Встановлено залежності, що описують головну складову сили різання, шорсткість обробленої поверхні та температуру в зоні різання при зустрічному та попутному швидкісному фрезеруванні алюмінієвих сплавів. Отримані емпіричні формули бути використані технологами при призначенні режимів різання. Розроблено раціоналізований технологічний процес виготовлення деталі корпус, спроектовано верстатне пристосування, різальний інструмент та контрольний пристрій.

Ключові слова: швидкісне фрезерування, корпус, алюмінієвий сплав, режими різання, температура.

ABSTRACT

Yaroslav PANKIN. Development of a technology for manufacturing a housing part with research into the parameters of the cutting process during high-speed milling. Master's Thesis: CUNTU, 2025. – 89 p. Presentation materials: 8 drawings.

The purpose of the thesis is to develop a manufacturing technology for a housing part and to study the cutting process parameters during high-speed milling in order to improve the efficiency of machining operations.

The work includes an analysis of the current state of milling technology, cutting tools, and equipment, and identifies key development trends, particularly the implementation of high-speed cutting strategies. The basic manufacturing process of the NSH10U-3-02 housing part at the factory was analyzed, and recommendations for improving efficiency were formulated. An improved technological process was developed, including the selection of equipment, cutting and measuring tools, and machine fixtures. Necessary calculations of stock allowance, cutting modes, and technical standardization were performed. A machine fixture, measuring device, and cutting tool were designed. Economic calculations were conducted to evaluate the effectiveness of the proposed improvements to the factory process.

Relevance. In modern mechanical engineering, aluminum alloys are among the most widely used structural materials. Their machining is complicated by sensitivity to temperature changes and cutting forces, especially when processing thin-walled elements. Therefore, studying methods for reducing the influence of cutting forces on the quality of the machined surface is an important task. One of the promising approaches is machining at increased and high cutting speeds.

Practical value. Dependencies describing the main component of cutting force, surface roughness, and temperature in the cutting zone during up-milling and down-milling of aluminum alloys under high-speed conditions were established. The obtained empirical equations can be used by process engineers when selecting cutting parameters. A rationalized technological process for manufacturing the housing part was developed, along with a machine fixture, cutting tool, and inspection device.

Key words: high-speed milling, housing part, aluminum alloy, cutting parameters, temperature.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОЇ ФРЕЗЕРУВАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Загальні положення	8
1.2 Класифікація фрез, технологічні особливості методу	9
1.3 Сучасні фрезерні верстати, обробні центри	14
1.4 Висновки, постановка мети і задач дослідження	17
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯМ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ПРИ ШВИДКІСНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ	19
2.1 Постановка проблеми	19
2.2 Програма і методика дослідження	19
2.3 Отримані результати	20
2.4 Висновки і рекомендації	27
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	29
3.1 Службове призначення корпусу НШ10У-3-02	29
3.2 Розробка технології виготовлення корпусу	30
3.3 Висновки	56
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ	57
4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристосування	57
4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою	59
4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту	61
4.4 Висновки	65
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	66
5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	66
5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів	67
5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху	70
5.4 Висновки	71
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	72
6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу	72
6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі	81
6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	83
6.4 Висновки	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87

ВСТУП

Фрезерування у сучасному машинобудуванні є одним із ключових процесів механічної обробки, який забезпечує високу точність, якість та продуктивність при виготовленні деталей складної форми. Стрімкий розвиток інструментальних матеріалів, зносостійких покриттів, а також широке впровадження високошвидкісних стратегій обробки формують нові вимоги до технологічних процесів та призводять до необхідності їх оптимізації.

Обробка алюмінієвих сплавів, що широко застосовуються в авіаційній, машинобудівній та приладобудівній галузях, потребує особливої уваги. Висока теплопровідність, схильність до налипання стружки та чутливість до деформацій ускладнюють забезпечення стабільної якості поверхні, особливо для деталей із тонкими стінками. У таких умовах важливим стає не лише правильний вибір інструменту, а й глибоке розуміння процесів теплоутворення, впливу сили різання та ефективності відведення стружки.

Подальший розвиток технології фрезерування пов'язаний з інтеграцією високошвидкісної обробки, цифрових систем керування та інтелектуальних підходів до побудови траєкторій. Це дозволить підвищити продуктивність та точність, скоротити виробничі цикли й мінімізувати похибки. Саме тому, дослідження процесів різання актуальні і практично значущі для сучасних виробництв.

У роботі необхідно виконати дослідженням параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні та розробити рекомендації по підвищенню ефективності технології. Також, на основі аналізу заводського технологічного процесу обробки деталі корпус НШ10У-3-02 виконати розробку раціоналізованого технологічного процесу із впровадженням технічного рішення, що дозволить підвищити ефективність виробництва, скоротити витрати на виробництво та знизити собівартість продукції.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОЇ ФРЕЗЕРУВАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні положення

Фрезерування є одним із найбільш універсальних і поширених видів механічної обробки матеріалів різанням у машинобудуванні. Його сутність полягає у знятті припуску за допомогою багатолезового різального інструмента – фрези, що здійснює обертовий рух, тоді як поступальні переміщення (рух подачі) можуть виконувати заготовка або також інструмент. Завдяки поєднанню високої продуктивності, гнучкості та точності, фрезерування посідає ключове місце в сучасному машинобудуванні, авіаційній, автомобільній, оборонній, енергетичній та багатьох інших галузях промисловості.

Сучасні тенденції розвитку технології фрезерування визначаються, з одного боку, удосконаленням конструкції інструменту, а з іншого – переходом на високошвидкісні та високо-продуктивні режими обробки. Застосування твердосплавних пластин із оптимізованою геометрією нового покоління, зносостійких покриттів типу PVD і CVD [20], та спеціалізованих стратегій обробки, які забезпечують САМ-системи (високопродуктивна обробка (High Feed Milling), трохіодальне фрезерування, гвинтова інтерполяція), дозволяють значно підвищувати ефективність процесу. Такі методи забезпечують зниження теплового навантаження, підвищення ресурсу інструменту та зменшення сил різання, що особливо важливо під час обробки високоміцних і жаростійких матеріалів.

Не менш важливим є розвиток верстатного обладнання. Сучасні фрезерні центри [13] оснащуються системами числового програмного управління (ЧПУ), високоточними шпинделями, адаптивними системами вібродемпфування та автоматизованими інструментальними магазинами. Інтеграція цифрових технологій, таких як CAD/CAM-системи, дає можливість моделювати процес обробки, оптимізувати траєкторії та зменшувати ймовірність виникнення

помилки. Це сприяє підвищенню якості готових деталей, скороченню часу підготовки виробництва та підвищенню загальної ефективності.

Узагальнюючи, фрезерування на сучасному етапі є високотехнологічним процесом, що постійно удосконалюється. Поєднання прогресивних інструментальних матеріалів, інноваційних стратегій різання та сучасних автоматизованих систем керування робить його незамінним засобом виготовлення деталей складної геометрії з високими вимогами до точності та якості поверхні.

1.2 Класифікація фрез, технологічні особливості методу

На сьогодні, провідні виробники металорізального інструменту [17, 22, 24, 25, 27] мають у своїх модельних рядах усі можливі типи фрез, щоб задовільнити запити споживачів. Сучасні фрези поділяються, переважно, за:

- призначенням (за видом оброблюваних поверхонь, які вони здатні відтворити);
- за видом обробки (чистова, чорнова);
- конструкцією (суцільнометалева, збірна, зі змінними пластинами);
- тип хвостовика чи приєднувальної частини (впливає на вибір патрона чи оправки, отже на точність обробки).

Для зручності підбору оптимального варіанту фрези, використовується наступна карта оброблюваних поверхонь та стратегій обробки, рис. 1.1 [25].

Перш за все, схема рис. 1.1 впливає на форму та конструкцію фрези, бо з огляду на обраний варіант, вибір буде проходити між циліндричними, торцевими, кінцевими (кінцевими твердосплавними), дисковими, кутовими, фасонними, модульними фрезами; фрезами спеціального призначення: для пазів (у тому числі Т-подібних), шпонкових канавок, фасок, радіусів, різьби, гвинтових інтерполяцій.

Другим етапом [23] йде вибір основних особливостей інструменту: кількість зубців, форма різальної кромки, наявність хвостовика або посадкового отвору.

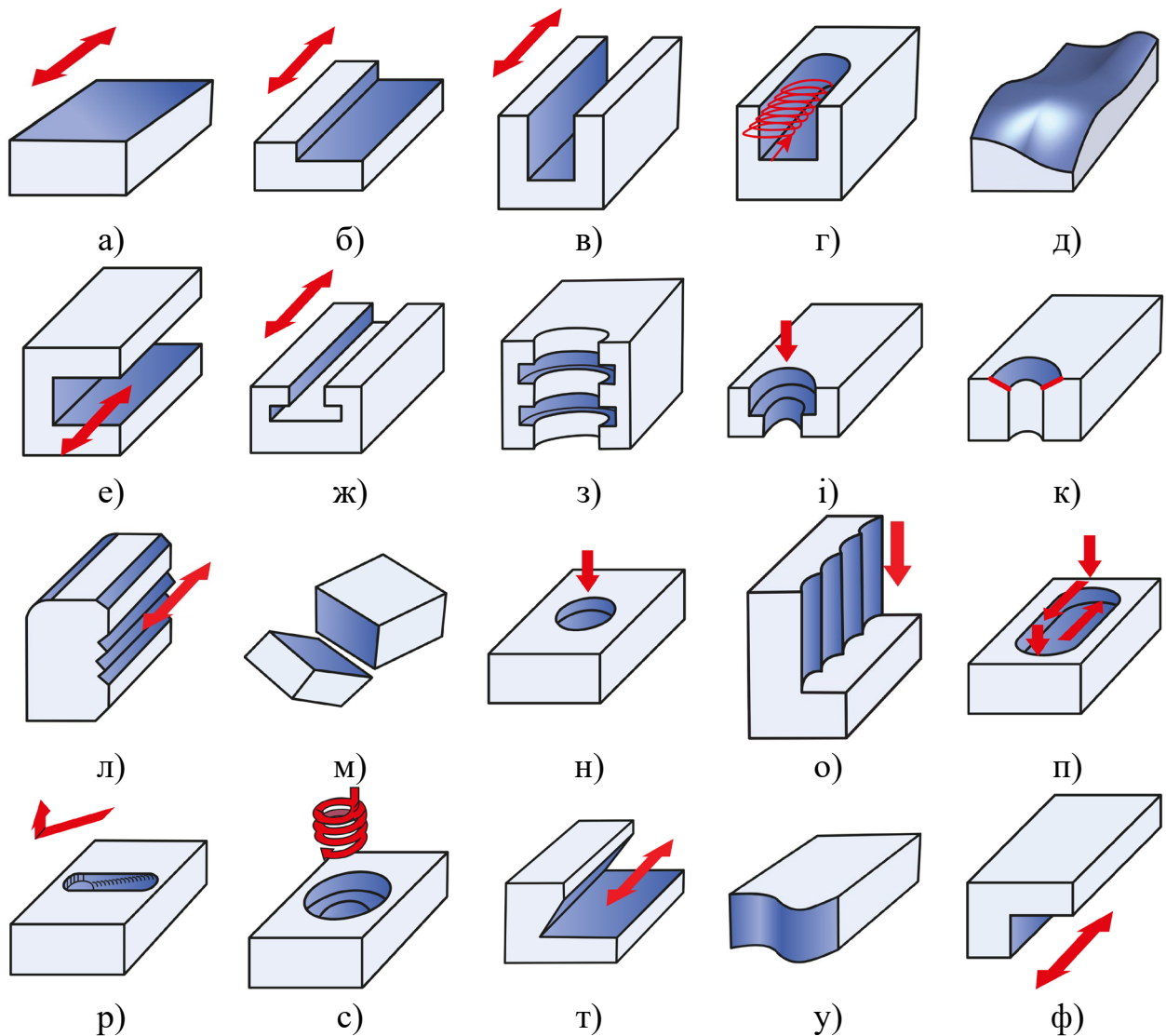


Рис. 1.1 Оброблювані поверхні та стратегії обробки при фрезеруванні

- а) фрезерування площини (торця); б) фрезерування уступів; в) вирізання пазів;
 г) трохідальне фрезерування; д) профілювання; е) фрезерування бічного паза;
 ж) фрезерування Т-подібних пазів; з) фрезерування внутрішніх канавок;
 и) розфрезерування під циліндричну головку гвинта; к) розфрезерування під конусну
 головку; л) зняття фаски та нарізання насічок; м) розрізання (фрезерування прорізів
 дисковою фрезою); н) свердло-фреза (комбінована операція: свердління + фрезерування);
 о) бокове занурення фрези; п) обробка зі ступінчастим заглибленням; р) похиле занурення
 (рампування); с) гвинтова інтерполяція; т) фрезерування пазу типу «ластівчин хвіст»;
 у) обробка кромки; ф) формування нижнього уступу.

При обробці деталей високої точності, обробці високоміцних матеріалів, чи при складних умовах обробки питанню щодо вибору конструкції фрези приділяють багато уваги, так як від конструкції інструменту залежить жорсткість, здатність до відведення стружки, допустимі режими різання. Від цього питання залежить вибір суцільнометалевої, конструкції зі змінними пластинами, чи модульної системи, рис. 1.2 [25]. Окремим питанням

розглядаються фрези для чорнової обробки, які призначені для роботи в умовах зрізання великих припусків, так звані «кукурудзяні» фрези рис. 1.2, г.



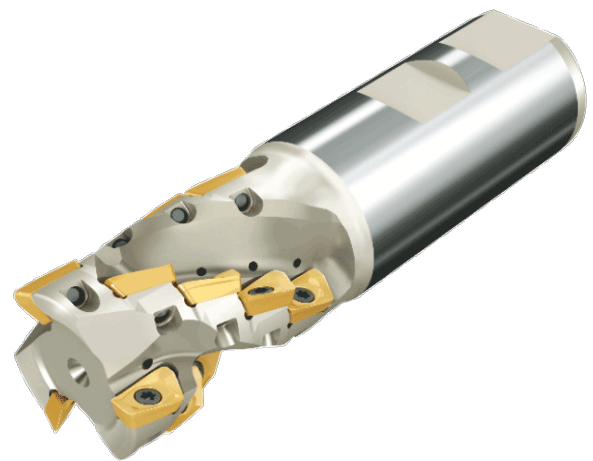
а)



б)



в)



г)

Рис. 1.2 Конструкції фрез

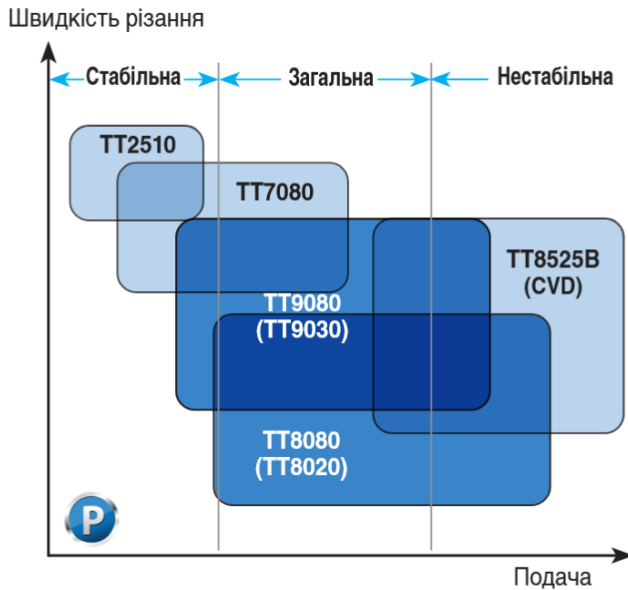
а) суцільнометалева (монолітна); б) зі змінними різальними пластинами;
в) модульні фрези; г) чорнова фреза.

Також, як на конструкцію корпусу, так і на геометрію різальної частини, може мати вплив призначення обробки специфічних матеріалів: алюмінієвих сплавів, нержавіючої сталі, титану, жароміцних сплавів.

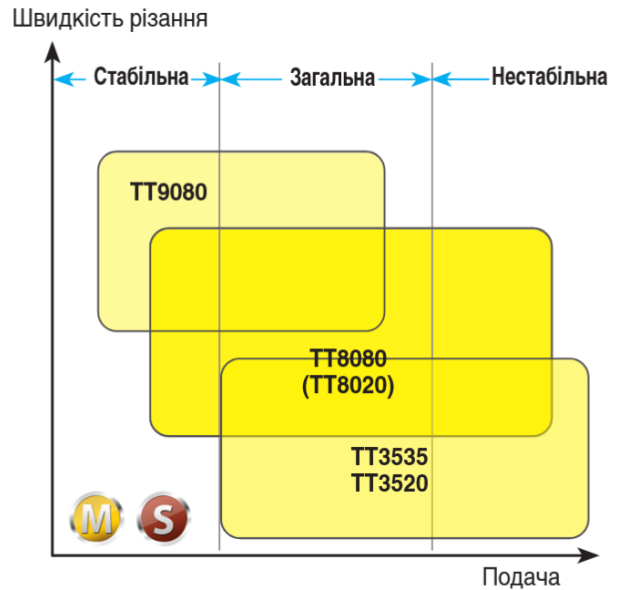
Від безпосередніх умов обробки (твердість заготовки, температурний режим і тип операції) залежить вибір матеріалу різальної частини: швидкорізальна сталь (HSS) [8, 15], твердий сплав (carbide), кераміка, CBN та

PCD. Для покращення зносостійкості, тепловідводу та коефіцієнту тертя, на різальну частину наносять покриття за методами PVD/CVD. До покриттів загального користування можна віднести TiN, TiAlN, AlTiN, AlCrN [18, 20]. Зони застосування типових сплавів для різних умов обробки показано на рис. 1.3, за даними виробника TAEGUTEC [25].

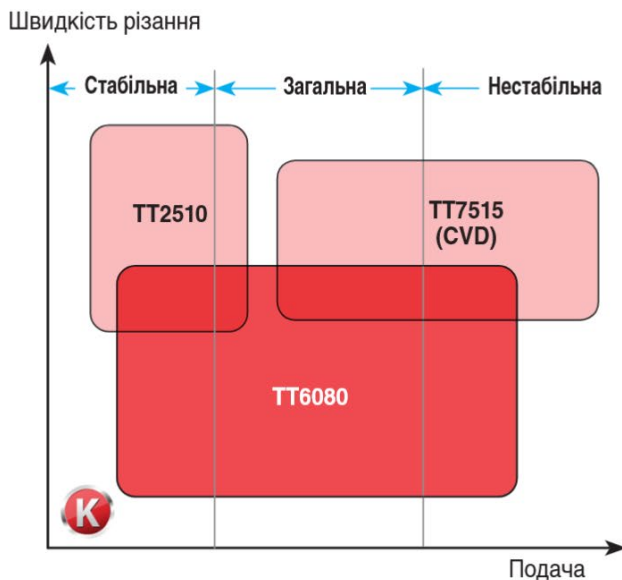
Для сталі



Для нержавіючих та жароміцних сталей



Для чавуна



Для загартованих матеріалів

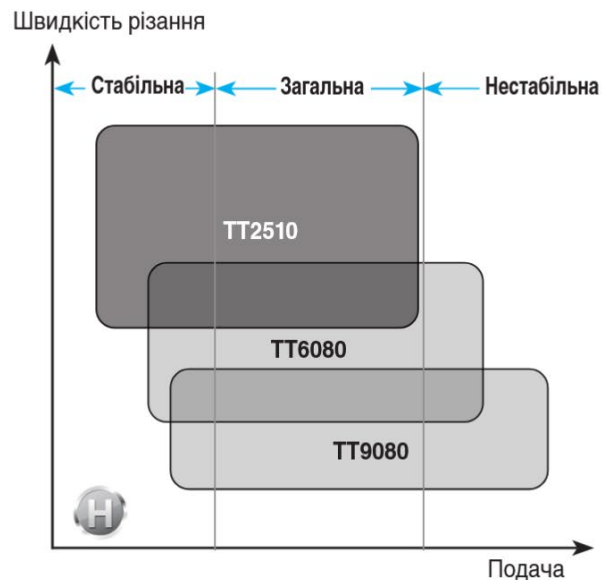


Рис. 1.3 Вибір матеріалу різальної частини інструменту

Як видно з рис. 1.3, як і більшість виробників, TAEGUTEC використовує власне позначення для марок твердих сплавів. Для загального розуміння, приведено табл. 1.1 із стандартним позначенням інструментальних матеріалів.

Таблиця 1.1

Сплави TAEGUTEC	Група застосування, ISO 513:2012	Характеристика та використання
K10 Твердий сплав	K05 - K15 N05 - N15 S05 - S15	Загальна обробка чавуну, алюмінієвих сплавів та кольорових металів
TT2510 PVD покриття	P05 - P25 H05 - H25	Високошвидкісна обробка високолегованої та загартованої сталі
TT3535 PVD покриття	M30 - M50 S30 - S50	Переривчаста та чорнова обробка нержавіючої сталі. Низька швидкість і переривчаста обробка Ті-сплаву і жаростійкого сплаву
TT3520 CVD покриття	M30 - M50 S30 - S50	Переривчаста та чорнова обробка нержавіючої сталі. Низька швидкість і переривчаста обробка Ті-сплаву і жаростійкого сплаву.
TT6080 PVD покриття	K05 - K25 H05 - H25	Загальна обробка сірого та високоміцного чавуну. Чистова та напівчистова обробка загартованих сталей
TT7080 PVD покриття	P05 - P25 K05 - K25	Фрезерування сталі. Для переривчастого різання чавуну
TT9080 PVD покриття	P20 - P40 M20 - M40 S20 - S40	Обробка сталі, нержавіючої сталі та жароміцних сплавів
TT9030 PVD покриття	P20 - P40 M20 - M40 S20 - S40	Обробка сталі, нержавіючої сталі та жароміцних сплавів
TT8080 PVD покриття	P30 - P50 M30 - M50 S30 - S50	Переривчаста та чорнова обробка сталі та нержавіючої сталі. Низькошвидкісна та переривчаста обробка жароміцних сплавів
TT8020 PVD покриття	P30 - P50 M30 - M50 S30 - S50	Переривчаста та чорнова обробка сталі та нержавіючої сталі. Низькошвидкісна та переривчаста обробка жароміцних сплавів
TT5515 PVD покриття	P10 - P30 M10 - M30 K10 - K30 S10 - S30 H10 - H30	Високошвидкісна обробка сталі та загартованої сталі. Обробка нержавіючої сталі, чавуну та жароміцних сплавів
TT5525 PVD покриття	P20 - P40 M20 - M40 S20 - S40	Обробка сталі, нержавіючої сталі та жароміцних сплавів
TT7515 CVD покриття	K05 - K25 H05 - H25	Чорнова обробка та високошвидкісне свердління вуглецевої та легованої сталі. Фрезерування нержавіючої сталі на середніх швидкостях
TT8525B CVD покриття	P30 - P45 M30 - M45	Чорнова обробка та високошвидкісне свердління вуглецевої та легованої сталі. Фрезерування нержавіючої сталі на середніх швидкостях

Безпосередньо процес розробки технологічної операції фрезерування включає в себе:

- вибір траєкторії, уточнення стратегії обробки;
- підбір величини подачі;
- підбір швидкості різання;
- вибір глибини та ширини фрезерування.

Важливими параметрами, які слід враховувати на цьому етапі є стійкість інструменту, динамічна жорсткість системи «верстат–інструмент–заготовка» та ефективність подачі мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) і відведення стружки.

Загалом, метод фрезерування відрізняє висока універсальність, можливість обробляти складні контури, ефективне зняття великих об'ємів матеріалу, точність і чистота отримуваної поверхні. І хоча існують деякі обмеження (потреба у високій жорсткості верстатної системи, залежність якості обробки від інструменту та режимів різання, ризик вібрацій при великому виносі фрези), правильний підбір фрези та параметрів процесу дозволяє значно зменшити негативні фактори.

1.3 Сучасні фрезерні верстати, обробні центри

Сучасні фрезерні верстати пройшли великий шлях та еволюціонували від конструкцій із механічними кінематичними ланцюгами до високоточних мехатронних автоматизованих систем. Головна тенденція розвитку на сьогодні – підвищення точності обробки, жорсткості, енергоефективності та автоматизація. Верстати нового покоління забезпечують стабільність процесу механічної обробки при високошвидкісному чи високопродуктивному фрезеруванні.

Основні типи фрезерних верстатів представлені [13] вертикальними (рис. 1.4, а), горизонтальними (рис. 1.4, б) компоновками; за призначенням: універсальні (рис. 1.4, в), багатовісеві (3-х, 4-х, 5-ти вісеві) обробні центри з ЧПУ (рис. 1.4, г).

Обробні центри (ОЦ) – це високофункціональні верстати з ЧПУ, які можуть виконувати багато видів операцій без переналагодження. Вони мають магазин змінного різального інструменту та систему автоматизованої його заміни, можливість багатокоординатного керування виконавчими органами та можливість обробки з кількох сторін за одну установку заготовок. Ці технологічні особливості дають змогу значно скоротити час виробництва та підвищити точність та повторюваність розмірів обробки за рахунок мінімізації похибок базування. Використовуються ОЦ в серійному, масовому та високоточному виробництві.



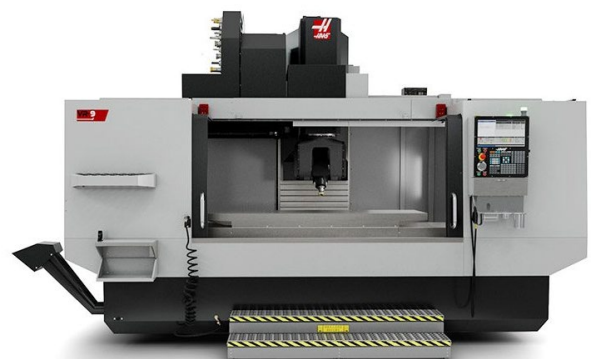
а)



б)



в)



г)

Рис. 1.4 Основні типи фрезерних верстатів

а) вертикальний; б) горизонтальний; в) універсальний; г) багатовісвий обробний центр.

Система ЧПУ є ключовим елементом сучасного фрезерного верстата, вона забезпечує керування рухами, корекцію інструменту та адаптивне регулювання режимів різання. До найбільш поширеніших систем ЧПУ можна віднести: Siemens, Fanuc, Heidenhain, Mazatrol, Haas. Вони мають підтримку тривимірної інтерполяції, високошвидкісної обробки (HSM), мають можливість точно відтворювати гвинтові та інші складні траєкторії, завдяки взаємодії з CAD/CAM-системами.

Також, відмінною рисою сучасного фрезерного верстата є модульність конструкції, висока уніфікація вузлів [13], використання високомоментних шпінделів та шпінделів із прямим приводом, лінійних направляючих, прецизійних кульково-гвинтових передач, ділільних-поворотних столів, рис. 1.5.

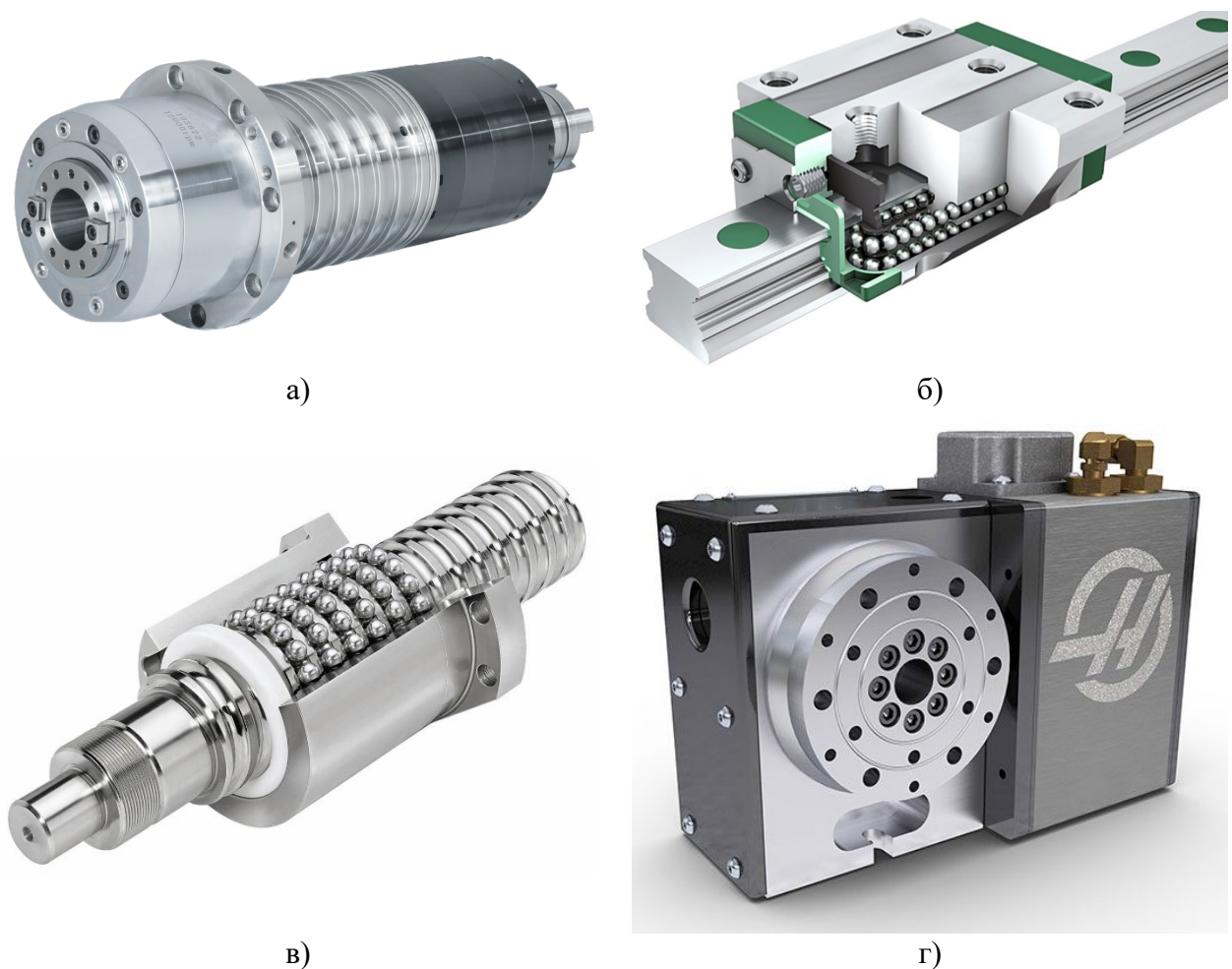


Рис. 1.5 Конструктивні модулі фрезерних верстатів

а) шпіндель із прямим приводом; б) лінійна напрямна; в) кульково-гвинтова передача; г) ділільно-поворотний стіл.

Велику увагу приділяють оптимізації конструкції для зменшення вібрацій, використовуючи литі станини, композитні матеріали та демпфуючі вставки. Також верстати оснащують додатковими допоміжними системами: автоматизованою системою подачі МОР та видалення стружки. Підтримка систем охолодження через інструмент підвищує ресурс фрез при обробці складних матеріалів та загалом покращує умови обробки.

Окрім механічних модулів, стрімкого розвитку і поширення набувають електронні та цифрові допоміжні системи, зокрема:

- інтеграція роботизованих маніпуляторів для подачі та заміни заготовок;
- датчики стану інструменту, системи моніторингу навантаження та вібрацій, контроль зносу в реальному часі;
- підтримка концепцій «розумного» виробництва (Industry 4.0), включаючи мережеву діагностику й віддалене керування;
- використання цифрових двійників для тестування траєкторій і прогнозування можливих помилок.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що сучасні фрезерні верстати відповідають усім вимогам передових машинобудівних виробництв:

- забезпечують одночасне керування декількома осями, що дозволяє обробляти складні 3D-деталі;
- мінімізують кількість установок деталі, значно скорочують виробничі цикли, зменшують людський фактор та покращують безпеку;
- мають гарну точність, повторюваність параметрів обробки та можливість відтворення геометрії деталей, які недоступні на традиційних верстатах.

1.4 Висновки, постановка мети і задач дослідження

У розділі виконано аналіз сучасного стану технології фрезерування, різального інструменту та обладнання. Визначено, що фрезерування залишається універсальним та високопродуктивним методом механічної обробки, розвиток якого визначається удосконаленням конструкції інструменту та впровадженням високошвидкісних стратегій різання. Використання

твердосплавних фрез, сучасних інструментальних PVD/CVD покриттів і CAM-систем забезпечує підвищення продуктивності, точності та якості обробки, стійкості інструменту. В свою чергу, розвиток сучасних фрезерних верстатів та обробних центрів пов'язаний з використанням систем ЧПУ, лінійних напрямних, шпинделів прямого приводу та систем автоматизації. Роботизація, онлайн-моніторинг стану інструменту та інтеграція концепцій Industry 4.0 забезпечують підвищення стабільності та продуктивності обробки.

Загалом, сучасна технологія фрезерування базується на поєднанні високоякісного інструменту, оптимізованих стратегій різання та інтелектуальних верстатних систем, що дозволяє виготовляти деталі складної геометрії з високими вимогами до точності й надійності.

Метою роботи є розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні, з метою підвищення ефективності механічної обробки.

Для досягнення мети, необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Виконати аналіз сучасний стан технології фрезерування, визначити основні напрямки підвищення ефективності процесу механічної обробки.
2. Виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі корпус НШ10У-3-02 на підприємстві. На основі аналізу розробити рекомендації по підвищенню ефективності заводського технологічного процесу.
3. Розробити вдосконалений технологічний процес із підбором технологічного обладнання, різального та вимірювального інструментів, верстатних пристосувань. Виконати необхідні розрахунки припусків, режимів різання та провести технічне нормування операцій техпроцесу.
4. Виконати конструювання та розрахунок затискного верстатного пристосування, контрольно-вимірювального пристрою та різального інструменту із розробкою конструкторської документації.
5. Виконати необхідні економічні розрахунки запропонованих заходів по підвищенню ефективності заводського технологічного процесу.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯМ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ПРИ ШВИДКІСНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

2.1 Постановка проблеми

У сучасному машинобудуванні одним з найпоширеніших конструкційних матеріалів є алюмінієвий сплав. Складність обробки матеріалів з алюмінієвих сплавів полягає у чутливості матеріалу до температурних перепадів та дії сили різання, що особливо актуально при обробці тонкостінних елементів.

З метою зниження впливу силового фактору на якісні показники обробленої деталі застосовують обробку на підвищених і високих швидкостях різання, яка навіть при збереженні продуктивності процесу дозволяє значно знизити сили різання, а отже, і температуру поверхні, що обробляється. Однак параметри процесу, за яких фрезерування можна вважати високошвидкісним, чітко не визначено.

В роботі досліджується вплив параметрів режиму обробки на підвищених швидкостях різання алюмінієвого сплаву з метою розробки практичних рекомендацій. Поставлена задача вирішується на основі дослідження сил і температури різання при фрезеруванні, а також шорсткості обробленої поверхні.

2.2 Програма і методика дослідження

Дослідження беруть за основу та поєднують відомі експериментальні та розрахункові данні [10, 11, 14, 19, 2628] щодо швидкісного фрезерування. Відбір даних виконуємо за наступними критеріями:

- фрезерування без охолодження;
- обробка конструкційних алюмінієвих сплавів;
- фрези із різальними пластинами з твердого сплаву;

З метою скорочення обсягу експериментальних даних, зводимо їх до схеми повного факторного експерименту 2^3 . Факторами що варіюються прийнято швидкість різання V , подача на зуб фрези S_z і глибина різання t . Рівні варіювання факторів обираємо на основі даних обумовлених раніше відомих експериментів.

Значення факторів експерименту для кожного дослідження наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

№ дослідження	Частота обертів n , об/хв (Швидкість різання V , м/хв)	Подача S , мм/зуб (мм/хв)	Глибина різання t , мм
1	1600 (1507,2)	0,1 (1600)	1
2	400 (376,8)	0,1 (400)	1
3	1600 (1507,2)	0,05 (800)	1
4	400 (376,8)	0,05 (200)	1
5	1600 (1507,2)	0,1 (1600)	0,25
6	400 (376,8)	0,1 (400)	0,25
7	1600 (1507,2)	0,05 (800)	0,25
8	400 (376,8)	0,05 (200)	0,25

Теплота, що виділяється в зоні контакту інструменту та заготовки, є одним із найважливіших факторів, які впливають як на процес різання, так і на якість обробленої поверхні. У зв'язку з цим проводимо також дослідження температури у зоні обробки.

2.3 Отримані результати

Результати отримуваних значень сили різання та шорсткості поверхні для кожного дослідження наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

№ дослідження	Складові сили різання, зустрічне фрезерування, F_{z3} , Н	Складові сили різання, попутне фрезерування, F_{zp} , Н	Шорсткість R_a , мкм (зустрічне)	Шорсткість R_a , мкм (попутне)
1	30	40	0,95	1,25
2	44	50	6,17	5,8
3	23	30	0,72	0,56
4	27	30	0,97	0,76
5	21	25	0,28	0,28
6	15	15	2,0	2,19
7	4,5	5	0,22	0,26
8	4,5	5	1,9	1,67

Статистична оцінка експериментальних даних показала адекватність гіпотези апроксимації з 5% рівнем значущості.

В результаті апроксимації на основі регресивного аналізу отримані наступні залежності для головної складової сили різання при зустрічному (F_{z3}) та попутному (F_{zn}) фрезеруванні, Н:

$$F_{z3} = 1333,3 \cdot t^{1,04} \cdot S^{1,37} \cdot V^{-0,02}; \quad (2.1)$$

$$F_{zn} = 783 \cdot t^{0,94} \cdot S^{1,26} \cdot V^{0,05}. \quad (2.2)$$

На рис. 2.1...2.3 наведено залежність головної складової сили різання F_z від режимів різання. З представлених графіків видно, що збільшення швидкості різання призводить до незначного зниження сили різання при зустрічному фрезеруванні. Це означає, що у дослідженому нами діапазоні швидкостей різання ефект високошвидкісного різання незначний. До суттєвого збільшення сил різання призводить збільшення подачі на зуб та глибини різання; так, наприклад, збільшення подачі в 2 рази призводить до збільшення сили різання у 2,6 рази, а збільшення глибини різання у 2 рази призводить до збільшення сили різання у 2,1 рази.

Очевидно, що для зниження сил різання, а отже, навантаження на обладнання, інструмент та заготовку при фрезеруванні алюмінієвого сплаву доцільно підвищувати швидкість різання, знижуючи при цьому величину подачі на зуб та глибину різання.

Одним із показників якості обробки деталей є шорсткість обробленої поверхні. Данні по результатам виміру висоти нерівностей, середні по десяти вимірам для кожного досліді, представлені в табл. 2.2 та на рис. 2.4...2.6.

Апроксимація експериментальних даних дозволила отримати такі емпіричні залежності для шорсткості поверхні, при зустрічному та попутному фрезеруванні відповідно:

$$R_{az} = 27100 \cdot t^{0,5} \cdot S^{0,84} \cdot V^{-1,13}; \quad (2.3)$$

$$R_{an} = 27100 \cdot t^{0,43} \cdot S^{1,15} \cdot V^{-1,03}. \quad (2.4)$$

Результати вказують на можливість досягнення мінімальної висоти нерівностей порядку $R_a = 0,22$ мкм, що дозволяє використовувати швидкісне фрезерування в якості остаточної операції.

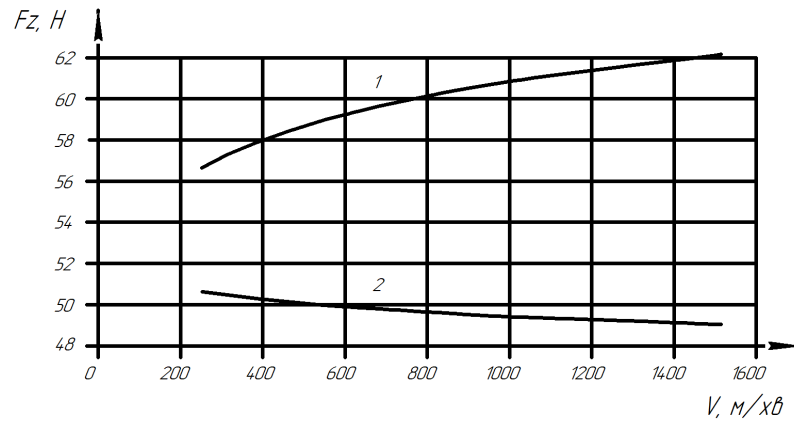


Рис. 2.1 Залежність сили різання F_z від швидкості різання при фрезеруванні:

$$S = 0,1 \text{ мм/зуб}; t = 1 \text{ мм};$$

1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

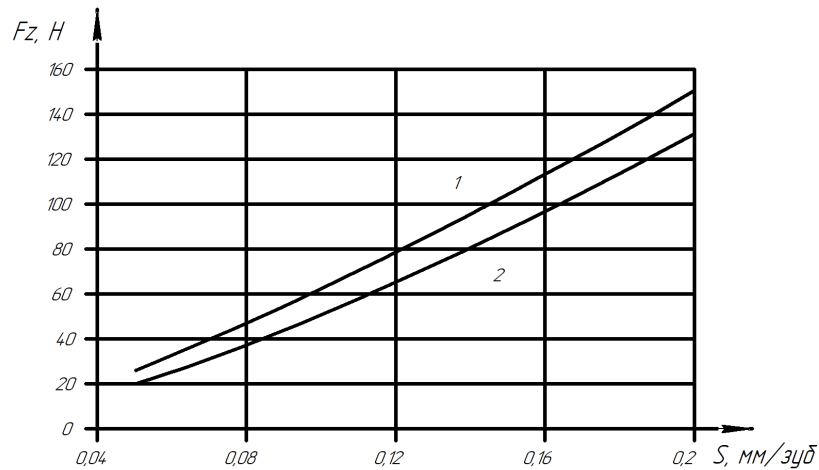


Рис. 2.2 Залежність сили різання F_z від подачі при фрезеруванні:

$$V = 1507 \text{ м/хв}; t = 1 \text{ мм};$$

1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

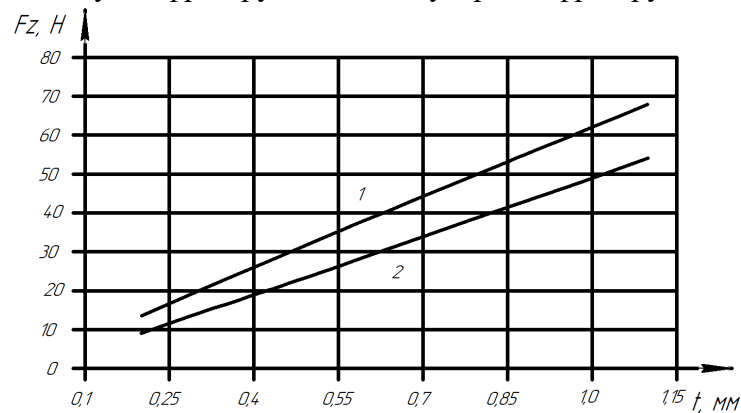


Рис. 2.3 Залежність сили різання F_z від глибини різання при фрезеруванні:

$$V = 1507 \text{ м/хв}; S = 0,1 \text{ мм/зуб};$$

1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

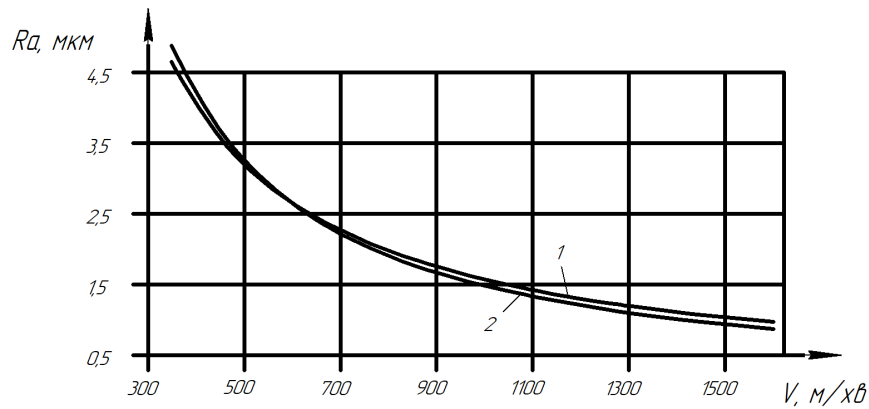


Рис. 2.4 Залежність висоти нерівностей обробленої поверхні Ra від швидкості різання при фрезеруванні: $S = 0,1 \text{ мм/зуб}$; $t = 1 \text{ мм}$;
1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

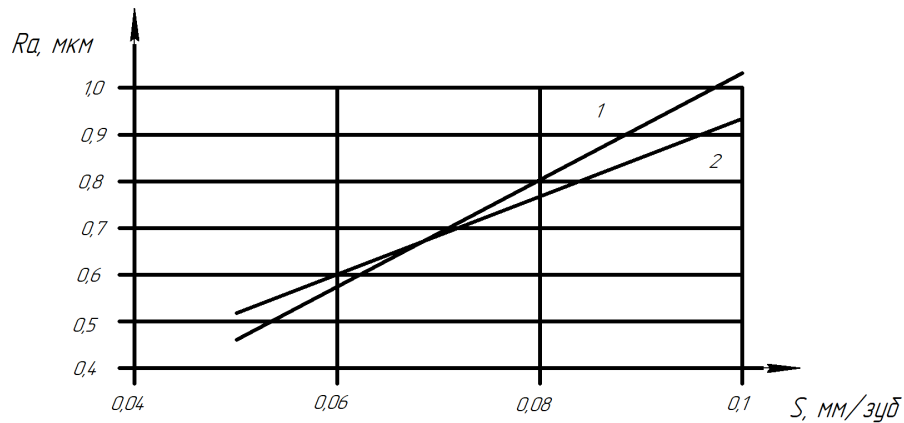


Рис. 2.5 Залежність висоти нерівностей обробленої поверхні Ra від подачі при фрезеруванні: $V = 1507 \text{ м/хв}$; $t = 1 \text{ мм}$;
1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

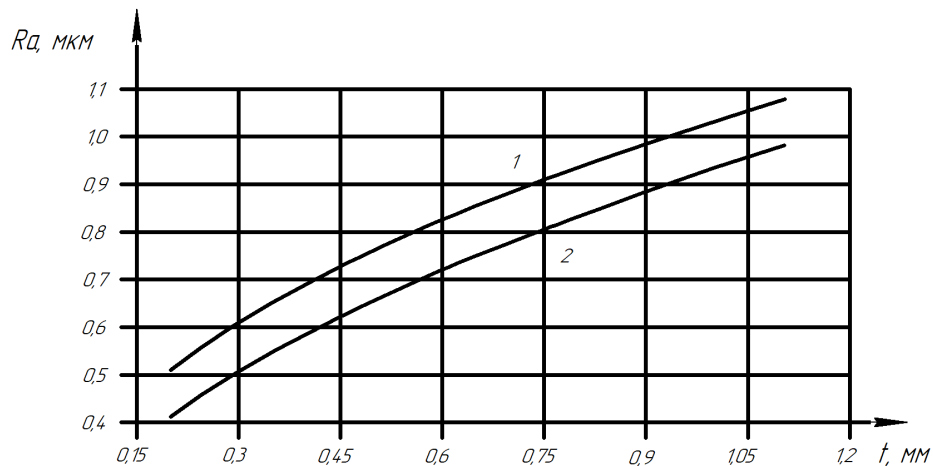


Рис. 2.6 Залежність висоти нерівностей обробленої поверхні Ra від глибини різання при фрезеруванні: $V = 1507 \text{ м/хв}$; $S = 0,1 \text{ мм/зуб}$;
1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

Отримані залежності показують, що зі збільшенням швидкості різання висота нерівностей знижується. Збільшення подачі на зуб і глибини різання призводить до зростання висоти нерівностей. При цьому найбільший вплив на висоту нерівностей робить швидкість різання. При її збільшенні з ~ 300 м/хв до 1507 м/хв ($\sim$ у 5 разів) шорсткість нерівностей R_a зменшується з ~ 6 мкм до $0,25$ мкм (див. рис. 2.4). Подача на зуб та глибина різання впливають на висоту нерівностей практично лінійно.

Таким чином, найменша висота нерівності поверхні досягається зі збільшенням швидкості різання та зниження подачі та глибини фрезерування. Причому слід мати на увазі, що при малих швидкостях різання і великих глибинах і подачах спостерігається інтенсивне наростоутворення із налипанням його на оброблену поверхню.

Апроксимація досліджуваних експериментальних даних дозволила отримати такі залежності для визначення температури у досліджуваному діапазоні режимів:

– для зустрічного фрезерування:

$$T = 56,7 \cdot t^{0,28} \cdot S^{0,85} \cdot V^{0,47}; \quad (2.5)$$

– для попутного фрезерування:

$$T = 54,3 \cdot t^{0,31} \cdot S^{0,82} \cdot V^{0,47}. \quad (2.6)$$

Результати вимірювання температури залежно від режимів різання, за яких вона вимірювалася, наведено на рис. 2.7...2.9.

З графіків видно, що збільшення швидкості різання з 397 до 1507 м/хв призводить до збільшення температури ($s = 0,1$; $t = 1$) з 125 до 225°C . Збільшення подачі та глибини різання також призводить до підвищення температури. Це зумовлено відповідним збільшенням сил різання.

При зустрічному та попутному фрезеруванні змінюється характер і швидкість нагрівання. Також вплив робить той факт, що при попутному фрезеруванні зубець фрези знаходиться в контакті із заготовкою трохи довше і температури при цьому вище.

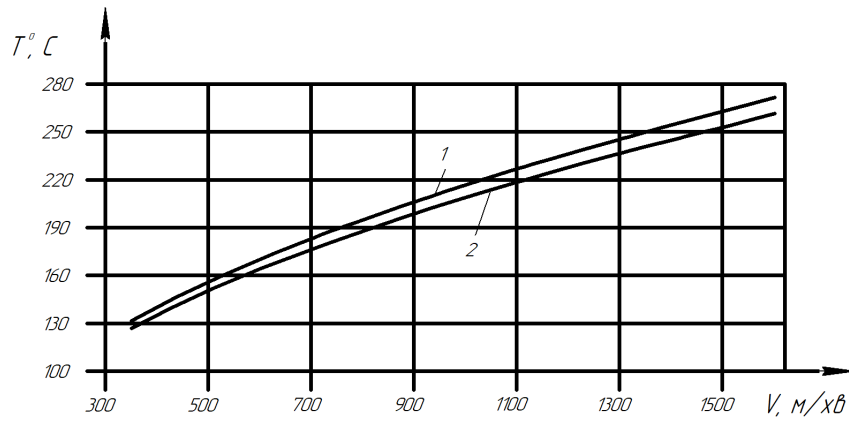


Рис. 2.7 Залежність температури обробленої поверхні від швидкості різання при фрезеруванні: $S = 0,1$ мм/зуб; $t = 1$ мм;
1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

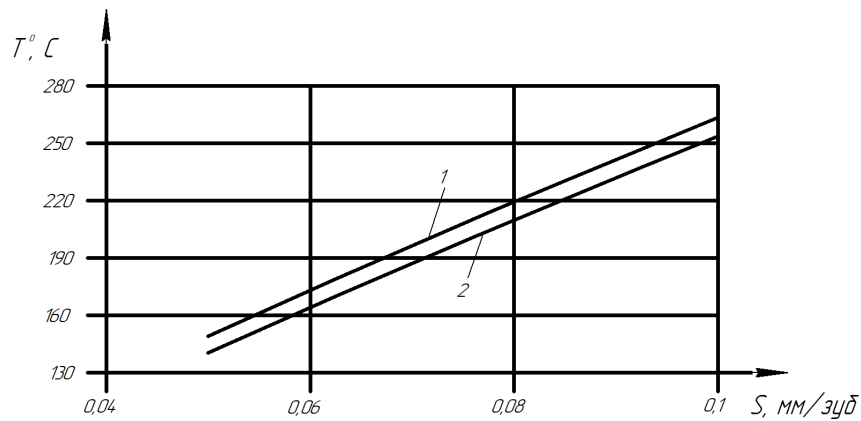


Рис. 2.8 Залежність температури обробленої поверхні від подачі при фрезеруванні: $V = 1507$ м/хв; $t = 1$ мм;
1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

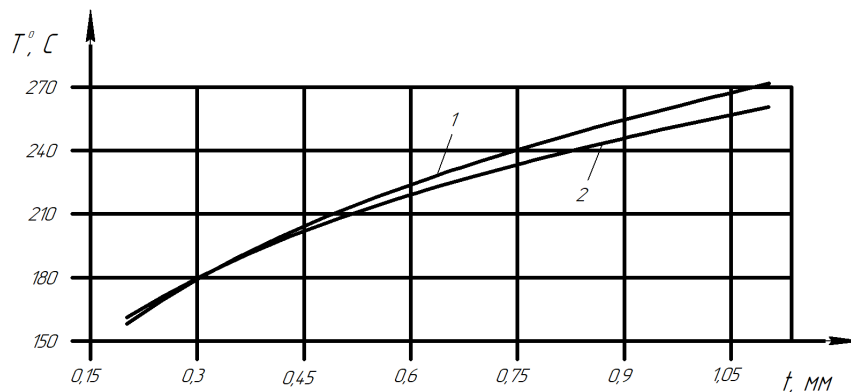


Рис. 2.9 Залежність температури обробленої поверхні від глибини при фрезеруванні: $V = 1507$ м/хв; $S = 0,1$ мм/зуб;
1 – попутне фрезерування; 2 – зустрічне фрезерування.

При зустрічному фрезеруванні нагрівання до максимальної температури відбувається більш плавно за рахунок зміни перерізу зрізу від мінімального до максимального, а при попутному фрезеруванні нагрівання відбувається різкіше (стрибкоподібно) за рахунок зміни перерізу від максимального до мінімального.

Найбільш важливим при аналізі теплових процесів різання є визначення кількості тепла, яке переходить у різальний інструмент та деталь під час різання.

Аналітичні методи розрахунку теплових потоків та температур [12, 16], дають задовільний збіг з практикою в діапазоні швидкостей різання до 200 м/хв для різних методів обробки, у тому числі для фрезерування. Але щодо температур для високошвидкісного різання вони ще недостатньо апробовані.

У зв'язку з цим, для визначення температури при більш високих швидкостях обробки, більш доцільним було б використання методу кінцевих елементів, що дозволить одержати картину розподілу температур у зоні різання. При цьому як програмне забезпечення методу кінцевих елементів можна застосовувати, наприклад, інженерний комплекс ANSYS [1, 9]. Початкова температура може визначатись як рівна нормальній температурі навколишнього середовища 20°C. В якості навантаження до моделі слід прикладати вже розраховані теплові потоки, за формулами [21] для поверхонь контакту стружки та інструменту, заготовки та інструменту, а також по лінії зсуву. Час вирішення розраховувався залежно від режимів обробки.

Отримані результати чисельного моделювання, зазвичай, задовільно збігаються з експериментальними даними. Розбіжності становлять трохи більше 10%. Але отримані картини теплових полів наочно демонструють, що зі збільшенням швидкості теплота концентрується поблизу вершини різального леза. Прогрів заготовки і різального леза відбувається на меншу глибину, велика частка тепла, що утворюється, йде зі стружкою, як показано на рис. 2.10 [28].

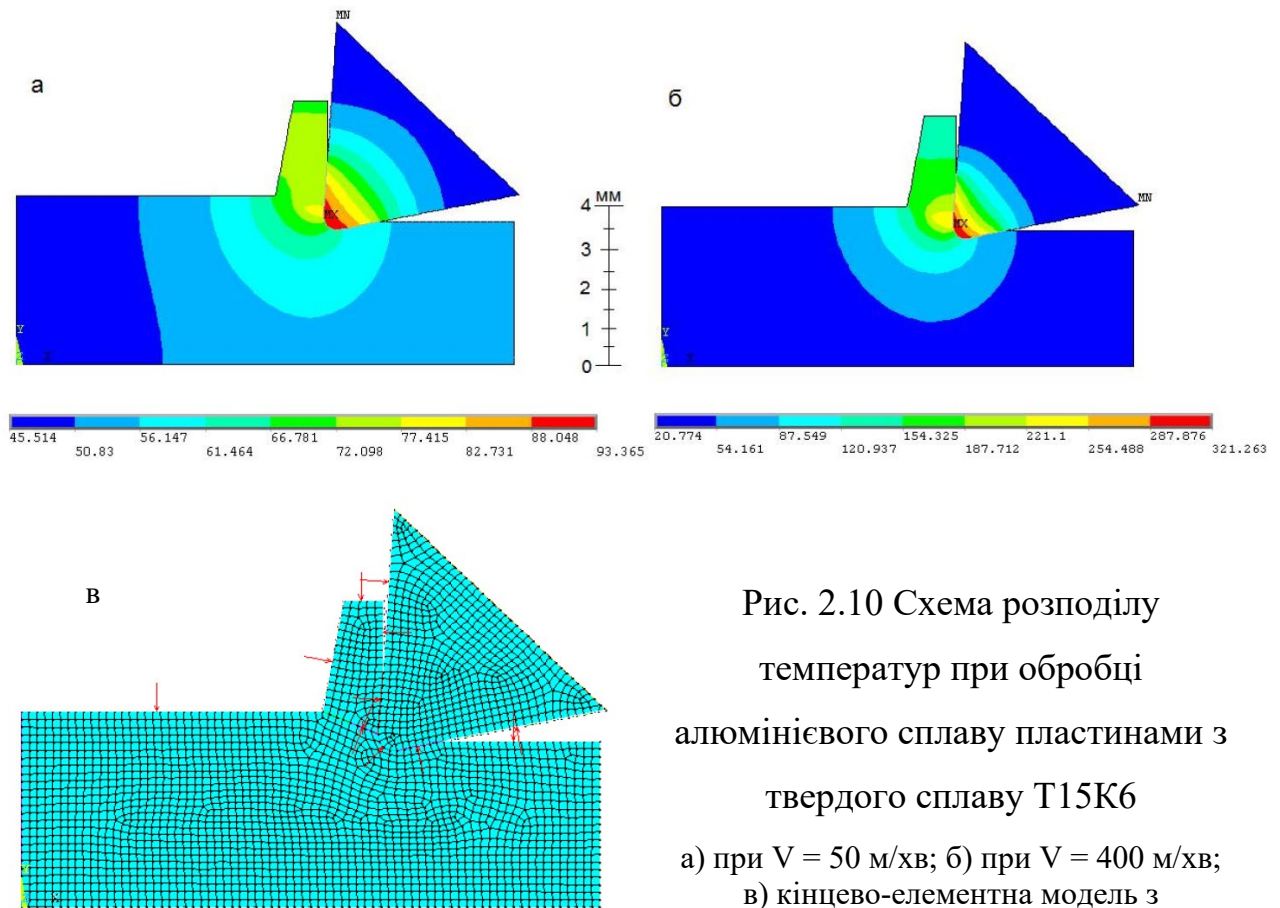


Рис. 2.10 Схема розподілу температур при обробці алюмінієвого сплаву пластинами з твердого сплаву Т15К6
а) при $V = 50$ м/хв; б) при $V = 400$ м/хв; в) кінцево-елементна модель з прикладеними навантаженнями.

2.4 Висновки та рекомендації

По проведеній роботі можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено залежності, що описують головну складову сили різання при зустрічному та попутному фрезеруванні (2.1, 2.2). Дослідження показали, що підвищення швидкості різання лише незначно знижує силу різання, тобто ефект високошвидкісної обробки у дослідженому діапазоні швидкостей виражений слабо. Натомість збільшення подачі на зуб і глибини різання істотно підвищує навантаження: подвоєння подачі збільшує силу різання в 2,6 рази, а подвоєння глибини у 2,1 рази. Для мінімізації сили і підвищення довговічності інструмента доцільно працювати за підвищених швидкостей, водночас зменшуючи подачу та глибину різання.

2. Шорсткість обробленої поверхні суттєво залежить від режимів різання. Мінімальні значення $R_a \approx 0,22$ мкм підтверджують можливість використання високошвидкісного фрезерування як завершальної операції. Найбільший вплив

має швидкість різання: її збільшення приблизно у п'ять разів знижує шорсткість із ~6 мкм до 0,25 мкм. Подача та глибина різання впливають майже лінійно.

3. Температура у зоні різання зростає зі збільшенням швидкості, подачі та глибини. Характер нагрівання різний: при зустрічному фрезеруванні він плавніший, а при попутному має різкий характер через довший контакт зубця фрези з оброблюваним матеріалом. Для аналізу теплових процесів на високих швидкостях доцільно застосовувати метод кінцевих елементів, зокрема у складі програмного продукту ANSYS, що дає картину температурних полів та узгоджується з експериментом на рівні похибки близько 10%.

За проведеними дослідженнями можна надати такі рекомендації:

- при збігу умов обробки, розрахунок сил різання, шорсткості поверхні та температури обробленої поверхні можна вести за наведеними формулами;
- при фрезеруванні заготовок із алюмінієвого сплаву, для підвищення продуктивності обробки, слід працювати з найбільшою швидкістю різання;
- при певних режимах обробки рекомендується застосування фрезерування як остаточної обробки, що знижує теплову напруженість процесу та забезпечує досить низьку шорсткість R_a 0,5 мкм;
- для зниження температури різання необхідно знижувати глибину різання, тим самим зменшуючи зону контакту заготовки та інструменту.

Отримані в результаті досліджень емпіричні залежності для різання, шорсткості і температури обробленої поверхні можуть бути використані технологами при призначенні режимів різання.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

3.1 Службове призначення корпусу НШ10У-3-02

Корпус НШ10У-3-02 є основною несучою деталлю розглядаємого вузла – шестеренного насоса НШ10У-3 (рис. 3.1). Це корпусна деталь, що має внутрішні отвори, одні з яких різьбові – для закріплення, а інші циліндричні – для розміщення шестерень насоса. По бокам корпусу є платики, в яких є отвори для приєднання всмоктуючої і напірної гідроліній.

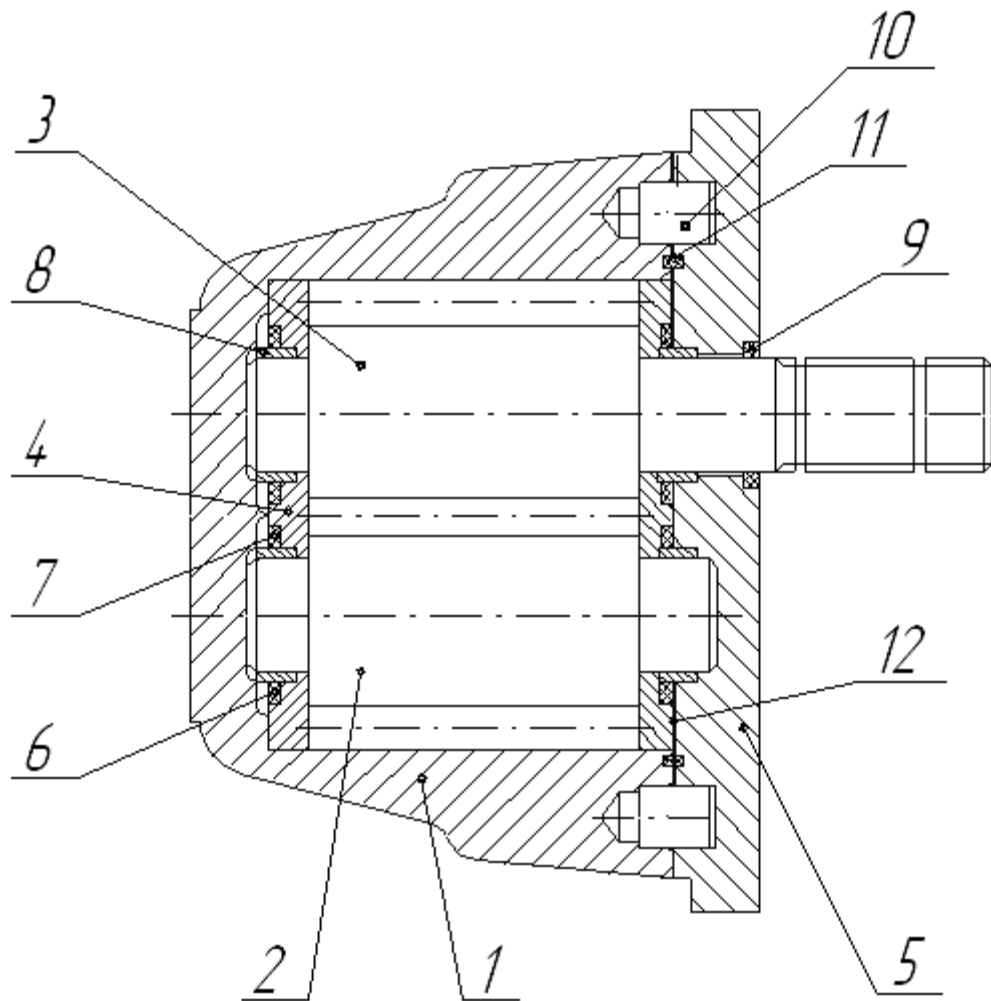


Рисунок 3.1 Будова шестеренного насосу НШ10У-3

1 - корпус; 2 - ведена шестерня; 3 - ведуча шестерня; 4 – компенсатори; 5 – кришка; 6 - захисні пластини; 7 - спеціальні ущільнення; 8 - метало фторопластові втулки; 9 – манжета; 10 – штифти; 11 - ущільнююче кільце; 12 – прокладка.

Робоча рідина в шестеренному насосі НШ10У-3 нагнітається за допомогою ведучої 3 і веденої 2 шестерень, що розміщені в розточках корпусу 1

між компенсаторами 4. В якості підшипників використовуються металофторопластові втулки 8, запресовані консольно в розточки корпусу 1 і кришки 5. Торцеві поверхні шестерень ущільнюються двома компенсаторами під дією тиску робочої рідини в порожнинах обмежених спеціальним ущільненням 7. Робочі кромки ущільнення спеціально захищені від видавлювання в торцеві зазори захисними пластинами 6.

Ведучий вал насоса ущільнюється манжетою 9. Центрування кришки відносно корпусу забезпечується двома штифтами 10.

Кришка приєднується до корпусу болтами. Герметичність по площині роз'єму корпус-кришка досягається установкою гумового ущільнюючого кільця 11, і по вимозі прокладки 12.

Коротка технічна характеристика насоса НШ10У-3 наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Максимальний робочий об'єм	cm ³	10,0
Подача за 1500 об/хв	l/min	14,3
Максимальний тривалий тиск, P ₁	bar	140
Максимальний короточасний тиск, P ₂	bar	160
Піковий тиск, P ₃	bar	180
Максимальна частота обертання, n _{max}	min ⁻¹	3200
Мінімальна частота обертання за P ₁ ≤ 100 bar, n _{min}	min ⁻¹	600
Вага	kg	1,3

3.2 Розробка технології виготовлення корпусу

3.2.1 Визначення типу виробництва

Вихідні дані для розрахунку:

Програма випуску деталей N = 10000 шт.

Дійсний річний фонд роботи обладнання F_д = 4000 год.

Кількість операцій техпроцесу O = 8

Кількість робочих місць P = 7

Операції базового технологічного процесу приведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

№ операції	Найменування операції	Верстат	Штучний час
200	Карусельно-фрезерна	Карусельно-фрезерний 621М	1,2155
215	Агрегатна	Агрегатний 2ХА1547	1,58775
220	Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-фрезерний 6Р81	1,4539
225	Агрегатна	Агрегатний 2ХА1547	1,47825
235	Алмазно-розточна	Алмазно-розточний ОС 3893	0,8897
240	Алмазно-розточна	Алмазно-розточний КК 3225	2,229645
240-1	Алмазно-розточна	Алмазно-розточний КК 3310	2,229645
245	Різьбонарізна	Різьбонарізний 020-106	1,40825

Встановлюємо тип виробництва по критерію ступеню спеціалізації (середній коефіцієнт завантаження) робочих місць [6, 7]. Обумовлений коефіцієнт завантаження робочих місць по операціям технологічного процесу розраховують в наступній послідовності:

1. Визначають потрібну кількість робочих місць (верстатів) по всім операціям техпроцесу:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z t_{um(i)}}{F_d 60 K_v},$$

де $t_{шт(i)}$ – штучний час i -ї операції, хв.;

F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.;

K_v – нормативний коефіцієнт виконання норм часу, $K_v=1,0..1,1$, приймаємо $K_v=1,05$.

Отже:

$$q_{p(1)} = \frac{10000 \cdot 1,2155}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,048 \quad ; \quad q_{пр(1)}=1;$$

$$q_{p(2)} = \frac{10000 \cdot 1,58775}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,063 \quad ; \quad q_{пр(2)}=1;$$

$$q_{p(3)} = \frac{10000 \cdot 1,4539}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,057 \quad ; \quad q_{пр(3)}=1;$$

$$q_{p(4)} = \frac{10000 \cdot 1,47825}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,058 \quad ; \quad q_{пр(4)}=1;$$

$$\begin{aligned}
 q_{p(5)} &= \frac{10000 \cdot 0,8897}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,035 & ; & & q_{np(5)} = 1; \\
 q_{p(6)} &= \frac{10000 \cdot 2,229645}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,088 & ; & & q_{np(6)} = 1; \\
 q_{p(7)} &= \frac{10000 \cdot 2,229645}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,088 & ; & & q_{np(7)} = 1; \\
 q_{p(8)} &= \frac{10000 \cdot 1,40825}{4000 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,055 & ; & & q_{np(8)} = 1.
 \end{aligned}$$

2. Коефіцієнт завантаження обладнання визначається відповідно по кожній деталі-операції і середній по всіх операціям:

$$\begin{aligned}
 \eta_{zi} &= \frac{q_{pi}}{q_{npi}} ; \\
 \eta_3^{сеп} &= \frac{\sum_{i=1}^m q_{pi}}{\sum_{i=1}^m q_{npi}} ,
 \end{aligned}$$

де q_{npi} – прийняте ціле число верстатів;

m – кількість операцій технологічного процесу виготовлення деталі.

$$\begin{aligned}
 \eta_{31} &= \frac{0,04823}{1} = 0,04823 & ; & & \eta_{35} &= 0,0353 ; \\
 \eta_{32} &= 0,063 & ; & & \eta_{36} &= 0,08847 ; \\
 \eta_{33} &= 0,05769 & ; & & \eta_{37} &= 0,08847 ; \\
 \eta_{34} &= 0,05866 & ; & & \eta_{38} &= 0,05588 ; \\
 \eta_3^{сеп} &= \frac{0,04823 + 0,063 + 0,05769 + 0,05866 + 0,0353 + 0,08847 + 0,08847 + 0,05588}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0,062
 \end{aligned}$$

Якщо $\eta_3^{сеп} = 0,05 \dots 0,1$, відповідно маємо середньосерійний тип виробництва.

3.2.2 Аналіз точності та технологічності

Деталь – корпус насоса НШ10У-3-02 представляє собою виливку коробчастої форми із алюмінієвого сплаву АК5М2 ДСТУ 2839-94. Виливка доволі проста по конфігурації, але вимагає використання стержневої формовки, з метою утворення внутрішніх порожнин. Корпус має вдалу форму за рахунок якої досягається зменшення металоємності без втрати службових функцій.

Для забезпечення точності виготовлення заданої деталі і правильного її збирання виконуємо технологічне креслення деталі з нумерацією її основних поверхонь (елементів). Проводимо аналіз поверхонь деталі на точність та заносимо результати в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Аналіз точності деталі

№ поверхні на деталі	Найменування поверхні	Розміри з відхиленнями а радіусами	Квалітет точності	Точність форми	Шорсткість поверхні (клас, значення)
1	2	3	4	6	7
1	Сфера	R8	-	-	✓
2	Сфера	R8	-	-	✓
3	Площина	-	-	$\parallel$ 0,1 A	Ra 2,5
4	Радіус	R10	-	-	✓
5	Площина роз'єму	-	-	$\square$ 0,005	Ra 2,5
6	Стінка	108	-	-	✓
7	Отвір	$\varnothing 7,99^{+0.058}$	H10	-	Ra 2,5
8	Отвір $\parallel$ 0,1 A	$\varnothing 38,1^{+0.03}_{+0.005}$	-	-	Ra 1,6
9	Отвір	$\varnothing 14^{+0.43}$	-	-	Ra 12,5
10	Торець	-	-	$\parallel$ 0,025 A	Ra 1,6
11	Радіус	R12	h14	-	✓
12	Платик	-	-	$\square$ 0,025	Ra 2,5
13	Різьбовий отвір	M10	6H	$\oplus$ R0,2	Ra 6,3
14	Радіус	-	-	-	Ra 6,3
15	Різьбовий отвір	M8	6H	$\oplus$ R0,2	Ra 6,3

Як видно з аналізу найбільш значущі поверхні це отвори $\varnothing 38^{+0.03}_{+0.005}$ в яких розміщуються ведуча і ведена вал-шестерні насоса. Крім того сам корпус базується по двом отворах $\varnothing 7,99^{+0.058}$ і по площині роз'єму у виробі.

Технологічність конструкції - це сукупність властивостей виробу, що визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат під час виготовлення, експлуатації та ремонту при заданих показниках якості, обсягах виробництва та умовах виконання робіт. Серед вимог до техніко-економічних характеристик промислових виробів важливе місце займають питання технологічності конструкції. Аналіз технологічності проводиться з урахуванням особливостей її виготовлення, розглядаючи конструктивні особливості та вимоги до якості як технологічні завдання виробника. До основних показників якості належать: безвідмовність, довговічність, точність спряжень, рівень шуму, безпечність, ККД, зручність, простота та ступінь механізації [6, 7].

Обробка кріпильних отворів деталі корпус неможлива одночасно, так як вони розміщені близько один до одного. Тому обробка на багатошпиндельних верстатах неможлива. Всі інші оброблюємі поверхні з точки зору забезпечення точності і шорсткості не представляють технологічної складності і дають можливість застосовувати високопродуктивні методи обробки

Для кількісного метода оцінки технологічності конструкції застосовують стандартні показники. Проводимо розрахунок по деяким з цих показників.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{y.e} = \frac{Q_{y.e}}{Q_e},$$

де $Q_{y.e}$ - число уніфікованих елементів деталі, $Q_{y.e}=7$;

Q_e - загальне число конструктивних елементів, $Q_e=10$.

$$K_{y.e} = \frac{7}{10} = 0,7$$

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

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

$$K_{точ} = 1 - 1/A_{cp}$$

де A_{cp} – середній квалітет точності обробки:

$$A_{cp} = \sum A * n_i / \sum n_i$$

де А – квалітет точності обробки;

n – число розмірів відповідачах цьому квалітету, шт.

$$A_{cp} = \frac{12 \times 9 + 14 \times 6 + 8 \times 6 + 17 \times 2 + 15 \times 2 + 7 \times 1 + 11 \times 1}{9 + 6 + 6 + 2 + 2 + 1 + 1} = 11,925$$

$$K_{точ} = 1 - 1 / 11,925 = 0,916$$

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

Враховуючи параметри $K_{у.с}$ і $K_{точ}$ вважаємо деталь технологічною.

3.2.3 Аналіз базового технологічного процесу

Базовий технологічний процес приведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Базовий технологічний процес

№ опер.	Верстат	Операційний час ,хв. ($T_{оп}=T_o+T_d$)
200	Карусельно-фрезерний 621М	1,2155
215	Агрегатний 2ХА1547	1,58775
220	Горизонтально-фрезерний 6Р81	1,4539
225	Агрегатний 2ХА1547	1,47825
235	Алмазно-розточний ОС 3893	0,8897
240	Алмазно-розточний КК 3225	2,229645
240-1	Алмазно-розточний КК 3310	2,229645
245	Різьбонарізний 020-106	1,40825

Як видно з таблиці 3.4, в базовому технологічному процесі застосовано агрегатне і універсальне обладнання.

З метою зменшення часу завантаження оператора більш доцільно замінити універсальні верстати на верстати з ЧПК та обробні центри [6, 7]. При цьому значно спростяться верстатні пристосування. Це обумовлено тим, що кондуктори, що використовуються на універсальному обладнанні більш трудомісткі при виготовленні і менш довговічні при експлуатації.

Пристосування, які використовуються на верстатах з ЧПК мають високий рівень уніфікації і тому значно дешевші.

Крім того використання верстатів з ЧПК підвищить точність обробки за рахунок зменшення кількості перестановок деталі і забезпечення принципу єдності баз.

Отже, з урахуванням класу деталі, пропонується наступний маршрут обробки деталі:

- обробка внутрішніх поверхонь, фрезерування площини роз'єму і фрезерування платиків проводиться на верстаті типу обробний центр з ЧПУ 2204ВМФ4;
- фрезерування площини для маркування проводиться на карусельно-фрезерному верстаті 621М;
- відділкова обробка поверхонь колодців виконується на алмазно-розточному верстаті КК 3225.

Для обробки отворів на площині роз'єму і самої площині роз'єму, а також отворів на поверхні платиків і фрезерування платиків найбільш оптимально прийняти інтеграцію операцій на обробному центрі.

Весь план обробки практично забезпечує мінімальну кількість перестановок деталі, всього 5 раз.

3.2.4 Вибір заготовки

Вибір способу виготовлення визначається матеріалом деталі і типом виробництва. Матеріал деталі АК5М2 ДСТУ 2839-94 визначений конструктором. На підставі аналізу деталі по кресленню ,учбової і довідкової літератури, а також даних базового техпроцесу приймаємо спосіб виготовлення заготовки – лиття в кокіль, як найбільш прийнятний для цього виду деталі. Вибраний спосіб дозволяє отримати виливок високої якості з мінімальним об'ємом механічної обробки деталі.

Для лиття деталі виготовляється спеціальна металева форма – кокіль, повторююча форму деталі. Роз'єм форми – горизонтальний.

Механічні властивості матеріалу деталі та його хімічний склад приведено в табл. 3.5 та табл. 3.6.

Таблиця 3.5

Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносний розтяг %, не менше	Твердість, НВ
AK5M2	≥ 18	≥ 0,8	≥ 90

Таблиця 3.6

Марка сплаву	Основні компоненти				Домішки (не більше)				Інші	
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Ni	Zn	Ti	Кожна	Сума
AK5M2	1.8-2.6	0.4-0.8	0.4-0.8	0.7-1.2	0.7	0.1	0.3	0.1	0.05	0.1

Розраховуємо вартість заготовок, що одержують литтям в кокіль:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_v \cdot k_M \cdot k_n \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{отх}}}{1000},$$

де C_i – базова вартість 1т заготовок, грн., $C_i = 55000$ грн./т;

k_T, k_c, k_v, k_M, k_n - коефіцієнти, що залежить від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і об'єму виробництва заготовок:

$$k_T = 1,1; k_c = 5,94; k_v = 1,1; k_M = 1,05; k_n = 0,77.$$

Q – маса заготовки, $Q = 0,937$ кг;

q – маса готової деталі, $q = 0,805$ кг;

$S_{\text{отх}}$ - ціна 1т відходів, $S_{\text{отх}} = 15000$ грн. /т;

Отже, вартість заготовки, грн:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{55000}{1000} \cdot 0,937 \cdot 1,1 \cdot 5,94 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 0,77 \right) - (0,937 - 0,805) \cdot \frac{15000}{1000} = 297,5$$

Припуски на обробку і допуски розмірів на виливок визначаються згідно стандарту. Також визначаємо технічні вимоги до заготовки:

- Клас точності виливка – I;
- Точність виливка – 7m – 0 – 0 – 7;
- Точність розмірів – 7m;
- Ступінь точності поверхонь виливка – 0;
- Ступінь шорсткості поверхонь – 0;

- Клас точності маси – 7;
- Невказані ливарні ухили – 3°;
- Ливарні радіуси – R = 3мм;
- Твердість – 100...125 НВ;

Допускається виготовлення зі сплавів: АК7, АМ2Мц ДСТУ 2839-94.

Згідно з цими вимогами розраховуємо припуски на обробку і допуски розмірів, що зводимо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Припуски і допуски на заготовку

Розмір деталі	Основний припуск на сторону	Додатковий припуск на сторону	Загальний припуск на сторону	Допуск розмірів	Розмір заготовок
72	1,6	0,4	2,0	±0,45	76 ± 0,45
83 ± 0,3	1,45	0,05	1,5	±0,45	86 ± 0,45
Ø38,1 ^{+0,03} _{+0,005}	1,51	0,06	1,57	±0,35	Ø35 ± 0,35
60 ^{+0,04} _{-0,03}	1,4	0,1	1,5	±0,4	58,5 ± 0,4
Ø35 _{-0,5}	0,4	0,1	0,5	±0,4	34,5 ± 0,4
Ø14 ^{+0,4}	-	-	-	-	-
Ø7,99 ^{+0,058}	0,4	0,1	0,5	^{+0,5} _{-0,1}	Ø7 ^{+0,5} _{-0,1}

3.2.5 Вибір маршрутів обробки окремих поверхонь

Виконаємо побудову маршруту обробки отвору Ø38,1^{+0,03}_{+0,005}. Розрахунки будемо проводити шляхом визначення загального уточнення [6, 7].

Загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{загал}} = \frac{\delta_{\text{заг}}}{\delta_{\text{дет}}} = \frac{0,7}{0,025} = 28,$$

де $\delta_{\text{заг}}$ - допуск на розмір по заготовці;

$\delta_{\text{дет}}$ - допуск на розмір по деталі.

Економічна доцільність вибору маршруту обробки:

$$\varepsilon_{\text{загал}} \leq \varepsilon_{\text{ек}} = \prod_{i=1}^M \varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_M,$$

де m – число переходів обробки поверхні деталі.

По кожному проміжному методу обробки із таблиць економічної точності вибираємо допуски на обробку і розраховуємо уточнення по формулі:

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

де δ_{i-1}, δ_i - допуски на розмір відповідно по попередньому і наступному методам обробки. Результати розрахунків заносимо в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8

Звідна таблиця маршрутів обробки поверхні

Допуск поверхні	Шорсткість поверхні	Допуск на заготовку	Можливі маршрути		Економічні допуски	Коефіцієнт уточнення	$\varepsilon_{\text{загал}}$
			№	Зміст маршруту			
+0,03 +0,005	Ra = 1,6	±0,35	1	1.Зенкерувати начерно	0,34	2	44,8
				2.Зенкерувати начисто	0,1	3,4	
				3.Розточити напівчисто	0,1	1	
				4.Розточити начисто	0,05	2	
				5.Розточити алмазне	0,015	3,3	
			2	1.Зенкерувати начерно	0,34	2	25,14
				2.Зенкерувати начисто	0,1	3,4	
				3.Розточити напівчисто	0,1	1	
				4.Розточити начисто	0,05	2	
				5.Розточити тонко	0,039	1,28	
				6.Розточити алмазне	0,027	1,44	

Маршрут № 1:

1. Зенкерування чорнове, $\delta_{\text{з.чор.}} = 0,34$:

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta_{\text{заг}}}{\delta_{\text{з.чор.}}} = \frac{0,7}{0,34} \approx 2$$

2. Зенкерування чистове, $\delta_{\text{з.ч.}} = 0,1$:

$$\varepsilon_2 = \frac{\delta_{\text{з.чор.}}}{\delta_{\text{з.ч.}}} = \frac{0,34}{0,1} = 3,4$$

3. Розточування напівчистове, $\delta_{\text{р.н.}} = 0,1$:

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_{\text{з.ч.}}}{\delta_{\text{р.н.}}} = \frac{0,1}{0,1} = 1$$

4. Розточування чистове, $\delta_{p.ч.} = 0,05$:

$$\varepsilon_4 = \frac{\delta_{p.н.}}{\delta_{p.ч.}} = \frac{0,1}{0,05} = 2$$

5. Розточування алмазне, $\delta_{p.а} = 0,015$:

$$\varepsilon_5 = \frac{\delta_{p.ч.}}{\delta_{p.а.}} = \frac{0,05}{0,015} = 3,3$$

$$\varepsilon_{ек1} = \prod_{i=1}^5 \varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 = 2 \cdot 3,4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3,3 = 44,8$$

Маршрут № 2:

1. Зенкерування чорнове, $\delta_{з.чор.} = 0,34$:

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta_{заг.}}{\delta_{з.чор.}} = \frac{0,7}{0,34} \approx 2$$

2. Зенкерування чистове, $\delta_{з.ч.} = 0,1$:

$$\varepsilon_2 = \frac{\delta_{з.чор.}}{\delta_{з.ч.}} = \frac{0,34}{0,1} = 3,4$$

3. Розточування напівчистове, $\delta_{p.н.} = 0,1$:

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_{з.ч.}}{\delta_{p.н.}} = \frac{0,1}{0,1} = 1$$

4. Розточування чистове, $\delta_{p.ч.} = 0,05$:

$$\varepsilon_4 = \frac{\delta_{p.н.}}{\delta_{p.ч.}} = \frac{0,1}{0,05} = 2$$

5. Розточування тонке, $\delta_{p.т} = 0,039$:

$$\varepsilon_5 = \frac{\delta_{p.ч.}}{\delta_{p.т.}} = \frac{0,05}{0,039} = 1,28$$

6. Розточування алмазне, $\delta_{p.а} = 0,027$:

$$\varepsilon_6 = \frac{\delta_{p.т.}}{\delta_{p.а.}} = \frac{0,039}{0,027} = 1,44$$

$$\varepsilon_{ек2} = \prod_{i=1}^6 \varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 \cdot \varepsilon_6 = 2 \cdot 3,4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1,28 \cdot 1,44 = 25,14$$

З урахуванням того, що $\varepsilon_{ек1} > \varepsilon_{ек2}$, приймаємо перший маршрут обробки.

3.2.6 Вибір технологічних баз

Деталь відноситься до класу корпусних деталей. Для таких деталей характерні бази [5, 6, 7]:

- установча – це поверхня найбільшої площини,
- напрямна – поверхня, лінія, точка,
- опорна – на яку робиться упор.

Базування деталі виконується таким чином, щоб забезпечити мінімальні припуски на обробку. Крім того при закріплення деталі необхідно дотримуватись принципу „силового замикання”, а також максимального опору силам різання при мінімальності сили затиску. На кресленні деталі наносимо номери всіх поверхонь і розмірів.

Згідно вимог приймаємо в якості чорнової бази поверхню 1 як поверхню найбільш сприятливу. В якості послідууючої (чистової) бази буде використовуватись поверхня 5 і отвори 7 (під штифти). При базуванні будемо додержуватись вимоги принципу єдності баз.

3.2.7 Розробка структури та змісту технологічних операцій

З урахуванням прийнятого типу інтеграції операцій приймаємо для обробки деталі верстати, які б забезпечили необхідну точність і продуктивність обробки [5, 6, 7]:

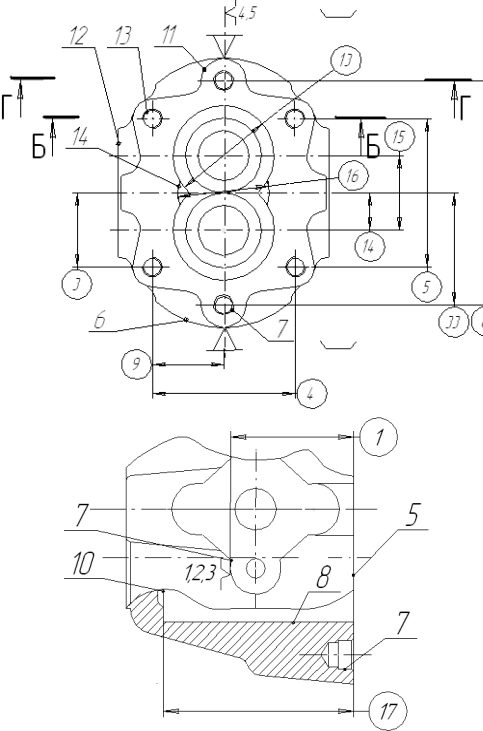
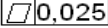
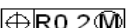
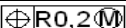
1-ша операція – Обробний центр 2204ВМФ4;

2-га операція – Карусельно-фрезерний 621М;

3-тя операція – Алмазно-розточний КК 3225.

В таблиці 3.9 зведемо весь маршрут обробки із вказанням базових поверхонь і розмірів, отриманих на кожному переході.

Таблиця 3.9

№ перех.	Зміст переходу	Поверхні			Параметри обробки						Операційний ескіз
		Б	3	О	Розміри			Відхилення поверхонь	Відхилення розміщення поверхонь	Шорсткість Ra, мкм	
					№	До обробки	Після обробки				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
005 Свердлувально-фрезерна з ЧПУ, Обробний центр з ЧПУ 2204 ВМФ4											
Позиція I											
1	Фрезерувати поверхню попередньо	6, 1	6	5	①	40,5±0,4	39h13				
2	Фрезерувати поверхню повторно			5	①	39h13	38,3h12				
3	Фрезерувати поверхню начисто			5	①	38,3h12	38±0,25			2,5	
4	Засвердлити лунки під отвори, свердлити 4 отвори послідовно			13	③ ⑤ ⑨ ④ ⑥ ⑦ ⑫	- - - - - - -	30Is8 60Is8 28Is8 56Is8 Ø8,43 ^{+0,22} 24 ⁺⁴ 1,6 × 45°			6,3	
5	Нарізати різьбу у чотирьох отворах послідовно			13	⑫ ⑩	Ø8,43 ^{+0,22} -	M10-6H 18min			3,2	
6	Засвердлити лунки, свердлити два отвори під штифти послідовно			7	⑬ ⑧ ⑩ ⑪ ⑫	- - - - -	46Is8 92Is8 Ø7H15 ^(+0,58) 1 × 45° 8 max			6,3	
7	Розвернути два отвори послідовно начисто			7	⑫ ⑬	Ø7H15 ^(+0,58) -	Ø7,99H10 ^(+0,058) 5 ^{+0,5}			2,5	

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	Зенкерувати отвори послідовно начерно з підрізкою дна	6, 1	6	8, 10	14 15 13 17	15,8+0,1 31,75+0,1 Ø35±0,35 58,5±0,4	15,8Is8 31,75Is8 Ø36H12(+0,25) 58,5-0,5		⊕R0,2M	6,3	
9	Зенкерувати отвори послідовно начисто			8	13	Ø36H12(+0,25)	Ø36,7H11(+0,16)		⊕R0,2M	6,3	
10	Зенкерувати однократно			14	16	Ø34,5-0,5	Ø35-0,5	○0,02			
Позиція II											
1	Фрезерувати поверхню начерно	5, 7	3	12	19	43,5±0,25	42,5h13(-0,39)				
2	Фрезерувати поверхню напівчисто			12	19	42,5h13(-0,39)	41,9h12(-0,25)				
3	Фрезерувати поверхню начисто			12	19	41,9h12(-0,25)	41,5±0,15	▧0,025		2,5	
4	Свердлити отвір			9	20 21 33	- - -	Ø14+0,4 46Is8 30±0,25			6,3	
5	Засвердлити лунки, свердлити чотири отвори послідовно			15	21 33 22 23 24 32	- - - - - -	30±0,25 46Is8 Ø38 Ø6,8+0,4 17+0,5 1,6x45°		⊕R0,2M	6,3	
6	Нарізати різьбу у чотирьох отворах послідовно			15	26 31	Ø6,8+0,4 -	M8-6H 12 min		⊕R0,2M	3,2	
Позиція III											
1	Переустановити деталь і повторити переходи позиції II										

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010 Фрезерна, карусельно-фрезерний 621М											
1	Фрезерувати поверхню начерно	5, 7	1	3	②	75 _{-0,5}	73,5h13 _(-0,46)				
2	Фрезерувати поверхню напівчисто			3	②	73,5h13 _(-0,46)	72,5h12 _(-0,3)				
3	Фрезерувати поверхню начисто			3	②	72,5h12 _(-0,3)	72,5 _{-0,5}			2,5	
015 Відділково-розточна, Алмазно-розточний КК3225											
1	Розточити два отвори з одночасною підрізкою дна послідовно начерно	7, 5	3	8, 10	⑮ ③④ ③⑤ ⑬ ⑰	31,75Is8 29,5 ^{+0,4} 66,75±0,45 Ø36,7H11 ^(+0,16) 59,5 _{-0,5}	31,75Is8 30,125±0,04 69,3 ^{+0,05} Ø37,2H11 ^(+0,16) 59,7±0,05			3,2	
2	Розточити два отвори з одночасною підрізкою дна послідовно начисто			8, 10	⑬ ⑰	Ø37,2H11 ^(+0,16) 59,7±0,05	Ø37,7H8 ^(+0,033) 60 ^{+0,04} _{-0,03}			2,5	
3	Розточити алмазно два отвори послідовно			8	⑬	Ø37,7H8 ^(+0,033)	Ø38,1 ^{+0,03} _{+0,005}		1,6		

3.2.8 Вибір верстатних пристосувань, різальних та вимірювальних інструментів

Досвід використання верстатних пристосувань в умовах дільниці з верстатами ЧПУ показав, що найбільш ефективним є створення пристроїв на базі стандартних з можливістю зміни орієнтуючих та закріплюючих елементів.

З урахуванням цього проводиться вибір комплекту універсально-збірних пристосувань (УЗМП). Компонувки УЗМП збираються зі стандартних елементів з високою ступеню точності. Основою комплекту є гідравлічний блок, що представляє собою базову плиту УЗМП із сіткою пазів і вбудованих гідроциліндрів.

Результати підбору різального, допоміжного та вимірювального інструменту [6, 7] приведено в таблиці 3. 10.

Таблиця 3.10

Різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент

№ оп.	№ обробр. поверх.	№ розм.	Вимірювальний інструмент	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
005	5	①	Індикатор 1МИГ ст. 9696-82 Шангенрейсмас ШР 250-005 ст. 164-90 Пристосування для контролю допуску площинності 8533-4075	Фреза Ø160 ст. 9473-80	Оправка 6222-4047
	13	②③	Калібр-пробка Ø8,3 ^{+0,1} 8133-0921 СТП.23.113.01.073-78	Свердло Ø11 ст. 2092-77 Свердло Ø8,3 ст. 2092-77	Насадка 6250-4152 Втулка кондукторна 6250-4152-05-01 Подовжувач 6153-4245
	7	②⑦ ⑩	Калібр на розташування отворів Ø7 - 8534-4419 Калібр-пробка Ø7,99 Н10 ^(+0,058) СТП.23.113.01.073-78	Свердло Ø7 ст. 12121-77 Розвертка 2363-4153	Втулка кондукторна 6250-4156-05 Подовжувач 6153-4119 Насадка 6250-4156
	8	⑬	Калібр на розташування отворів Ø36,5 8534-4419	Зенкер Ø36,7 2323-6003-00	Втулка кондукторна 6490-4320-00-02
	14	⑯	-	Зенкер Ø35 2323-6003-01	Втулка обертальна 7051-6001

Продовження таблиці 3.10

№ оп.	№ обробр. поверх.	№ розм.	Вимірювальний інструмент	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
005	10	⑰	Пристосування для контролю глибини колодців 8151-4767 Калібр на R0,2 мах 8381-6001	Зенкер Ø36,7 2323-6003-00	Втулка кондукторна 6490-4320-00-02
	12	⑲	Калібр 41,5±0,15 8358-4025 Індикатор 1МИГ ст. 9696-82 Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ст. 166-83 Профілометр системи „М” ст. 19300-86 Пристосування для контролю допуску площинності 8533-4075	Фреза Ø125 ст. 9473-80	Оправка 6222-4043 ст. 13785-68
	9	⑳	Калібр-пробка Ø 14 ^{+0,43} СТП.23.113.01.073-78	Свердло Ø14 ст. 10903-77	Насадка 6250-4170 Плита кондукторна 6250-4170-03 Втулка 6250-4170-04 Втулка кондукторна 6250-4170-06-04
	15	㉓ ㉔ ㉖ ㉗	Калібр-пробка Ø6,8 ^{+0,2} СТП.23.113.01.073-78 Калібр на глибину отворів 17 ^{+0,5} 8151-4596 Калібр-пробка М8-6Н ст. 17758 Калібр на глибину різьби 12 min 8151-4089	Свердло Ø6,8 2301-0046 Мітчик М8-6Н 2620-4212	Втулка кондукторна 6250-4168-06-04 Подовжувач 6153-4119 Насадка 6250-4168
010	3	②	Індикатор ИЧ10Б ст. 577-68 Пристосування для контролю допуску паралельності	Фреза Ø160 ст. 9473-80	Оправка 6222-4047
015	10	⑰	Пристосування для контролю глибини колодців 60 ^{+0,04} _{-0,03} 8151-4767 Калібр на R0,2 мах 8381-6001	Різець розточний 2142-6006 Різець розточний 2142-6007	Борштанга 6330-6014 Борштанга 6330-6023

Продовження таблиці 3.10

№ оп.	№ обробр. поверх.	№ розм.	Вимірювальний інструмент	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
015	8	③⑤ ⑬	Нутромір НИ 18-50 ст. 9244-75 Нутромір НИ 50-100 ст. 9244-75 Індикатор 1МИГ ст. 9696-82 Кільця для налагоджування нутроміра Ø38,1+0,005 СТП.23.113.01.411-74 Пристосування для контролю допуску перпендикулярності 8338-4047-03 Індикатор ИЧ10Б ст. 577-68 Профілометр системи „М” ст. 19300-86 Пристосування для контролю зміщення колодців відносно штифтових отворів 8353-4081	Різець розточний 2142-6006 Різець розточний 2142-6007 Різець алмазний 2142-6008	Борштанга 6330-6014 Борштанга 6330-6023 Борштанга 6330-6025

3.2.9 Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Розрахунок припусків [6, 7] проводимо для колодців $\varnothing 38^{+0,03}_{+0,005}$. Вихідні данні для розрахунків зведено у таблицю 3.11.

Таблиця 3.11

Вихідні данні

№ п/п	Етап обробки поверхні	Значення параметрів					
		Rz, мкм	T, мкм	ΔK, мкм/мм	Ky	εy, мкм	δ допуск на обробку поверхні
1	Лиття	200	100	0,9	-	-	±0,35
2	Зенкерування чорного	50	50	-	-	116	+0,25
3	Зенкерування чистового	30	40	-	-	5,8	+0,16
4	Розточування напівчистового	50	50	-	0,05	-	+0,16
5	Розточування чистового	20	25	-	0,04	-	+0,033
6	Розточування алмазне	-	-	-	-	-	+0,03 +0,005

де Rz – висота мікронерівностей;

T – дефектний шар металу;

ΔK – питома кривизна;

εy - похибка установки.

Похибка установки при чорновому зенкеруванні:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2}.$$

Похибка установки у даному випадку виникає внаслідок перекосу заготовки у вертикальній площині при установці її на штирі пристосування. Перекіс виникає через наявність зазору між максимальним діаметром установчих отворів і мінімальним діаметром штирів.

Найбільший зазор між отворами й штирями, по формулі:

$$\delta_{\max} = \delta_A + \delta_B + S_{\min},$$

де δ_A – допуск на отвір: $\delta_A = 58 \text{ мкм} = 0,058 \text{ мм}$;

δ_B – допуск на діаметр штиря: $\delta_B = 58 \text{ мкм} = 0,058 \text{ мм}$;

$S_{\min}$ – мінімальний зазор між штирем і отвором, $S_{\min} = 13 \text{ мкм} (\text{Ø}7,99\text{f}7) = 0,013 \text{ мм}$.

Отже, максимальний кут повороту оброблюваної деталі на штирях може бути знайдений з відношення максимального зазору при повороті із середнього положення в довільну сторону, до відстані між бічними отворами, по формулі:

$$\text{tg}\alpha = \frac{0,058 + 0,058 + 0,013}{92}.$$

Похибка базування на довжині l оброблюваного отвору:

$$\varepsilon_6 = l \times \text{tg}\alpha = 60 \times 0,0014 = 0,084 \text{ мм} = 84 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення заготовки, мкм:

$$\varepsilon_3 = 80,$$

тоді похибка при зенкеруванні чорновому, мкм:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{84^2 + 80^2} = 116.$$

Остаточна похибка установки при чистовому зенкеруванні, мкм:

$$\varepsilon_2 = 0,05 \varepsilon_1 + \varepsilon_{\text{інд}} = 0,05 \times 116 + 0 = 5,8.$$

Так як чорнове і чистове зенкерування проводиться з однієї установки, то:

$$\varepsilon_{\text{інд}} = 0$$

Розрахунок проводимо у вигляді таблиці 3.12.

Таблиця 3.12.

Розрахунок припусків та операційних розмірів

№ п/п	Параметр	Формула	Розрахунок
1	Сумарне значення просторових відхилень	$\rho_0 = \rho_{кор}$ $\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta K \cdot d)^2 + (\Delta K \cdot l)^2}$	$\rho_{кор} = \sqrt{(0,9 \cdot 35)^2 + (0,9 \cdot 58,5)^2} =$ $= 61,3 \text{ мкм}$
2	Залишкове відхилення після зенкерування чорнового	$\rho_1 = \rho_0 \cdot K_y$	У зв'язку з малим значенням параметра в подальших розрахунках не використовується
3	Мінімальний припуск під зенкерування чорнове	$2Z \min_0 = 2(T_0 + Rz_0 + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_1^2})$	$2Z \min_0 = 2(100 + 200 + \sqrt{61,3^2 + 116^2})$ $= 2 \cdot 431 = 862 \text{ мкм} = 0,862 \text{ мм}$
4	Мінімальний припуск під зенкерування чистове	$2Z \min_1 = 2(T_1 + Rz_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_2^2})$	$2Z \min_1 = 2(50 + 50 + \sqrt{5,8^2}) =$ $= 2 \cdot 105,8 = 211,6 \text{ мкм} = 0,211 \text{ мм}$
5	Мінімальний припуск під розточування напівчистове	$2Z \min_2 = 2(T_2 + Rz_2 + \sqrt{\rho_2^2 + \varepsilon_3^2})$	$2Z \min_2 = 2(40 + 30) =$ $= 2 \cdot 70 = 140 \text{ мкм} = 0,14 \text{ мм}$
6	Мінімальний припуск під розточування чистове	$2Z \min_3 = 2(T_3 + Rz_3 + \sqrt{\rho_3^2 + \varepsilon_4^2})$	$2Z \min_2 = 2(50 + 50) =$ $= 2 \cdot 100 = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм}$
7	Мінімальний припуск під розточування алмазне	$2Z \min_4 = 2(T_4 + Rz_4 + \sqrt{\rho_4^2 + \varepsilon_5^2})$	$2Z \min_2 = 2(25 + 20) =$ $= 2 \cdot 45 = 90 \text{ мкм} = 0,09 \text{ мм}$
8	Максимальний припуск під зенкерування чорнове	$2Z \max_0 = 2Z \min_0 + \delta_0 + \delta_1$	$2Z \max_0 = 0,862 + 0,25 + 0,7 =$ $= 1,812 \text{ мм}$
9	Максимальний припуск під зенкерування чистове	$2Z \max_1 = 2Z \min_1 + \delta_1 + \delta_2$	$2Z \max_1 = 0,211 + 0,16 + 0,25 =$ $= 0,621 \text{ мм}$
10	Максимальний припуск під розточування напівчистове	$2Z \max_2 = 2Z \min_2 + \delta_2 + \delta_3$	$2Z \max_2 = 0,14 + 0,16 + 0,16 =$ $= 0,46 \text{ мм}$
11	Максимальний припуск під розточування чистове	$2Z \max_3 = 2Z \min_3 + \delta_3 + \delta_4$	$2Z \max_3 = 0,2 + 0,033 + 0,16 =$ $= 0,393 \text{ мм}$

Продовження таблиці 3.12.

№ п/п	Параметр	Формула	Розрахунок
12	Максимальний припуск під розточування алмазне	$2Z \max_4 = 2Z \min_4 + \delta_4 + \delta_5$	$2Z \max_4 = 0,09 + 0,025 + 0,033 = 0,148 \text{ мм}$
13	Мінімальний розмір після розточування чистового	$D \min_4 = D \max_5 - 2Z \max_4$	$D \min_4 = 38,13 - 0,148 = 37,982 \text{ мм}$
14	Максимальний розмір після розточування чистового	$D \max_4 = D \min_5 - 2Z \min_4$	$D \max_4 = 38,105 - 0,09 = 38,015 \text{ мм}$
15	Мінімальний розмір після розточування напівчистового	$D \min_3 = D \max_4 - 2Z \max_3$	$D \min_3 = 38,015 - 0,0393 = 37,622 \text{ мм}$
16	Максимальний розмір після розточування напівчистового	$D \max_3 = D \min_4 - 2Z \min_3$	$D \max_3 = 37,982 - 0,2 = 37,782 \text{ мм}$
17	Мінімальний розмір після зенкерування чистового	$D \min_2 = D \max_3 - 2Z \max_2$	$D \min_2 = 37,782 - 0,46 = 37,322 \text{ мм}$
18	Максимальний розмір після зенкерування чистового	$D \max_2 = D \min_3 - 2Z \min_2$	$D \max_2 = 37,622 - 0,46 = 37,482 \text{ мм}$
19	Мінімальний розмір після зенкерування чорного	$D \min_1 = D \max_2 - 2Z \max_1$	$D \min_1 = 37,482 - 0,621 = 36,861 \text{ мм}$
20	Максимальний розмір після зенкерування чорного	$D \max_1 = D \min_2 - 2Z \min_1$	$D \max_1 = 37,322 - 0,211 = 37,111 \text{ мм}$
21	Мінімальний розмір заготовки	$D \min_0 = D \max_1 - 2Z \max_0$	$D \min_0 = 37,111 - 1,812 = 35,299 \text{ мм}$
22	Максимальний розмір заготовки	$D \max_0 = D \min_1 - 2Z \min_0$	$D \max_0 = 36,861 - 0,862 = 35,999 \text{ мм}$

Розробляємо графічну схему розташування припусків і допусків при обробці поверхні $\varnothing 38^{+0,03}_{+0,005}$, рисунок 3.2.

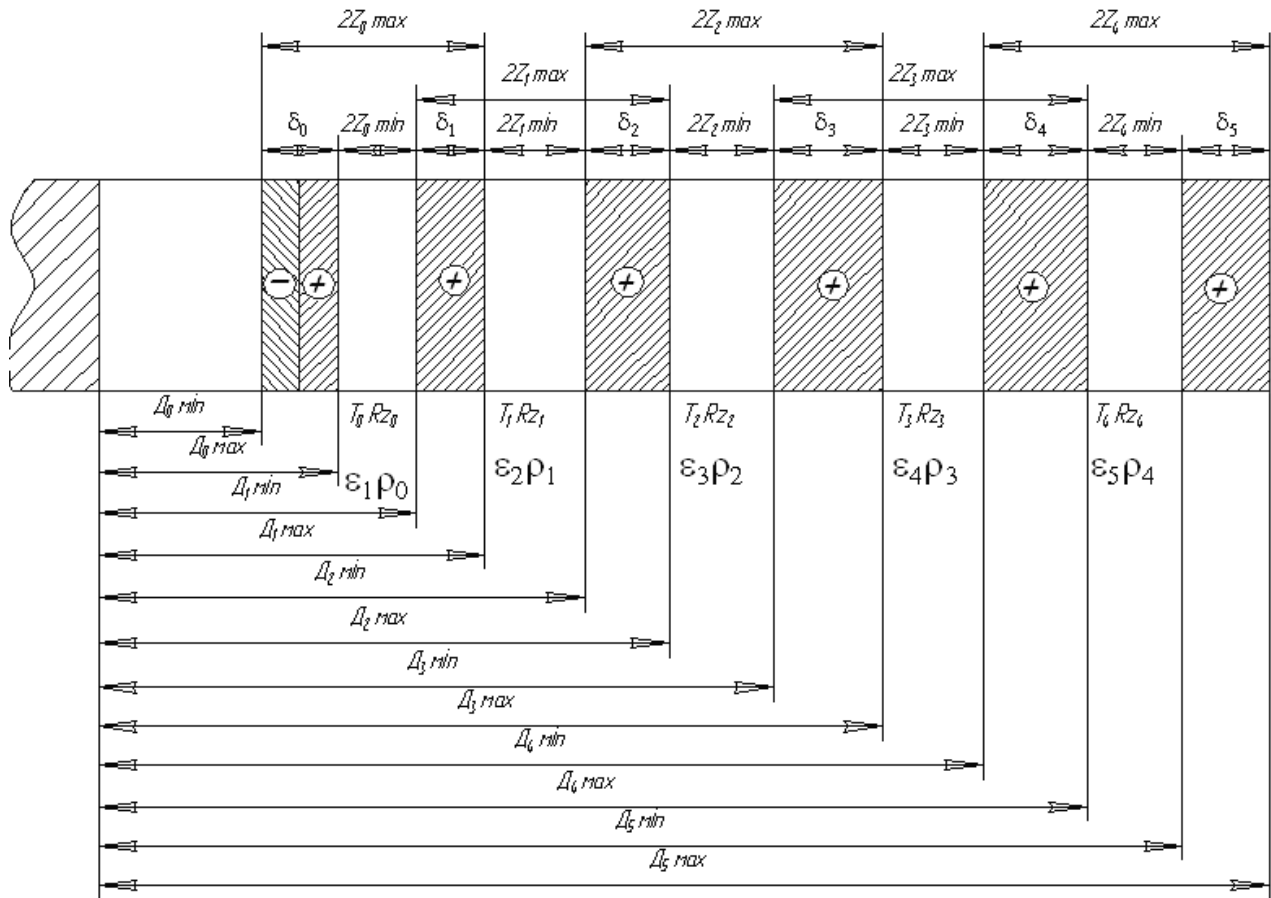


Рисунок 3.2. Схема розташування припусків та допусків для поверхні $\varnothing 38^{+0,03}_{+0,005}$

На інші поверхні деталі корпус НШ10У-3-02 припуски визначаємо по нормативним даним, і зводимо їх до таблиці 3.13.

Таблиця 3.13.

Звідна таблиця припусків та операційних допусків

№ пов.	№ розм.	№ оп./перех.	Відхил. розм.	Складові Z _{min} , мм				Z _{min} (2 Z _{min}), мм	Z _{max} (2 Z _{max}), мм	ΔZ _i , мм	t _i , мм	Операційні розміри	
				Rz	T	ρ	ε _y					до обробки	після обробки
5	1	005/1	h13	-	-	-	-	0,45	1,64	1,04	1,44	40,5±0,4	39h13(-0,039)
5	1	005/2	h12	-	-	-	-	0,25	0,89	0,57	0,78	39h13	38,3h12
5	1	005/3	±0,25	-	-	-	-	0,09	0,84	0,46	0,72	38,3h12(-0,25)	38±0,25
13	6	005/4	+0,22	-	-	-	-	0,07	0,29	0,18	4,215	-	Ø8,43 ^{+0,22}
7	10	005/6	H15	-	-	-	-	0,07	0,65	0,36	3,5	-	Ø7H15 ^(+0,058)
7	27	005/7	H10	-	-	-	-	0,02	0,838	0,52	0,73	Ø7H15	Ø7,99H10 ^(+0,058)
8	16	005/8	H12	0,2	0,1	0,0613	-	0,862	1,812	1,337	1,653	Ø35±0,35	Ø36H12 ^(+0,25)
8	13	005/9	H11	0,05	0,05	-	0,116	0,211	0,621	0,416	0,55	Ø36H12	Ø36,7H11 ^(+0,16)
14	16	005/10	-0,5	-	-	-	-	1,4	2,4	1,9	2,23	Ø34,5 _{-0,5}	Ø35 _{-0,5}
12	19	005/1	h13	-	-	-	-	0,35	1,24	0,795	1,1	43,5±0,25	42,5h13(-0,39)
12	19	005/2	h12	-	-	-	-	0,25	0,89	0,57	0,78	42,5h13	41,9h12(-0,25)
12	19	005/3	±0,15	-	-	-	-	0,07	0,62	0,35	0,528	41,9h12	41,5±0,15
9	20	005/4	+0,4	-	-	-	-	0,07	0,47	0,27	0,4	-	Ø14 ^{+0,4}
15	23	005/5	+0,4	-	-	-	-	0,07	0,47	0,27	0,4	-	Ø6,8 ^{+0,4}
3	2	010/1	h13	-	-	-	-	0,045	1,41	0,93	1,25	75 _{-0,5}	73,5h13(-0,46)
3	2	010/2	h12	-	-	-	-	0,25	1,01	0,63	0,88	73,5h13	72,5h12(-0,3)
3	2	010/3	-0,5	-	-	-	-	0,09	0,89	0,5	0,66	72,5h12	72,5 _{-0,5}
8	13	015/1	H11	0,03	0,04	-	-	0,14	0,46	0,3	0,4	Ø36,7H11 ^(+0,16)	Ø37,2H11 ^(+0,16)
8	13	015/2	H8	0,05	0,05	-	-	0,14	0,39	0,29	0,35	Ø37,2H11	Ø37,7H8 ^(+0,033)
8	13	015/3	+0,030 +0,005	0,02	0,025	-	-	0,2	0,148	0,119	0,138	Ø37,7H8 ^(+0,033)	Ø38 ^{+0,03 +0,005}

3.2.10 Визначення режимів різання

Розрахунково-аналітичним методом [6, 7] проводимо розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 14^{+0,4}$, поверхня 9, на операції 005 технологічного процесу. Вихідні дані для розрахунку зведено до таблиці 3.14.

Таблиця 3.14.

№ п/п	Найменування	Значення	Одиниця виміру
1	Потужність N приводу верстата 2204ВМФ4	6,3	кВт
2	Глибина різання $t=D/2$	7	мм
3	Матеріал різальної частини інструменту	P6M5	-
4	Подача S_0	0,35	мм/об
5	Стійкість інструменту T	60	хв
6	Коефіцієнт C_v для розрахунку швидкості різання	40,7	-
7	Показники степені для розрахунку швидкості різання	y	0,4
		q	0,25
		m	0,125
8	Поправочні коефіцієнти на швидкість різання	K_{uv}	1
		K_{lv}	1
		K_{MV}	0,8
9	Коефіцієнт C_m для розрахунку крутного моменту	0,005	-
10	Показники степені для розрахунку крутного моменту	qm	2
		ym	0,8
		K_p	1

1. Зведений поправочний коефіцієнт для розрахунку швидкості різання:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{lv} \cdot K_{uv} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8.$$

2. Швидкість різання, м/хв:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} K_v = \frac{40,7 \cdot 14^{0,25}}{60^{0,125} \cdot 0,35^{0,4}} 0,8 = 57,45.$$

3. Число обертів шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 57,45}{3,14 \cdot 14} = 1306,$$

приймаємо нормативне значення $n_\phi = 1135$ об/хв. Отже, швидкість різання, м/хв:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 14 \cdot 1135}{1000} = 50.$$

4. Крутний момент на шпінделі верстату, кгм:

$$M = C_M \cdot D^{qm} \cdot S^{ym} \cdot K_p = 0,005 \cdot 14^2 \cdot 0,35^{0,8} \cdot 1 = 0,423.$$

5. Потужність різання, кВт:

$$N = M \frac{n}{975} = \frac{0,423 \cdot 1135}{975} = 0,5.$$

Режими різання на інші переходи і операції визначаємо по нормативним даним, та зводимо до таблиці 3.15.

Таблиця 3.15.

Зведена таблиця режимів різання

№ пов.	№ розміру	Опер./перехід	Глибина різання, t, мм	Подача So, мм/об	Подача хвилинна Sn, мм/хв	Швидкість, V, м/хв	Число обертів, n, об/хв	Потужність різання, N, кВт	Коефіцієнт використ. N, nN	Довж. проходу, Lпр, мм	Основний час, To, хв
5	1	005/1	1,5	0,5	115	110	230	2,01	0,32	108	0,94
5	1	005/2	1,2	0,5	115	110	230	1,7	0,27	108	0,94
5	1	005/3	0,5	0,5	115	110	230	0,7	0,11	108	0,94
13	6	005/4	4,2	0,3	-	35	710	0,1	0,02	26	0,05
13	29	005/5	0,68	1,25	-	12	380	2,3	0,37	20	0,05
7	10	005/6	3,5	0,3	-	35	710	0,1	0,02	10	0,05
7	27	005/7	0,45	0,2	-	18	710	0,07	0,01	7	0,02
8	13	005/8	0,5	0,3	-	43	380	0,4	0,06	60	0,2
8	13	005/9	0,35	0,8	-	43	380	0,4	0,06	60	0,2
14	16	005/10	0,25	0,8	-	40	380	0,4	0,06	60	0,2
12	19	005/1	1,0	0,5	87,5	76	175	1,15	0,18	58	0,66
12	19	005/2	0,3	0,5	87,5	76	175	0,7	0,11	58	0,66
12	19	005/3	0,2	0,5	87,5	76	175	0,5	0,08	58	0,66
9	20	005/4	7,0	0,12	-	22	500	0,5	0,08	28	0,46
15	23	005/5	3,4	0,3	-	35	710	0,1	0,02	20	0,1
15	26	005/6	0,68	1,25	-	12	380	2,3	0,37	20	0,05
3	2	010/1	1,5	0,5	115	110	230	2,01	0,32	90	0,78
3	2	010/2	1,0	0,5	115	110	230	1,7	0,27	90	0,78
3	2	010/3	0,5	0,5	115	110	230	0,7	0,11	90	0,78
8	13	015/1	0,25	0,6	990	194	1650	0,15	0,024	60	0,06
8	13	015/2	0,2	0,6	990	194	1650	0,15	0,024	60	0,06
8	13	015/3	0,15	0,1	165	194	1650	0,027	0,004	60	0,363

3.2.11 Технічне нормування операцій

Проводимо технічне нормування операцій техпроцесу [6, 7].

1. Основний час, t_0 , хв. на виконання переходів та операцій – табл.3.15.

2. Допоміжний час, t_d , хв. складається із наступних елементів:

- час на установку деталі $t_{уст}$, хв;
- час на закріплення деталі t_3 , хв;
- час на вимірювання деталі $t_в$, хв;

$$t_d = t_{уст} + t_3 + t_в.$$

Виконаємо розрахунок елементів допоміжного часу, результати зводимо в таблицю 3.16.

Таблица 3.16

Звідна таблиця елементів допоміжного часу

№ операції	$t_{уст}$, хв	t_3 , хв	$t_в$, хв	t_d , хв
005	0,4	0,3	0,1	0,8
010	0,3	0,25	0,15	0,7
015	0,25	0,25	0,1	0,6

3. Час на обслуговування робочого місця, складається із наступних елементів:

- час технічного обслуговування робочого місця, $t_{тех}$, хв:

$$t_{тех} = \frac{t_0 \cdot t_{см}}{T},$$

де $t_{см}$ - час на зміну інструменту, хв;

T - період стійкості інструменту, хв.

- час організаційного обслуговування, $t_{орг}$, хв:

$$t_{орг} = \frac{1,4(t_0 + t_d)}{100}.$$

4. Час на відпочинок, $t_{від}$, хв:

$$t_{від} = \frac{7(t_0 + t_d)}{100}$$

5. Штучний час, $t_{шт}$, хв:

$$t_{шт} = t_0 + t_d + t_{тех} + t_{орг} + t_{від}.$$

6. Для операцій, виконуваних на верстатах з ЧПУ задається штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + t_{п-з}/n$$

де n – кількість деталей в партії, шт.;

$t_{п-з}$ - час на програмування верстата, хв.

Здійснюємо розрахунки обумовлених показників для всіх операцій технологічного процесу. Результати зводимо в таблицю 3.17.

Таблиця 3.17.

Звідна таблиця нормування операцій

№ оп.	Основний час, t_0 , хв	Допоміжний час, t_d , хв	Час на тех. обслуг., $t_{тех}$, хв	Час на організ. обслуг., $t_{орг}$, хв	Час на відпочинок, $t_{від}$, хв	Штучний час, $t_{шт}$, хв	Штучно-калькул. час, $t_{шт-к}$, хв
005	6,18	0,7	0,95	0,1	0,48	8,41	10,0
010	2,34	0,7	0,4	0,042	0,212	3,694	3,9
015	0,48	0,7	0,4	0,016	0,082	1,678	2,0

3.3 Висновки

У розділі виконано розробку технологічного процесу механічної обробки деталі корпус НШ10У-3-02. Усі технічні рішення обґрунтовані та підкріплені розрахунками.

Виконано аналіз конструктивних параметрів деталі та базового технологічного процесу. Запропоновано технічне рішення, яке може підвищити продуктивність обробки. Використання багатоінструментального обробного центру з ЧПУ 2204ВМФ4, наявного на базовому підприємстві, дозволить максимально концентрувати обробку на одній операції, уникнути зайвих перевстановок деталі, зменшить кількість задіяного обладнання та підвищити ефективність обробки.

Для розробленого техпроцесу виконано підбір необхідного технічного забезпечення (різальних інструментів, вимірювальних засобів) та виконані необхідні розрахунки (припуски та міжопераційні розміри, режими різання і нормування операцій).

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристосування

Затискне пристосування призначене для закріплення деталі на столі верстата. Пристосування використовується на операції 005, позиція II.

Пристосування складається із гідравлічного блока на якому розташована плита 2, на поверхні якої розміщені базові елементи – пальці 3, на які встановлюється деталь. Затиск деталі відбувається планкою 9, за допомогою штока 1.

Виконаємо розрахунок сил затиску. Схема сил, що діють на деталь приведена на рисунку 4.1.

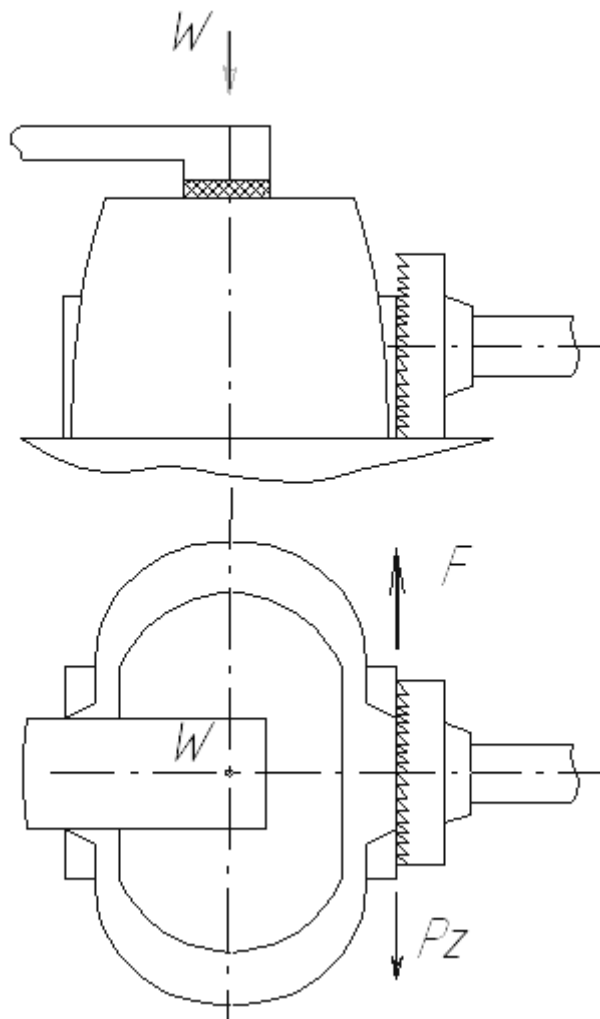


Рис. 4.1 Схема до розрахунку сили затиску.

Рівновага схеми закріплення деталі записується рівнянням:

$$P_z \leq F,$$

де P_z – технологічна складова сили різання, $P_z=397$ Н;

F – сила тертя, визначається з рівняння:

$$F=W \cdot f,$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу деталі по матеріалу плити, $f=0,12$.

Тобто, підставивши в рівняння, отримаємо:

$$P_z \leq W \cdot f,$$

а вивівши з рівняння силу затиску W , та врахувавши коефіцієнт запасу, отримаємо:

$$W = \frac{P_z}{f} K_z,$$

де K_z – коефіцієнт запасу сили, приймаємо $K_z=1,5$.

Розраховуємо необхідну силу затиску, Н:

$$W = \frac{397}{0,12} 1,5 = 4962,5.$$

Розрахунок на міцність

Найбільш навантаженим елементом пристосування є шток гідроциліндра, яким планка 9 притискається до деталі, створюючи силу затиску, як показано на рисунку 4.2.

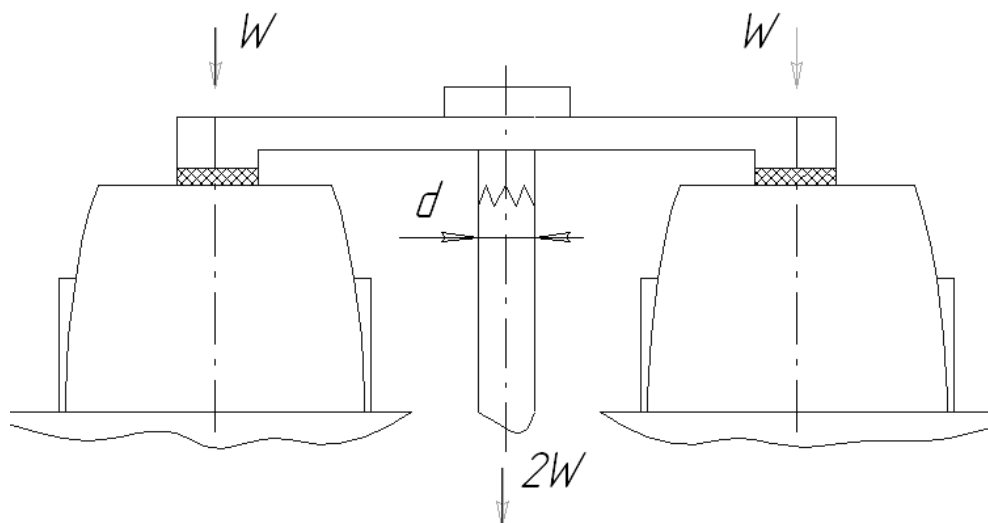


Рис. 4.2 Схема до розрахунку на міцність.

Шток повинен витримати напруження розриву [6, 7]:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_p} \leq [\sigma_p],$$

де σ_p – напруження розриву;

F_p - сила розриву, по рівнянню, Н:

$$F_p = 2W = 2 \cdot 4962,5 = 9925.$$

A_p – площа розриву, згідно формули, мм^2 :

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314.$$

де d – діаметр штоку, мм.

Отже:

$$\sigma_p = \frac{9925}{314} = 31,6 \text{ Н / мм}^2$$

Обираємо матеріал деталі - сталь 40Х, для якої $[\sigma_p] = 50 \text{ Н/мм}^2$.

Розрахуємо коефіцієнт запасу міцності:

$$K_3 = [\sigma_p] / \sigma_p = 50 / 31,6 = 1,58.$$

Значення задовольняє нерівність $K_3 \geq 1,5$. Розрахунок закінчено.

Складальне креслення пристосування представлено в додатках до роботи.

4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою

Контрольний пристрій призначений для контролю допуску розміщення 0,02 мм двох отворів $\varnothing 38,1$ мм відносно базових отворів $\varnothing 7,99^{(+0,05)}$ мм в корпусі НШ10У-3-02.

Пристосування складається з:

- 1) контрольно-вимірювальне пристосування в зборі;
- 2) індикатор 1 МИГ, або аналогічний із ціною поділки 0,001 мм;
- 3) контрольний зразок для налагодження індикатора на нуль, або еталонна деталь (годна деталь, обміряна універсальними засобами вимірювання).

Схему пристосування показано на рисунку 4.3. Основним елементом пристосування є плита поз. 1 із прикріпленою стійкою поз. 2. У запресованій у стійку поз. 2 втулці поз. 3 встановлена оправка поз. 4 із можливістю

переміщення і обертання. Оправка поз.4 притерта по циліндричній поверхні до отвору втулки поз. 3.

Для встановлення індикатора поз. 7 на нуль, контрольний зразок або еталонна деталь поз. 8 базується на підпружинені пальці поз. 5 та підтискається до стойки поз. 2 гвинтом поз. 6. Далі, оправка поз. 4 вводиться у отвір контрольного зразка поз. 8 та здійснюється налаштування циферблата індикатора поз. 7.

Вимірювальна деталь поз. 8, вважається придатною, якщо при оберті оправки поз. 4, стрілка індикатора поз. 7 не перевищує показники 0,02 мм.

Складальне креслення пристосування представлено в додатках до роботи.

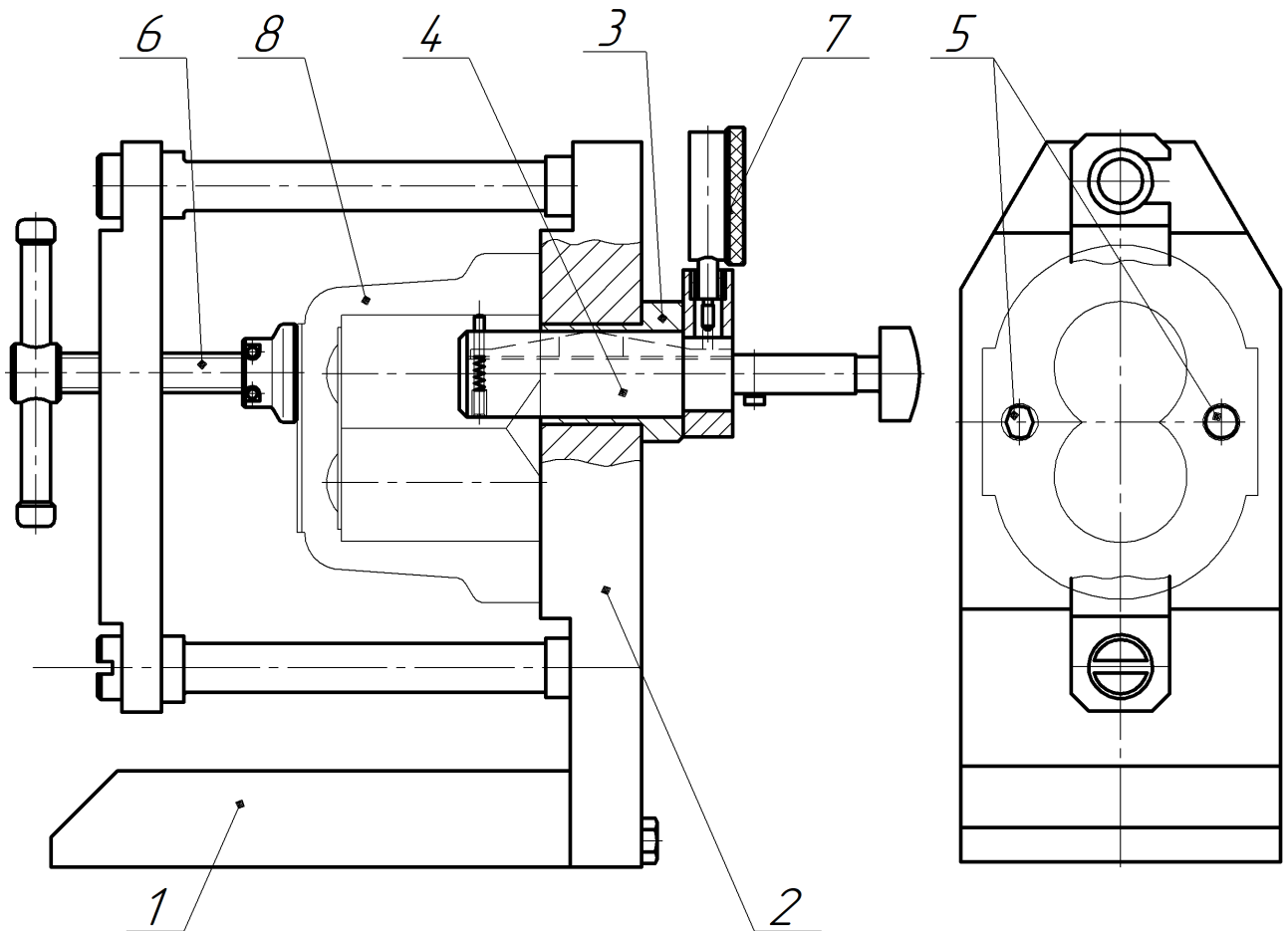


Рисунок 4.3 – Контрольне пристосування

1 – плита; 2 – стойка; 3 – втулка; 4 – оправка; 5 – пальці; 6 – гвинт; 7 – індикатор;
8 – контрольована деталь

Визначення похибок вимірювання контрольного пристосування

Виконаємо перевірку контрольного пристрою по працездатності [6, 7]:

$$[\Delta_{\text{вим}}] \geq \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_{\text{вд}}^2 + \Delta_{\text{пп}}^2 + \Delta_{\text{вз}}^2 + \Delta_{\text{взв}}^2 + \Delta_{\text{від}}^2},$$

де: Δ_6 – похибка базування деталі, $\Delta_6 = 0,003$;

$\Delta_{\text{вд}}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\text{вд}} = 0,0015$ мм;

$\Delta_{\text{пп}}$ – похибка передавального пристрою, $\Delta_{\text{пп}} = 0,0025$ мм;

$\Delta_{\text{вз}}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\text{вз}} = 0,002$ мм;

$\Delta_{\text{взв}}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\text{взв}} = 0,001$ мм;

$\Delta_{\text{від}}$ – похибка відліку, $\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot j$, де j – ціна поділки шкали вимірювального засобу, тобто маємо:

$$\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot 0,001 = 0,0002 \text{ мм},$$

$[\Delta_{\text{вим}}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,005$ мм.

Тоді:

$$\sqrt{0,003^2 + 0,0015^2 + 0,0025^2 + 0,002^2 + 0,001^2 + 0,0002^2} = 0,0047 \text{ мм}.$$

Допустима похибка вимірювання складає 0,005 мм, а розрахункова – 0,0047 мм. Тобто умова виконується.

Складальне креслення вимірювального пристосування представлено в додатках до роботи.

4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту

На операції 005 Свердлувально-фрезерна з ЧПУ, що виконується на верстаті 2204 ВМФ4 використовується фреза торцева для фрезерування площин деталі корпус НШ10У-3-02 – площини роз'єму на позиції I, та площин платиків на позиції II і III (див. табл. 3.9).

Конструкція торцевої фрези (рисунок 4.4), передбачає механічне кріплення п'ятикутних непереточуваних різальних пластин, шляхом встановлення їх у ложе окремих різців та затиску до корпусу фрези гвинтом.

Вихідні дані для розробки конструкції торцевої фрези:

- глибина різання $t = 1,5$ мм;

- частота обертів шпінделя верстата $n = 230$ об/хв;
- ширина фрезерування $B = 80$ мм;
- матеріал деталі: АК5М2 ДСТУ 2839-94;
- шорсткість обробленої поверхні $Ra\ 2,5$ мкм;
- верстат: свердлильно-фрезерно-розточний з ЧПУ 2204 ВМФ4;
- матеріал різальної частини: пластини з твердого сплаву ВК6.

Торцева фреза складається з:

- корпусу поз. 1;
- втулок поз. 2 - 8 шт.;
- різців із різальними пластинами поз. 3 - 8 шт.;
- болтів поз. 4 - 8 шт.;
- пружин поз. 5 - 8 шт.

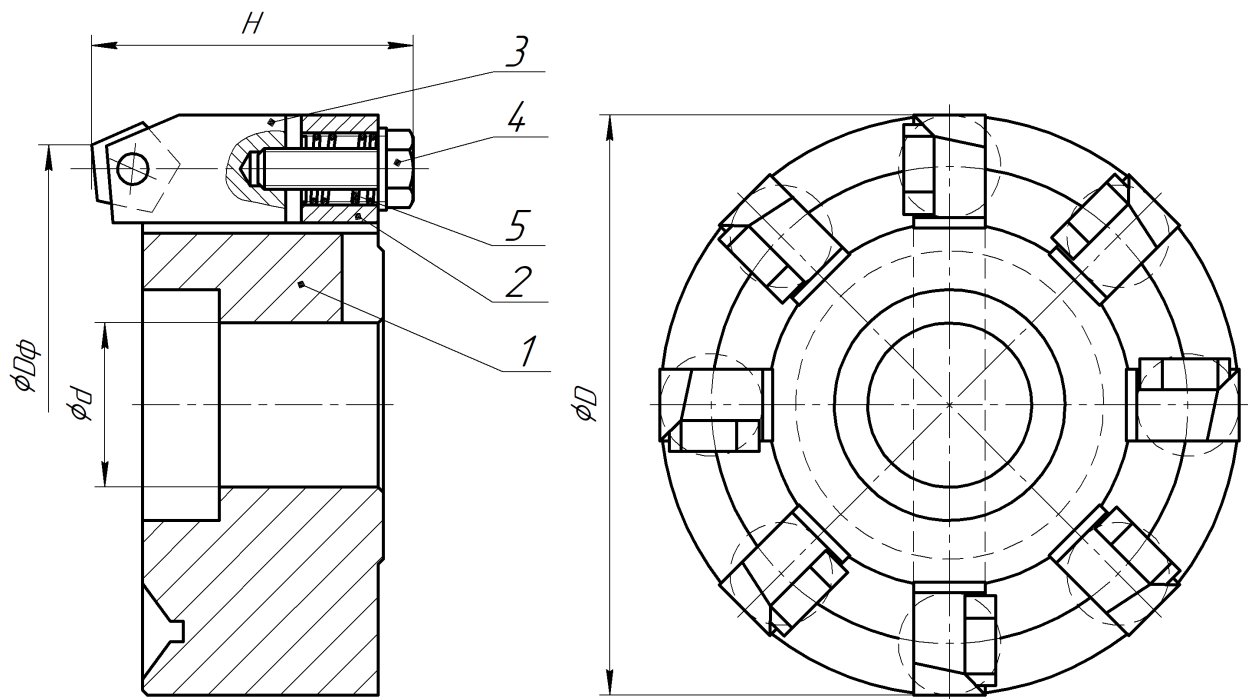


Рисунок 4.4 Фреза торцева

D – зовнішній діаметр; $D\phi$ – робочий діаметр; d – отвір під оправку; H – висота;
1 – корпус; 2 – втулка; 3 – різець; 4 – гвинт; 5 – пружина.

Конструкція різця поз. 3 дозволяє повертати різальну пластинку навколо її осі після зношування однієї грані, щоб подальше різання виконувала інша різальна кромка. Поворот здійснюють на штифті без зняття пластинки з різця:

для цього різець опускають гвинтом до моменту, коли пластинка виходить із кільцевого тригранного паза, розташованого на торці корпусу фрези поз. 1. Після повороту на одну грань пластинку разом із державкою фіксують гвинтом, притискаючи до торцевої виточки для точного базування по гранях. Центральний отвір d у корпусі слугує для встановлення фрези на оправці в шпінделі верстата. Різання відбувається завдяки обертанню фрези, при цьому крутний момент передається через оправку за допомогою торцевої шпонки та шпонкового паза.

Виконаємо розрахунок торцевої фрези [4]. Задаємося довжиною фрези, діаметром, числом зубців та кутом ω :

$$L = 45 \text{ мм}; D' = 100 \text{ мм}; z' = 8; \omega = 45^\circ.$$

Подача на зубець фрези визначається з нормативних даних:

$$S_z = 0,15 \text{ мм/зуб.}$$

Визначаємо посадковий діаметр фрези, за формулою, мм:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сум}}}{0,1 \cdot \sigma_{\text{у.д.}}}}.$$

Головну складову сили різання при $t = 1,5$ мм визначаємо по формулі:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{\text{mp}} \cdot K_a.$$

Визначаємо коефіцієнти по нормативам, згідно умов обробки:

$$C_p = 825; x = 1,0; y = 0,75; u = 1,1; q = 1,3; w = 0,2; K_{\text{mp}} = 1,0; K_a = 0,25.$$

Підставивши значення, отримаємо, Н:

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,15^{0,75} \cdot 80^{1,1} \cdot 8}{100^{1,3} \cdot 230^{0,2}} \cdot 1,0 \cdot 0,25 = 626,18.$$

Сумарний момент, що діє на фрезерну оправку розраховується по формулі:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16} \cdot R \cdot l\right)^2 + \left(\frac{P_z D'}{2}\right)^2}.$$

Визначаємо рівнодіючу силу R сил різання:

$$R = 1,411 \cdot P_z,$$

$$R = 1,411 \cdot 626,18 = 883,54 \text{ Н}.$$

Приймаємо величину відстані від опори фрезерної оправки до посадкової ділянки фрези: $l=32$ мм. Сумарний момент на фрезерній оправці буде дорівнювати, Нм:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16} \cdot 883,54 \cdot 32 \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(\frac{626,18 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2} = 31,7.$$

В залежності від матеріалу державки, допустиму напругу на згин приймаємо: $\sigma_{\text{и.д.}} = 250 \text{ МПа}$.

Розраховуємо діаметр посадкового отвору фрези, підставляючи знайдені значення $M_{\text{сум}}$ та $\sigma_{\text{и.д.}}$:

$$d = \sqrt[3]{\frac{31,7}{0,1 \cdot 250 \cdot 10^6}} = 0,01082 \text{ м} = 10,82 \text{ мм}.$$

Отже, для заданих умов обробки, буде достатньо виконати посадковий діаметр торцевої фрези 11 мм, однак, пропорційно до габаритів фрези, приймаємо найближчий стандартний діаметр отвору фрези: $d = 32 \text{ мм}$. Також приймаємо:

- зовнішній діаметр фрези: $D = 100$ мм;
- довжину фрези $l = 47$ мм;
- з врахуванням посадкових місць під різці, приймаємо максимальний зовнішній діаметр $D_{\text{max}} = 113$ мм.

Розраховуємо кількість зубців, остаточно:

$$z = m \cdot \sqrt{D}; \quad z = 0,8 \cdot \sqrt{113} = 8,5 \text{ шт.}$$

Приймаємо найближчу парну кількість, $z = 8$ шт.

Розраховуємо крок зубців торцевої фрези:

- коловий торцевий крок, мм:

$$S_{\text{окр}} = \frac{\pi \cdot D}{z}; \quad S_{\text{окр}} = \frac{3,14 \cdot 113}{8} = 44,35.$$

- вісевий крок при $\omega = 45^\circ$, $\text{ctg } 45^\circ = 1$:

$$S_{\text{віс}} = \frac{\pi \cdot D}{z} \cdot \text{ctg } \omega; \quad S_{\text{віс}} = \frac{3,14 \cdot 113}{8} \cdot 1 = 44,35 \text{ мм}.$$

Проводимо перевірку значень кількості зубців z та вісевого кроку фрези

S_{vic} на умову неперервного фрезерування:

$$C = \frac{B}{S_{vic}}; \quad C = \frac{32}{44,35} = 0,72.$$

Умова неперервного фрезерування виконується.

Приймаємо геометрію різальної частини фрези:

- головний передній кут $\gamma = -11^\circ$;
- головний кут в плані $\varphi = 66^\circ$;
- допоміжний кут в плані $\varphi_1 = 6^\circ$;
- головний задній кут $\alpha = 11^\circ$.

Призначаємо вимоги до матеріалів торцевої фрези:

- корпус та державки різців – сталь 45, твердість HRC 40...45;
- різальна частина – багатогранні пластини з твердого сплаву ВК6, твердість HRA 87...92;

Складальне креслення торцевої фрези з вказанням основних технічних вимог представлено в додатках до роботи.

4.4 Висновки

У розділі здійснено розробку затискного пристосування, яке забезпечить швидке, надійне та безпечне закріплення деталі корпус НШ10У-3-02 під час обробки на багатоінструментальній операції з ЧПУ на верстаті 2204 ВМФ4.

Розроблена конструкція контрольного пристосування дає можливість контролювати допуск розміщення двох колодців корпусу насоса (отворів $\varnothing 38,1$ мм) відносно базових отворів. Контрольований розмір впливає на загальну якість насоса, особливо на внутрішні перетікання робочої рідини та зовнішню герметичність.

Розроблена конструкція торцевої фрези використовується для фрезерування площин деталі корпус НШ10У-3-02 – площини роз'єму та платиків на операції 005 Свердлувально-фрезерна з ЧПУ 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 [2, 3].

Кількість робочих місць на операціях проектного техпроцесу деталі «корпус насоса НШ10У-3-02» визначаємо за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{орм} \cdot 60 \cdot k_e}, \quad (5.1)$$

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

$F_{орм}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин;

k_e - нормативний коефіцієнт виконання норм часу ($k_e = 1,0-1,1$ [2, с. 4]).

На операції 005 техпроцесу обробки деталі:

$$q_{p(005)} = \frac{10000 \cdot 8,41}{4000 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,350.$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесів зведемо до таблиці 5.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

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

$$\eta_{z(005)} = \frac{0,350}{1} = 0,35.$$

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

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,574}{3} = 0,19, \quad (5.3)$$

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

m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ опер.	Найменування операції	$t_{шт, хв.}$	Кількість обладнання		η_z	$\overline{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
010	Свердлувально-фрезерна	8,41	0,350	1	0,350	0,19
015	Фрезерна	3,694	0,154	1	0,154	
020	Відділково-розточна	1,678	0,070	1	0,070	
	Всього	13,782	0,574	3	0,574	

Середній коефіцієнт завантаження по цеху $\overline{\eta}_z = 0,04$, що відповідає встановленому раніше великосерійному типу виробництва (ВС) [2, дод. 1].

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 технологічного 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, с. 5]. В цьому випадку, розрахунковий розмір партії деталей:

$$n_p = \frac{t_{n-3}^{np}}{t_{шт}^{np} \cdot k_d}, \quad (5.4)$$

де $t_{n-3}^{np}, t_{шт}^{np}$ - відповідно підготовчо-заклучний і штучний час «провідної» операції технологічного процесу, хв. (за «провідну» приймається операція, для якої відношення $t_{n-3}^{np} / t_{шт}^{np}$ є найбільшим, у даному випадку це операція 015);

k_{∂} - коефіцієнт припустимих втрат часу на переналагоджування (для металорізального обладнання приймається у розмірі 0,05).

$$n_p = \frac{10}{1,678 \cdot 0,05} = 119 \text{ шт.}$$

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:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{10000}{119} \approx 84, \quad (5.5)$$

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:

$$A_{\phi} = 52.$$

$$n_{np} = \frac{10000}{52} = 193 \text{ шт.} \quad (5.6)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{253}{52} = 4,9 \text{ роб. дні.} \quad (5.7)$$

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:

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

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

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

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

де k_g - 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:

$$t_{k-\partial(005)} = \frac{8,41}{1,0 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{35}{193} = 8,591 \text{ хв.}$$

$$T_{o(005)} = \frac{193 \cdot 8,41}{2 \cdot 440} = 1,88 \text{ дн.}$$

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

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ оп.	Найменування операції	t_{um} , хв.	t_{n-3} , хв.	$t_{k-\partial}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
005	Свердлувально-фрезерна	8,41	35	8,591	1,88	0,3
010	Фрезерна	3,694	15	3,772	0,83	0,3
015	Відділково-розточна	1,678	10	1,730	0,38	0,3
	Всього	13,782	-	14,093	3,1	0,9

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, с. 7].

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 3,1 + 0,9 = 4,0 \text{ дні}, \quad (5.10)$$

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

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,3 \cdot 3,09}{3} = 0,3 \text{ дні}, \quad (5.11)$$

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

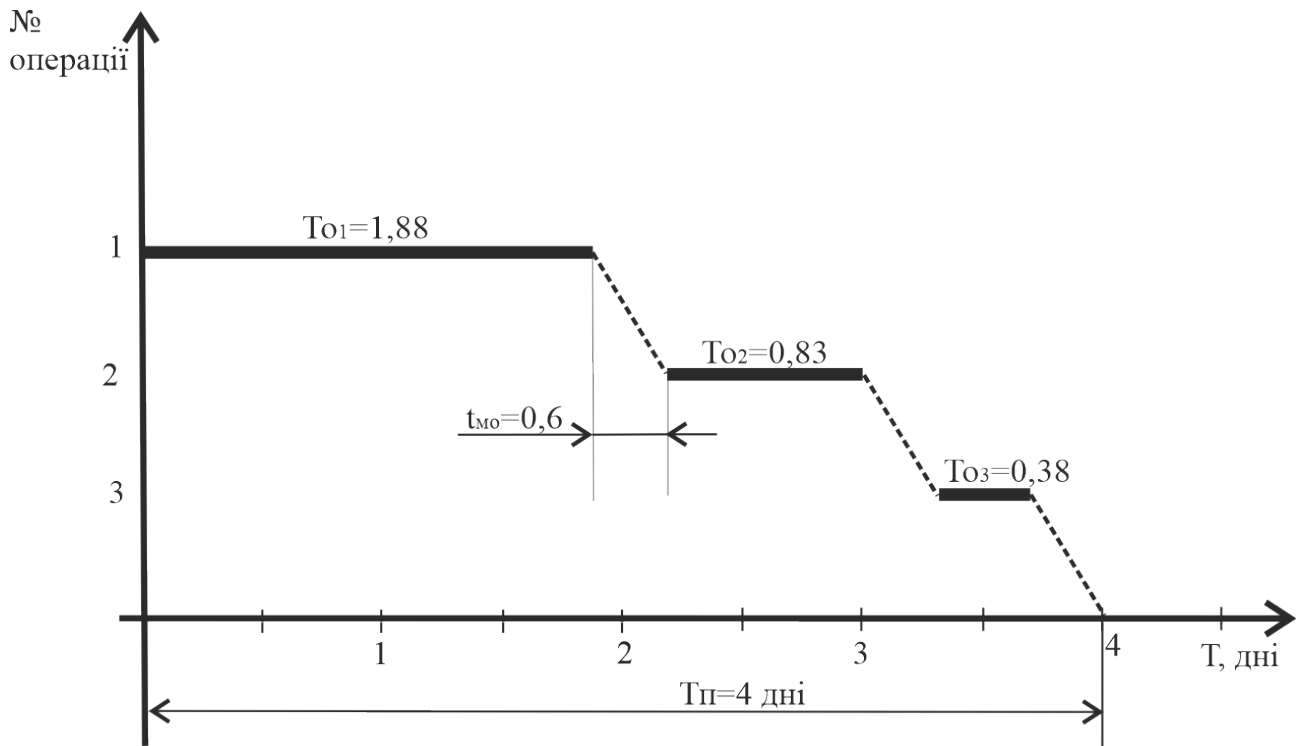


Рисунок 5.1 Графік послідовного виду руху партії деталей «корпус насосу»
 $n=193$ шт.

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_{\text{ц}} = \frac{n_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ц}}}{R_{\text{з}}} = \frac{193 \cdot 4,0}{4,9} = 158 \text{ шт.} \quad (5.12)$$

5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху

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

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

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

$$T_p = N_{\text{з}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}_i}}{60} \cdot K_{\text{доп}} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (5.14)$$

де $K_{\text{дов}}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного ($\eta_{\text{зн}}$) для даного типу виробництва [2, дод. Д1]:

$$K_{\text{дов}} = \frac{\eta_{\text{зн}}}{\bar{\eta}} = \frac{0,8}{0,19} = 4,21, \quad (5.15)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15\ldots 20\%$ [2, с. 8];

$F_{\text{др}}$ - 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%)):

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

$$T_p = 10000 \cdot \frac{13,782}{60} \cdot 4,21 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 11604,4 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{11604,4}{1840} = 7 \text{ осіб.}$$

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 насосу НШ10У-3-02.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

Для визначення доцільності впровадження запропонованого варіанту техпроцесу механічної обробки деталі «корпус насосу НШ10У-3-02», проведемо його економічний аналіз [2, 3] 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 НШ10У-3-02»

Номер опер.	Базовий варіант		Номер опер.	Проектний варіант	
	Модель обладнання	t_{um} , хв.		Модель обладнання	t_{um} , хв.
215, 225	2ХА1547	3,066	005	2204 ВМФ4	8,410
220	6Р81	1,454	010	621М	2,478
235	ОС3893	0,890			
240	КК3225	0,552			
240-1	КК3310	2,230			
245	020-106	1,408			

6.1.1 Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку [2, 3] змінні витрати визначаються за формулою:

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

де M_o – вартість основних матеріалів (не розраховуються, оскільки не змінюються 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 ріжучого 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).

Наприклад, для операції 005 проєктного техпроцесу:

$$З_{одв.пр(005)} = \frac{106,539 \cdot 8,41}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 20,040 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Розрахунок витрат на заробітну плату

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	$t_{ум}$, хв.	Роз- ряд	C_z , грн/год	$З_{одв.баз}$, грн.	№ опер.	$t_{ум}$, хв.	Роз- ряд	C_z , грн/год	$З_{одв.пр}$, грн.
215, 225	3,066	4	106,539	7,306	005	8,410	4	106,539	20,040
220	1,454	3	95,884	3,118	010	2,478	3	95,884	5,314
235	0,890	3	95,884	1,909					
240	0,552	3	95,884	1,184					
240-1	2,230	3	95,884	4,782					
245	1,408	3	95,884	3,020					
Всього	9,600	-	-	21,319	Всього	10,888	-	-	25,355

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Його характеристики зведено до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

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					
2ХА1547	1,950×1,200	15,5	32/21	2,34	420,0
6Р81	1,480×1,990	7,4	12/9,5	2,95	123,0
ОС3893	1,800×1,400	36,05	16/12	2,52	180,0
КК3225	1,680×2,000	1,6	16/11	3,36	138,0
КК3310	1,850×2,100	2,6	16/12	3,89	155,0
020-106	2,680×2,265	5,2	24/18	6,07	280,0
Проектний варіант					
2204 ВМФ4	3,470×2,900	11,2	28/15	10,063	850,0
621М	3,110×1,385	9,0	12/8	4,307	99,0

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_{\delta}}{\eta_{\epsilon} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{um}}{60} \cdot C_{el}, \quad (6.4)$$

де N_{ϵ} – 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_{δ} – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_{\delta} = 0,3 \dots 0,5$;

η_{ϵ} – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_{\epsilon} = 0,92 \dots 0,96$;

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

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

$$E_{c.пр(005)} = \frac{11,2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{8,410}{60} \cdot 18,10 = 1,5414 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Розрахунок витрат на електроенергію

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	N_{θ} , кВт	K_N	$t_{ум}$, хв.	$E_{с.баз}$, грн.	№ опер.	N_{θ} , кВт	K_N	$t_{ум}$, хв.	$E_{с.пр}$, грн.
215, 225	15,5	0,8	3,066	4,115	005	11,2	0,7	8,410	7,137
220	7,4	0,7	1,454	0,815	010	9,0	0,6	2,478	1,449
235	36,05	0,5	0,890	1,737					
240	1,6	0,5	0,552	0,048					
240-1	2,6	0,5	2,230	0,314					
245	5,2	0,6	1,408	0,476					
Всього	-	-	9,600	7,505	Всього	-	-	10,888	8,586

Витрати на ремонт обладнання:

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

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.

$$B_{р.пр(005)} = \frac{980 \cdot 28 + 750 \cdot 15}{4000} \cdot \frac{8,410}{60} = 1,356 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.5.

Таблиця 6.5

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.
215, 225	32	21	3,066	0,602	005	28	15	8,410	1,356
220	12	9,5	1,454	0,114	010	12	8	2,478	0,183
235	16	12	0,890	0,092					
240	16	11	0,552	0,055					
240-1	16	12	2,230	0,229					
245	24	18	1,408	0,217					
Всього	-	-	9,600	1,309	Всього	-	-	10,888	1,539

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мд}} = \frac{M_{\text{зв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot t_{\text{ум}}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\text{в}}, \quad (6.6)$$

де $M_{\text{зв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{\text{мд.пр(005)}} = \frac{78,5 \cdot 28 \cdot 8,41}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 1,7319 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

Базовий варіант				Проектний варіант			
№ опер.	$W_{\text{м}}$, УРО	$t_{\text{ум}}$, хв.	$B_{\text{мд.баз}}$, грн.	№ опер.	$W_{\text{м}}$, УРО	$t_{\text{ум}}$, хв.	$B_{\text{мд.пр}}$, грн.
215, 225	32	3,066	1,412	005	28	8,410	3,389
220	12	1,454	0,251	010	12	2,478	0,428
235	16	0,890	0,205				
240	16	0,552	0,127				
240-1	16	2,230	0,513				
245	24	1,408	0,486				
Всього	-	9,600	2,995	Всього	-	10,888	3,816

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

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

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

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

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

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

$H_{\text{а}}$ – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{\text{ам.баз(220)}} = \frac{123000 \cdot 1,19 \cdot 20 \cdot 1,454}{4000 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 0,2217 \text{ грн.};$$

$$B_{\text{ам.пр(005-010)}} = \frac{(850000 \cdot 8,41 + 99000 \cdot 2,478) \cdot 1,19 \cdot 20}{4000 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 9,165 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{od} \cdot k_f \cdot C}{F_{орм} \cdot \eta_{зи}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (6.9)$$

де S_{od} – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, m^2 ;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [2, табл. 4].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією $1m^2$ виробничого приміщення, грн.

$$B_{en.пр(005)} = \frac{10,063 \cdot 2,0 \cdot 780}{4000 \cdot 0,8} \cdot \frac{8,410}{60} = 0,688 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Розрахунок витрат на утримання приміщення

Базовий варіант						Проектний варіант					
№ опер.	S_{od}, m^2	k_f	$S_{od} \times k_f, m^2$	$t_{ум}, хв.$	$B_{en.баз}, грн.$	№ опер.	S_{od}, m^2	k_f	$S_{od} \times k_f, m^2$	$t_{ум}, хв.$	$B_{en.пр}, грн.$
215, 225	2,34	3,5	8,19	3,066	0,102	005	10,063	2,0	20,126	8,410	0,688
220	2,95	3,5	10,325	1,454	0,061	010	4,307	3,0	12,921	2,478	0,130
235	2,52	3,5	8,82	0,890	0,032						
240	3,36	3,5	11,76	0,552	0,026						
240-1	3,89	3,5	13,615	2,230	0,123						
245	6,07	2,5	15,175	1,408	0,087						
Всього	-	-	67,885	9,600	0,432	Всього	-	-	33,047	10,888	0,818

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 програмного забезпечення верстату з ЧПК, грн.

Витрати на налагодження обладнання:

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

де $C_{гн}$ – 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.

$$B_{нал.баз} = \frac{120,744 \cdot (15 + 4 \cdot 12) + 142,054 \cdot 35}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 52 = 14629,94 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.пр} = \frac{142,054 \cdot 35 + 120,744 \cdot 15}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 52 = 7889,14 \text{ грн.}$$

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.

$$B_{ам.сп.баз} = \frac{(420,0 \cdot 2 + 180,0 + 138,0 + 155,0 + 280,0) \cdot 1000 \cdot 1,19 \cdot 20}{100} = 379134,0 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

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

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

$Z_{год}$ – середньогодинна заробітна плата інженерів з підготовки програмного забезпечення, 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 зведемо до таблиці 6.8.

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 33,782 \cdot 10000 + 393763,90 = 731584 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 49,279 \cdot 10000 + 26665,70 = 519456 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.8

Розрахунок технологічної собівартості деталі

№ 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	21,319	25,355
1.2	Електроенергія силова	7,505	8,586
1.3	Ремонт обладнання	1,309	1,539
1.4	Матеріали допоміжні	2,995	3,816
1.5	Амортизація універсального обладнання	0,222	9,165
1.6	Експлуатація приміщень	0,432	0,818
	Всього змінних витрат	33,782	49,279
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	14629,94	7889,14
2.2	Амортизація спеціального обладнання	379134,0	-
2.3	Програмне забезпечення	-	18776,56
	Всього постійних витрат	393763,9	26665,7
	Технологічна собівартість річного випуску деталей	731584	519456

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «корпус насосу НШ10У-3-02» $N_3=10000$ 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 $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{тех.баз}=C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{26665,70 - 393763,90}{33,782 - 49,279} = 52075 \text{ шт.} \quad (6.14)$$

Висновок: за програми запуску деталі «корпус насосу», яка перевищує 52075 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 $N_3=10000$ шт., ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки корпусу насосу.

6.1.4 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

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

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

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

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $\Phi_{\text{бал}}$ (табл. 6.6), оснащення $B_{\text{осн}}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{\text{буд}}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих детале-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

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

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

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

де h – висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{\text{буд.баз}} = 67,089 \cdot 8 \cdot 5500 = 2951916 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.пр}} = 33,047 \cdot 8 \cdot 5500 = 1630068 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = (420,0 \cdot 2 + 123,0 + 180,0 + 138,0 + 155,0 + 280,0) \cdot 1000 \cdot 1,19 = 2042040 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = (850000 + 99000) \cdot 1,19 = 1129310 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2951916 + 2042040) \cdot \frac{0,40}{6} = 332930 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (1630068 + 1129310) \cdot \frac{0,454}{2} = 626379 \text{ грн.}$$

$$E_p = (731584 + 0,16 \cdot 332930) - (519456 + 0,16 \cdot 626379) = 165200 \text{ грн.}$$

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

$$T_{ок} = \frac{K_{np} - K_{баз}}{C_{тех.баз} - C_{тех.нр}} = \frac{626379 - 332930}{731584 - 519456} = 1,4 \text{ роки.} \quad (6.18)$$

6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталей визначається як сума калькуляційних статей витрат:

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

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

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

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

$B_{ин}$ - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

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

$B_{ц}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot C_m \cdot K_{тр} - a_{в} \cdot C_{в}, \quad (6.19)$$

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (алюмінієвий сплав АК5М2), кг;

C_m - ціна матеріалу, грн./кг.;

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

$a_{в}$ - маса відходів, кг.;

$C_{в}$ - ціна відходів, грн./кг.

$$M_o = 0,937 \cdot 123,03 \cdot 1,05 - (0,947 - 0,805) \cdot 18,60 = 118,402 \text{ грн.};$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{од} = P_{в} (1 + K_{д}), \quad (6.20)$$

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

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{\epsilon od_i}^{\epsilon} \cdot t_{um-\kappa_i}}{60}, \quad (6.21)$$

де $e_{\epsilon od_i}^{\epsilon}$ - 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:

$$P_{on(005)} = 106,539 \cdot \frac{10,0}{60} = 17,757 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 6.9.

Таблиця 6.9

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$, хв.	Роз-ряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Свердлувально-фрезерна з ЧПУ	10,000	4	106,539	17,757
010	Фрезерна	3,900	3	95,884	6,232
015	Віділково-розточна	2,000	3	95,884	3,196
	Всього	15,900	—	—	27,185

$$3_{od} = 27,185 \cdot (1 + 0,1) = 29,904 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 3_{od} \cdot \frac{K_c}{100}, \quad (6.22)$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

$$B_c = 29,904 \cdot \frac{22}{100} = 6,579 \text{ грн.}$$

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).

$$B_{осн} = 55 \cdot \frac{13,782}{60} = 12,634 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = Z_o \cdot \frac{P_{60}}{100}, \quad (6.23)$$

де P_{60} - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

$$B_o = 27,185 \cdot \frac{320}{100} = 86,992 \text{ грн.}$$

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{\text{ц}} = Z_o \cdot \frac{P_{\text{ц}}}{100}, \quad (6.24)$$

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

$$B_{\text{ц}} = 27,185 \cdot \frac{240}{100} = 65,244 \text{ грн.}$$

Калькуляцію цехової собівартості деталей зведено до таблиці 6.10.

Таблиця 6.10

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	118,402
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	27,185
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	2,719
4.	Відрахування у соціальні фонди	6,579
5.	Експлуатація спеціального оснащення	12,634
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	86,992
7.	Цехові витрати	65,244
8.	Всього цехова собівартість $C_{\text{ц}}$	319,755

6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників

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

- *виріток продукції на одного робітника:*

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{11604,4}{7} = 1657,8 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (6.25)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб.

- зарплатомісткість продукції:

$$З_{zn} = \frac{З_{od}}{C_{ц}} \cdot 100, \quad (6.26)$$

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

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

$$З_{zn} = \frac{29,904}{319,755} \cdot 100 = 9,4\% .$$

- матеріаломісткість продукції:

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

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

$$З_{mn} = \frac{118,402}{319,755} \cdot 100 = 37,0\% .$$

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов}, \quad (6.28)$$

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

$$C_{mn} = 319,755 \cdot 10000 \cdot 4,21 = 13461686 \text{ грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведемо до табл. 6.11.

Таблица 6.11

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z), шт./рік	10000
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p), нормо-год.	11604,4
3.	Цехова собівартість деталі, грн.	319,76
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn}), тис. грн./рік	13461,7
5.	Чисельність основних робітників, осіб	7
6.	Виробіток продукції на одного робітника, нормо-год.	1657,8
7.	Матеріаломісткість продукції, %	37,0
8.	Зарплатомісткість продукції, %	9,4
9.	Річний економічний ефект від впровадження проектного варіанту техпроцесу, грн.	165200
10.	Строк окупності додаткових капітальних витрат, років	1,4

6.4 Висновки

У розділі зроблено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу виготовлення деталі корпусу насоса НШ10У-3-02. Цей аналіз виконано шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по базовому і проектному варіантах технологічних процесів.

Розрахунки показали, що, за критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей є проектний варіант технологічного процесу, також впровадження проектного техпроцесу дозволить досягти річного економічного ефекту у 165200 грн. із строком окупності капітальних витрат у 1,4 роки.

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології виготовлення деталі корпус із дослідженням параметрів процесу різання при швидкісному фрезеруванні» виконано аналіз сучасного стану технології фрезерування, визначено основні напрямки підвищення ефективності процесу механічної обробки та запропоновано заходи по підвищенню ефективності заводського технологічного процесу обробки деталі корпус НШ10У-3-02.

Проведено аналіз заводського технологічного процесу та конструкції деталі. На основі аналізу розроблено рекомендації по підвищенню ефективності заводського технологічного процесу та розроблено вдосконалений техпроцес. Для впроваджуваного технологічного процесу виконано підбір верстатів, верстатних пристосувань, різальних інструментів та вимірювальних засобів. Також проведено розрахунки припусків на механічну обробку, режимів різання і виконано технічне нормування.

Проведено конструювання та розрахунок затискного верстатного пристрою, контрольного пристосування та різального інструменту.

Здійснено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого варіанту технологічного процесу. Розрахунки показали, що, за критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей є проектний варіант технологічного процесу, також впровадження проектного техпроцесу дозволить досягти річного економічного ефекту у 165200 грн. із строком окупності капітальних витрат у 1,4 роки.

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

Всі прийняті у роботі технічні рішення супроводжуються необхідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гришанова, І. А. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD : підручник для здобувачів ступеня бакалавра/магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» / І. А. Гришанова, Л. П. Згуровська, Ю. В. Киричук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 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. 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.
4. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 «Технологія машинобудування» – Кіровоград: КДТУ, 2002.
5. 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.
6. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. – Кроп-цький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
7. 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.
8. Швидкорізальна сталь [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкорізальна_сталь.

9. CFD-модельовання процесів теплообміну і гідродинаміки засобами програмного комплексу : монографія / О. В. Баранюк, М. В. Воробйов, А. Ю. Рачинський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – 164 с.
10. Davim J.P. FEM analysis in high speed machining of aluminium alloy (Al7075-0) using polycrystalline diamond (PCD) and cemented carbide (K10) cutting tools / J.P. Davim, C. Maranhão, M.J. Jackson, G. Cabral, J. Gracio // Int. J. Adv. Manuf. Technol. - 2008. - V. 39. - p. 1093–1100.
11. Denkena B. Influence of Machining Parameters on Heat Generation during Milling of Aluminum Alloys / B. Denkena, J. Brüning, D. Niederwestberg, R. Grabowski // 7th CIRP Conference on High Performance Cutting. - 2016. - vol. 46. - p. 39-42.
12. Eto J. Study on Extraordinarily High-Speed Cutting Mechanics and Its Application to Dry Cutting of Aluminum Alloys with Non-Coated Carbide Tools / J. Eto, T. Hayasaka, E. Shamoto, L. Xu // J. Manuf. Mater. Process. - 2024. - V. 8 (5).
13. 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>.
14. Huang X. Finite element modeling of high-speed milling 7050-T7451 alloys / X. Huang, J. Xu, M. Chen, F. Ren // 17th Global Conference on Sustainable Manufacturing. - 2020, V. 43. - p. 471-478.
15. Hudson steel corporation. Selection of High-Speed Tool Steels [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hudsontoolsteel.com/site/CompareHighSpeedSteel>.
16. Jiao L. Modelling and analysis for the temperature field of the machined surface in the face milling of aluminium alloy / L. Jiao, X. Wang, Y. Qian, Z. Liang, Z. Liu // Int. J. Adv. Manuf. Technol. - 2015. - Vol. 81. - p. 1797–1808.
17. Kennametal – Products – Metalworking Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kennametal.com/us/en/products/metalworking-tools.html>.

18. Oerlikon - Oerlikon Balzers Coating Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.oerlikon.com/balzers/at/en/coating-guide/?selector%5Bnode%5D=8>.
19. Patru E. Temperature during the milling process of aluminum alloys using contact and non-contact methods / E. Patru, M. Bica, D. Panduru, N. Craciunoiu // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2023. - Is. 1290.
20. PVD Coating Explained: Benefits and Applications in Modern Industries [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://at-machining.com/pvd-coating-explained>.
21. Saad H. Combination of Analytical, Numerical and Experimental Approaches to Enhance Engineering Concepts in a Heat Transfer Course / H. Saad, M. Weiser, A. Hossain, M. Amin // 8th BSME International Conference on Thermal Engineering. – 2018, December, 19-21. – V. 2121. – P. 163.
22. Sandvik Coromant – Metal cutting tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools>.
23. Sandvik Coromant – Metal cutting knowledge – Milling [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling>.
24. Seco Tools Interactive Catalogues [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.secotools.com/article/84565>.
25. TAEGU TEC – Каталог інструменту [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://taegutec.com.ua/ru/katalog/instrument-2024/>.
26. Tan L. Simulation on Cutting Temperature during High-Speed Milling Aluminum Alloy 7055 / L. Tan, C. Feng Yao, W. Zuo, D. Xia Wu // Applied Mechanics and Materials. - 2013. — V. 328. - p. 486-490.
27. Walter – Tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.walter-tools.com/en-us/products>.
28. Wang S.J. Effect of cutting parameters on heat generation in ultra-precision milling of aluminum alloy 6061 / S.J. Wang, X. Chen, S. To, X.B. Ouyang, Q. Liu, J.W. Liu, W.D. Lee // Int. J. Adv. Manuf. Technol. - 2015. - Vol. 80. - p. 1265–1275.