

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*магістр*

(назва освітнього ступеня)

на тему:

*Розроблення технології виготовлення*

*корпуса ПС-10.02.024 з дослідженням технології фрезерування*

*з круглими ріжучими пластинами*

Виконав (ла): студент (ка) VI курсу, групи МТм-61

спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Каташинський В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Комар Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра Інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Окіпний І.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Каташинському Віталію Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення  
корпуса ПС-10.02.024 з дослідженням технології фрезерування  
з круглими ріжучими пластинами

Керівник роботи Комар Роман Васильович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» вересня 2020 року № 4/7-686

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі, технічні умови на виготовлення;  
річна програма випуску N = 6000 шт.; базовий технологічний процес виготовлення  
корпуса ПС-10.02.024

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)  
Аналітична частина. Науково-дослідна частина.  
Технологічно-конструкторська частина. Проектна частина.  
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Аналіз сучасної оснастки, інструменту та технологій фрезерування  
з круглими ріжучими пластинами (1 арк. А1).

Складальні креслення пристроїв для механічної обробки деталі (3 арк. А1).

Схеми технологічних налагодок на операції механічної обробки (2 арк. А1).

Компонувальний план механічного цеху та план розміщення обладнання  
на ділянці (1 арк. А1).



## ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу .....	2
Реферат .....	4
Вступ .....	6
1 Аналітична частина .....	7
1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи .....	7
1.2 Методи вирішення поставленої проблеми .....	12
1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу .....	16
2 Науково-дослідна частина .....	17
2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження .....	17
2.2 Обробка результатів досліджень .....	19
2.3 Аналіз і узагальнення отриманої інформації .....	26
2.4 Висновки та пропозиції щодо використання результатів досліджень .....	29
3 Технологічно-конструкторська частина .....	31
3.1 Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва .....	31
3.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу .....	32
3.3 Визначення кількості обладнання .....	59
3.4 Конструювання спеціального оснащення .....	60
4 Проектна частина .....	67
4.1 Визначення основних і допоміжних площ цеху .....	67
4.2 Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на дільниці .....	69
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	72
Висновки .....	77
Перелік посилань .....	78
Додатки .....	80

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи магістра на тему:

«Розроблення технології виготовлення корпусу ПС-10.02.024 з дослідженням технології фрезерування з круглими ріжучими пластинами»

**Актуальність теми роботи.** Корпуси є основними складовими вузлів машин та механізмів і призначені для точного взаємного розташування складових одиниць та комплектуючих деталей у виробі. Корпусні деталі в основі мають базуючі плоскі поверхні до яких монтують інші складові або якими вони встановлюються на рамні чи плоскі конструкції машин. А найбільш продуктивним та доцільним способом обробки плоских поверхонь є фрезерування. Відповідно дослідження технологій фрезерування з круглими ріжучими пластинами, які забезпечують зняття великих обсягів металу, паралельно із розробленням технологічного процесу обробки корпусної деталі і проектуванням виробничої ділянки для його впровадження є актуальним напрямом досліджень проведених в ході виконання кваліфікаційної роботи.

**Мета і завдання досліджень:** провести проектування механічної ділянки механоскладального цеху для виробництва корпусу ПС-10.02.024 з дослідженням технології фрезерування з круглими ріжучими пластинами.

**Об'єкт, методи та джерела дослідження.** Першочерговими предметами досліджень є технологічні процеси фрезерування із застосуванням ріжучих пластин круглої форми і виробничий процес виготовлення корпусної деталі. Методи виконання роботи: теоретико-емпіричний, графічний, порівняльний, економіко-статистичний, математичного моделювання.

### **Отримані результати:**

- проведено аналіз технологій обробки і конструкцій сучасного фрезерного інструменту;

- проведено дослідження впливу конструктивних параметрів фрез із круглими ріжучими пластинами на режими обробки;

- спроектовано маршрут технологічного процесу виробництва корпусу з призначенням використовуваного верстатного парку, інструментального оснащення, режимів обробки та нормування операцій;

- сконструйовано технологічне оснащення для забезпечення операцій механічної обробки;

- проведено проектування механічної дільниці механоскладального цеху для виробництва деталі типу «корпус».

**Практичне значення отриманих результатів.** Спроектовано маршрут технологічного процесу виробництва корпусу, який може застосований в умовах діючого виробництва. Запропоновано загальні практичні рекомендації щодо впливу конструктивних параметрів фрез із круглими ріжучими пластинами на технологію обробки.

**Апробація.** Вибрані результати досліджень по даній кваліфікаційній роботі доповідались на 3-й Міжнародній студентській конференції, яка проводилася у ТНТУ ім. Івана Пулюя у 2020 р.

## ВСТУП

Точність та якість поверхонь виробів, продуктивність обробки – це першочергові завдання, які ставляться перед сучасними механічними процесами механічної обробки. Для цього у сучасному машинобудуванні запроваджують високопродуктивні технології оброблення заготовок, використовують автоматизовані виробничі лінії, які містять у своєму складі верстати із числовим програмним керуванням. Фрезерування – це сучасний високопродуктивний та ефективний спосіб обробки, насамперед плоских корпусних поверхонь. Але на додаток до традиційних областей застосування фрез можна успішно обробляти такі поверхні як отвори, заглибини, кишені, вибірки, заготовки типу тіл обертання, різьби. Вирішальний вплив на продуктивність та якість обробки, під час фрезерування, має безпосередньо геометрія робочих різальних пластинок. Зокрема фрези із круглим січенням робочих лез забезпечують високопродуктивний процес обробки торцеве фрезерування та оброблення різноманітних профілів. Різальні пластини із круглим січенням характеризуються варіативною зміною головного кута в межах до  $90^\circ$ . Відповідно таку зміну забезпечує величина заглиблення пластини у тіло заготовки. Такий інструмент характеризується надміцною ріжучою кромкою. Сфера його застосування дозволяє забезпечувати зняття мінімального шару металу, значні переміщення робочого стола обладнання та різального леза інструменту. Сфера застосування такого інструменту передбачає механічну обробку надтвердих і міцних металів та сплавів, які важко піддаються механічній обробці у звичайних умовах.

Сучасні технології фрезерної обробки різного роду поверхонь є доступним та універсальним методом отримання високоточних поверхонь деталей. Тому домогтися ще більш ширшого діапазону поверхонь оброблюваних фрезами можна проводячи, поряд із вдосконаленням технологічного оснащення, модернізацію та розробку нового конструктивного чи технологічного виконання конструкцій інструменту.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.

### Актуальність теми роботи

Процеси фрезерування є універсальним способом обробки. Відповідно паралельно із удосконаленням технологічного обладнання проводять розширення сфери застосування технологій фрезерування за рахунок вдосконалення технологічного виконання та конструкцій інструменту. На даний час спостерігаються тенденції допрацювання технологій та інструментального оснащення. Це проводиться для того, щоб підвищити загальні показники продуктивності та якості обробки фрезеруванням.

На даний час фрезерний інструмент із круглими пластинами є найдоцільнішою оснасткою у технологічних процесах механічної обробки деталей із великою кількістю плоских або торцевих робочих поверхонь. Окрім технологічної можливості зняття великих припусків металу до переваг слід віднести швидку заміну різальних пластин. Оскільки спрацьовані або механічно пошкоджені пластини, завдяки простому кріпленню до корпусу фрези, можуть бути швидко замінені новими. Даний процес не потребує навіть зняття інструменту, що не впливає на точність його налагодження. За останні роки найбільш значні зміни в технологіях обробки поверхонь деталей фрезеруванням пов'язані з вдосконаленням конструкцій інструментів завдяки чому вдосконалюються технології фрезерування. Визнані світові виробники, а саме Sandvik Coromant [1], SECO [2], TaeguTec [3], GÜHRING [4], ISCAR [5] є розробниками широкої номенклатури фрезерних інструментів та технологій їх застосування.

На основі аналізу технологій та розробок вище вказаних виробників можна вважати перспективними конструкції фрез із змінними твердосплавними пластинками, які промислово виготовляють в діапазоні розмірів  $\varnothing 45 \dots 500$  мм. Вони є доцільними для технологічних операцій фрезерування більшості



матеріалів від чорнових до чистових операцій. Дані конструкції забезпечують високу продуктивність та відмінну якість поверхні і досить часто немає необхідності в подальшій чистовій обробці. Такі фрези забезпечують низьку шорсткість поверхні при величині подачі що не перевищує 80% довжини фаски пластини. Стандартні пластини мають фаску розміром до 2 мм. Для підвищення продуктивності обробки застосовують зачисні пластини. Обробку в'язких матеріалів рекомендовано проводити з охолодженням або в умовах масляного туману. Рекомендована глибина різання від 0,5 до 0,8 мм [6].

Полегшені корпуси фрез з алюмінію і зносостійкі корпуси зі сталі, призначені для високошвидкісної обробки. Фрези великих діаметрів 80-200 мм з кріпленням на оправці виготовляють у двох варіантах: з високоміцного алюмінію для зниження маси і зі сталі для максимальної довговічності.

Основні типи фрезерних операцій з точки зору форми оброблюваної поверхні і способу переміщення інструменту показані на рис. 1.1.

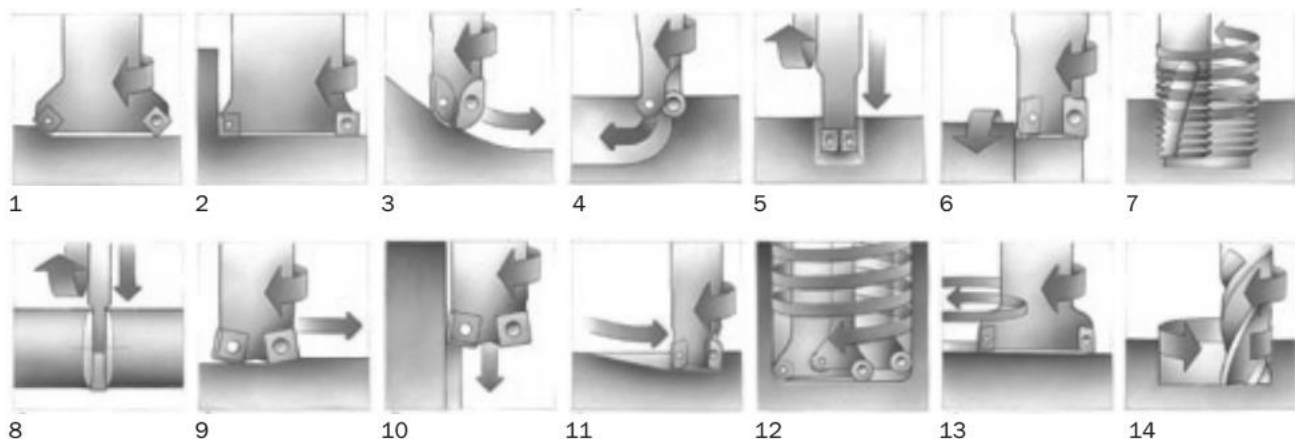


Рисунок 1.1 – Основні типи фрезерних операцій з точки зору форми оброблюваної поверхні і способу переміщення інструменту:

- 1 - торцеве фрезерування; 2 - фрезерування уступів; 3 - профільне фрезерування; 4 - фрезерування кишень; 5 - фрезерування пазів;
- 6 - фрезерування поверхонь обертання; 7 - фрезерування різьб;
- 8 - відрізування; 9 - фрезерування з великими подачами; 10 - плунжерне фрезерування; 11 - фрезерування з врізанням; 12 - гвинтова інтерполяція;
- 13 - кругова інтерполяція; 14 - трохоїдальне фрезерування

Визначальною характеристикою ріжучих властивостей ріжучого леза фрези вважається головний кут в плані  $Kr$ . Його значення визначається градусною мірою між периферією кромки ріжучого леза і площиною торця інструменту. Цей конструктивний параметр встановлює напрям сили різання. Від головного кута залежить глибина врізання фрези. В той же час фрези з неодинаковим кроком зубів призначені для різних умов обробки, з точки зору її стабільності, енерговитрат і наявності вібрацій.

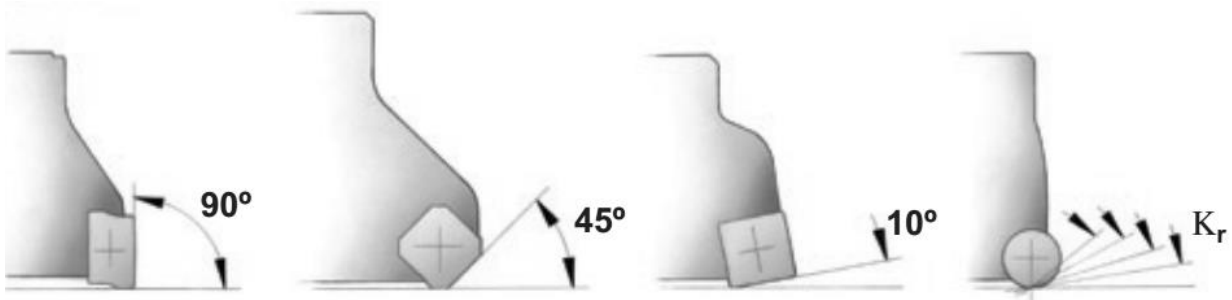


Рисунок 1.2 – Головний кут в плані  $Kr$  для різних геометрій ріжучих кромок

Останнім часом процес модернізації фрезерної оснастки визначає напрям розширення сфери використання фрез із круглими різальними пластинами. Відповідно застосовувані технології фрезерної обробки мають розширену область впровадження. Окрім торцевих, ступінчастих чи плоских поверхонь можна успішно обробляти вибірки, отвори, заглибини, обертові площини. Конструкція фрезерного інструменту зазнає вдосконалення для забезпечення високої продуктивності обробки та якості отриманих поверхонь. Це актуально як для інструменту з механічним кріпленням пластин, так і для суцільного твердосплавного інструменту.

Зазвичай фрези є багатолезовим інструментом, а удосконалені технології фрезерної обробки є надзвичайно ефективними. Оскільки продуктивність обробки часто визначає кількість лез, адже кожна ріжуча пластина знімає певний припуск однаковий за величиною. Відповідно менші значення припуску забезпечують кращу чистоту та якість оброблюваної поверхні, а збільшення кількості ріжучих лез забезпечить високу продуктивність обробки із

забезпечення стабільної якості.




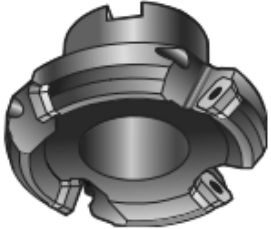

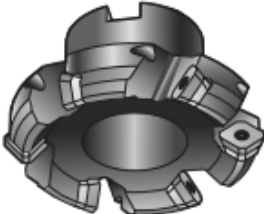

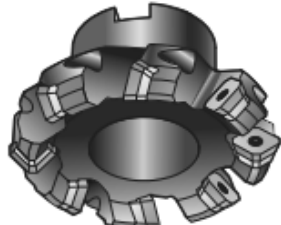

Фрези з великим кроком пластин оптимальні для виконання таких робіт, як чорнова обробка деталей і металообробка матеріалів, що дають зливну стружку. Основна перевага використання фрези з великим кроком пластин – можливість зниження необхідної потужності і сили різання верстата. Токарно-фрезерні роботи з невеликою силою різання можуть викликати сильні вібрації, що впливають на термін роботи верстата. Завдяки використанню правильно підбраного типу фрези ризик поломки знижується, а обладнання для фрезерування служить довше.

В процесі фрезерування коли зуб фрези вривається в заготовку, пластина піддається ударному навантаженню, відповідно необхідно встановити завдяки чому його можна зменшити з метою підвищення стійкості інструменту до руйнування пластин. На ресурсні характеристики ріжучих пластин фрези, незалежно від форми їх поперечного січення, має вплив головний кут в плані. Також в процесі обробки може відбуватися відшаровування пластин в результаті чого спостерігається заріз та незадовільна якість обробленої поверхні. На результати обробки також суттєво може впливати вібрація на інструменті. Відповідно, в процесі досліджень, кожна фрезерна операція повинна бути уважно проаналізована для того щоб вибрати найкращу фрезу і пластини до неї [7].

Пластини для фрези можуть бути шліфованими, нешліфованими і зачисними – всі ці типи не є універсальними і підходять для різних типів робіт. Шліфовані пластини більш дорогі і відрізняються більшою точністю і ріжучою крайкою підвищеної гостроти. Основна сфера застосування шліфованих пластин – чистові фрезерні роботи по металу. Унікальні властивості шліфованих пластин дозволяють забезпечити бездоганну розмірну точність і якісно провести обробку поверхні. При невеликій глибині фрезерування особливу увагу також необхідно звернути на геометрію і гостроту передньої поверхні пластин. Якщо гострота інструменту недостатня, в процесі фрезерування може статися пластична деформація металу – основна причина

виникнення браку і передчасного зносу устаткування. Нешліфовані пластини мають більш економічну вартість і добре підходять для виконання чорнової фрезерування з великою глибиною різання. Ріжучий край нешлифованих пластин обладнаний спеціальною фаскою, що захищає інструмент при роботі з високою подачею. Вибір геометрії пластин поділяється за характером різання: легка геометрія L, середня геометрія M і важка геометрія H.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики фрез з різними геометріями ріжучих кромок

 <p>Легка геометрія -L: основна ріжуча кромка з додатними кутами. Стабільний процес різання. Малі подачі. Низька споживана потужність. Низькі зусилля різання.</p>	 <p>Середня геометрія -M: універсальна позитивна геометрія, середні величини подач</p>	 <p>Важка геометрія -H: найвища надійність ріжучої кромки, великі подачі</p>
 <p><b>L</b> </p> <p>Крупний крок (-L): зменшена кількість пластин, змінний крок, для продуктивної обробки при недостатній потужності верстату або жорсткості системи ВПД. Великі вильоти інструменту</p>	 <p><b>M</b> </p> <p>Нормальний крок (-M): універсальний для більшості фрезерних операцій</p>	 <p><b>H</b> </p> <p>Дрібний крок (-H): Максимальна кількість пластин для високопродуктивного фрезерування при високій жорсткості системи ВПД. Для фрезерування матеріалів, які дають елементну стружку, жароміцних матеріалів</p>

На основі вище наведеного можна констатувати, що основними проблемами сучасних технологій фрезерної обробки є те, що інструмент не завжди має міцну ріжучу кромку; висока продуктивність обробки зумовлює потребу у високих подачах та зніманні великих обсягів металу; сучасне машинобудування використовує багато деталей, які виготовляються із високоміцних важкооброблюваних матеріалів; існує потреба у універсальному інструменті із стабільними параметрами процесу різання.

## 1.2 Методи вирішення поставленої проблеми

Поставлені проблеми можуть мати вирішення в результаті проведення аналізу технологій обробки і конструкцій сучасного інструменту та оснащення для фрезерування; теоретичного дослідження впливу конструктивних параметрів інструменту на режими обробки. Як конструктивне вирішення вище вказаних проблем є застосування фрез із круглими змінними ріжучими пластинками. Даний інструмент дозволяє проводити високопродуктивну обробку як площин, так і криволінійних поверхонь, обробляти різнотипні поверхні. Схематичне зображення поверхонь і технологій такої обробки наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Схематичне зображення поверхонь і технологій обробки

Позначення	Обробка	Позначення	Обробка
	площин		заглиблення в матеріал під кутом
	криволінійних поверхонь		уступів
	врізання та розфрезерування		пазів
	гвинтова інтерполяція		уступів та фасок

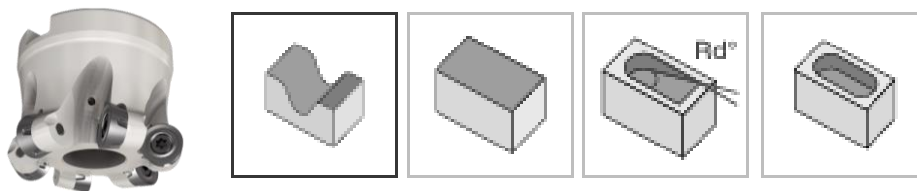


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд і оброблювальні поверхні торцевих фрез типу RoundMill [5]

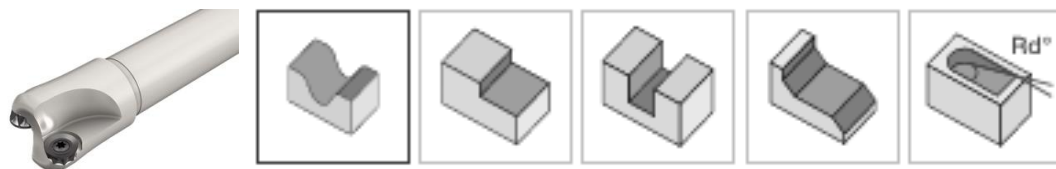


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд і оброблювальні поверхні кінцевих фрез типу ChamMill [5]

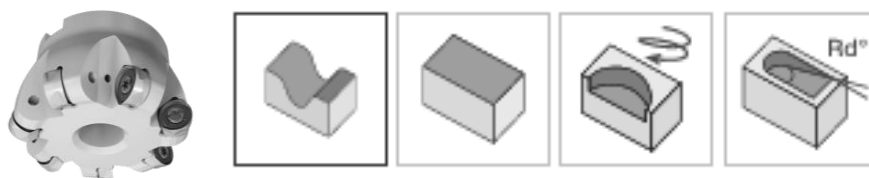
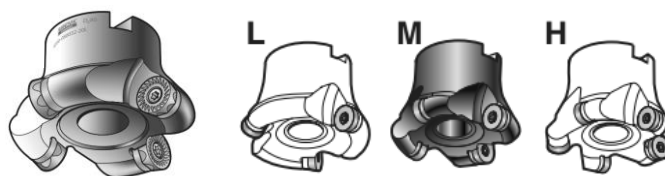
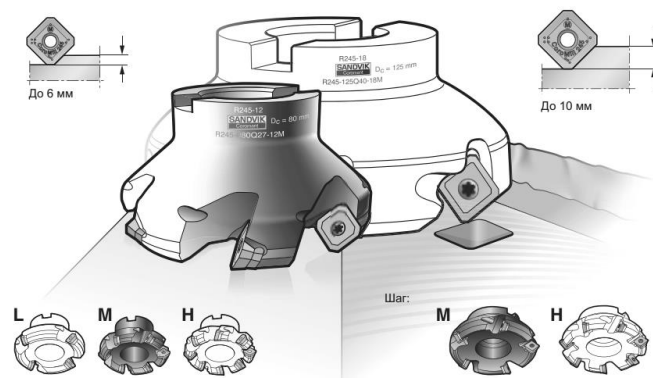


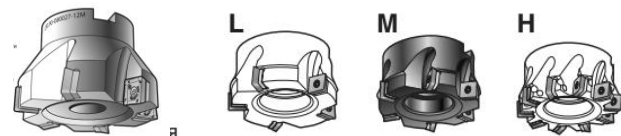
Рисунок 1.5 – Загальний вигляд і оброблювальні поверхні торцenasадних фрез типу HoliDo [5]



ISO		Твердый сплав/Кермет Геометрия пластин			Керамика	Кубический нитрид бора
		L	M	H		
Сталь	<b>P</b>					
Нержавеющая сталь	<b>M</b>					
Чугун	<b>K</b>					
Цветные металлы	<b>N</b>					
Жаропрочные сплавы	<b>S</b>					
Материалы высокой твердости	<b>H</b>					



ISO		Твердый сплав/Кермет Геометрия пластин				Керамика	Кубический нитрид бора	Поликристаллический алмаз	
		L	M	H	Wiper				Wiper
Сталь	<b>P</b>								
Нержавеющая сталь	<b>M</b>								
Чугун	<b>K</b>								
Цветные металлы	<b>N</b>								
Жаропрочные сплавы	<b>S</b>								
Материалы высокой твердости	<b>H</b>								



ISO		Твердый сплав/Кермет Геометрия пластин			Керамика	Кубический нитрид бора
		L	M	H		
Сталь	<b>P</b>					
Нержавеющая сталь	<b>M</b>					
Чугун	<b>K</b>					
Алюминий	<b>N</b>					
Жаропрочные сплавы	<b>S</b>					
Материалы высокой твердости	<b>H</b>					

Рисунок 1.6 – Характеристики фрез типа CoroMill з різними геометриями ріжучих змінних пластин [1]

Також як варіант вирішення проблеми передчасного зношення інструменту внаслідок значних навантажень є застосування технологій супутнього і зустрічного фрезерування. Ця специфіка полягає в тому, що у більшості випадків фрезерування на нежорстких верстатах здійснюється зустрічним методом: подача столу і швидкість різання направляються в одну сторону. Як відзначають фахівці, при подібному підході процес різання спочатку відбувається без навантаження на ріжучий край, через що ризик пластичного деформування матеріалу сильно зростає, а знос інструменту відбувається швидше.

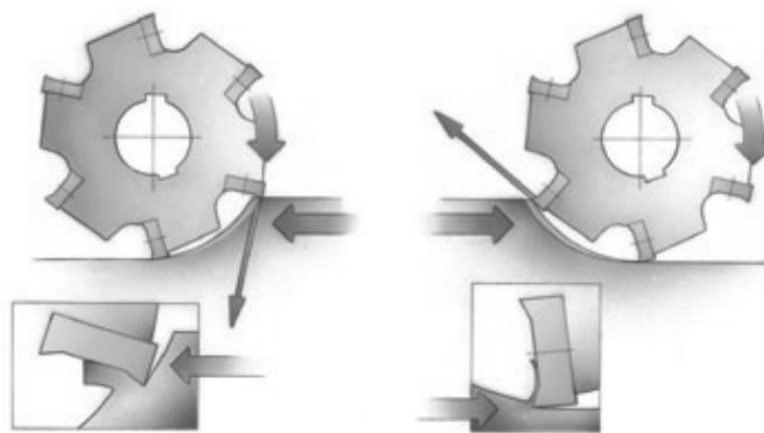


Рисунок 1.7 – Схеми супутнього і зустрічного фрезерування

Відповідно зберегти обладнання в робочому стані на довгий термін і якісно обробити поверхню деталей дозволяє технологія супутнього фрезерування. Суть даного методу зводиться до того, що під час роботи подача столу і швидкість різання односпрямована. В ході супутнього фрезерування ширину фрезерування необхідно встановити в розмірі двох третин від загальної ширини фрези – подібне налаштування дозволить уникнути деформації оброблюваного матеріалу. Також зменшити шорсткість поверхні заготовки допомагає подальша регулювання ширини фрезерування (оптимальне співвідношення визначається експериментально). При занадто сильному зменшенні ширини фрезерування через невеликої товщини стружки пластична деформація матеріалу може проявитися знову. У подібних випадках експерти рекомендують збільшити подачу на зуб фрези.



### **1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу**

Незважаючи на присутні проблеми в технологіях обробки поверхонь фрезеруванням існують відносно прості способи їх вирішення, а для цього необхідно провести аналіз конструкцій сучасного інструменту та технологій обробки різного роду поверхонь фрезами із ріжучими круглими пластинками, теоретично дослідити вплив конструктивно-силових характеристик фрез на режими обробки.

На основі аналізу сучасних конструкцій фрез та технологій фрезерування встановити можливість роботи круглих ріжучих пластинок при великих подачах, утворення відносно тонкої стружки на великій довжині ріжучої кромки. Доцільність застосовувати такого інструменту у технологічних операціях, а також встановити їх універсальність та можливість забезпечувати стабільність процесу різання, меншу споживану потужність і менші вимоги до жорсткості обладнання.

Для забезпечення повного розкриття завдань роботи потрібно спроектувати технологію обробки процесу виготовлення деталі типу «корпус». Маршрут механічної обробки даної деталі необхідно вдосконалити, призначити верстатне обладнання з оснащенням для здійснення розробленого технологічного процесу. Відповідно до маршруту обробки деталі доцільно провести розрахунок та призначення припусків на оброблювані поверхні. Провести технічне нормування та встановлення режимів обробки по операціях. Провести розробку конструкцій допоміжних пристроїв для забезпечення операцій механічної обробки заготовки.

На основі аналізу отриманих результатів досліджень провести їх узагальнення у вигляді практичних рекомендацій для технологічних процесів фрезерування із круглими ріжучими пластинами.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Дослідженню підлягали сучасні конструкції фрез із змінними круглими ріжучими пластинами та технології обробки ними різного роду поверхонь. Типові конструкції фрез із круглими ріжучими пластинками показані на рисунку 2.1.

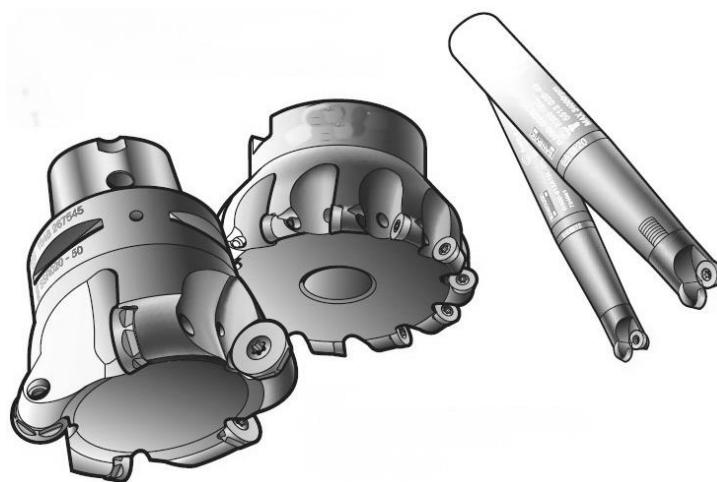


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд типових конструкцій фрез із круглими ріжучими пластинками

Поширені технології обробки фрезами із круглими ріжучими пластинками – це фрезерування з врізанням. Дана технологія особливо ефективна для обробки вибірок. Обробка отворів великого діаметру значно ефективніша при застосуванні технології фрезерування з круговою інтерполяцією ніж при використанні розточування [8].

Класична технологія – це попереднє свердління, з наступним фрезеруванням з осьової подачею. Як правило додаткова операція у вигляді попереднього свердління отворів є небажаною операцією, оскільки для цього необхідний додатковий інструмент. Час на позиціонування та заміну цього інструменту збільшує допоміжний час на обробку. Відповідно можливість фрез працювати з осьової подачею є перевагою для більшості операцій, оскільки

дозволяє обробляти вибірки і отвори з великою ефективністю.

При роботі фрезами зі сферичним кінцем на повну глибину шару, який знімається засверлюванням, використовують переривчастий цикл, а потім видаляють цей шар металу поздовжніми переміщеннями інструменту. Така послідовність операцій повторюється, поки не буде оброблена вся западина. Проте при цьому виникає проблема видалення стружки з під центру фрези. Тому навіть для фрез із функцією свердління доцільніше використовувати метод гвинтової інтерполяції при переході на нову глибину обробки.



Рисунок 2.2 – Схема обробки вибірок за класичною технологією

Врізання по двох осях – це найкращий метод фрезерування вибірки на повну глибину – врізання по двох осях X (або Y) і Z. Якщо правильно вибрати початкову точку обробки, після врізання не залишиться не зрізаного припуску. Врізання можна проводити від центра до периферії або навпаки в залежності від конфігурації необхідного штампа або прес-форми.

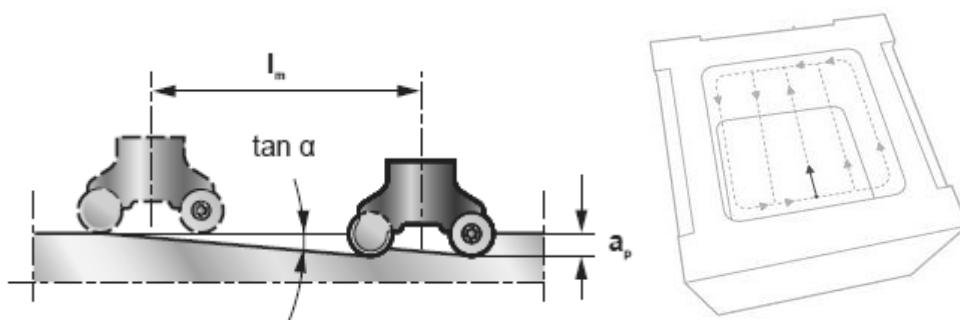


Рисунок 2.3 – Схема обробки врізанням по двох осях

Основне завдання технологічного процесу – це добитися задовільного видалення стружки з кишені. Подальше заглиблення також необхідно робити фрезеруванням з врізанням або використовуючи кругову інтерполяцію. Це

особливо важливо для високошвидкісної обробки. Кут врізання залежить від діаметра використовуваної фрези, конфігурації її корпусу, розміру пластини і глибини різання.

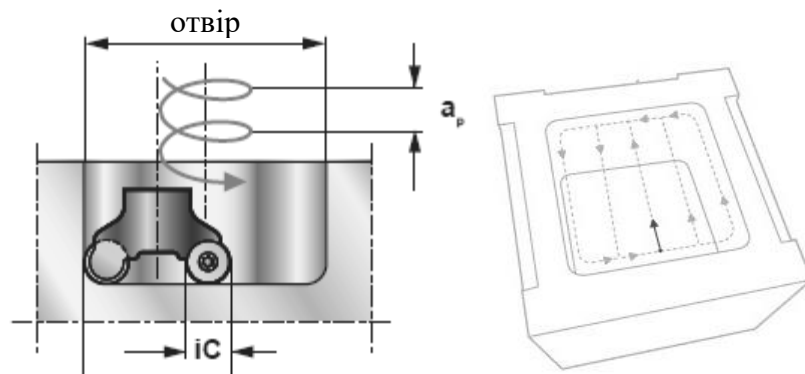


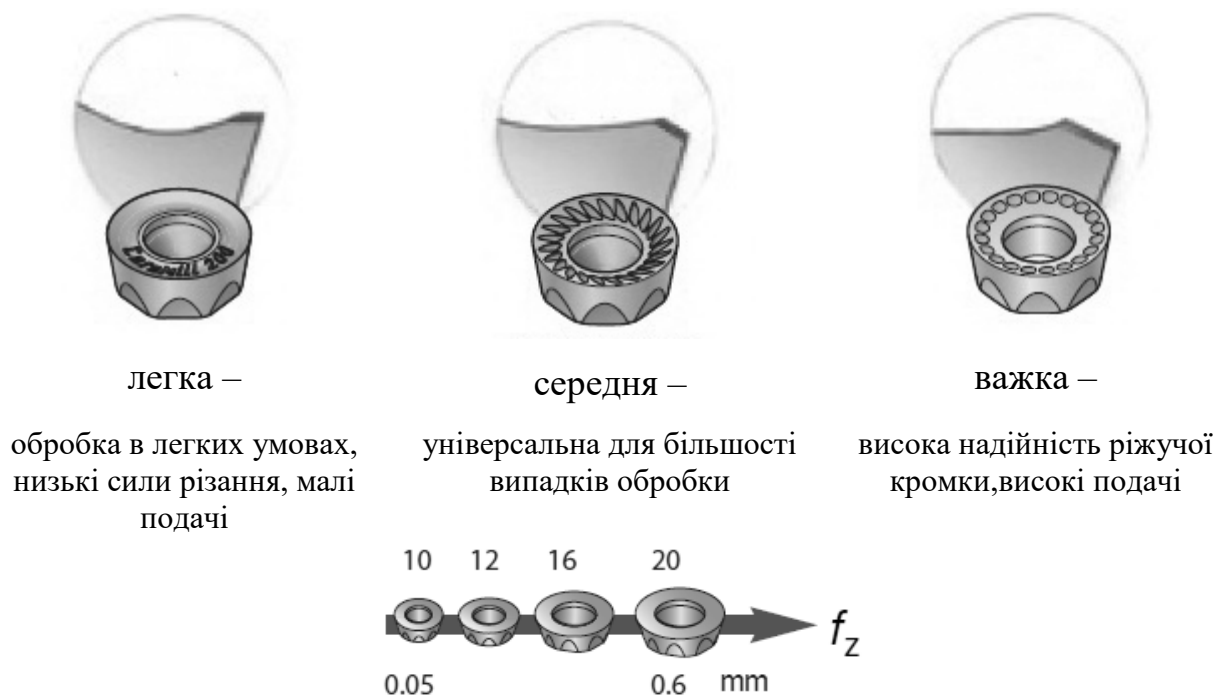
Рисунок 2.4 – Схема обробки врізанням по трьох осях

Рух інструменту по гвинтовій траєкторії (врізання по трьох осях) широко застосовується при фрезеруванні штампів і прес-форм. Такий спосіб обробки отворів великих діаметрів має декілька переваг. Вся обробка проводиться одним інструментом, немає проблем з відведенням стружки, і відсутні вібрації, оскільки діаметр інструмента значно менший діаметра оброблюваного отвору. Рекомендується вибирати фрези з умови, щоб їх діаметр був у 2 рази меншим оброблюваного отвору. Також при гвинтовій інтерполяції можна перевищувати максимально допустимий кут врізання.

## 2.2 Обробка результатів досліджень

Інструмент для технологічних операцій силового торцевого фрезерування і обробки профілів застосовується із великим, середнім та малим кроком зубів та легкою, середньою та важкою геометріями ріжучих пластин. Рекомендована подача на зуб, залежно від діаметра пластини, становить від 0,05 до 0,6 мм. Діаметр інструменту від 25 до 160 мм.

Основні геометрії ріжучих пластин та умови їх застосування показані на рисунку 2.5.



діапазон подач (мм/зуб) в залежності від діаметра пластинки

Рисунок 2.5 – Основні геометрії ріжучих пластин для операцій торцевого фрезерування і обробки профілів та умови їх застосування

При проведенні технологічних операцій фрезерування у затруднених умовах обробки, зокрема фрезерування торців і профільних поверхонь визначальною характеристикою є крок розміщення ріжучих лез фрези. Відповідно умовою забезпечення найкращої продуктивності для змінних умов оброблення є дрібний, середній та крупний крок ріжучих лез. Також конструктивне виконання різальної передньої поверхні круглої пластини визначає спеціалізацію такого інструменту на різноманітні операції, які характеризуються великими припусками і забезпечують високопродуктивну обробку та надійність інструменту при застосуванні твердосплавних пластин. Типовими операціями є чорнове фрезерування кишень і виїмок з похилим врізанням або гвинтовий інтерполяцією. Ріжучі пластини з твердого сплаву є надзвичайно міцними і мають функцію самовстановлення в установчих отворах корпусу фрези. Обробку установчих поверхонь під ріжучі пластини круглого сечення здійснюють після термообробки корпусу фрези. Внаслідок цього

гарантується необхідна точність встановлення ріжучих круглих пластин та здатність сприймати значні навантаження без руйнування. Огранка зовнішніх поверхонь пластин запобігає їх провертанню. До основних властивостей такого фрезерного інструменту можна віднести стабільну стійкість різальних поверхонь пластин. Матеріалом різальних пластин є кераміка і нітрид бору. Рекомендовано їх застосовувати для оброблення чавунів і високоміцних матеріалів.

Основні технологічні операції, що здійснюються таким інструментом показані на рисунку 2.6.

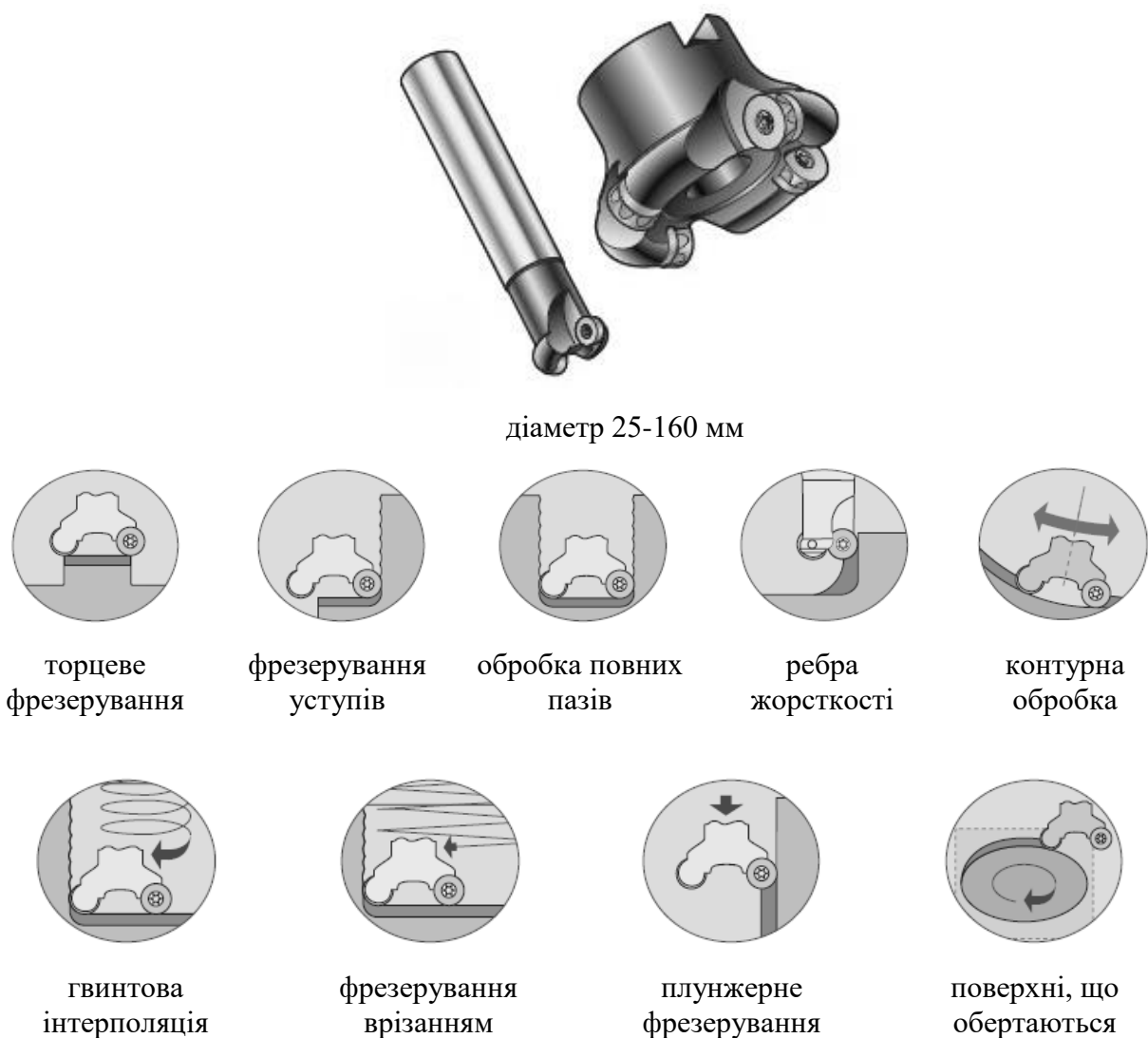


Рисунок 2.6 – Основні технологічні операції, що здійснюються фрезами з круглими ріжучими пластинками для торцевого фрезерування у важких умовах, торцевого фрезерування і обробки профілів

Інструмент для технологічних операцій з низькими зусиллями різання для торцевого і профільного фрезерування є оптимальним рішенням в діапазоні обробки від чорнових до напівчистових операцій з великими подачами. Технології торцевого та профільного фрезерування, а також обробки кишень, западин, врізання методом гвинтової інтерполяції чи вибірки забезпечується фрезами з круглими ріжучими пластинами з невеликими силами різання. Дані технології забезпечують високошвидкісне фрезерування, високу прогнозовану стійкість інструменту, високу чистоту обробки паралельно з великими подачами, високу продуктивність і універсальність. Шліфовані ріжучі пластини дозволяють додатково підвищити точність. Застосування такого інструменту дозволяє економити як на жорсткому, так і на менш жорсткому обладнанні. До переваг фрез із круглими пластинами є можливість зняття шару металу значної товщини, у порівнянні із звичайними пластинами, без явища вібрації. Причому це властиво для інструменту як на коротких так і на довгих оправках. Плавне різання при обробці різних матеріалів та підібрані варіанти співвідношення розміру пластин фрези та їх кроку забезпечують високоефективну обробку на кожному переході обробки. Гнізда під ріжучі пластини обробляються після гартування корпусу, що забезпечує точність і надійність кріплення пластин. Низькі зусилля різання дозволяють проводити обробку навіть при нестабільних умовах. Рекомендована подача на зуб, залежно від діаметра пластини, становить від 0,1 до 0,5 мм. Діаметр інструменту з нейтральною геометрією пластин від 10 до 42 мм, а з позитивною – від 25 до 125 мм.

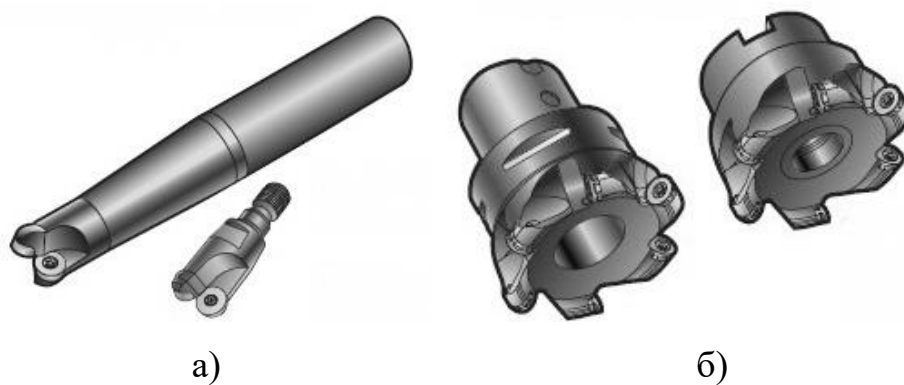


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд інструменту: а) з нейтральною геометрією пластини: б) з позитивною

Основні геометрії ріжучих пластин та умови їх застосування показані на рисунку 2.8.

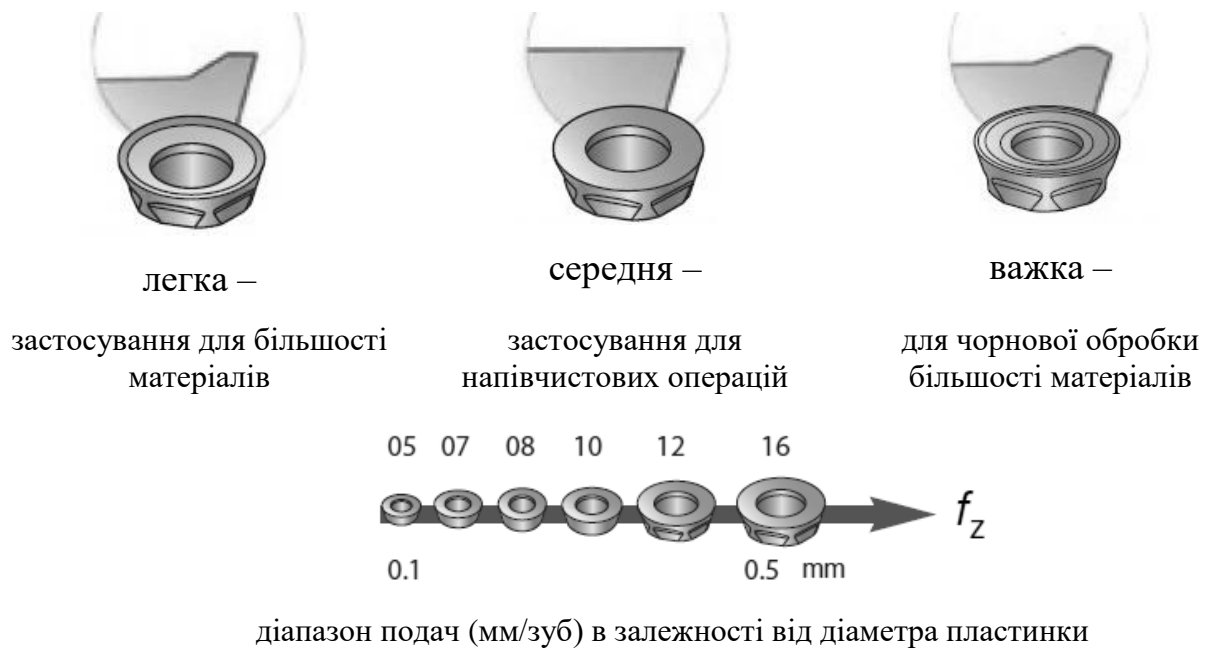


Рисунок 2.8 – Основні геометрії ріжучих пластин для операцій з низькими зусиллями різання для торцевого фрезерування і обробки профілів та умови їх застосування

Основні технологічні операції, що здійснюються таким інструментом показані на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Основні технологічні операції, що здійснюються фрезами з круглими ріжучими пластинками для торцевого фрезерування і обробки профілів з низькими зусиллями різання



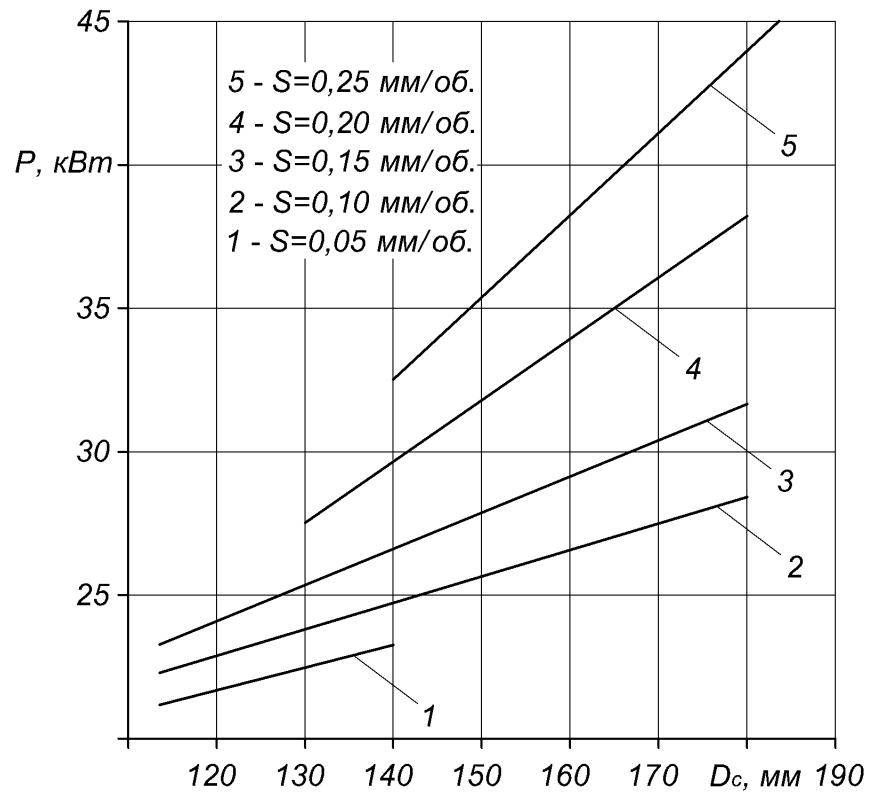


Рисунок 2.10 – Залежність потужності різання від діаметра фрези при різних значення подачі

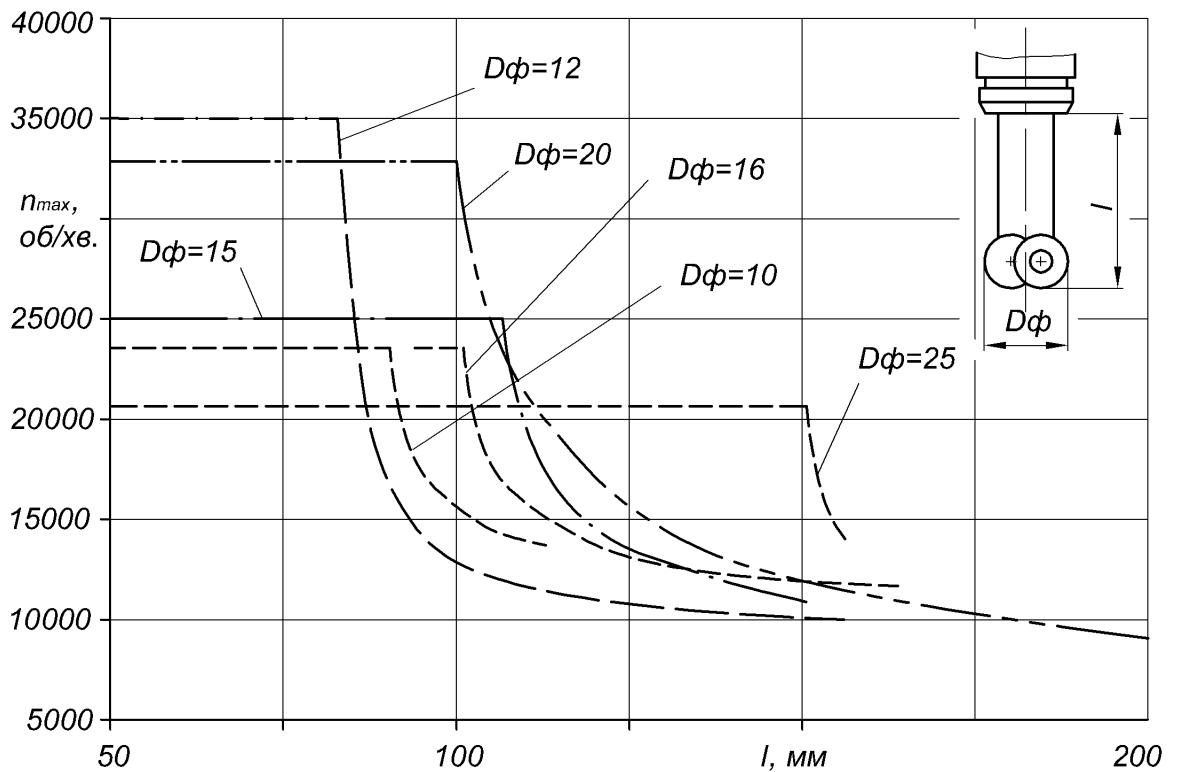


Рисунок 2.11 – Залежність числа обертів фрези з різними діаметрами від її вильоту (для циліндричного хвостовика)

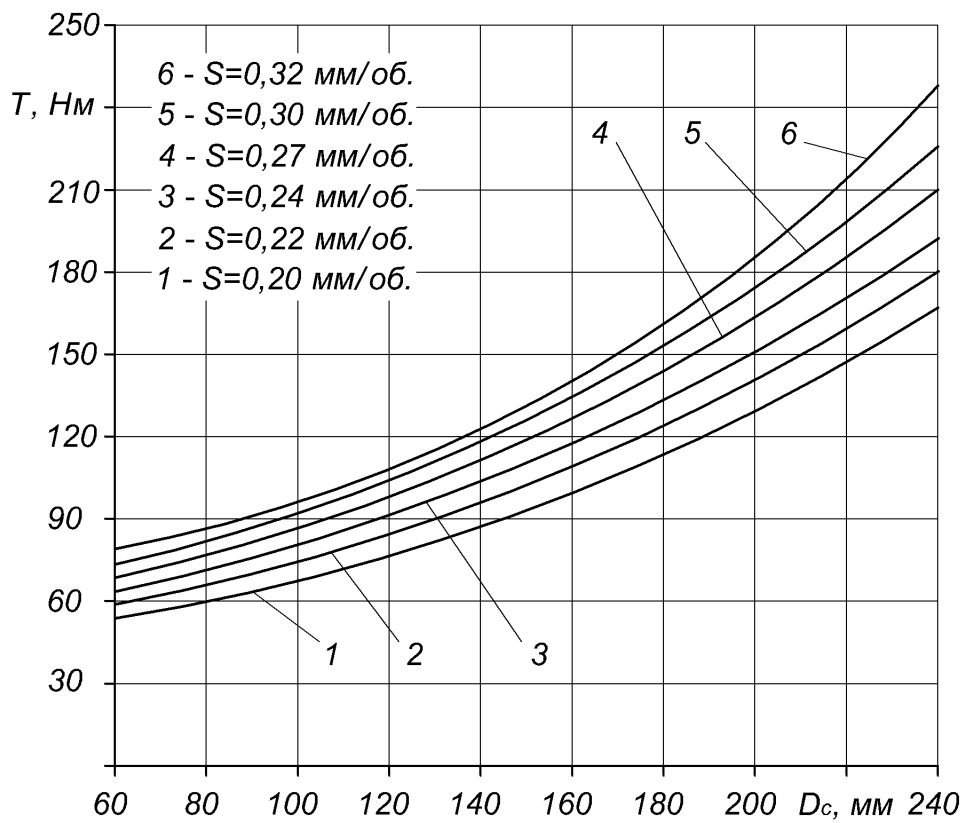


Рисунок 2.14 – Залежність крутного моменту від діаметра фрези при різних значеннях подачі

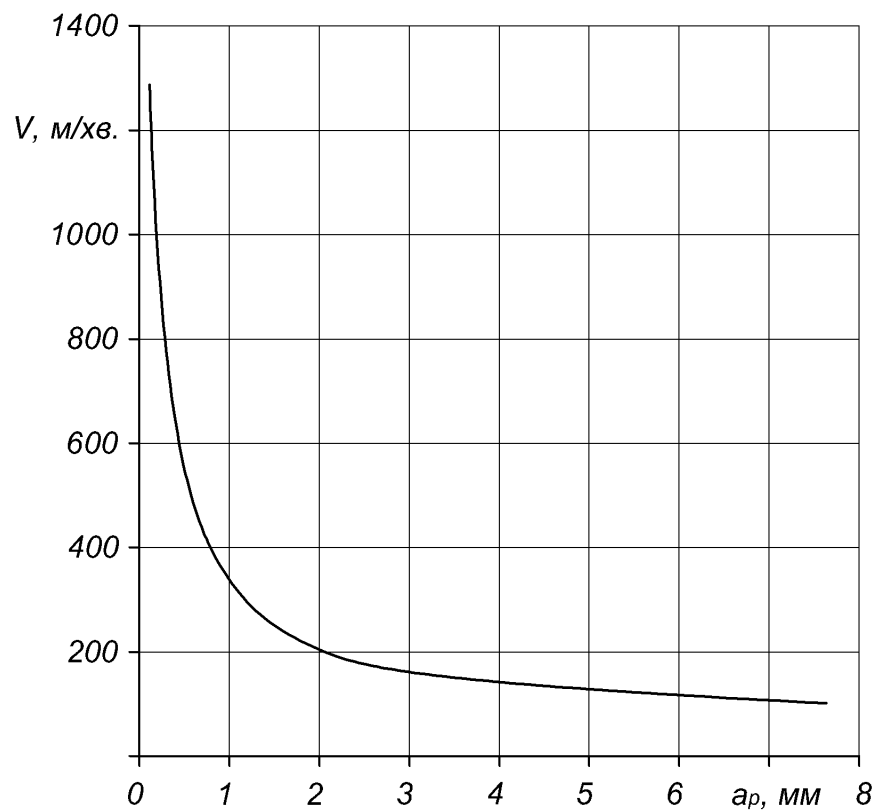


Рисунок 2.13 – Залежність швидкості фрезерування від її глибини різання

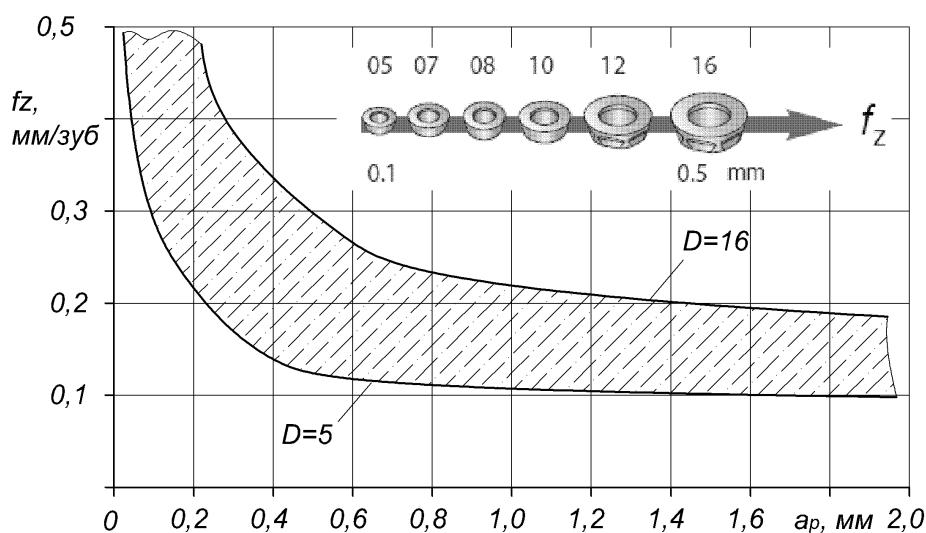


Рисунок 2.12 – Діапазон рекомендованих подач в залежності від глибини різання для пластинок різних діаметрів

### 2.3 Аналіз і узагальнення отриманої інформації

На основі попередньо викладеної інформації, щодо технології фрезерування з круглими ріжучими пластинами, можна констатувати, що під час обробки на глибину врізання має вплив головний кут в плані ріжучої пластини. Даний конструктивний параметр впливає на стійкість фрези, оскільки визначає величину сили різання. Проаналізувавши результати фрезерування із використанням інструменту із круглими пластинами встановлено, що стружко утворення меншого січення прямо залежне від гостроти кута в плані при стабільних значеннях величини подачі. Це пояснюється перерозподілом однакового шару матеріалу по всьому периметру кромки різального леза. Також при зменшенні головного кута – різальна кромка пластини періодично заглиблюється в метал і виходить з нього. Це явище сприяє уникненню передчасного руйнування пластинки внаслідок зниження радіальної сили врізання. Проте є і негативні моменти, а саме підвищення осьової сили різання. Ця складова негативно впливає на якість оброблюваної поверхні. При застосуванні фрез із круглими пластинами явище утворення і

ламання стружки є більш сприятливим процесом ніж для інструменту із ріжучими пластинами прямокутного січення.

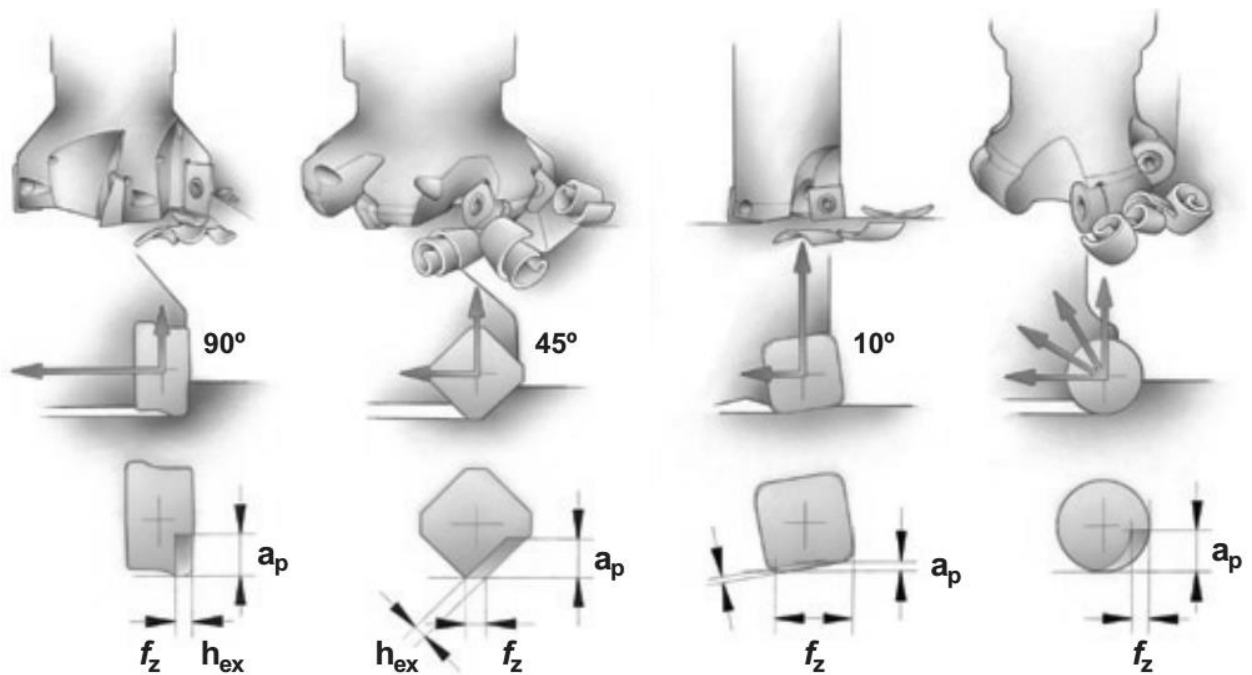


Рисунок 2.15 – Вплив значення головного кута в плані на напрям сил різання і товщину зрізаного шару металу для різних ріжучих пластин

Встановлено, якщо кут в плані є прямим – то переважає радіальна складова сили різання. Тобто зусилля врізання напрямлені в радіальному напрямку до подачі. Відповідно така технологія обробки є оптимальною для заготовок невеликої жорсткості і на оброблювану поверхню тиск мінімальний. Якщо застосовувати інструмент з головним кутом в плані  $45^\circ$  - то складові сил врізання врівноважуються і це дозволяє проводити обробку на малопотужному обладнанні. Такі технології обробки є універсальними і в першу чергу рекомендуються для застосування на матеріалах із елементною стружкою. Як правило це крихкі матеріали, які сколюються під час високих радіальних навантажень. При врізанні інструменту менше навантаження на різальну кромку і менша схильність до вібрацій при великих вильотах інструменту або при закріпленні в пристроях з невеликими зусиллями затиску. Менша товщина шару, що зрізається при куті в плані  $45^\circ$  дозволяє збільшувати хвилинну подачу столу, тобто підвищити продуктивність обробки.

Інструмент із конструктивним виконанням головного кута –  $10^\circ$  доцільно застосовувати при обробці поздовжніх поверхонь. У даному випадку це дозволяє використовувати великі подачі, а товщина зняття металу незначна. Основними перевагами застосування такої технології є відносно малі сили різання, а осьова сила різання є основною незалежно від напрямку подачі. Це забезпечує мінімізацію вібрацій в процесі обробки і дозволяє проводити обробки з високої швидкістю.

Вибір діаметра фрези залежить як правило, від ширини оброблюваної заготовки, а також від потужності обладнання. При цьому важливим фактором, що визначає успішне виконання операції фрезерування, є взаємне розташування оброблюваної поверхні і фрези.

Існує три можливих варіанти співвідношення розмірів фрези і заготовки:

- діаметр фрези дорівнює ширині заготовки або дещо менше, що обумовлює тонку стружку при врізанні і вихід або ж обробка проводиться за кілька проходів. Характерно для випадків, коли заготовка має дуже великі розміри, а фреза невеликий діаметр;

- діаметр фрези на 20 - 50% більший ширини заготовки, що є найкращим варіантом при торцевому фрезеруванні;

- для обробки торців типовим є також те, що діаметр фрези значно більший, ніж оброблювана площа.

Якщо обробка може бути проведена за кілька проходів, то ширина різання за кожен прохід повинна бути рівною  $3/4$  діаметра фрези. При цьому формування стружки і навантаження на різальну кромку будуть оптимальними.

Проте необхідно забезпечити зміщення осі інструменту від симетричної осі деталі, якщо діаметр інструменту суттєво перевищує габарити виробу. Аналізуючи відомо процеси обробки встановлено, що встановлення осі інструменту по симетрії оброблюваної деталі призводить до явища вібрації. Це спричинить незадовільну якість обробки і навіть поломку ріжучої пластини. Відповідно технологічний хід зміни співвісності інструменту і оброблюваної деталі стабілізує радіальні та осьові сили різання.

Кожен раз, коли зуб фрези врізається в заготовку, пластина піддається ударному навантаженню, величина якого залежить від перетину стружки, оброблюваного матеріалу і типу операції. Для процесу фрезерування дуже важливо забезпечити найкращий контакт ріжучих кромek з оброблюваним матеріалом при вході і виході кожного зуба, що досягається за рахунок правильного положення фрези.

## **2.4 Висновки та пропозиції щодо використання результатів досліджень**

На основі проведених теоретичних досліджень було отримано наступні висновки і пропозиції. Щодо технології обробки то те, що невелика глибина різання дозволяє збільшити значення величини хвилинної подачі столу. Коли глибина різання не перевищує 0,2-3 мм (в залежності від розміру пластини), подача на зуб і швидкість різання можуть бути збільшені до 5-ти разів, у порівнянні із фрезеруванням не круглими пластинками. Це призводить до дуже великих значень хвилинної подачі столу і великих обсягів зняття матеріалу без зниження стійкості і надійності інструменту. Щоб збільшити стійкість і надійність роботи фрези, потрібно видаляти зрізану стружку із зони різання. Найкраще робити це за допомогою стиснутого повітря. При роботі круглими пластинами з невеликою глибиною різання, дуже важливо розраховувати ефективну швидкість різання, що залежить від ефективного або фактичного діаметра різання. Даний параметр при невеликій глибині різання значно залежить від значення діаметра фрези.

При нежорсткій системі і великих вильотах інструменту метод плунжерного фрезерування може бути єдиним рішенням. Глибину різання при плунжерним фрезеруванні слід призначати рівною приблизно 80% від діаметра пластини – це значно знижує схильність до вібрацій.

Використання технології обробки типу гвинтової інтерполяції дозволяє

проводити фрезерну обробку отворів круглими пластинками в суцільному металі. Такий спосіб дозволяє обробити отвори великих діаметрів на верстатах з обмеженою потужністю. Невелика глибина різання (5-15% від діаметра пластинки) уможливує обробку з великими подачами, так як при цьому сили різання спрямовані найбільш сприятливо.

Ріжучі пластини круглого січення забезпечують варіацію значення головного кута в плані від 0 до 90° у співвідношенні від шару металу, що знімається. Круглі пластини мають стійку до механічних пошкоджень різальну кромку. Такий інструмент функціонує при значних значеннях подач оскільки зрізає невеликі припуски. Його доцільно застосовувати під час механічної обробки надміцних та важкооброблюваних матеріалів. Радіальні і осьові сили різання циклічно змінюється вздовж радіуса самої пластинки, відповідно загальне навантаження на ріжуче лезо визначається товщиною знятої стружки. Сучасний фрезерний інструмент із круглими ріжучими пластинами є надзвичайно надійним, високопродуктивним і точним. Застосування такого оснащення визначає стабільність технології обробки, мінімізує потужність різання та схильність до появи вібраційних явищ. Актуальним є те, що фрези із круглими пластинками, завдяки змінному головному куту, забезпечують знімання значних припусків металу за один прохід паралельно з високою якістю поверхні.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва

Деталь «корпус ПС-10.02.024» є складовою вузла привідного механізму протруювача насіння ПС-10А, виробництва ВАТ «Агромаш». Корпус призначений для захисту елементів приводу протруювача від потрапляння пилю і забруднень. Відповідно найбільш відповідальними робочими поверхнями є площини та поверхні *A, Б, З, Л, О*, що мають призначення у застосуванні в якості встановлюючих, встановлюваних, центрувальних фіксуєчих. Інші конструктивні площини та отвори *В, Е, Є, Ж, Е, Є, Л, П, Р, Т, Ф, Ч, Х, Ц, Щ, У, І, С* – визначені як допоміжні. Конструктивно вони використовуються для монтажу додаткових комплектувальних виробів, є різного роду базами, формують конструктивну особливість представленої деталі.

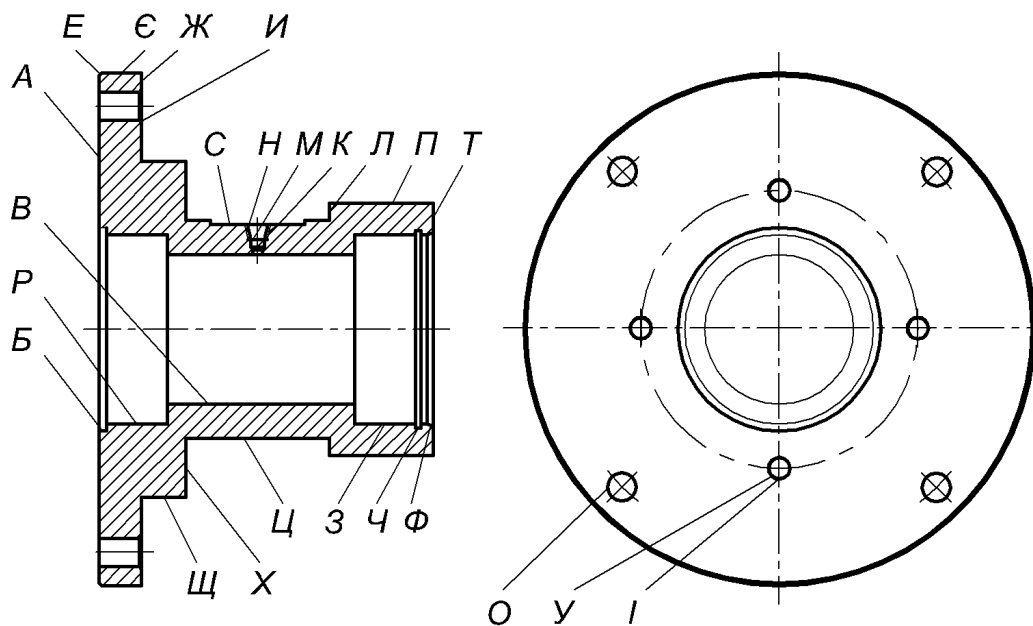


Рисунок 3.1 – Позначення площин оброблюваного виробу

Деталь виготовляється із чавуну СЧ20 згідно ГОСТ 1412-85. Конструкційне призначення чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85 – корпуси, обойми, катки, вилки, кронштейни та інші деталі, які працюють під дією малих та середніх статичних та динамічних навантажень.



Матеріал деталі виробу не є унікальним чи вартісним, властиві йому механічні властивості підходять технологічним запитам.

Фактично деталь характеризується високою статичною жорсткістю, що визначає її придатність для обробки відомими способами, а також здатність до фіксації у наявному технологічному пристосібленні без деформації форм, лінійних та об'ємних розмірів. Фактично маршрут обробки можна здійснювати з встановленням на пальці з фіксацією пневмооснасткою, а також із застосуванням самоцентруючих трьохкулачкових пневмопатронів.

### **3.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу**

Розробку технологічного процесу виготовлення виробу почнемо із вибору заготовки. Матеріалом деталі є чавун СЧ20, відповідно заготовку можна отримати наступними способами [9]:

- а) литтям в піщано-глиняні форми;
- б) лиття в кокіль.

Коротко про метод лиття у піщано-глиняні форми. Даний процес є універсальним способом лиття. В якості матеріалів формувальних сумішей є: як наповнювачі використовують глину, кварцовий порошок (пісок); як протипригарні елементи – кам'яновугільний пил, тальк, графіт; як барвники – маршаліт, магнезит, цирконій. В для виготовлення стержнів замість глини застосовують оксоль, рідке скло, смоли, декстрин, патоку з додаванням тирси та торфу. Даним методом виготовляються великі і середні заготовки всіх типів виробництва. Як переваги варто відзначити універсальність і простоту процесу, як недоліки – низьку точність форми заготовок.

Лиття у кокілі (металеві форми). Кокілі є суцільно металевими і комбінованими. Матеріалом для їх виготовлення є чавуни марок ВЧ50, СЧ18; сталь 25, 35; У7, У10; леговані сталі 30ХГС. Точність розмірів становить 5 – 8 класи, шорсткість до  $Ra = 4$  мкм. Відливки масою від 5 г до 500 кг.

Застосування: нескладні за конфігурацією відливки з чавуну, сталі та кольорових металів у серійному та масовому виробництві.

Переваги: багаторазове використання; висока точність форми та її розмірів, якісна поверхня заготовки; дрібнозерниста структура матеріалу; висока продуктивність процесу; низькі трудомісткість і вартість заготовок; відсутність модельного і опокового спорядження та формувальних сумішей; придатність до механізації та автоматизації.

Недоліки: утворення тріщин у габаритних заготовках, неможливість виготовлення тонкостінних виливків.

З двох найдодільніших способів виготовлення заготовки деталі для подальшої розробки маршруту обробки обирається найбільш дешевший згідно обґрунтування собівартості. Ціна отриманої заготовки визначається за відповідною методикою [9].

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_O \right) - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000}. \quad (3.1)$$

Наближену вагу обраної заготовки розраховують із співвідношення [9]

$$Q = \gamma \cdot K_{II} \cdot V_o, \quad (3.2)$$

Отриману вигоду, виражену у грошовому еквіваленті, від використання дешевшої заготовки встановимо на основі співставлення вартості по обох способах її виготовлення

$$E_3 = (S_{заг1} - S_{заг2}) \cdot N, \quad (3.3)$$

Обґрунтування вибору способу виготовлення заготовки за вартістю наведено у додатку А. На основі аналізу технологічних можливостей,

характеристик запропонованих способів отримання заготовок та їх вартості вихідною приймаємо заготовку отримувану методом лиття у кокіль.

Методологію визначення механічних припусків заготовки розглянемо на прикладі окремо взятих поверхонь, хоча доцільніше призначати припуски згідно табличних даних. Визначимо припуски розрахунковим методом для поверхонь *A*, *Ж* (див. рис. 3.1) в лінійний розмір  $18^{+0,6}$  мм.

Послідовність обробки є наступною:

1. Попередній прохід точінням;
2. Прохід чистового проточування.

Визначаємо припуск для кожної обробки:

- заготовка:  $R_z = 150$  мкм,  $T = 250$  мкм.

- попереднє проточування:  $R_z = 30$  мкм,  $T = 30$  мкм.

- проточування начисто:  $R_z = 5$  мкм,  $T = 15$  мкм.

Загальне просторове зміщення під час базування

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2}, \quad (3.4)$$

де  $\rho_{кор}$  – значення можливого жолоблення, мкм;

$\rho_{см}$  – загальне відхилення, мкм.

Значення жолоблення

$$\rho_{кор} = \Delta_k l, \quad (3.5)$$

де  $\Delta_k$  – відносне викривлення заготовки,  $\Delta_k = 1,5$  мкм/мм;

$l$  – лінійний розмір заготовки,  $l = 140$  мм.

$$\rho_{кор} = 1,5 \cdot 140 = 210 \text{ мкм.}$$

### Загальне відхилення заготовки

$$\rho_{см} = \sqrt{\left(\frac{\delta_1}{2}\right)^2}, \quad (3.6)$$

де  $\delta_1$  – відхилення розміру щодо розміщення основної базуючої площини при обробці,  $\delta_1 = 200$  мкм.

$$\rho_{см} = \sqrt{\left(\frac{200}{2}\right)^2} = 100 \text{ мкм.}$$

$$\rho_3 = \sqrt{210^2 + 100^2} \approx 233 \text{ мкм.}$$

### Значення надлишкового зміщення

$$\rho_1 = 0,05\rho_3 = 0,05 \cdot 233 = 11,65 \approx 12 \text{ мкм;}$$

$$\rho_2 = 0,05\rho_1 = 0,05 \cdot 12 \approx 1 \text{ мкм.}$$

Відхилення базування спостерігається під час ймовірного перекошування заготовки при установці у патрон. Найбільше зміщення

$$S_{\max} = \delta_A + \delta_B + s_{\min}, \quad (3.7)$$

де  $\delta_A$  – допуск діаметрального установочного розміру,  $\delta_A = 16$  мкм;

$\delta_B$  – допуск розмірів фіксуючої частини,  $\delta_B = 14$  мкм;

$s_{\min}$  – найменше зміщення,  $s_{\min} = 13$  мкм.

### Найбільше провертання заготовки

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta_A + \delta_B + s_{\min}}{L_c}, \quad (3.8)$$

де  $L_c$  – висування заготовки,  $L_c = 70$  мм.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,016 + 0,014 + 0,013}{70} \approx 0,0006.$$

Похибка встановлення згідно лінійного розміру обробленої площини

$$\varepsilon_{\bar{o}} = l \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_{\bar{o}} = 140 \cdot 0,0006 = 0,084 = 84 \text{ мкм.}$$

Відхилення при фіксації заготовки  $\varepsilon_3 = 40$  мкм [10]. Похибка встановлення для попередньої токарної обробки

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_{\bar{o}}^2 + \varepsilon_3^2}. \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{84^2 + 40^2} \approx 93 \text{ мкм.}$$

Похибка встановлення для чистової токарної обробки

$$\varepsilon_2 = 0,05 \cdot \varepsilon_1. \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_2 = 0,05 \cdot 93 \approx 4,65 \text{ мкм}$$

Найменші міжопераційні припуски

$$2Z_{\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}). \quad (3.12)$$

Найменший припуск механічного оброблення

$$2Z_{\min 1} = 2(150 + 250 + 246) = 2 \cdot 646 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 2} = 2(30 + 30 + 12) = 2 \cdot 72 \text{ мкм}.$$

Остаточний розмір  $l_p$  встановимо згідно крайнього його значення шляхом поступового сумування значення визначеного найменшого припуску дл кожного наступного технологічного переходу. Відповідно для токарної обробки

$$l_{p1} = 18 + 0,144 = 18,144 \text{ мм};$$

- заготовка

$$l_{p2} = 18,144 + 1,292 = 19,436 \text{ мм}.$$

Найменші і найбільші розміри

- остаточне проточування  $l_{\min 3A\Gamma} = 17,8 \text{ мм};$

$$l_{\max 3A\Gamma} = 17,8 + 0,2 = 18 \text{ мм};$$

- попереднє проточування  $l_{\min 3A\Gamma} = 18,15 \text{ мм};$

$$l_{\max 3A\Gamma} = 18,15 + 0,25 = 18,4 \text{ мм};$$

- заготовка  $l_{\min 3A\Gamma} = 19,45 \text{ мм};$

$$l_{\max 3A\Gamma} = 19,45 + 3,2 = 22,65 \text{ мм}.$$

Найменші лімітовані припуски  $2z_{\min}^{np}$  встановлюють шляхом віднімання мінімальних лімітованих значень дійсного та передуючого розмірів, а

максимальні лімітовані припуски  $2z_{\max}^{np}$  – різниці максимальних лімітованих розмірів.

$$2z_{\min 2}^{np} = 18,15 - 17,8 = 0,35 = 350 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} = 18,4 - 18 = 0,4 = 400 \text{ мкм};$$

$$2z_{\min 1}^{np} = 19,45 - 18,15 = 1,3 = 1300 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 22,65 - 18,4 = 4,25 = 4250 \text{ мкм}.$$

Сумарні припуски  $z_{0\min}$  і  $z_{0\max}$ :

$$2z_{0\min} = 350 + 1300 = 1650 \text{ мкм};$$

$$2z_{0\max} = 400 + 4250 = 4650 \text{ мкм}.$$

Номінальний сумарний припуск рівний

$$z_{0\text{ном}} = z_{0\min} + H_3 - H_D, \quad (3.13)$$

де  $H_3$  – значення нижнього відхилення заготовки, мкм;

$H_D$  – значення нижнього відхилення виробу, мкм.

$$H_3 = I_i + \frac{K_y}{2}, \quad (3.14)$$

де  $I_i$  – відхилення зношення інструменту,  $I_i = 0,8$  мм;

$K_y$  – відхилення усадки,  $K_y = 1$  мкм/мм.

$$H_3 = 0,8 + \frac{1,0}{2} = 0,4 = 400 \text{ мкм.}$$

$$z_{0\text{ном}} = 1650 + 400 - 200 = 1850 \text{ мкм.}$$

Номинальне значення лінійного габариту заготовки

$$l_{3\text{ном}} = l_{Д\text{ном}} + z_{0\text{ном}} \text{ мм.} \quad (3.15)$$

$$l_{3\text{ном}} = 18,6 + 1,85 = 20,45 \text{ мм.}$$

Схематичне зображення допусків та припусків на переходи механічної обробки наведено на рис 3.2.

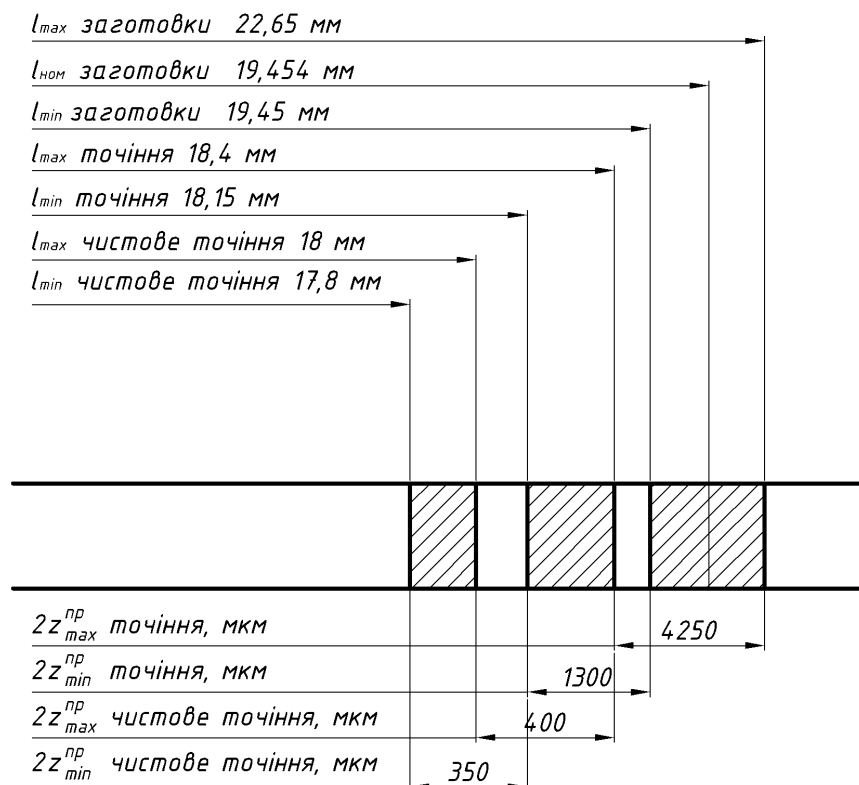


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення допусків та припусків на переходи механічної обробки пов. А, Ж у лінійний розмір  $18^{+0,6}$  мм



Перевіримо вірність отриманих значень розмірів та припусків

$$z_{\max 2}^{np} - z_{\min 2}^{np} = \delta_1 - \delta_2;$$

$$400 - 350 = 250 - 200;$$

$$50 = 50.$$

$$z_{\max 1}^{np} - z_{\min 1}^{np} = \delta_3 - \delta_2;$$

$$4250 - 1300 = 3200 - 2504;$$

$$2950 = 2950.$$

– відповідно це підтверджує вірність проведених розрахунків.

Дані значення припусків заносимо у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення розмірів та припусків згідно маршруту обробки поверхонь А, Ж в розмір  $18^{+0,6}$  мм

Маршрут обробки	Складові припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір $l_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мкм	Лімітований розмір		Лімітовані припуски, мкм	
	$R_z$	$T$	$\rho$	$\varepsilon$				$l_{\min}$	$l_{\max}$	$2z_{\min}^{np}$	$2z_{\max}^{np}$
Заготованка	150	250	246	–	–	19,454	3200	19,45	22,65		
1. Попереднє проточування	30	30	12	141	2·646	18,146	250	18,15	18,4	1300	4250
2. Чистове проточування	5	15	1	7	2·72	18	200	17,8	18	350	400
										1650	4650

Розробка маршрутно-технологічного процесу полягає у аналізі двох варіантів виготовлення деталі. Розглянемо варіант механічної обробки поверхні *B* попереднім свердлінням і калібруванням. Операції 015, 065, 070 – обробка на токарному верстаті з ЧПК. Виконання операцій 020, 025, 030, 035 можна забезпечити на вертикальному обладнанні верстату мод. 2С132, а операції 040, 055, 060 на радіальному мод. 2А55.

Таблиця 3.2 – Перший маршрут варіанту виробництва

№ опер.	Найменування технологічного переходу або операції	Позначення обр. пов.	Встановлювальні пов.	Моделі верстатів
1	2	3	4	5
005	Свердлильна 1. Розсвердлити отвір попередньо	<i>B</i>	<i>П, Т</i>	2С132
010	Калібрування 1. Калібрувати отвір	<i>B</i>	<i>А, П</i>	П6324
015	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню з підрізкою торців 2. Обточити поверхню 3. Розточити отвір 4. Переустановити деталь 5. Точити поверхні 6. Підрізати торці	<i>Ж, Щ, А, Є, В, Р, П, З, Ц, Т, Л, Х</i>	<i>Т, П, А, В</i>	16К30Ф3
020	Свердлильна 1. Свердлити 4-и отвори одночасно	<i>О</i>	<i>З, Т, Р</i>	2С132
025	Свердлильна 1. Зенкувати почергово 4-и фаски	<i>И</i>	<i>З, Т, Р, О</i>	2С132
030	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити 4-и отвори одночасно	<i>І</i>	<i>З, Т, Р</i>	2С132
035	Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати почергово 4-и фаски	<i>У</i>	<i>З, Т, Ж</i>	2С132

1	2	3	4	5
040	Радіально-свердлильна 1. Нарізати почергово різьбу М10	У	З, Т, Ж	2Н55
045	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати площину	С	Р, Т, А	6Н10
055	Свердлильна 1. Сверлити отвір 2. Повторно сверлити отвір	К, М, Н	Р, Т, А	2Н55
060	Радіально-свердлильна 1. Зенкувати фаску 2. Нарізати різьбу	Н	Р, Т, А	2Н55
065	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню і фаску	Б, Е	В, О, А	16К30Ф3
070	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню 2. Точити фаску та канавку	З, Ч, Ф	В, О, А	16К30Ф3
075	Слюсарна 1. Зібрати заусениці	—	—	—
080	Промивка 1. Провести промивку виробу	—	—	М 2 А
085	Контрольна 1. Провести контроль вимог	—	—	ПР 1466

У другому варіанті механічну обробку поверхні *В* доцільно здійснити точінням. Дана операція мінімізує основний оброблення та підвищить точність обробки, оскільки всі циліндричні поверхні будуть оброблятися відносно однієї бази.

Операції 015, 065, 070 (токарні з ЧПК) – на токарному багато різцевому напівавтоматі, що також мінімізує обслуговування верстату (напівавтомат задовольнить технічні вимоги по точності виготовлення, а за всіма затратами

економічно доцільніший за обладнання з ЧПК). Операції 020, 025, 030, 035 (вертикально-свердлильні) і 040, 055, 060 (радіально-свердлильні) – на вертикально-свердлильному верстатному обладнанні мод. 2A135. Немає потреби у операції 010 (калібрування). Інші операції першого варіанту ТП можна залишити без змін.

Таблиця 3.3 – Другий маршрут варіанту виробництва

№ опер.	Найменування технологічного переходу або операції	Позначення обр. пов.	Встановлювальні пов.	Моделі верстатів
1	2	3	4	5
005	Токарна 1. Обробити поверхню та торці 2. Обточити поверхню 3. Розточити отвір 4. Переустановити деталь 5. Точити поверхні 6. Підрізати торці	<i>Ж, Щ, А, Є, В, Р, П, З, Ц, Т, Л, Х</i>	<i>Т, П, А, В</i>	1A720
010	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити 4-и отвори одночасно	<i>О</i>	<i>З, Т, Р</i>	2Н135
015	Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати почергово 4-и фаски	<i>И</i>	<i>З, Т, Р, О</i>	2Н135
020	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити 4-и отвори одночасно	<i>І</i>	<i>З, Т, Р</i>	2Н135
025	Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати почергово 4-и фаски з нарізкою різьби М10	<i>У</i>	<i>З, Т, Ж</i>	2Н135
030	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати площину	<i>С</i>	<i>Р, Т, А</i>	6Н10

1	2	3	4	5
035	Вертикально-свердлувальна 1. Сверлити отвір 2. Сверлити отвір 3. Зенкувати фаску 4. Провести формування різьби	<i>K, M, H</i>	<i>P, T, A</i>	2H135
04 0	Токарна 1. Розточити поверхню із фаскою 2. Переустановити деталь 3. Розточити поверхню 4. Проточити канавку і фаску	<i>B, E, Z, Ч, Ф</i>	<i>B, O, A</i>	1A720
045	Слюсарна 1. Зібрати заусениці	—	—	—
050	Промивка 1. Провести примвку виробу	—	—	M 2 A
055	Контрольна 1. Провести контроль вимог	—	—	ПР 1466

У другому варіанті технологічного процесу виготовлення корпусу окреме обладнання було замінено більш однотипним і дешевшим, яке проте забезпечує необхідну точність обробки. Ці заходи зменшать затрати на утримання обладнання, виробничу площу ділянки і підвищать коефіцієнт завантаження обладнання.

Вибір варіанту технологічного маршруту для заданих умов обробки проводиться на основі співставлення різних варіантів по собівартості і трудомісткості. Згідно із положенням по оцінці ефективності нової технології визнається ефективнішим той варіант по якому сума поточних і приведених затрат на одиницю продукції буде мінімальною. Величина приведених годинних затрат [12]

$$C_{п.з} = \frac{C_3}{M} + C_{ч.з} + E_H \cdot (K_C + K_3). \quad (3.16)$$

Затрати на оплату працюючих, грн./год.:

$$C_3 = C_{T.\Phi} \cdot 1,53K. \quad (3.17)$$

Затрати на використання робочого місяця:

$$C_{ч.з} = C_{Б.з} \cdot K_M, \quad (3.18)$$

Вкладення капітальних коштів у верстати

$$K_C = \frac{Ц \cdot 100}{3200}, \quad (3.19)$$

Вкладення капітальних коштів у споруди цеху

$$K_3 = \frac{F \cdot 75 \cdot 100}{3200}, \quad (3.20)$$

Співставлення проводимо по відмінних операціях. Результати розрахунків наведені у додатку Б.

Відповідно по собівартості обробки для подальшої розробки приймаємо другий варіант технологічного процесу виготовлення деталі «корпус ПС-10.02.024».

Основні технологічні операції процеси виготовлення виробу не потребують спеціального чи унікального оснащення, інструменту, контрольних пристроїв.

Потрібне оснащення можна призначити на кожну операцію маршруту обробки із стандартного ряду керуючись відповідними рекомендаціями [10].

Таблиця 3.4 – Інструментальні і контрольні засоби

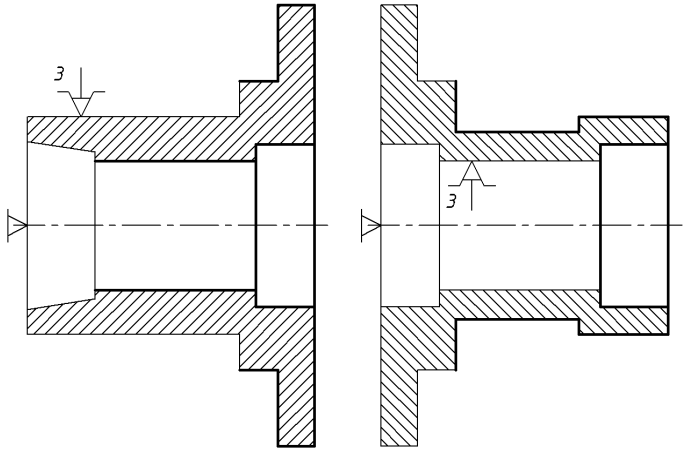
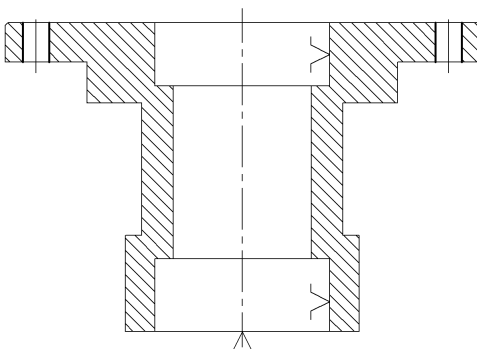
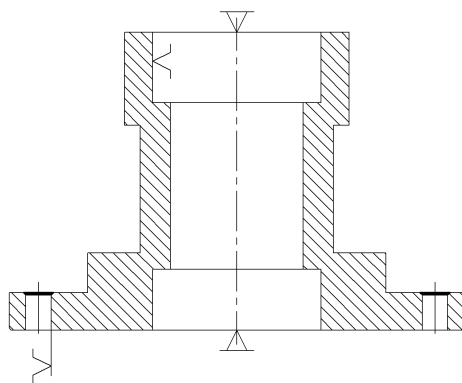
операція	Найменування операції	Оснащення	
		інструментальне	контрольне
1	2	3	4
005	Токарна	- різець 1 BK8 ГОСТ 21151-75 (для переходу 1); - різець 2 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 1); - різець 3 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 2); - різець 4 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 3, 2 од.); - різець 5 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 5, 2 од.); - різець 6 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для пер.6, 2 шт.)	штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80
010	Вертикально-свердлильна	свердло Ø11 P18 ГОСТ 10903-77 (4 од.)	пристрій калібрувальний; калібр пробка (Ø11) ГОСТ 14810-69
015	Вертикально-свердлильна	зенкер Ø14 P18 ГОСТ 14953-80	шаблон свердлильно-зенкувальний
020	Вертикально-свердлильна	сверло Ø9 P18 ГОСТ 10903-77 (4 од.)	пристрій калібрувальний;
025	Вертикально-свердлильна	зенкер Ø12 P18 ГОСТ 14953-80; мітчик M10 ГОСТ 6227-80	шаблон свердлильно-зенкувальний

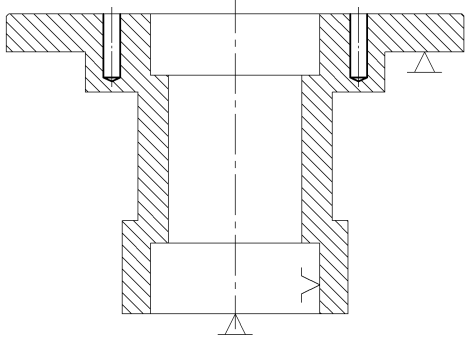
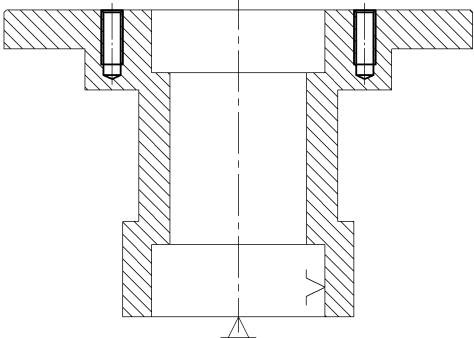
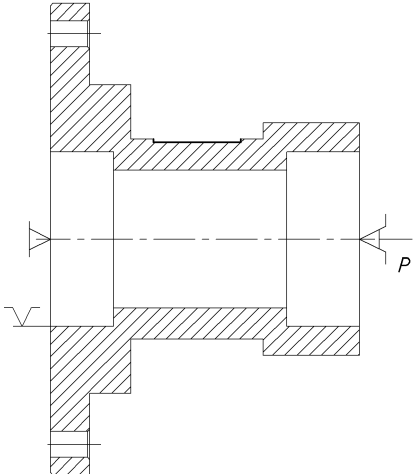
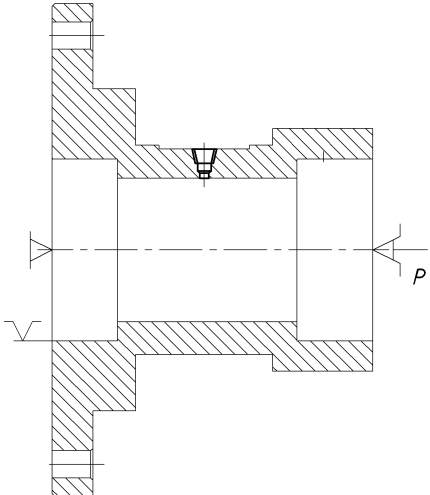
1	2	3	4
030	Вертикально-фрезерна	фреза (Ø40) P18 ГОСТ 17026-71	штангельциркуль ШЦ-I-125 ГОСТ 166-80
035	Вертикально-свердлильна	сверло (Ø4) P18 ГОСТ 886-77; сверло (Ø8,6) P18 ГОСТ 10902-77; мітчик конусний К 1/8” ГОСТ 6227-80	штангенльциркуль ШЦ-I-125 ГОСТ 166-80; калібр-пробка К 1/8”
040	Токарна	- різець 7 BK8 ГОСТ 21151-75 (для переходу 1); - різець 8 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 2); - різець 9 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 3); - різець 10 T15K6 ГОСТ 21151-75 (для переходу 4)	пробка (Ø86H8) ГОСТ 14815-69; пробка (Ø86H9) ГОСТ 14815-69; штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;
045	Слюсарна	напильник 2820-0028 ГОСТ 1465-80	—
050	Промивка	корзина ПР 1709	—
055	Приймальний контроль	—	штангельциркуль ШЦ-I-125 ГОСТ 166-80; контрольний пристрій фіксації радіал. биття

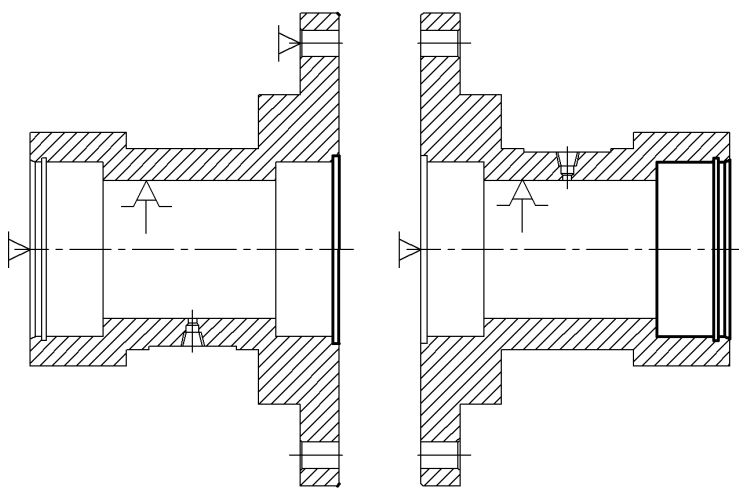
Встановлюємо оптимальні схеми базування, які б забезпечували найменшу похибку установки при дотриманні принципу суміщення баз [13].



Таблиця 3.5 – Схеми встановлення та закріплення заготовки

Операція	Назва операції	Схема встановлення та закріплення
1	2	3
005	Токарна	
010	Сверлильна	
015	Сверлильна	

1	2	3
020	Сверлильна	
025	Сверлильна	
030	Фрезерна	
035	Сверлильна	

1	2	3
040	Токарна	

Призначення і визначення розрахунковим методом режимів обробки здійсними на прикладі окремих технологічних операцій та із застосуванням табличних нормативів.

Сверлильна операція №010

Шар матеріалу, який знімається  $t = 0,5D = 0,5 \cdot 11 = 5,5$  мм; число проходів інструментом  $i = 1$ ; інструментальна подача  $S = 0,2$  мм/об. [12]. Швидкість різання [10]

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (3.21)$$

де  $C_v$  – розрахункова стала,  $C_v = 8,9$  [10];

$D$  – діаметральний параметр інструменту,  $D = 11$  мм;

$q, m, y$  – степеневі вказівники,  $q = 0,35$ ;  $m = 0,2$ ;  $y = 0,6$  [10];

$T$  – хвилинна стійкість сверла,  $T = 60$  хв. [10];

$K_v$  – корегуючий показник,  $K_v = 0,72$  [10].

$$V = \frac{8,9 \cdot 11^{0,35}}{60^{0,2} \cdot 0,2^{0,6}} \cdot 0,72 = 17,78 \text{ м/хв.}$$

Кількість оборотів інструменту

$$n = \frac{1000V}{\pi D}. \quad (3.22)$$

Застосувавши числові дані

$$n = \frac{1000 \cdot 17,78}{3,14 \cdot 11} = 472 \text{ об/хв.}$$

Проведемо співставлення кількості розрахункових оборотів з даним технічних характеристик обладнання для визначення реального значення швидкості обробки. Відповідно для даної моделі  $n = 425$  об/хв. Отже

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 11 \cdot 425}{1000} \approx 16,01$$

Дійсна потужність обробки [12]

$$N_e = \frac{M_K \cdot n}{975 \cdot 1000}, \quad (3.23)$$

де  $M_K$  – обертовий момент при різанні, Нм

$$M_K = C_m \cdot D^{2.0} \cdot S^y \cdot K_m, \quad (3.24)$$

де  $C_m$  – розрахункова стала,  $C_m = 39$  [10];

$y$  – степеневий показник,  $y = 0,8$  [10];

$K_m$  – коректувальний коефіцієнт,  $K_m = 0,78$  [10].

$$M_K = 39 \cdot 11^{2.0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,78 = 1208,7 \approx 1209 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Дійсна потужність обробки

$$N_e = \frac{1209 \cdot 425}{975 \cdot 1000} \approx 0,53 \text{ кВт}.$$

Потужність застосовуваної свердлильної головки

$$N_{\text{зол}} = m \cdot N_e \cdot \eta_{\text{зол}}, \quad (3.25)$$

де  $m$  – число працюючих сверл,  $m = 4$ ;

$\eta_{\text{зол}}$  – показник ефективності сверлильної головки,  $\eta_{\text{зол}} = 0,8 \dots 0,9$  [10].

$$N_{\text{зол}} = 4 \cdot 0,53 \cdot 0,85 \approx 1,8 \text{ кВт}.$$

Затрачений час на обробку

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S}, \quad (3.26)$$

де  $L$  – довжина оброблення, мм;

$$L = t + y_1 + y_2, \quad (3.27)$$

де  $t$  – величина обробки,  $t = 18$  мм;

$y_1$  – значення підведення сверла,  $y_1 = 3$  мм;

$y_2$  – значення перебігу сверла,  $y_2 = 3$  мм.

$$L = 18 + 3 + 3 = 24 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{24}{425 \cdot 0,2} \approx 0,28 \text{ хв.}$$

Фрезерувальна операція №030

Глибина обробки  $t = 2$  мм; число обробок  $i = 1$ ; число зубів інструменту  $z = 12$ ; ширина обробки  $B = 40$  мм; інструментальна подача на зуб  $S_z = 0,08$  мм/зуб [10].

Швидкість обробки розраховуємо за формулою [10]

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_m \cdot K_n \cdot K_u \cdot K_\phi}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot z^n \cdot B^z}, \quad (3.28)$$

де  $C_v$  – розрахункова стала,  $C_v = 64,7$  [10];

$D$  – діаметральний розмір інструменту,  $D = 40$ ;

$q, m, x, y, n, z$  – степеневі вказівники,  $q = 0,25$ ;  $m = 0,2$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = 0,1$ ;  $z = 0,1$  [10];

$T$  – хвилинна стійкість фрези,  $T = 180$  хв. [10];

$K_m, K_n, K_u, K_\phi$  – коректуючі коефіцієнти,  $K_m = 1$ ,  $K_n = 0,9$ ,  $K_u = 1,3$ ,  $K_\phi = 1$  [10].

$$V = \frac{64,7 \cdot 40^{0,25} \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,3 \cdot 1}{180^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,08^{0,2} \cdot 12^{0,1} \cdot 40^{0,1}} = 56,8 \text{ м/хв.}$$

Кількість оборотів фрези

$$n = \frac{1000 \cdot 56,8}{3,14 \cdot 40} = 452,2 \text{ об/хв.}$$

Проведемо співставлення кількості розрахункових оборотів з даним технічних характеристик обладнання для визначення реального значення швидкості обробки. Відповідно для даної моделі  $n = 450$  об/хв. Отже

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 450}{1000} = 56,52 \text{ м/хв.}$$

Подача інструменту на хвилину

$$S_m = S_z \cdot z \cdot n. \quad (3.29)$$

Підставивши числові значення

$$S_m = 0,08 \cdot 12 \cdot 450 = 432 \text{ мм/хв.}$$

Дійсна потужність обробки [10]

$$N_e = \frac{P \cdot V}{60 \cdot 10^2}, \quad (3.30)$$

де  $P$  – радіальна складова різання, Н

$$P = C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot z \cdot B^z \cdot D^q, \quad (3.31)$$

де  $C_p$  – розрахункова стала,  $C_p = 68$  [12];

$q, z, x, y$  – степеневі вказівники,  $q = -0,86$ ;  $z = 1$ ;  $x = 0,86$ ;  $y = 0,74$  [10].

$$P = 68 \cdot 2^{0,86} \cdot 0,08^{0,74} \cdot 12 \cdot 40^1 \cdot 40^{-0,86} = 191,6 \text{ кН.}$$

Дійсна потужність обробки

$$N_e = \frac{191,6 \cdot 56,52}{60 \cdot 102} = 1,76 \text{ кВт.}$$

Затрачений час на обробку

$$T_o = \frac{L}{S_m}, \quad (3.32)$$

де  $L$  – довжина оброблення, мм.

$$L = B_L + y_1 + y_2, \quad (3.33)$$

де  $B_L$  – величина обробки фрезою,  $B_L = 40$  мм;

$y_1$  – значення підведення фрези,  $y_1 = 10$  мм;

$y_2$  – значення перебігу фрези,  $y_2 = 10$  мм.

$$L = 40 + 10 + 10 = 60 \text{ мм;}$$

$$T_o = \frac{60}{432} = 0,14 \text{ хв.}$$

Таблиця 3.6 – Режими обробки згідно маршруту технологічного процесу

Опер.	Назва переходу операції	$L$ , мм	$t$ , мм	$i$	$S$ , мм/об	$S_m$ , мм/хв.	$n$ , об/хв.	$V$ , м/хв.	$T_o$ , хв.	$N$ , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	Токарна									
	Перехід 1	19	2,3	1	0,4	-	200	93	0,31	2,31
	Перехід 2	18	2	1	0,2	-	250	68	0,82	
	Перехід 3	108	5	3	0,4	-	200	93	0,97	
	Перехід 5	60	7	4	0,4	-	200	62	1,14	
Перехід 6	25	2	1	0,2	-	250	68	0,45		
010	Сверлильна									
	Перехід 1	18	5,5	1	0,2	-	425	16,01	0,28	1,8



Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
015	Сверлильна Перехід 1	1	1	4	ручна	-	200	8,9	0,16	0,22
020	Сверлильна Перехід 1	30	4,5	1	0,2	-	425	14,5	0,29	1,23
025	Сверлильна Перехід 1	1	1	4	ручна	-	180	12,5	0,12	0,37
	Перехід 2	25	1	4	ручна	-	180	5,6	0,88	
030	Фрезерна Перехід 1	40	2	1	-	432	450	56,52	0,14	1,76
035	Сверлильна Перехід 1	12	2	1	ручна	-	710	8,9	0,6	0,32
	Перехід 2	6	4,3	1	ручна	-	500	13,5	0,34	
	Перехід 3	1	1	1	ручна	-	200	8,4	0,11	
	Перехід 4	6	1	1	0,941	-	250	7,9	0,16	
040	Токарна Перехід 1	3	3	1	0,4	-	200	93	0,31	1,12
	Перехід 3	34	0,5	1	0,2	-	250	68	0,82	
	Перехід 4	2	1,75	1	0,4	-	200	85	0,64	

Технічне нормування розробленого технологічного процесу виготовлення даного виробу проведемо згідно встановленої методики. Зокрема штучний час встановлюються за формулою [15]:

$$T_{шт} = T_o + T_\delta + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (3.34)$$

де  $T_o$  – головний час обробки, хв.;

$T_\delta$  – додатковий час, хв.;

$T_{обсл}$  – часові затрати обслуговування, хв.;

$T_{відп}$  – часові затрати відпочинку працюючого, хв.

Додаванням значень головного і додаткового отримаємо оперативний

$$T_{оп} = T_o + T_\delta. \quad (3.35)$$

Серійне виробництво потребує визначення підготовчо-заключного та штучно-калькуляційного затрат часу

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{н.з.}}{n}, \quad (3.36)$$

де  $T_{нз}$  – значення підготовчо-заключного часу, хв.;

$n$  – число виробів партії, шт.

Встановимо розрахунковим шляхом значення штучного часу на 010 операцію – сверлильну.

Головний час операції  $T_o = 0,28$  хв. Встановимо обсяг додаткових робіт і часові затрати на їх здійснення. Відповідно значення часу на встановлення деталі, управління обладнанням та вимірні роботи:  $T_{уст} = 0,64$  хв.;  $T_{упр} = 0,48$  хв.;  $T_{вим} = 0,08$  хв. [12]. Загальні затрати додаткового часу

$$T_{\partial} = 0,64 + 0,48 + 0,08 = 1,20 \text{ хв.}$$

Норми оперативного часу

$$T_{он} = 0,28 + 1,20 = 1,48 \text{ хв.}$$

Часові затрати обслуговування місця працюючого приймають 4 % від оперативного [12]

$$T_{обс} = 0,04 \cdot 1,48 \approx 0,06 \text{ хв.}$$

Часові затрати відпочинку працюючого також приймають 4 % від оперативного часу [12]

$$T_{відп} = 0,04 \cdot 1,48 \approx 0,06 \text{ хв.}$$

## Норма штучного часу

$$T_{ум} = 1,48 + 1,2 + 0,06 + 0,06 = 2,8 \text{ хв.}$$

Нормативне значення часових затрат  $T_{нз} = 16 \text{ хв.}$

Відповідно значення штучно-калькуляційного часу

$$T_{ум.к} = 2,8 + \frac{16}{240} = 2,87 \text{ хв.}$$

За даною методикою проводиться визначення затрат часу для інших технологічних переходів маршруту обробки. Кінцеві результати норм часу наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Нормування часу на операції обробки

Опер.	$T_o$ , хв.	Допоміжний, хв.			$T_o$ , хв.	$T_{оп}$ , хв.	$T_{обс}$ , хв.	$T_{відп}$ , хв.	$T_{ум}$ , хв.	$T_{нз}$ , хв.	$T_{ум.к}$ хв.
		$T_{уст}$	$T_{упр}$	$T_{вим}$							
005	3,69	0,44	0,48	0,08	1,2	1,8	0,11	0,11	5,33	12	5,82
010	0,28	0,64	0,48	0,08	1,2	1,48	0,06	0,06	2,8	16	2,87
015	0,16	0,34	0,26	0,06	1,1	1,36	0,06	0,06	1,58	16	2,65
020	0,29	0,64	0,48	0,08	1,2	1,48	0,06	0,06	2,87	16	2,98
025	1,00	0,64	0,48	0,08	1,2	1,48	0,06	0,06	3,07	16	3,44
030	0,14	0,34	0,28	0,06	1,4	1,28	0,13	0,13	1,24	12	1,62
035	1,21	0,64	0,48	0,08	1,2	2,28	0,13	0,13	3,24	16	3,62
040	1,77	0,44	0,48	0,08	1,2	1,8	0,11	0,11	2,42	12	2,96
045	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25	9	0,37
050	—	—	—	—	—	—	—	—	0,35	5	0,57
055	—	—	—	—	—	—	—	—	0,56	12	0,75

### 3.3 Визначення кількості обладнання

Кількість одиниць верстатного парку на механічній дільниці розрахуємо за штучним часом на операцію і тактом випуску продукції. Такт випускаємої продукції [12]

$$t_{\text{с}} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60}{N}, \quad (3.37)$$

де  $F_{\text{д}}$  – дійсний час функціонування верстатів, год.;  $F_{\text{д}} = 4015$  год.;

$N$  – кількість випуску виробів, шт.;  $N = 6000$  шт.

$$t_{\text{с}} = \frac{4015 \cdot 60}{6000} = 40,15 \text{ хв.}$$

Значення штучного часу затраченого на виготовлення приймемо з таблиці 3.7 розділу 3.2.

Проаналізувавши використовуване обладнання і норми штучного часу, можна констатувати, що ступінь завантаження однотипних верстатів по окремих споріднених операціях буде низьким. Тобто доцільніше проводити розрахунок по сумарному штучному часу на цих однотипних операціях технологічного процесу. Отже:

– операції 005, 040 – токарна обробка, загальний штучний час:

$$\sum T_{\text{шт}} = 5,33 + 2,42 = 7,75 \text{ хв.};$$

– операції 010, 015, 020, 025, 030 – сверління, загальний штучний час:

$$\sum T_{\text{шт}} = 2,8 + 1,58 + 2,87 + 3,07 + 3,24 = 13,56 \text{ хв.};$$

– операція 030 –фрезерна, штучний час:

$$T_{шт} = 1,24 \text{ хв.}$$

Кількість верстатів по операціях рівна

- токарна група

$$m_p = \frac{7,75}{40,15} \approx 0,19 \text{ – використовуємо } m_n = 1 \text{ верстат;}$$

- свердлильна група

$$m_p = \frac{13,56}{40,15} \approx 0,34 \text{ – використовуємо } m_n = 1 \text{ верстат;}$$

- фрезерна група

$$m_p = \frac{1,24}{40,15} \approx 0,03 \text{ – використовуємо також } m_n = 1 \text{ верстат.}$$

### 3.4 Конструювання спеціального оснащення

Для забезпечення продуктивності і точності обробки доцільно сконструювати пристрій для одночасного свердління 4-х отворів  $\varnothing 11$  мм (операція 020 – вертикально-свердлильна), який забезпечить одночасне оброблення всіх 4-х отворів. Технологічно це зможе забезпечити застосуванням спеціальної свердлильної головки. Дане технологічне впровадження забезпечить точність механічної обробки та продуктивність свердління.

Конструйований пристрій містить основу у вигляді плити із

вертикальними стойками. На них містяться кондукторна плита з іншими конструктивними складовими пристрою. Установчо-базувальними елементами служить внутрішня діаметральна площина, якою виріб встановлюється на пальці круглого січення. Технологічно затиск при обробці створює подача шпинделя верстата, який через свердлильну головку діє на пружини стоек. Ці циліндричні пружини передають зусилля задва протилежно розміщені циліндричні пальці, а також торцева поверхня. Затиск оброблюваної деталі забезпечується вертикальною подачею шпинделя із сверлами на кондукторну плиту, яка затискає заготовку.

Розрахуємо точність конструйованого пристрою [10]

$$\varepsilon_{np} = \delta - k \sqrt{(k_1 \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{yct}^2 + \varepsilon_{zn}^2 + \varepsilon_{p.i}^2 + (k_2 \omega)^2}, \quad (3.38)$$

де  $\delta$  – розмірний допуск,  $\delta = 0,8$  мм;

$k$  – коефіцієнт зміщення установчих елементів пристрою,  $k = 1,2$ ;

$\varepsilon_{\delta}$  – похибка встановлення [10]

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{\delta_D}{2}, \quad (3.39)$$

де  $\delta_D$  – зміщення встановлюючої площини,  $\delta_D = 0,16$  мм;

Відповідно отримаємо

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{0,16}{2} = 0,08 \text{ мм.}$$

$k_1, k_2$  – поправки на серійність виробництва,  $k_1 = 0,7$ ;  $k_2 = 0,6$ ;

$\varepsilon_3$  – похибка відхилення поверхонь заготовки від сили затиску,  $\varepsilon_3 = 0$  мм;

$\varepsilon_{yct}$  – похибка установки приспособлення, мм;

$$\varepsilon_{yct} = \frac{L_{\partial} \cdot s_{uu}}{l}, \quad (3.40)$$

де  $L_{\partial}$  – лінійна величина обробки,  $L_{\partial} = 18$  мм;

$s_{uu}$  – проміжок між шпонкою приспособи і пазом верстатного стола,  $s_{uu} = 0,05$  мм;

$l$  – відстань розміщення шпонок,  $l = 475$  мм.

$$\varepsilon_{yct} = \frac{18 \cdot 0,05}{475} \approx 0,0019 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{zn}$  – відхилення внаслідок спрацювання установчих елементів,  $\varepsilon_{zn} = 0,02$  мм;

$\varepsilon_{p.i}$  – відхилення інструменту,  $\varepsilon_{p.i} = 0,01$ ;

$\omega$  – похибка способу обробки,  $\omega = 0,08$  мм.

Підставши дані

$$\varepsilon_{np} = 0,18 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,08)^2 + 0^2 + 0,0019^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + (0,6 \cdot 0,08)^2} \approx 0,087 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{np} \leq \delta$  – що гарантує точність оброблення.

Сила затискування  $P$  встановлюється із відношення

$$P \geq mP_o, \quad (3.41)$$

де  $m$  – число одночасно працюючих сверл;

$P_o$  – сила осьового врізання.

$$P_o = 10C_p D^q s^y K_p, \quad (3.42)$$

де  $C_p$  – сталий коефіцієнт,  $C_p = 42,7$  [10];

$D$  – діаметр інструменту,  $D = 11$  мм;

$q, y$  – степеневі показники,  $q = 1; y = 0,8$  [10];

$s$  – значення подачі сверла,  $s = 0,2$  мм/об.;

$K_p$  – коефіцієнт умов оброблення.

$$K_p = \left( \frac{HB}{190} \right)^n, \quad (3.43)$$

де  $HB$  – твердість матеріалу,  $HB = 190$  [11];

$n$  – степеневий показник,  $n = 0,6$  [10].

$$K_p = \left( \frac{190}{190} \right)^{0,6} = 1.$$

Значення сили осьового врізання

$$P_o = 10 \cdot 42,7 \cdot 11^1 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1 = 1296,1 \text{ Н.}$$

Мінімальна сила затискування заготовки

$$P \geq 4 \cdot 1296,1 = 5184 \text{ Н}$$

Згідно функціоналу пристрою перевіримо відповідність верстату умові затиску заготовки

$$N_{\text{дв}} \geq N_{\text{зол}} \eta_{\text{в}}, \quad (3.44)$$

де  $N_{\text{дв}}$  – потужність двигуна головного руху обладнання,  $N_{\text{дв}} = 4$  кВт [10];

$N_{\text{зол}}$  – потужність застосовуваної головки для сверління, кВт;

$\eta_{\text{в}}$  – коефіцієнт КД обладнання,  $\eta_{\text{в}} = 0,8$  [10].



$$N_{гол} = m \cdot N \cdot \eta_{гол}, \quad (3.45)$$

де  $m$  – число застосовуваного інструменту,  $m = 4$ ;

$N$  – потужність одного сверла,  $N = 0,53$ ;

$\eta_{гол}$  – коефіцієнт КД свердлильної головки,  $\eta_{гол} = 0,8...0,9$  [10].

$$N_{гол} = 4 \cdot 0,53 \cdot 0,85 \approx 1,8 \text{ кВт.}$$

$$4 \geq 1,8$$

– отже затиск заготовки виконується.

Для механічної обробки фрезеруванням плоских поверхонь сконструйовано пристрій, який складається із таких деталей і вузлів. В основі лежить зварний корпус до якого кріпляться установчі та фіксуючі елементи. Установчими та вимірними поверхнями для заготовки є торцювальна поверхня та поверхня круглого січення. Затиск заготовки проводиться пневматикою завдяки втягуючому штоку пневмоциліндра.

Встановлення даного пристосування на столі верстатного обладнання забезпечується шпонками з наступним затиском рим-болтами. Дані болти вставляються у відповідні пази корпусної плити.

Точність конструйованого пристрою розрахуємо за формулою (3.38). Необхідні коефіцієнти [10]:  $\delta = 0,36$  мм;  $k = 1,2$ ;  $\varepsilon_{\delta} = 0,18$ ;  $k_1 = 0,7$ ;  $k_2 = 0,6$ ;  $\varepsilon_3 = 0,1$  мм;  $\varepsilon_{уст} = 0,041$  мм;  $\varepsilon_{зн} = 0,04$  мм;  $\varepsilon_{p.i} = 0$ ;  $\omega = 0,1$  мм.

Підставивши значення поправочних коефіцієнтів

$$\varepsilon_{np} = 0,36 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,18)^2 + 0,1^2 + 0,041^2 + 0,04^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} \approx 0,142 \text{ мм}$$

– отже точність даного пристрою дотримана.

Під час фрезерування деталі торцевою фрезою деталь базується установчій втулці з підтиском в торець. Дія затискного зусилля спрямоване по

нормалі до поверхні заготовки і, у свою чергу, воно не допускає зсуву оброблюваного виробу внаслідок дії сил різання.

Номинальне затискне зусилля

$$Ff + F_1f + F_2f \geq kP_{різ}, \quad (3.46)$$

де  $F$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  – складові сил тертя;

$f$  – контактний коефіцієнт тертя заготовки і елементів пристрою,  $f = 0,15$ ;

$P_{різ}$  – ріжуче зусилля,  $P_{різ} = 191,6$  кН;

$k$  – коефіцієнт надлишкової міцності.

Коефіцієнт надлишкової міцності визначається добутком складових поправочних коефіцієнтів [10]

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (3.47)$$

де  $k_1$  – гарантований запас,  $k_1 = 1,5$ ;

$k_2$  – зміна припуску чистових заготовок,  $k_2 = 1$ ;

$k_3$  – посилення ріжучого зусилля тупої фрези,  $k_3 = 1,2$ ;

$k_4$  – неперервність обробки,  $k_4 = 1$ ;

$k_5$  – наявність пневмозатиску,  $k_5 = 1,0$ ;

$k_6$  – наявність крутильних моментів,  $k_6 = 1,5$ .

Відповідно коефіцієнт надлишкової міцності

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,7.$$

Сила затиску і компоненти зусиль тертя

$$F = F_1 = F_2 = P. \quad (3.48)$$

Сила затискування заготовки і тиск пневмоциліндра

$$P = Q. \quad (3.49)$$

Сила затискування заготовки

$$Q \cdot f = kP_{\text{пиз}}. \quad (3.50)$$

Відповідно сила притиску пневматики

$$Q = \frac{kP_{\text{пиз}}}{f}. \quad (3.51)$$

Числове значення сили притиску

$$Q = \frac{2,7 \cdot 191,6}{0,15} = 3448,8 \text{ кН.}$$

Діаметр пневматичного циліндра пристосіблення [10]

$$Q = \frac{\pi(D_{\text{II}}^2 - d^2)}{4} \cdot p, \quad (3.52)$$

де  $D_{\text{II}}$  – значення діаметра циліндра, см;

$d$  – рекомендований діаметр штока,  $d = 4$  см;

$p$  – тиск у системі пневматики,  $p = 20$  кг/см<sup>2</sup>.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p} + d^2}. \quad (3.53)$$

Розрахунковий діаметр пневмоциліндра

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3448,8}{3,14 \cdot 20} + 4^2} = 15,3 \text{ см} \approx 153 \text{ мм.}$$

Згідно отриманого значення приймаємо найближчий більший конструктивний діаметр згідно стандартного ряду, а саме  $D = 160$  мм, шток діаметром  $d = 40$  мм [10].

## 4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 4.1 Визначення основних і допоміжних площ цеху

Визначення площ цеху проводиться згідно даних про трудомісткість операцій за розробленим технологічним процесом виготовлення деталі в умовах базового підприємства. Вихідні дані по кількості: верстатів цеху – 100 шт.; заточних верстатів – 4 шт.; обладнання цехової ремонтної бази – 2 шт.; дільниці ремонту спорядження – 6 шт.; контрольних столів – 7 шт.; габарити обладнання – середні.

Виробнича площа дільниці визначається за питомою площею на одиницю обладнання [16].

$$S_M = N \cdot S_{II}, \quad (4.1)$$

де  $N$  – кількість верстатів в цеху, шт.;

$S_{II}$  – питома площа на один верстат,  $S_{II} = 18...25 \text{ м}^2$  [16].

$$S_M = 100 \cdot 25 = 2500 \text{ м}^2.$$

Площа складального відділення приймається в межах 30...40% від механічного відділення [16]. Відповідно 30% від  $2500 \text{ м}^2 = 750 \text{ м}^2$ .

Допоміжна площа:

– заточне відділення. Кількість заточних верстатів – 4, питома площа –  $8...10 \text{ м}^2$ . Відповідно площа відділення =  $40 \text{ м}^2$ .

– цехова ремонтна база (ЦРБ). Кількість верстатів ЦРБ – 2, питома площа –  $30 \text{ м}^2$ , отже загальна площа =  $60 \text{ м}^2$ .

– контрольне відділення. Площа відділення визначається із розрахунку  $5...6 \text{ м}^2$  на одного контролера, отже –  $5 \times 7 = 35 \text{ м}^2$ .

– склади матеріалів і заготовок. Площа цехового складу матеріалів та заготовок [16]

$$S_3 = \frac{M_{\Sigma} \cdot t}{260 \cdot q \cdot k_B}, \quad (4.2)$$

де  $M_{\Sigma}$  – маса матеріалу і заготовок річного об'єму випуску,  $M_{\Sigma} = 1591,2 \text{ т.}$ ;

$t$  – кількість робочих днів зберігання заготовок на складі,  $t = 5$ ;

$q$  – допустиме навантаження на  $1 \text{ м}^2$  площі підлоги складу,  $q = 1,2 \text{ т/м}^2$ ;

$k_B$  – коефіцієнт використання площі складування,  $k_B = 0,3 \dots 0,4$ .

$$S_3 = \frac{1591 \cdot 5}{260 \cdot 1,2 \cdot 0,3} \approx 85 \text{ м}^2.$$

– відділення для приготування і роздачі охолоджуючих рідин, склад масел. Площа залежить від кількості верстатів, у даному випадку –  $35 \text{ м}^2$  [16].

– відділення для збирання і переробки стружки. Площа цього відділення визначається аналогічно до попереднього і становить  $95 \text{ м}^2$  [16].

– заготівельне відділення. У даному відділенні цеху встановлюють від 4 до 10 верстатів. Питома площа –  $25 \dots 30 \text{ м}^2$  на один верстат [16]. Відповідно при 4-х верстатах площа становить  $100 \text{ м}^2$ .

Таблиця 4.1 – Відомість площ цеху

№ п/п	Назва відділення	Площа, $\text{м}^2$
1	2	3
1	Механічне	2500
2	Складальне	750
3	Заточувальне	40
4	Цехова ремонтна база (ЦРБ)	60
5	Контрольне	35
6	Склад матеріалів і заготовок	85
7	Склад мастильно-охолоджувальних рідин (МОР)	35
8	Відділення для переробки стружки	95
9	Заготівельне відділення	100
	Всього	3700
10	Магістральні проїзди (12% від площі відділень цеху)	444
	Всього	4144
11	Службово-побутові приміщення (25% площі цеху)	925
	Всього площа цеху, магістральних проїздів та службово-побутових приміщень	5069

Площа ділянки для виготовлення корпусу залежить від розмірів та маси верстатів і приймається для легких верстатів в межах  $14 \dots 18 \text{ м}^2$ , для

середніх – 18...22 м<sup>2</sup>, для крупних – 22...30 м<sup>2</sup> [16]. Відповідно складаємо відомість дільниці для механічної обробки деталі «корпус ПС-10.02.024».

Таблиця 4.2 – Площа дільниці для виготовлення корпусу ПС-10.02.024

Обладнання (верстат)	Модель	Габарити, мм	Тип	Прийнята питома площа, м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
Вертикально-фрезерний	6Н10	1720×1750	середній	18
Токарний напівавтомат	1А720	2190×1365	середній	18
Вертикально-свердлильний	2Н125	1240×810	середній	18
Слюсарний верстак	—	1500×1000	—	6
Промивочна машина	М2А	1550×1250	—	6
Контрольний стіл	ПР1460	2000×1000	—	6
Місця склад. заг. і дет.	—	—	—	8
Загальна площа дільниці механічної обробки				80

#### 4.2 Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на дільниці

Вихідними даними для розробки компонувального плану цеху є: технологічна схема і схеми вантажопотоків; склад цеху і розміри площ всіх його відділень; прийнята схема цеху; основні будівельні параметри.

На компонувальному плані з допомогою прийнятих умовних позначень вказують: основні стіни; межі дільниць, допоміжні устаткування і споруди; основні вантажопідйомні засоби; основні проїзди і проходи; канали для відводу стружки вказуванням висотних відміток для них відносно підлоги.

До компонувального плану додається поперечний розріз прольоту виробничої будівлі, виконаний в масштабі 1:100.

Всі відділення механоскладального цеху розміщують в напрямку загального виробничого потоку в наступній послідовності:

- а) майданчики для складування заготовок розташовуються на початку;

б) майданчики для складування готових деталей розташовуються в кінці верстатних ліній після технічного контролю;

в) в кінці верстатних відділень передбачається поперечний проїзд шириною не менше 4 м;

г) за проїздом розташовуються відділення технічного контролю;

д) допоміжні відділення рекомендовано розміщувати збоку потоку.

Складські приміщення в цеху (склад матеріалів і заготовок, проміжний склад, роздавально-інструментальний склад) відділяються від верстатного відділення сіткою висотою 2,5 м, а контрольне і заточувальне відділення – скляною перегородкою. Компонувальний план виконують в масштабі 1:200.

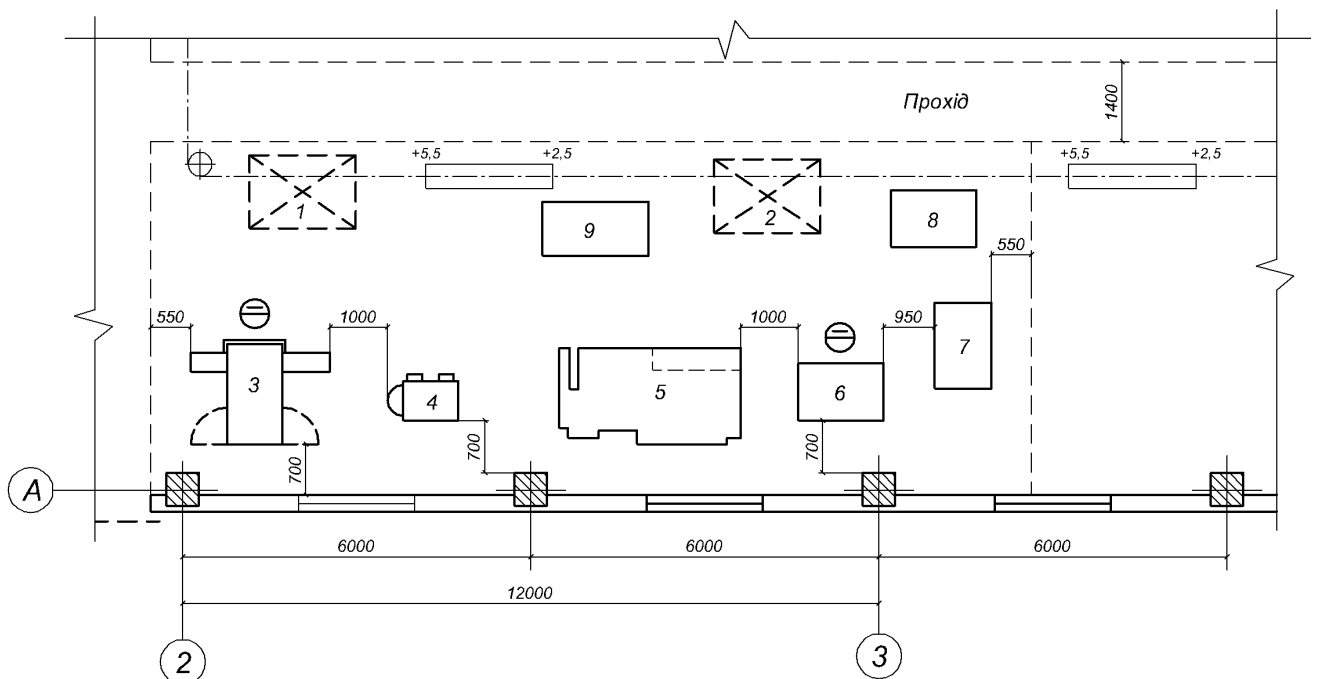


Рисунок 4.1 – План розміщення обладнання на ділянці механічної обробки деталі «корпус ПС-10.02.024»:

- 1 – місце складування заготовок; 2 – місце складування деталей;
- 3 – вертикально-фрезерний мод.6Н10 ; 4 – вертикально свердильний мод.2Н135; 5 – токарний багаторізцевий півавтомат мод.1А720;
- 6 – слюсарний верстак; 7 – промивочна машина М2А; 8 – стіл для контролю ПР1460; 9 – стелаж для зберігання інструменту

План розміщення обладнання розробляється на основі відповідності з компоувальним планом цеху і розташуванням будівельних елементів будівлі. Основним принципом при складанні плану розміщення обладнання на ділянці механічної обробки є забезпечення прямолінійності руху деталей в процесі їх обробки згідно з технологічним процесом.

Координатні осі будівлі на плані повинні співпадати з позначеннями, згідно з компоувальним планом. Нормативні відстані між обладнанням, колонами, стінами: мінімальна відстань між обладнанням – 950 мм, від проїзду до фронтальної сторони – 1000 мм, від стін, колон до тильної сторони верстата – 700 мм.

Все обладнання позначається наскрізною порядковою нумерацією. Поперечний розріз прольоту промислової будівлі наводиться на плані розміщення обладнання на ділянці. На ньому вказуються висота прольоту, висоти обладнання і транспортних засобів, висотні відмітки підлоги і каналів для відводу стружки, контури колон, фундаментів з розмірами прив'язки обладнання до координатних осей і елементів конструкції будівлі.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Застосування запобіжних муфт для захисту ріжучого інструменту від поломки

У верстатобудуванні використовують муфти дуже різноманітних конструкцій. Як самостійні складальні одиниці застосовують стандартизовані муфти. Основною характеристикою кожної муфти є обертовий момент на передавання якого вона розрахована. Іншими важливими показниками конструкцій муфт є гранична частота обертання, габаритні розміри, маса і момент інерції муфти щодо осі обертання. Стандартні муфти не розраховують, а підбирають за обертовим моментом.

Усі муфти верстатного обладнання за принципом роботи поділяють на три основні типи: механічні, електричні та гідравлічні. Найбільш поширеними є механічні та електричні. Запобіжні муфти поділяють на кулачкові, кулькові та фрикційні.

У муфтах із трапецієвидним профілем кулачків виникають осьові сили, які можуть розімкнути півмуфти і затруднити їхнє вмикання. Тому кут а трапецієвидного профілю вибирають у межах  $2...5^\circ$ , щоб забезпечити самогальмування силами тертя між кулачками і невелике постійне зусилля з боку механізму керування муфтою. Кулачкові запобіжні муфти автоматичного спрацювання подібні до керованих кулачкових муфт, але вони не мають механізму примусового керування. Тут півмуфти замикаються зусиллям стиснутих пружин. Кут профілю кулачків у цих муфтах є більшим  $40^\circ$ . Кулачкові запобіжні муфти стандартизовані (ГОСТ 15620-77) для діаметрів валів 8-48 мм і обертових моментів 4-400 Н·м [17].

Кулькові запобіжні муфти за принципом дії схожі до кулачкових. При перевантаженнях під дією осьових зусиль, обумовлених формою впадин в

одній із півмуфт, кульки зміщаються в осьовому напрямі і відбувається розмикання муфт.

Дискові фрикційні муфти бувають із однією парою поверхонь тертя і з багатьма парами поверхонь тертя. Муфти замикаються постійним зусиллям стиснутих пружин. Згідно з ГОСТ 15622-77 є фрикційні запобіжні муфти для діаметрів валів 9-48 мм і обертових моментів 6,3-400 Н·м [17].

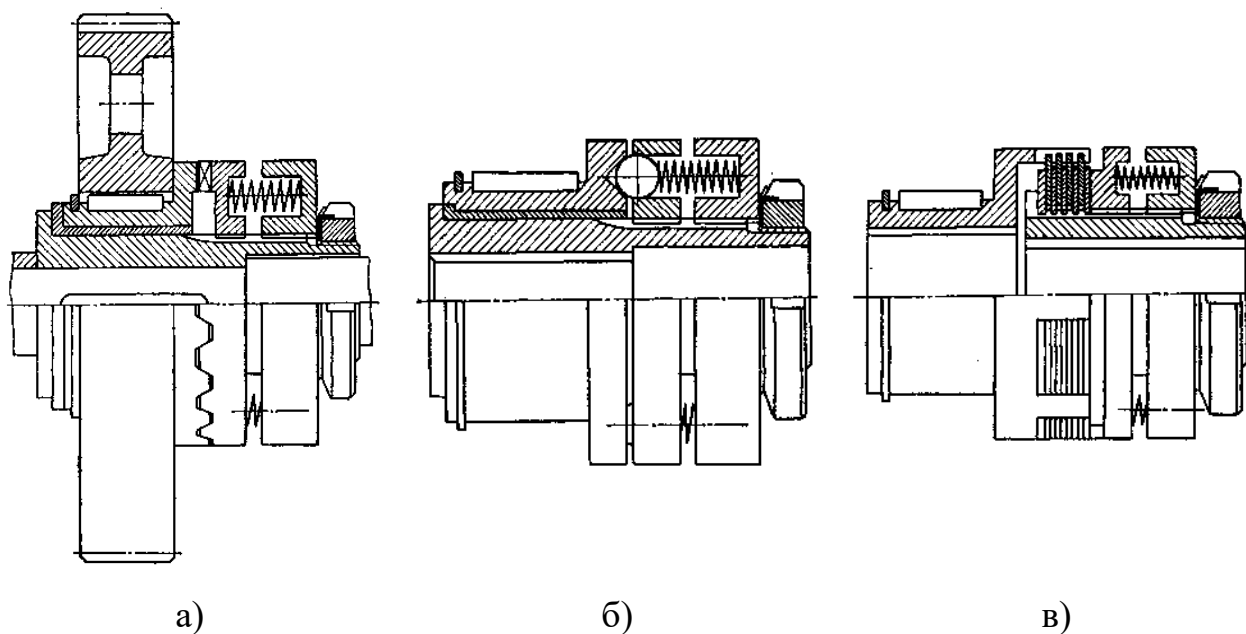


Рисунок 5.1 – Поширені конструкції запобіжних муфт для захисту ріжучого інструменту: а – кулачкова; б – кулькова; в – фрикційна дискова

## 5.2 Конструкція і розрахунок системи стружко- і пиловидалення із зони різання верстата

В процесі механічної обробки деталей, зокрема на фрезерних верстатах, виділяється значна кількість стружки, яка призводить до нагрівання зони обробки, утруднює процес різання. Збільшення об'єму стружки може привести до поломки інструменту, потрапляння її в зону знаходження обслуговуючого персоналу, і як наслідок, може спричинити нещасні випадки на виробництві.

При фрезеруванні деталей з габаритними розмірами  $\leq 150$  мм розхід

повітря, яке витягується складає біля 500 м<sup>3</sup>/год. при швидкості транспортування 15-17 м/с у відвідному патрубку [18]. Діаметр повітропроводу в зоні витягування вибирається із стандартних значень на основі попередньо проведених розрахунків. Так необхідна продуктивність витягування знаходиться за формулою [18]

$$L = F \cdot V \cdot 3600, \quad (5.1)$$

де  $F$  – площа січення повітропроводу, м<sup>2</sup>;

$V$  – швидкість витягування повітря, м/с.

Враховуючи те, що лінійна довжина оброблюваної поверхні наближена до нормативних даних ( $120 \leq 150$ ) встановимо продуктивність витягування  $L = 500$  м<sup>3</sup>/год.

Відповідно розв'язуючи рівність:  $500 = F \cdot 15 \cdot 3600$  визначимо площу січення повітропроводу

$$F = \frac{500}{15 \cdot 3600} = 0,009 \text{ м}^2.$$

Приймаємо стандартний діаметр повітропроводу  $d = 35$  мм.

Вибираємо вентилятор ЦП-7-40 №5 з параметрами: потужність електродвигуна  $N = 3$  кВт; число обертів  $n = 1960$  об/хв.; опір мережі  $P = 200$  кг/м<sup>2</sup> = 20 МПа. Вибираємо циклон №8 із зворотнім конусом технічні характеристики якого наступні [18]: швидкість повітря  $V = 16$  м/с; продуктивність  $L = 300$  м<sup>3</sup>/год.; опір мережі  $P = 14$  МПа.

Кількість повітря, яку необхідно видалити від фрези визначається за формулою [18]

$$Q = kD_{\phi}, \quad (5.2)$$

де  $D_{\phi}$  – діаметр фрези,  $D_{\phi} = 45$  мм;

$k$  – розмірний коефіцієнт, що залежить від діаметру фрези,  $k = 1,8$  м<sup>3</sup>/с.

$$Q = 1,8 \cdot 0,045 = 0,081 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для видалення пилюки і стружки безпосередньо із зони різання застосовуємо місцеве відсмоктування. Швидкість повітряного потоку у

відповідному патрубку приймаємо по направленню пилового потоку безпосередньо в отвір  $V_{від} = 2,75$  м/с.

Площа поперечного січення повітровідводу рівна [18]

$$F = \frac{Q}{V_{від}}. \quad (5.3)$$

$$F = \frac{0,081}{2,75} = 0,029 \text{ м}^2.$$

Діаметр патрубка рівний

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}. \quad (8.4)$$

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,029}{3,14}} = 0,192 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр патрубка [18]  $D = 195$  мм.

### 5.3 Дотримання техніки безпеки при роботі з абразивними кругами

Сучасне машинобудування ставить високі вимоги до якості і чистоти оброблюваної поверхні які неможливі без використання абразивних інструментів і шліфувальних верстатів для остаточної обробки металевих деталей. При обертанні звичайного круга відцентрові сили спричиняють розриваючі напруги. У високопористому крузі в зв'язку з його меншою об'ємною вагою ці сили значно зменшуються, тому з ними набагато безпечніше працювати.

Важливе значення для безпеки життєдіяльності і безпеки при роботі з абразивними кругами має їх врівноваженість. Неврівноваженість круга призводить під час його роботи до вібрації, передчасного спрацювання підшипників, а також зниження чистоти обробленої поверхні. Ці сили досягають іноді значної величини і спричиняють у крузі напруги, які перевищують міцність його зв'язки.

Перед видачею круга для роботи його слід технічно перевірити і оглянути. До механічного огляду абразивних кругів входять балансування і випробування на механічну міцність. Огляд проводять, щоб своєчасно виявити зовнішні дефекти (тріщини, вибоїни), внутрішні дефекти (тріщини) за звуком, а також щоб перевірити наявність і правильність маркування.

Неврівноваженість круга, яка спричиняється порушенням геометричної його форми, усувається статичним і динамічним балансуванням. Збалансувати кожен круг треба для того, щоб створити безпечні умови праці і підвищити якість оброблюваної поверхні; це здійснюється за допомогою балансирних пристроїв. Щоб гарантувати безпеку праці з кругами, необхідно випробувати їх на міцність. Мета випробувань – виявити можливі пошкодження кругів під час їх транспортування, розпаковування, укладання і т. п. Випробування зобов'язані проводити всі заводи-споживачі абразивного інструменту незалежно від наявності паспорта випробувань, складеного заводом-виробником. Згідно з ГОСТ 3881-73 обов'язковому випробуванню на міцність підлягають круги діаметром 150 мм і більше та швидкісні круги діаметром 30 мм і більше. Тривалість випробування встановлена: для кругів діаметром від 150 до 475 мм – 5 хв., діаметром 500 мм і більше – 7 хв., для швидкісних кругів діаметром від 30 до 90 мм – 3 хв. [19].

На міцність круги випробовують на спеціальному стенді (верстаті) обертанням без навантаження з швидкостями, що на 50% перевищують робочі. Випробний верстат оснащується міцними, сталевими, по можливості герметичними, камерами. В них розміщують кінці шпинделя, що несуть випробувані круги. Відчиняти камеру дозволяється лише після повної зупинки шпинделя. Дозволяється застосовувати тільки надійні і випробувані кріпильні пристрої – типові конструкції затискних фланців, спеціальні патрони та ін.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра було проведено аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Встановлено актуальність теми роботи. Встановлено методи вирішення поставленої проблеми. Також проаналізовано технології та оснащення, конструкції сучасного фрезерного інструменту з круглими ріжучими пластинами, проведено теоретичне дослідження впливу конструктивно-силових характеристик фрез на режими обробки. Розроблено ефективний і економічно доцільний технологічний процес виготовлення корпусу ПС-10.02.024. Передумовою став детальний аналіз цільового призначення деталі та її предметна характеристика. В результаті обґрунтовано метод виробництва заготованки, проведено призначення оптимального верстатного обладнання. Відповідно до маршруту обробки здійснено вибір різального інструменту, розраховано режими обробки та нормування операцій.

Сконструйовано пристосування для механічної обробки поверхонь деталі. Проведено розробку, із застосуванням засобів систем автоматизованого проектування і машинної графіки, проекту механоскладальної дільниці цеху виробництва корпусу ПС-10.02.024.

В результаті техніко-економічного обґрунтування запропонованих конструкторсько-технологічних рішень очікуваний сумарний економічний ефект складе 282660 грн.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Silent Tools для фрезерования : веб-сайт. URL: <http://www.sandvik.coromant.com> (дата звернення: 14.09.2020).
2. Milling Cutters : веб-сайт. URL: <http://www.secotools.com> (дата звернення: 14.09.2020).
3. Фрезерный инструмент : веб-сайт. URL: <http://www.taegutec.com.ua> (дата звернення: 15.09.2020).
4. Catalogs for Milling : веб-сайт. URL: <http://www.guhring.de> (дата звернення: 15.09.2020).
5. Фрезерування криволінійних поверхонь : веб-сайт. URL: <http://www.iscar.com.ua> (дата звернення: 15.09.2020).
6. Експериментальне дослідження шорсткості обробленої торцевим фрезеруванням поверхні фрезою з круглими вставками при різних швидкостях подачі: веб-сайт. URL: <http://rits.khpi.edu.ua/article/view/2078-7405.2020.92.11> (дата звернення: 15.09.2020).
7. Мельничук П. П. Визначення і аналіз факторів, стримуючих широке впровадження торцевого фрезерування інструментом з надтвердих матеріалів / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наукових праць ЖДТУ. – 2010. – Вип. 9. – С. 105–112.
8. Каташинський В. Фрезерування з круглими ріжучими пластинами : Матеріали III Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль : ТНТУ, 2020. С.85.
9. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. Москва : Машиностроение, 1985.

11. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н. Металознавство : підручник. Київ : Політехніка, 2018. 384 с.
12. Григурко І. О., Брендюля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
13. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
14. Режимы резания металлов : Справочник / Под ред. Ю. В. Барановского. М.: Машиностроение, 1972. 409 с.
15. Багрова І. В. Нормування праці : навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2003. 212 с.
16. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.
17. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища школа, 1993. 556 с.
18. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудуванні : навч. посіб. Суми : Университетская книга, 2011. 557 с.
19. Франчук В. С. Цивільна оборона : навч. посіб. Вид. 2-ге, доп. Львів : Афіша, 2001. 336 с.