

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Металорізальних верстатів та інструментів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Математичне моделювання та аналіз
способів планетарної обробки твёрдів

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-218м

Спеціальності 133 "Галузь машинобудування"
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи

Ліпінська О.С. Липин
(прізвище та ініціали)

Керівник Камочкін М.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Гулик Т.В.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет
 Кафедра Металорізальних верстатів та інструментів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) "Металорізальні верстати та системи"
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«16» 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Ліпінської Олександри Сергіївни
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Математичне моделювання та аналіз способів планетарної обробки отворів

керівник проекту (роботи) Коломійко Микола Сергійович старш. вим.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» жовтня 2019 року №343

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 16 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення деталі, програма випуску
 $N = 1000 \text{ шт}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літератури

2. Планетарне фрезерування отворів на верстатах з ЧПК

3. Математичне моделювання процесу фрезерування отворів на верстатах з ЧПК

4. Продуктивність планетарного фрезерування отворів на верстатах з ЧПК

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1	Комочкін М.С., старш. викл.	<i>[підпис]</i> 30.09.19	<i>[підпис]</i> 14.12.19
2	Комочкін М.С., старш. викл.	<i>[підпис]</i> 30.09.19	<i>[підпис]</i> 14.12.19
3	Комочкін М.С., старш. викл.	<i>[підпис]</i> 30.09.19	<i>[підпис]</i> 14.12.19
4	Комочкін М.С., старш. викл.	<i>[підпис]</i> 30.09.19	<i>[підпис]</i> 14.12.19
5	Шширко В.І., к.т.н., доцент	<i>[підпис]</i> 4.10.19	<i>[підпис]</i> 29.11.19
Коршунковий контроль	Комочкін М.С. ст. викл.	<i>[підпис]</i> 14.12.2019	

7. Дата видачі завдання « 30 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вивід літератури, постановка задачі та її актуальність	04.10.19	виконано
2	Сучасні способи планетарної обробки отворів	11.10.19	виконано
3	Планетарне фрезерування отворів на верстатах з ЧПК	17.10.19	виконано
4	Розробка технологічної схеми обробки деталі, вибір обладнання, інструменту й інструментального матеріалу, розрахунок режимів різання й кори галу	22.10.19	виконано
5	Опис траєкторії планетарної руху зубів фрези	27.10.19	виконано
6	Розробка програми автоматичного розрахунку величини оріанки отворів	11.11.19	виконано
7	Аналіз значимостей характеристик оріанки від основних параметрів фрезерування	18.11.19	виконано
8	Продуктивність планетарного фрезерування отворів на верстатах з ЧПК	25.11.19	виконано
9	Ворона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	02.12.19	виконано

Студент(ка)

[підпис]
(підпис)

[підпис] О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

[підпис]
(підпис)

Комочкін М.С.
(прізвище та ініціали)

Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] - Чинний від 2012-11-21. : станом на 01.01.2018 р. - К. : ВР України, 2012. - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. - (Закон України).

[22:28:16] **Yah**Найдено 7% / 11% совпадений по адресу: https://studopedia.com.ua/1_133096_avariyno-ryatuvalni-sluzhbi.html

[22:28:19] **Yah**Найдено 11% / 13% совпадений по адресу: https://protocol.ua/ua/kodeks_tsivilnogo_zahistu_ukraini_statnya_23/

[22:28:20] **Go** Найдено 1% / 1% совпадений по адресу: http://banking.uabs.sumdu.edu.ua/images/department/banking/dipldoc/zrazku_final.pdf

[22:28:30] **Go** Найдено 1% / 1% совпадений по адресу: <http://bmc.fbmi.kpi.ua/uploads/diplom/pugach-pavlo-romanovich.pdf>

[22:33:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №2 [5] (116427 миллисек.): Yandex (Попытка установить соединение была безуспешной, т.к. от другого компьютера за требуемое время не получен нужный отклик, или было разорвано уже установленное соединение из-за неверного отклика уже подключенного компьютера 77.88.55.50:443)

[22:33:37] Тип проверки: *Экспресс*

[22:33:37] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 29%)**

[22:33:37] **Уникальность текста 85% / 83% (Проигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат магістерської роботи студентки Ліпіліної О.С. було проведено у програмному забезпеченні Antiplagiarism.net 4.8.0. Перевірку виконав зав. каф. Фролов М.В.

12.12.2019



М. В. Фролов

РЕФЕРАТ

ПЗ: 177 с., 19 таблиць, 53 рисунка, 60 джерел.

Об'єкт дослідження – процес планетарного фрезерування отворів деталей.

Мета роботи – дослідження особливостей фрезерної обробки отворів кінцевими фрезами та аналіз впливу основних параметрів фрезерування на точність обробки.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний метод з використанням стандартних пакетів (World, Excel), графічний метод (Komпас-3D, PowerShape).

Наукова новизна роботи полягає у автоматизації розрахунку величини огранки фрезерованих отворів в залежності від основних параметрів фрезерування шляхом розробки спеціальної програми.

У роботі було розглянуто фактори технологічної системи, які визначають планетарне фрезерування отворів. Досліджено вплив величин діаметрів інструменту та оброблюваного отвору, кількості ріжучих кромок та подачі на величину огранки отвору. Виконано порівняння способів планетарної обробки з точки зору забезпечення найбільшої продуктивності та оптимальної точності отвору.

ГВИНТОВА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, КРУГОВА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, ОТВІР, ПЛАНЕТАРНА ВНУТРІШНЬОШЛІФУВАЛЬНА ОБРОБКА, ПЛАНЕТАРНИЙ РУХ, ПРЕЦЕСІЙНЕ СВЕРДЛІННЯ, ТОЧНІСТЬ, ФРЕЗА.

РЕФЕРАТ

ПЗ: 177 с., 19 таблиц, 53 рисунка, 60 источников.

Объект исследования – процесс планетарного фрезерования отверстий деталей.

Цель работы – исследование особенностей фрезерной обработки отверстий концевыми фрезами и анализ влияния основных параметров фрезерования на точность обработки.

Методы исследования – расчетно-аналитический метод с использованием стандартных пакетов (World, Excel), графический метод (Kompas-3D, PowerShape).

Научная новизна работы заключается в автоматизации расчета величины огранки фрезерованных отверстий в зависимости от основных параметров фрезерования путем разработки специальной программы.

В работе были рассмотрены факторы технологической системы, которые определяют планетарное фрезерование отверстий. Исследовано влияние величин диаметров инструмента и обрабатываемого отверстия, количества режущих кромок и подачи на величину огранки отверстия. Выполнено сравнение способов планетарной обработки с точки зрения обеспечения максимальной производительности и оптимальной точности отверстия.

ВИНТОВАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ, КРУГОВАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ, ОТВЕРСТИЕ, ПЛАНЕТАРНАЯ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА, ПЛАНЕТАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ, ПРЕЦЕССИОННОЕ СВЕРЛЕНИЕ, ТОЧНОСТЬ, ФРЕЗА.

THE ABSTRACT

PZ: 177 s, 19 tables, 53 figures, 60 sources.

The object of study is the process of planetary milling of parts holes.

The purpose of the work is to study the features of milling processing of holes with end mills and analyze the influence of the main milling parameters on the accuracy of processing.

Research methods – calculation and analytical method using standard packages (World, Excel), graphical method (Kompas-3D, PowerShape).

The scientific novelty of the work is to automate the calculation of the facet size of milled holes, depending on the main parameters of the milling by developing a special program.

The work considered the factors of the technological system that determine the planetary milling of holes. The influence of the diameters of the tool and the machined hole, the number of cutting edges and feed on the size of the facet of the hole is investigated. A comparison of planetary machining methods in terms of ensuring maximum performance and optimal hole accuracy is performed.

SCREW INTERPOLATION, CIRCULAR INTERPOLATION, HOLE, PLANETARY IN-GRINDING, PLANETARY MOVEMENT, PRECESSION DRILLING, PRECISION DRILLING, PRECISION, MILLER.

ЗМІСТ

Завдання на проект.....	
Реферат.....	
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів...	
Вступ.....	
1 Огляд літератури.....	
1.1 Постановка задачі та її актуальність.....	
1.2 Обробка отворів, причини зниження точності та браку.....	
1.3 Сучасні способи планетарної обробки отворів.....	
1.3.1 «Прецесійне» свердління.....	
1.3.2 Планетарна внутрішньошліфувальна обробка.....	
2 Планетарне фрезерування отворів на верстатах з ЧПК.....	
2.1 Розробка технологічної схеми обробки деталі та вибір обладнання...	
2.2 Вибір інструменту та інструментального матеріалу.....	
2.3 Розрахунок режимів різання й норм часу.....	
3 Математичне моделювання процесу фрезерування отворів на верстатах з ЧПК.....	
3.1 Опис траєкторії планетарного руху зубців фрези.....	
3.2 Точність обробки отворів у поперечному перерізі.....	
3.2.1 Методика розрахунку величини огранки оброблюваних отворів.....	
3.2.2 Аналіз залежностей характеристик огранки від основних параметрів фрезерування.....	
3.3 Точність обробки отворів у поздовжньому перерізі.....	
4 Продуктивність планетарного фрезерування отворів на верстатах з ЧПК.....	
4.1 Огляд факторів, які можуть вплинути на продуктивність обробки.....	
4.2 Визначення точки беззбитковості виробництва та економічного ефекту.....	

5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....
5.1	Аналіз потенційних небезпек.....
5.2	Заходи по забезпеченню безпеки.....
5.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....
5.4	Вплив інформації на людину та методи захисту.....
5.5	Заходи по забезпеченню пожежної безпеки.....
5.6	Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....
	Висновки.....
	Перелік посилань.....
	Додаток А
	Додаток Б

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Слово/словосполучення		Скорочення
	В	
ватт		Вт
вольфрамокарбідний твердий сплав		ВК
	Г	
гігабайт		ГБ
година		год
градус		°
градус		град.
градус Цельсія		°С
гривень в день		грн/день
гривень за годину		грн/год
гривень за тонну		грн/т
гривня		грн
	Д	
двигун		дв
державний стандарт України		ДСТУ
децибел		дБ
дні		дн.
	З	
завідуючий		зав.
змащувально-охолоджувальна рідина		ЗОР
	К	
калорія		кал

Слово/словосполучення	Скорочення
кафедра	каф.
кіловатт	кВт
кіловольт-ампер	кВА
кілогерц	кГц
кілоньютон	кН
кілограм	кг
кілограм на сантиметр	кг/см ²
квадратний	
кілограм-сила	кгс
Л	
л	літрів
літрів на хвилину	л/хв
М	
мегапаскаль	МПа
метр	м
метрів за хвилину	м/хв
метрів за секунду	м/с
мікрометр	мкм
міліметр	мм
міліметрів за оберт	мм/об
міліметрів за хвилину	мм/хв
міліметрів на зуб	мм/зуб
місяць	міс.
Н	
номер	№
ньютон	Н
ньютон-метр	Нм
О	
обертів за хвилину	об/хв

Слово/словосполучення		Скорочення
обертів за хвилину		хв ⁻¹
одиниць		од.
	П	
пояснювальна записка		ПЗ
процент		%
	Р	
радіан		рад
	С	
сантиметр		см
секунд		сек
система автоматичного проектування		САПР
сторінка		с.
	Т	
тисяча		тис.
титановольфрамкарбідний		ТК
тонна		т
	Х	
хвилина		хв
	Ч	
числове програмне керування		ЧПК
	Ш	
штук		шт.
штук за годину		шт./год

ВСТУП

Загальновідомо, що в сучасному машинобудуванні серійного багатомноменклатурного виробництва найбільш розповсюджені оброблювані деталі складають саме деталі складної геометричної форми, що в своїй конструкції містять точні отвори 6-8 квалітету точності. На сьогоднішній стан науково-технічного прогресу в сфері механічної обробки точних отворів відомо, що найпоширенішими методами отримання таких конструктивних елементів необхідної точності є свердління, зенкерування, розгортання та розточування, при обробці якими реалізуються два рухи: прямолінійний та обертовий. З появою верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) з'явилася можливість виготовляти отвори традиційними інструментами не тільки необхідної точності, а також це дозволило зробити процес механічної обробки більш продуктивним та ефективним. Але, незважаючи на ці переваги, технологія обробки отворів навіть в умовах автоматизованого виробництва залишається одним із трудомістких та проблемних процесів механічної обробки.

Виходячи з того, що підприємства серійного багатомноменклатурного виробництва прагнуть випускати деталі складної геометричної форми не тільки для отримання необхідних параметрів точності та якості, а також з метою прибутку при найменш можливій собівартості виготовлення деталей, досить гостро постало питання скорочення терміну та вартості обробки. Перш за все, ця ситуація виникла через кількість традиційного інструменту та необхідної оснастки для нього, що становлять запаси виробництва, які необхідно утримувати в складських приміщеннях в належному стані, та вкладати в це кошти. Така кількість інструменту обумовлена його вузькопрофільністю та не універсальністю, точністю й якістю, що отримуються після обробки та наявністю уводу інструменту від вертикальної осі. До того ж значна кількість переходів, пов'язаних з чистовою, напівчистовою й чистовою обробками, обумовила «перезавантаження» інструментального магазину, збільшення допоміжного часу на заміну ріжучого інструменту, а отже призвела до

зниження продуктивності. Крім того, забиття стружечних канавок через несприятливі умови видалення стружки могло призвести до заклинювання інструменту, а отже і до його поломки, а при поломці такого досить недешевого традиційного для серійного виробництва інструменту під час обробки зазвичай необхідні були додаткові маніпуляції внаслідок складності його виймання. Поява комбінованого інструменту полегшила цю проблему, але виявилось, що внаслідок його високої вартості затрати на виготовлення деталі автоматично збільшились, особливо при його поломці. До того ж обробка отворів вище переліченими інструментами потребувала здійснення процесу різання із змащувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР) для покращення різання та видалення стружки. Також таким інструментам притаманна трудомісткість налагодження на виконавчий розмір. Крім того, отримання різних за розміром та формою точних отворів одним інструментом виявилось неможливим.

Внаслідок виявленої проблеми необхідно здійснити літературний огляд з приводу пошуку найбільш оптимального за універсальністю, економічністю та ефективністю методу для виготовлення точних отворів різних за формою та діаметром з використанням одного універсального інструменту, що при поломці легко виймається з отвору, не потребує ЗОР при обробці, не має уводу від осі, забезпечує необхідну точність та якість, яку можна отримати традиційним чи комбінованим інструментом, при більшій продуктивності, забезпечує найменшу трудомісткість налагодження на виконавчий розмір, зменшення оперативного часу, а також забезпечує мінімальні затрати на виготовлення отвору (в тому числі за рахунок своєї невисокої вартості, мінімуму оснащення), а отже і деталі в цілому, що дає змогу збільшити імовірність отримання підприємством більшого прибутку за менші строк та кошти.

Об'єкт дослідження – процес планетарного фрезерування отворів деталей.

Мета роботи – дослідження особливостей фрезерної обробки отворів кінцевими фрезами та аналіз впливу основних параметрів фрезерування на точність обробки.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати літературний огляд джерел, які описують існуючі способи обробки отворів;
- розробити технологічну схему обробки деталі, вибрати обладнання, інструмент, призначити режими різання;
- скласти математичну модель траєкторії планетарного руху зубців фрези;
- проаналізувати вплив основних параметрів фрезерування на точність оброблюваних отворів у поперечному та поздовжньому перерізах;
- встановити найбільш продуктивний спосіб обробки отворів.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний метод з використанням стандартних пакетів (World, Excel), графічний метод (Kompas-3D, PowerShape).

Наукова новизна роботи полягає у автоматизації розрахунку величини огранки фрезерованих отворів в залежності від основних параметрів фрезерування шляхом розробки спеціальної програми.

В результаті літературного огляду було встановлено, що метод планетарного фрезерування використовується на практиці, але недостатньо вивчений з точки зору забезпечення оптимальних точності та продуктивності.

Практична значущість роботи визначається тим, що основні результати дослідження можуть бути застосовані при проектуванні технологічних процесів обробки точних отворів у корпусних деталях різної номенклатури на верстатах з ЧПК.

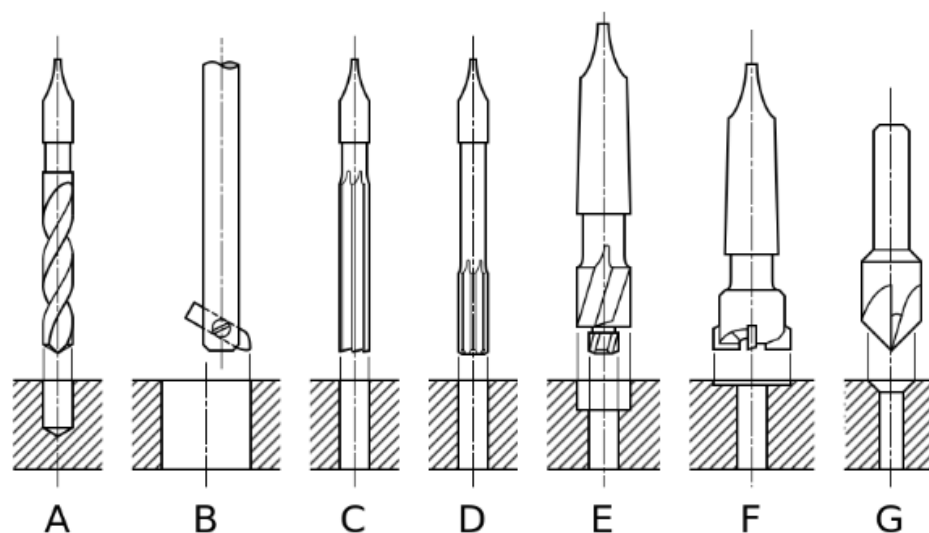
Також визначено основні потенційні небезпеки, що можуть виникнути при обробці отворів за допомогою таких способів, як «прецесійне» свердління та планетарна внутрішньошліфувальна обробка на традиційних верстатах, а також планетарне фрезерування отворів на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) – гвинтова та кругова інтерполяції. При цьому виявлені небезпечні та шкідливі виробничі фактори можуть бути фізичними, хімічними, біологічними, психофізіологічними та такими, що пов'язані з порушеннями санітарно-гігієнічних умов, правил пожежної безпеки й з проявом наслідків надзвичайних ситуацій. В результаті дослідження нормативної літератури з охорони праці й техніки безпеки надані відповідні заходи щодо мінімізації та усунення зазначених потенційних небезпек.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Постановка задачі та її актуальність

Останнім часом в галузі машинобудування при виготовленні деталей складної геометричної форми значну частину операцій становить механічна обробка точних отворів. При цьому виготовлення отворів у сучасному машинобудуванні складає до 70% всіх поверхонь, що оброблюються. Трудомісткість їх обробки на верстатах з ЧПК становить 40-70% від загальної трудомісткості всього процесу виготовлення корпусної деталі, що відносить отримання отворів до числа найбільш трудомістких операцій. Це пов'язано з тими обставинами, що пред'являються більш жорсткі вимоги до точності, якості, форми і розташуванню отворів, а також економічності та продуктивності їх виготовлення [1].

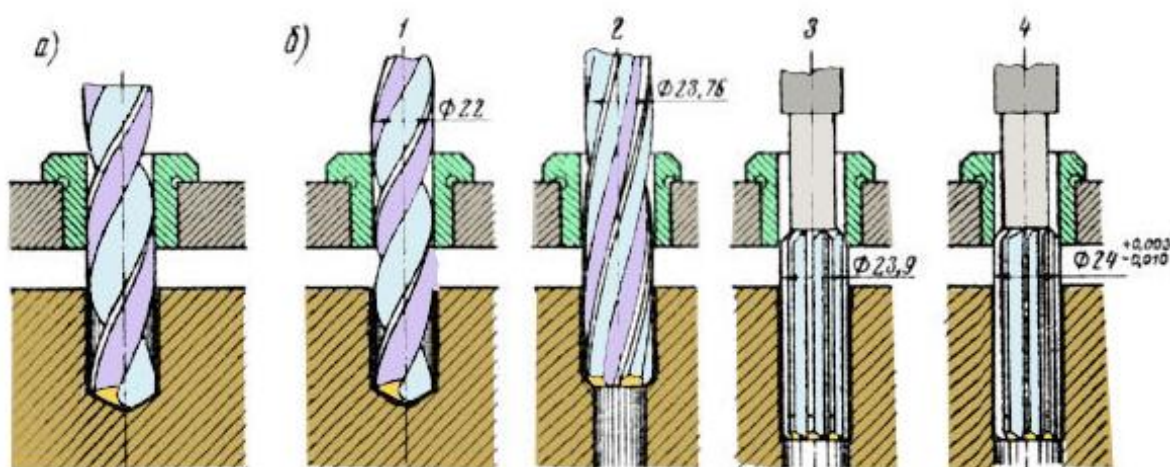
Найбільш поширеною технологією є отримання отворів традиційними способами обробки, що подані на рисунку 1.1 [2].



A – свердління; B – розточування; C – зенкерування; D – розгортання; E,
F – цекування; G – зенкування

Рисунок 1.1 – Обробка отворів традиційним способом [2]

Як видно з вищевикладеного, отримання точних отворів необхідного розміру 6-8 квалітету точності вимагає значне число переходів і здійснюється переважно в три етапи: чорнова обробка (двухлезові спіральні, перові та аналогічні свердла), напівчистова (багатолезові зенкери) і чистова (багатолезові розгортки й однолезові розточувальні різці). Більш наочно це показано на рисунку 1.2 [1; 2].



а – свердління отвору 12-го квалітету точності; б – обробка отвору 7-го квалітету точності: 1 – свердління; 2 – зенкерування; 3 – чорнове розгортання; 4 – чистове розгортання

Рисунок 1.2 – Обробка отворів традиційним способом [2]

Так, для виготовлення точних отворів діаметром до 10 мм спочатку виконують центрування коротким свердлом, далі свердління, розточування і останнє – розгортання. Для отримання отворів діаметром від 12 до 32 мм виконується центрування, далі свердління до майже необхідного діаметра отвору, потім розточування або зенкерування (в залежності від необхідної точності), розточування виточки розточувальним різцем й останнє – розгортання (при довжині отвору до 40-50 мм) або протягування (понад зазначеної довжини отвору). Для виготовлення отворів діаметром понад 30 мм послідовність така ж, як і при попередній обробці, відмінність в тому, що після свердління виконується

операція розсвердлювання свердлом більшого діаметра. Після термічної обробки отвір шліфується. Така різноманітність інструментів та операцій обумовлено перш за все тим, що свердління, як попередня обробка отворів, забезпечує 10-13 квалітети точності й шорсткість $R_z 40 \dots 160 \text{ мкм}$ [1].

Слід зазначити, що найбільш ефективний шлях підвищення продуктивності в автоматизованому виробництві – це концентрація операцій або переходів. Але при високому ступеню концентрації операцій підвищується складність обладнання, знижується його надійність і, як результат, збільшуються його простої та зростає собівартість продукції. Крім того, при концентрації переходів збільшується складність інструменту, тоді як обладнання спрощується. При цьому збільшується число відмов, пов'язаних з інструментом (поломкою), а час на налагодження інструменту скорочується. Сумісність операцій або переходів залежить від необхідної точності обробки і шорсткості поверхні. Прийнятий порядок виконання операцій і переходів визначає тип інструменту, який необхідний для їх реалізації [3].

Варто відзначити, що вищеперераховані традиційні інструменти є вузькопрофільними та не універсальними, характеризуються високою вартістю і трудомісткістю налагодження на виконавчий розмір. Це особливо проявляється при обробці великої кількості отворів різних діаметрів, коли кожне свердло, розгортка, зенкер розраховані на виготовлення отвору певного діаметру, коли кожен розточувальний різець необхідно попередньо налаштовувати на відповідний діаметр. Це ж стосується і дорого вузькопрофільного комбінованого інструменту. До того ж потрібна велика кількість переналаштувань ріжучого інструменту при отриманні не круглих вибірок і кишень. Дані обставини значно ускладнюють процес обробки, оскільки суттєво збільшується номенклатура ріжучого, допоміжного та контрольно-вимірювального інструментів, технологічного оснащення, верстатного обладнання, а разом з цим збільшуються витрати часу на обробку отвору. Крім того, для отримання точних отворів на верстатах з ЧПК слід проводити обробку за один установ з дотриманням принципу єдності баз. У разі традиційної обробки це призводить до

«перезавантаження» інструментального магазину і збільшення машинного часу, а необхідність своєчасної заміни ріжучого інструменту – до підвищення допоміжного часу на даній операції, а отже і до зниження продуктивності. Такі фактори, крім того, зумовлюють високу вартість виготовлення отворів і деталі в цілому, а також збільшують виробничий цикл виготовлення виробу, що негативно впливає на ефективність і економічність даної технології [1; 4].

Що стосується комбінованого інструменту, то він має ряд наступних недоліків. Значна концентрація ріжучих кромek у комбінованому інструменті обумовлює зрізання великої маси металу, що збільшує концентрацію сил і температури різання на одному корпусі ріжучого інструменту, а це, в свою чергу, погіршує умови його роботи. Зростання складових сил різання призводить до збільшення шорсткості поверхні, а інколи й до поломки інструменту. Зростання температури збільшує знос інструменту. Враховуючи, що концентрація ріжучих кромek також збільшує температуру різання, період стійкості комбінованого інструменту може бути значно менше, ніж у одновимірних інструментів. При цьому недоліки, властиві комбінованому інструменту, в значній мірі притаманні і одновимірним інструментам. Враховуючи багатопараметричний характер впливів робочих процесів на комбінований інструмент, недоліки, властиві одновимірним інструментам, при роботі комбінованим інструментом проявляються ще в більшій мірі. Крім того, при виготовленні отвору перехід інструменту на обробку новим ступенем (рівнем) потребує зміни режимів різання. Недоліком інструментів з пластинками, що не переточуються, є громіздкість елементів кріплення. Крім того, оптимальність затяжки й крутний момент затягування на ключі гвинта кріплення пластинки може мати суттєвий вплив на жорсткість механізму кріплення, а отже, і на величину переміщення під дією змінних сил різання. При змінному навантаженні переміщення пластини відносно корпусу може дорівнювати 75-120 мкм [3; 5].

Крім того, виготовлення отворів характеризується обмеженим доступом в зону обробки та консольним розташуванням ріжучого інструменту відносно до деталі. Важливою обставиною є і те, що при обробці точного отвору кожен

традиційний ріжучий інструмент вносить відповідну похибку. Слід також зазначити, що при переустановленні деталі на інший верстат спостерігається похибка установки [3; 5].

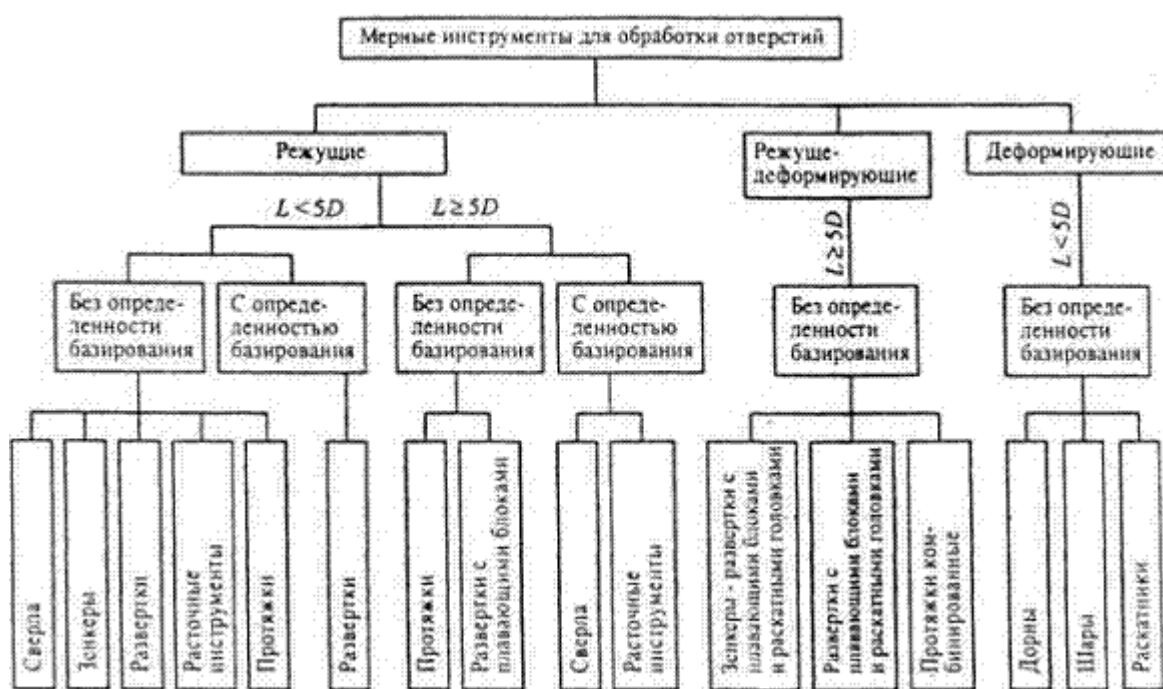
Виходячи з вищевикладеного, необхідно підібрати такий спосіб обробки точних отворів, який дозволив би забезпечити точність та якість їх виготовлення на рівні традиційного способу за умови більш високої ефективності та продуктивності, з можливістю використання багатофункціонального ріжучого інструменту за умови найменших витрат коштів та часу.

1.2 Обробка отворів, причини зниження точності та браку

Як відомо, обробка точних отворів 7-8 квалітетів відноситься не тільки до числа широко розповсюджених в машинобудуванні, але й найбільш трудомістких операцій. У доповненні, виготовлення таких отворів, які потребують високої точності розмірів і чистоти поверхні, за складністю перевершує обробку зовнішніх поверхонь, при цьому, дана обставина посилюється зі збільшенням довжини і зменшенням діаметру отвору. Сформоване положення пов'язане з тим, що при традиційній обробці, як тієї, що використовується найчастіше, високі показники точності і якості внутрішньої поверхні досягаються великим числом технологічних переходів, що вимагає більше часу і ресурсів, а також супроводжується більш важкими умовами різання і меншою жорсткістю різальних інструментів. Окрім цього, обробка подібних отворів вимагає не лише точності розмірів і форми, але і точності розташування його осі відносно зовнішньої поверхні. Варто зазначити, що значний вплив на продуктивність і точність чистової обробки отворів надає технологічне спадкування вихідних похибок [1; 6; 7].

Факт, що виготовлення отворів може реалізовуватися різними способами: багатолезовими кінцевими мірними інструментами (свердлами й фрезами різної конструкції, багатолезовими зенкерами, розгортками, аналогічними різальними інструментами) й однолезовими розточувальними. Але, з двох груп найбільш широке розповсюдження при обробці отворів, у тому числі і на верстатах з

числовим програмним керуванням (ЧПК), отримали мірні інструменти. Це пояснюється тим, що такий спосіб обробки забезпечує високу продуктивність, низькі витрати на підготовку виробництва і характеризується невисокими вимогами щодо точності верстатів (точність отриманого отвору переважно залежить від точності використовуваного оснащення, що виключає потребу в висококваліфікованих працівниках). Номенклатура мірних інструментів досить різноманітна, про що свідчить запропонована класифікація даного інструменту (рисунок 1.3) за наступними ознаками: за способом взаємодії інструменту з оброблюваною заготовкою; за відносною глибиною оброблюваних отворів (L/D); за способом базування інструменту в оброблюваному чи обробленому отворах [1; 7].



L – довжина або глибина отвору; D – діаметр отвору

Рисунок 1.3 – Класифікація мірних інструментів для обробки отворів [7]

Слід зазначити, що точність отвору і його вісь формуються на першому переході. Таким переходом, як правило, є свердління спіральними свердлами. Це також і один з основних й найбільш розповсюджених методів обробки отворів [1; 6; 7].

Проте, необхідна точність при свердлінні не завжди досягається через низку причин, таких, як відведення інструменту, що часто призводить до браку і до значних виробничих витрат. Так, механізм здійснення відведення свердла можна пояснити виходячи з траєкторії руху його осі при свердлінні отвору на різних глибинах (рисунок 1.4) [6].

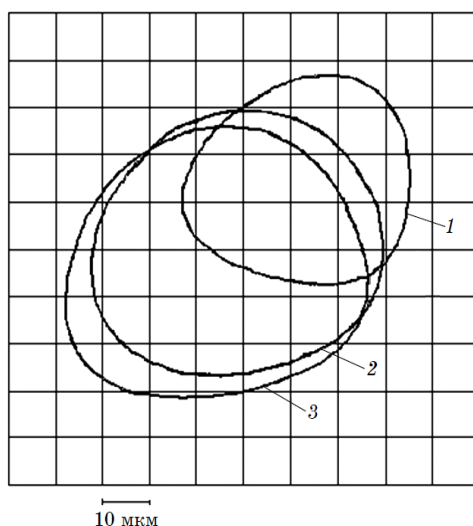


Рисунок 1.4 – Траєкторії руху осі свердла під час свердління отвору при глибині свердління: 1 – 0 мм; 2 – 5 мм; 3 – 16 мм [6]

Як видно з рисунку 1.4, траєкторії свердла змінюються за положенням у просторі й за розмірами. Коли свердло ще не знімало стружку, воно рухалося за траєкторією 1. Тому, в початковий момент різання вісь свердла не збігається з віссю шпинделя, а відхиляється від осі шпинделя на поточний радіус траєкторії. Це є першим кроком у створенні процесу відведення свердла. Крім того, врізання свердла в заготовку супроводжується підвищеними відхиленнями від округлості. Про це свідчить форма траєкторії руху осі свердла, що характеризується вираженою тригранністю з округленими вершинами кутів (рисунок 1.4). Після того, як процес стабілізується, ця похибка зменшується, і розбивка отвору скорочується. Як видно з рисунку 1.5, після врізання кінчної частини свердла, продовжується його відведення. Як результат, якщо накласти вище представлені

траєкторії одну на одну (рисунок 1.4), то можна побачити, що форма їх майже однакова, а розміри відрізняються [6].

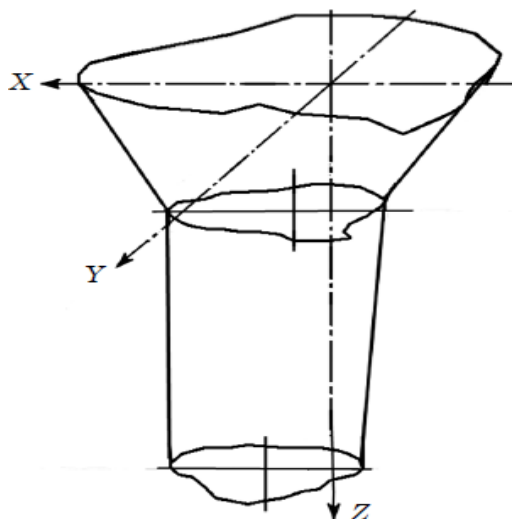


Рисунок 1.5 – Геометричний образ обробленого отвору в форматі 3D [6]

Таким чином, вивчений механізм відведення свердла був відображений в загальному вигляді на рисунку 1.6 [6].

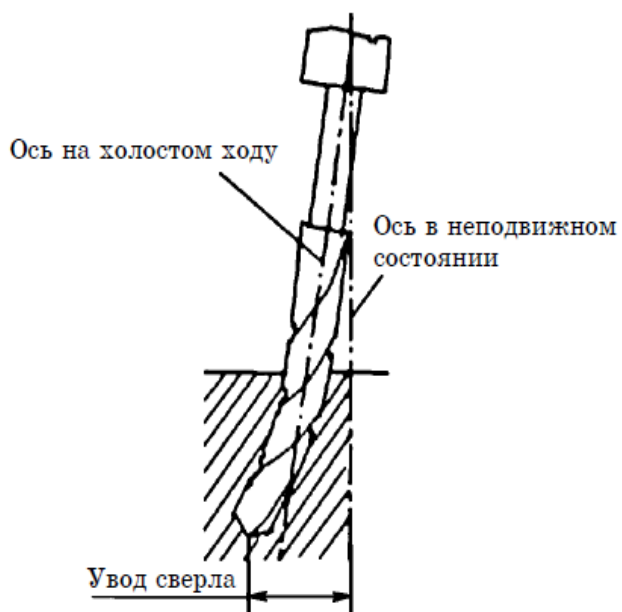


Рисунок 1.6 – Механізм відведення свердла [6]

Отже, завдяки цим дослідженням були виявлені види браку під час свердління отворів, що, в свою чергу, веде за собою зниження точності обробленої поверхні. Результати були представлені в таблиці 1.1 [6].

Таблиця 1.1 – Види браку та причини його появи під час свердління [6]

Вид браку	Причини браку
1	2
Перекіс осі отвору	Стіл верстату неперпендикулярний до шпинделя
	Попадання стружки під нижню (базову) поверхню деталі
	Неправильні (непаралельні) підкладки
	Неправильне встановлення оброблюваної деталі на столі верстату або в пристосуванні
	Неправильно заточене свердло (зміщення центру, різні стрічки)
	Торцева поверхня деталі неперпендикулярна до осі отвору
	В оброблюваному матеріалі присутні раковини або тверді включення
	Довге свердло (може супроводжуватися тріщанням, вібраціями)
	Несправні й неточні пристосування
Зсув отвору	Відведення свердла вбік
	Недостатня глибина центрування
	Биття свердла в шпинделі верстату
	Неправильне встановлення і слабе кріплення деталі на столі верстату (деталь зсунулася під час свердління)
	Невірна розмітка деталі (при свердлінні за розміткою)

Продовження таблиці 1.1

1	2
	Збільшена траєкторія осі шпинделя
	Неправильно обраний розмір свердла (збільшений його діаметр)
Збільшений діаметр отвору (діаметр отвору більший за заданий)	Неправильно заточене свердло: нерівні кути в плані у різальних кромках або різна довжина різальних кромок (несиметрично заточені ріжучі кромки свердла), при цьому одна стрічка коротша за іншу, або мають зсув за висотою
	Биття свердла (биття шпинделя верстату)
	Великий зазор між свердлом і перехідною втулкою або велике биття шпинделя верстату
	Зміщена перемичка (поперечна ріжуча кромка) свердла
Груба поверхня просвердленого отвору	Завищена подача свердла
	Тупе, зношене чи неправильно заточене свердло
	Погана установка свердла і деталі
	Биття різальних кромок свердла
	Попадання, прилипання стружки на стрічки свердла
	Недостатнє охолодження чи неправильний склад охолоджувальної суміші
Збільшення глибини отвору	Неправильна установка упору на глибину свердління
Збільшена розбивка отвору	Неспіввісність свердла і осі шпинделя
	Погано загострено свердла
Збільшене відведення свердла	Збільшене биття свердла
	Використання довгих свердел

Варто відзначити і те, що до браку деталі може призвести поломка свердла, причинами і, як результат, наслідками чого можуть бути такі аспекти. Неякісний метал заготовки містить тверді місцеві (локальні) включення і раковини. Зустрічаючи їх на своєму шляху, свердло значно відхиляється в сторону і зламуються. У разі, коли глибина свердління перевищує довжину ріжучої частини свердла, спостерігається сильне нагрівання свердла внаслідок того, що стружка забиває канавки (заклинювання інструменту). В результаті свердло притупляється і зламуються. Можливий варіант, коли нижня частина заготовки обмежена похилою площиною або частково іншою фасонною поверхнею. Тоді свердло виходить з заготовки нерівномірно, застрягає в отворі й зламуються. Відомо, що затуплення і поломка свердла, як правило, виникає в кінці свердління наскрізних отворів. Для попередження таких наслідків в момент виходу свердла з деталі необхідно зменшити подачу приблизно вдвічі. Затуплене і неправильно заточене свердло, в результаті, також призводить до його поломки. Такий же результат спостерігається і при поганому й ненадійному кріпленні свердла в патроні, що, в свою чергу, призводить до отримання неточного отвору. Утворення косого отвору, збільшення його діаметру і поломка свердла спостерігається при неспіввісності шпинделя, свердла і оброблюваної деталі. Крім того, поломка свердла виникає і при надмірних швидкості різання і подачі, що в свою чергу призводить до отримання неточного отвору [8].

Крім того, слід згадати про вплив вібрацій на точність і якість внутрішньої поверхні отворів під час свердління, оскільки, вони не дозволяють в достатній мірі реалізувати можливості ріжучого інструменту, а саме: підвищення режимів різання і продуктивність обробки, а також використовувати повну потужність верстату, що в сукупності впливає на технологічну собівартість деталі. Це пояснюється тим, що внаслідок коливання інструменту щодо заготовки виникає періодична зміна товщини проникнення ріжучого інструменту і сил різання, а також зміна величини і характеру навантажень на верстат, значно зростаючих в порівнянні з обробкою в стійких умовах різання. Як результат, знижується стійкість інструменту, перш за все мінералокерамічного і твёрдосплавного, та

ресурс верстата. Результатом є неможливість отримання отворів з необхідною точністю і високим класом шорсткості, навіть при слабких вібраціях технологічної системи. Це також впливає і на економічні показники техпроцесу, оскільки, необхідні додаткові переходи після свердління для досягнення заданої точності (розгортання або розточування) [9].

Як відомо з джерела [1], найбільший внесок в величину сумарної похибки складає відхилення осі свердла від прямолінійної траєкторії, що виникає в міру заглиблення в ході свердління. Основними причинами можуть бути наступні фактори: вісь обертання шпинделя неперпендикулярна поверхні заготовки; вісь обертання шпинделя перпендикулярна поверхні заготовки, але свердло здійснює планетарний рух або описує конус; врізання свердла в матеріал заготовки відбувається зі зміщенням щодо точки дотику поверхні; свердло врізається в матеріал в точці контакту, проте, під дією осьового навантаження виникає прогин в середній частині свердла [1].

Для отримання точних отворів найбільш поширеними після свердління операціями є: зенкерування, розточування, розгортання. Але слід враховувати, що абсолютно уникнути виникнення браку не можливо. Перелік видів браку і причини їх виникнення при зенкеруванні отвору представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Види браку і причини його появи при зенкеруванні [10]

Види браку	Причини браку
1	2
Груба чистота обробки (збільшена шорсткість), задирки на обробленій поверхні отвору	Під зуби інструменту потрапляє стружка, наявність стружки на стрічках зенкера
	Підвищений знос ріжучих кромek зенкера
	Затуплення зенкера
	Завищена подача
	Великий припуск на обробку

Продовження таблиці 1.2

1	2
	Недостатнє охолодження або невідповідність мастильно-охолоджувальної рідини (ЗОР) оброблюваного металу
	Налипання стружки на стрічки зенкера при обробці в'язкого металу
Перекіс отвору, зенкерованого в необробленій корпусній деталі	Неправильна установка заготовки на столі верстата
Діаметр отвору завищений (розбивка діаметру отвору)	Неправильна заточка зенкера
	Неправильний вибір номеру чи розміру діаметру зенкера
	Биття шпинделя
Діаметр отвору занижений (усадка діаметру отвору)	Великий знос зенкера
Частина поверхні отвору залишилася необробленою (чорнота в отворі)	Недостатній припуск під зенкерування, залишений після свердління
	Неправильна установка (фіксація) заготовки, спостерігається її великий зсув, перекіс
Розбіжність осі зенкера з віссю оброблюваного отвору	Відведення зенкера в процесі обробки отвору

Перелік видів браку і причини їх виникнення внаслідок реалізації обробки отвору за допомогою такої чистової операції, як розточування, представлений в наступній таблиці (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Види браку і причини його появи при розточуванні [11]

Види браку	Причини браку
1	2
Збільшення діаметру деталі	Знос різця
Частина поверхні розточеного отвору залишилася необробленою	Зсув отвори в заготовці щодо її зовнішньої поверхні
	Недостатній припуск на обробку
	Неправильно встановлена і вивірена деталь в патроні
Діаметр розточеного отвору не відповідає необхідному	Неточна установка розточувального різця на глибину різання
	Помилки при відліку по лімбу
	Несвоєчасне вимикання поздовжньої подачі при розточуванні глухого отвору
	Відтискання різця
Недостатня чистота обробленої поверхні отвору	Перевищена подача різця
	Швидкість різання не відповідає необхідній
	Погано загострений або сильно затуплений різець
	Великий знос різця
	Нежорстке кріплення різця
	Вібрації різця або деталі
Отвір вийшов некруглим (овальним чи з огранкою)	Надто сильний затиск деталі в кулачках патрона (овал утворюється при затиску в дво- і чотирикулачковому патронах, огранка – в трикулачковому)
	Нерівномірний знос переднього підшипника шпинделя

На додаток до вищевикладеного, варто врахувати, що при розточуванні отворів велике значення має контроль за стружкоутворенням. Так, товста, коротка стружка призводить до підвищення сили різання, а, отже, і до вібрацій. У свою чергу, при накопиченні довгої стружки спостерігається погіршення якості поверхні отвору. Крім того, внаслідок пакетування стружки можливий вихід інструменту з ладу. Стружка повинна мати ідеальну форму коми або спіралі і легко віддалятися з отвору [1].

Що стосується вібрацій, то їх виникнення може бути викликано на чистових розточувальних операціях при невірно підібраної геометрії ріжучої пластини (радіуса при вершині і кута в плані). Так, при збільшенні значень зазначених елементів геометрії радіальна складова сили різання буде зростати, що призведе до збільшення відтискання інструменту, і як наслідок, до вібрацій. Це може викликати погіршення якості і точності внутрішньої поверхні отвору [1].

Перелік видів браку і причини їх виникнення при розгортанні отвору представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Види браку і причини його появи при розгортанні [8; 10; 11]

Види браку	Причини браку
1	2
Заниження (усадка) діаметру отвору	Зношена або тупа розгортка (розгортка затуплена по калібруючій частини або зношена по діаметру)
	Жорстке закріплення розгортки
	Велика в'язкість оброблюваного матеріалу
	Пружна деформація металу при розгортанні тонкостінних деталей
	Невірно обрана мастильно-охолоджуюча рідина

Продовження таблиці 1.4

1	2
Розбивка (збільшення) отвору	Неправильна заточка розгортки (збільшений передній кут)
	Радіальне биття
	Нерівномірна заточка зубів забірною конусу
	Завищений діаметр калібруючої частини розгортки
	Биття розгортки (ріжучі кромки на ріжучій частині (на забірному конусі) мають биття)
	Неправильно обраний діаметр розгортки (дещо збільшений діаметр)
	Розгортка затупилася
	Завищена швидкість різання
	Розбіжність осі розгортки і отвору
	Невірно обрана мастильно-охолоджуюча рідина
Конусоподібний отвір	Зсув осі отвору деталі щодо осі шпиндельного вузла
Сліди попередньої обробки отвору (нечиста поверхня отвору)	Недостатній припуск під розгортання
	Груба обробка отвору під розгортання
Збільшена шорсткість	Нерівномірна або велика подача
	Щербини на калібруючій частині розгортки
	Затуплена розгортка

Продовження таблиці 1.4

1	2
	При заточуванні розгортки не витриманий задній кут і кут забірного конусу
	Зсув осі розгортки щодо осі оброблюваного отвору
	Неправильно підібрана ЗОР
	Завищений припуск під розгортання
Сліди дроблення на поверхні отвору	Завищений припуск на розгортання
	Обертання розгортки ривками
	Неправильні кути заточування зубів або затупилася розгортка
	Неправильно або недостатньо закріплена розгортка
Груба обробка, риски, задирки і вириви на поверхні отвору	Погано, неправильно заточена, або затуплена (зношена) розгортка
	Щербини (відколи) на ріжучій і калібруючій частинах розгортки
	Грубо оброблений отвір під розгортання
	Неправильний вибір діаметра розгортки
	Обертання розгортки в різні боки (застосування неправильних прийомів розгортання)
	Завищений припуск на обробку
	Неправильно обрана подача
	Нераціональна швидкість різання
	Недостатнє число проходів розгортання

Продовження таблиці 1.4

1	2
	Завищена ширина стрічки на зубі розгортки (особливо помітна при обробці в'язких матеріалів)
	Навар і налипання стружки на ріжучі кромки при обробці в'язких металів
	Незадовільний склад або недостатня кількість охолоджуючої рідини (особливо при обробці в'язких металів)
Частина поверхні залишилася необробленою	Недостатній припуск на розгортання
	Отвір заготовки має биття

Відповідно до джерела [1], розгортки, забезпечуючи точність діаметрального розміру, не дозволяють отримати задані параметри точності розміщенням осі, які в процесі обробки можуть змінюватися. Дана обставина викликана відведенням інструменту, тому, не рекомендується виконувати розгортання як кінцеву обробку отвору на верстатах з ЧПК для отримання заданої точності розташування осі [1].

Підводячи підсумки, можна виділити наступні основні фактори, що впливають на точність поверхні отворів при його обробці осьовим інструментом. При знятті стружки пластична деформація поверхневого шару отвору сприяє виникненню шорсткості. Розбіжність діаметра інструменту, який входить в роботу, з діаметром отвору, на поверхню якого він спирається своїми напрямними елементами, викликає утворення хвилястості профілю поздовжнього перетину отвору. Геометрія різального інструменту викликає таку похибку, як спадковість. Від напрямку і величини стружкових канавок залежить шорсткість виготовленого отвору. Точність верстату, конструкція допоміжного інструменту і деформації заготовки при її закріпленні на верстаті, в свою чергу, теж впливають на точність обробленого отвору. Похибка установки і переустановлення виникає через

неможливість точного з'єднання основних і допоміжних баз осьового різального інструменту і металорізальної системи внаслідок невизначеності розташування їх системи координат. В результаті з'являється відхилення осі обробленого отвору заготовки від заданого положення щодо прийнятої бази. На точність отвору, крім того, впливає невизначеність базування при прийнятих в практиці комплектах баз для осьового різального інструменту і металорізальної системи. Внаслідок викривлення заготовки через перерозподіл залишкових напружень в процесі обробки отвору виникає биття отвору, що викликає уведення і непрямолінійність осі. Частота власних коливань інструменту сприяє утворенню огранки. А потрапляння стружки в зону різання викликає поява задирок і подряпин [7].

Таким чином, брак, а отже, і неточність отримання отвору і деталі в цілому, може бути викликаний в результаті недотримання технологічного процесу обробки; неправильної установки і кріплення оброблюваної заготовки; роботи несправним верстатом (биття шпинделя), пристосуванням, інструментом; неправильного налаштування і налагодження верстату; неправильного вибору і використання інструменту; виникнення вібрацій при обробці; некоректного призначення і дотримання режимів різання; призначення надмірних припусків; невірної вибору складу охолоджувальної рідини або недостатньої її кількості; недбалого ставлення до роботи. І, як результат, можна отримати як невикористаний (остаточний) брак, коли вже неможливо виправити неякісно оброблений отвір, а також можливий і виправний брак, коли завдяки додатковій обробці виготовлений отвір можна привести до відповідного за зазначеними вимогами, але це також тягне за собою і додаткові тимчасові, матеріальні та трудові витрати [8; 10].

Також слід зазначити переваги й недоліки способів традиційної обробки отворів. Так, області застосування цілісних твердосплавних свердел і свердел зі змінними пластинами доповнюють один одного за діапазонами діаметрів обробки. Цілісні твердосплавні свердла застосовуються для отримання отворів діаметром від 0,3 до 25 мм, свердла зі змінними пластинами – для отворів діаметром від 12 мм. Цілісні твердосплавні свердла працюють з більш високими швидкостями і подачами, оскільки мають дві ефективні ріжучі кромки. Вони

перевершують збірні конструкції за продуктивністю, однак, головним їх недоліком є високі інструментальні витрати. Свердла зі змінними пластинами призначені для роботи за високих швидкостей і більш низьких подач. Даний факт свідчить про те, що цей тип свердел буде працювати з більшою продуктивністю лише на високошвидкісному обладнанні. Основна область застосування цілісних твердосплавних свердел – це отримання отворів малого діаметру з жорсткими допусками і гарною якістю поверхні. Продуктивність і стійкість твердосплавних свердел вище, ніж у свердел, виготовлених зі швидкорізальної сталі. Крім того, свердла зі змінними пластинами призначені для отримання отворів середнього та великого діаметрів з високою продуктивністю і мінімальними інструментальними витратами. Вони більш універсальні і надійні [1].

Основними перевагами свердел є: висока продуктивність і можливість отримання малих діаметрів отворів. Основними недоліками є: відносно великі інструментальні витрати, пов'язані з низькою стійкістю цільних твердосплавних свердел і їх ринковою вартістю, неуніверсальність, а також можливість уведення осі свердла в процесі обробки [1].

Що стосується методу розточування, то на даний момент існують різноманітні конструкції розточувального інструменту, які використовуються в залежності від глибини і діаметру отвору. Розточувальні інструменти використовуються для чистової, напівчистової і чорнової обробки отворів. Вибір інструмента для однолезової, багатолезової і ступінчастої обробки отворів досить широкий і залежить від конкретних операційних вимог. Багатолезовий розточувальний інструмент рекомендується використовувати на чорнових операціях, а однолезовий – на чистових. Інструмент для чистового розточування має можливість точного регулювання для позиціонування ріжучої кромки. Однак, і чорновим розточувальним інструментом можна домогтися гарної якості поверхні і високої точності за умови налаштування пластини, що відповідає за формування поверхні отвору, поза верстатом. Основною перевагою таких інструментів є можливість налаштування та підналагодження вильоту різця [1].

Таким чином, метод розточування має наступні переваги: можливість підналагодження і налаштування на діаметральний розмір різця, можливість складання розточувального інструменту з різних адаптерів, подовжувачів, перехідників для різних технологічних ситуацій, можливість забезпечення високої якості поверхні. Недоліком даного методу буде: висока вартість розточувального інструменту, що є важливим під час вибору інструменту в умовах багатомоноклатурного виробництва [1].

Наступним методом є розгортання. Розгортки являють собою високопродуктивний інструмент. Кінцевий результат операції розгортання багато в чому залежить від якості попередньо обробленого отвору. Розгортка підвищує якість поверхні оброблюваного отвору. На відміну від розточувальних інструментів, розгортки допускають застосування відносно великих подач і не вимагають додаткової трудомісткого підналаштування діаметрального розміру на верстаті. Але даному інструменту характерне уведення вісі від прямолінійності [1].

Крім того, встановлено, що свердлінням можливо отримати отвори до 10-13 квалітету точності з шорсткістю R_z 40-160 мкм, зенкерування дозволяє отримати 9-11 квалітети точності та шорсткість R_a 2,5-10 мкм, розгортання – 8-9 квалітети та 1,25-5 мкм, а тонке розточування – 6-7 квалітети та шорсткість 0,32-2,5 [12].

1.3 Сучасні способи планетарної обробки отворів

1.3.1 «Прецесійне» свердління

Суть кінематики процесу «прецесійного» свердління полягає в узгодженій сукупності трьох рухів [13; 14]:

- обертання різального інструменту навколо власної осі, яка розташована під кутом до осі отвору;
- прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору;
- осьової подачі.

Процес «прецесійного» свердління забезпечується спеціальною конструкцією фрези (рисунок 1.7), з особливими геометричними параметрами [13].



Рисунок 1.7 – Схема методу прецесійного свердління та 3D модель різального інструменту [13]

Кінематика процесу «прецесійного» свердління реалізується механізмом оригінального пристрою (рисунок 1.7), який кріпиться до шпинделя свердлильного верстату та забезпечує два основних рухи [13]:

- обертання різального інструменту навколо власної осі ;
- прецесійний рух осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору.

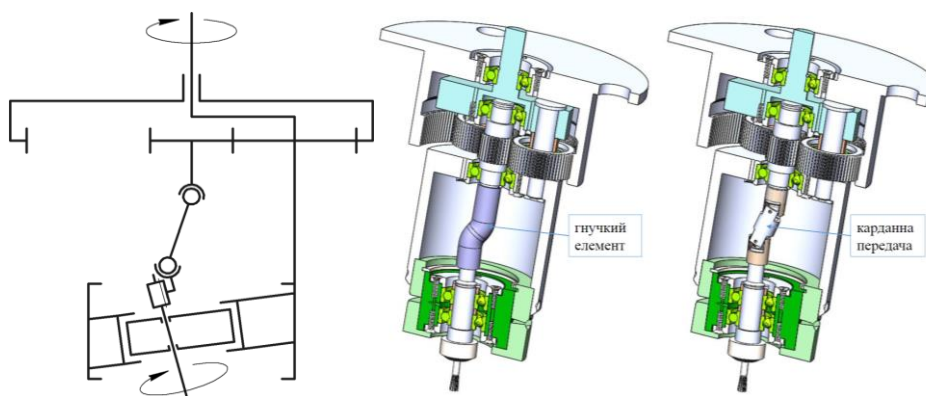
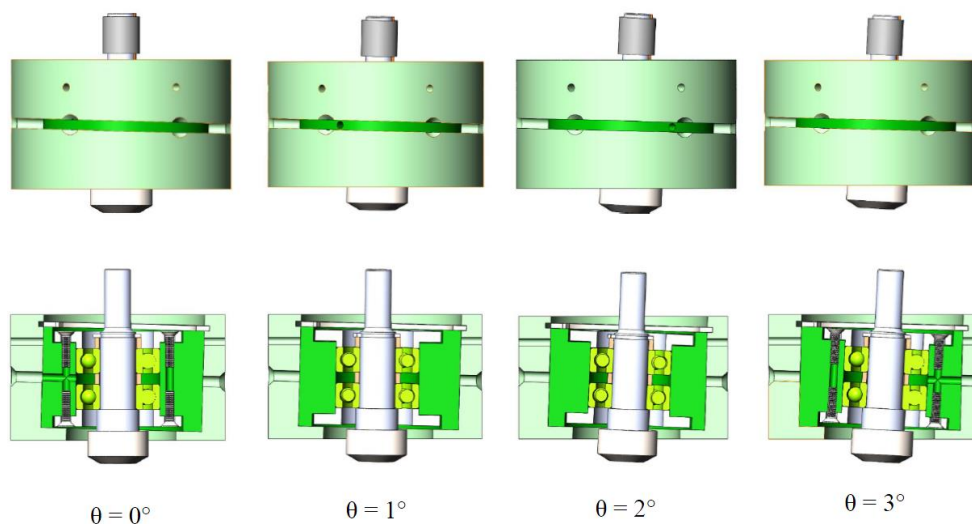


Рисунок 2 – Схема та 3D модель пристрою для реалізації «прецесійного» свердління [13]

Пристрій включає планетарний механізм (який забезпечує дві швидкості обертання на виході), карданну передачу (або гнучкий елемент) для передачі крутного моменту на інструмент та головку регулювання кута нахилу осі різального інструменту від 0° до 3° (рисунок 1.8). За рахунок кута нахилу осі фрези реалізується ексцентриситет між віссю оброблюваного отвору та віссю різального інструменту [13].



θ – кут нахилу вісі різального інструменту

Рисунок 1.8 – Реалізації повороту вісі різального інструменту відносно вісі отвору [13]

Схема «прецесійного» свердління (рисунок 1.7) забезпечує кращі умови взаємодії інструменту та заготовки, а також дає більші можливості регулювання процесу [13].

Переваги методу [13; 14]:

- забезпечення високих показників якості та точності оброблених отворів;
- гнучкість кінематики процесу, що дозволяє одним інструментом оброблювати отвори різного діаметру;
- зменшення осьової сили різання;
- поліпшене відведення стружки;

- зменшення температури нагріву інструменту (внаслідок того, що ріжучим є не весь діаметр, а лише деякий сектор).

Недоліки методу [13; 14]:

- висока вартість обробки;
- розробка та виготовлення спеціального інструменту з певними конструкційними та геометричними параметрами;
- розробка та виготовлення спеціального пристрою для реалізації планетарного руху;
- складна конструкція та трудомісткість ремонту пристрою;
- в конструкції пристрою закладена певна характеристика планетарного руху (радіусу планетарного переміщення);
- можливо отримувати отвори тільки круглої форми;
- точність обробки визначається точністю підшипникових вузлів.

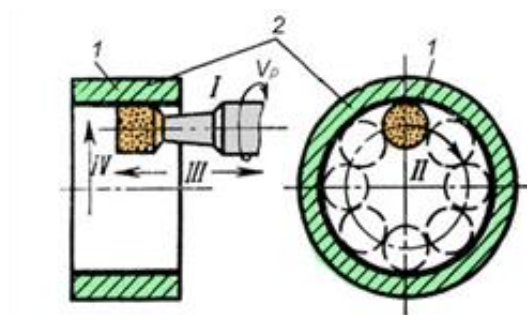
1.3.2 Планетарна внутрішньошліфувальна обробка

Планетарна внутрішньошліфувальна обробка призначена для здійснення оздоблювальної обробки отворів діаметром більше 150 мм та застосовується у випадках, коли ускладнено обертання деталі через її великі розміри та вагу. Існують також координатні планетарно-шліфувальні верстати, що дозволяють обробляти в корпусних деталях отвори діаметром від 10 мм і вище. Планетарне шліфування забезпечує отримання отворів по 6-му, 7-му квалітетами, похибка геометричної форми отворів не більше 0,004 мм і параметр шорсткості $Ra = 0,32-0,16$ мкм. Координатні планетарно-шліфувальні верстати дозволяють отримати положення осі отвору щодо бази і міжцентрову відстань з точністю до 0,01 мм. Крім того, планетарні шліфувальні верстати можуть бути виконані з вертикальним або з горизонтальним розташуванням шпинделя [15; 16; 17].

Але, незважаючи на отримані високі показники якості та точності, внаслідок низької продуктивності цей варіант використовується досить рідко і вважається дорогим, а верстати для його реалізації мають обмежене застосування. Низька продуктивність викликана тим, що припуски на шліфування, як правило,

на 50% менше, ніж при круглому зовнішньому шліфуванні. Також до недоліків відноситься і те, що є необхідність перед кожним чистовим переходом правити шліфувальний круг внаслідок прискореного зносу. Це пояснюється тим, що при внутрішньому шліфуванні діаметр шліфувального круга завжди менше діаметра отвору, що шліфується (діаметр інструмента складає 0,7-0,9 від отвору), тому круги внаслідок малого діаметра швидко зношуються і потребують часткої правки. Це призводить до зниження продуктивності, зменшення точності обробки і збільшення витрати шліфувальних кругів. Крім того, цей спосіб використовується для обробки особливо твердих поверхонь (такі матеріали, як алюміній, незагартована сталь тощо, не можна шліфувати) вже готових точних отворів з точно координованою віссю в деталях. Також слід зазначити, що шліфувальні круги діаметром 125 мм і більше з робочою швидкістю більше ніж 50 м/с, а також шліфувальні круги діаметром 250 мм і більше, складені разом із планшайбою, перед установленням на верстат повинні бути збалансовані. При виявленні дисбалансу шліфувального круга після першого правлення або під час роботи необхідно провести його повторне збалансування, що також забезпечує додаткові витрати часу. Також недоліком є і те, що в порах обробленої поверхні в результаті шліфування можуть залишатися абразивні зерна, що негативно впливає на якість отриманого отвору. В результаті перегріву деталі в процесі шліфування можуть з'явитися шліфувальні прижоги (ділянки зі зниженою твердістю) і мікротріщини. У деяких випадках утворюються зони вторинної гарту, під якими розташовуються шари відпущеного металу. При цьому можуть виникнути в поверхневому шарі напруги розтягнення, що викликають прискорений знос і руйнування деталей в процесі їх експлуатації. Причинами прижогів і тріщин часто бувають надмірно велика поперечна подача (глибина шліфування) й значне биття круга або заготовки. Реалізується процес планетарної внутрішньо шліфувальної обробки отворів за схемою, наданою на рисунку 1.9. Заготовка 2 в процесі обробки залишається нерухомою, а шліфувальний круг 1 обертається одночасно навколо своєї осі зі швидкістю різання (рух різання) і навколо осі отвору зі швидкістю кругової подачі, чим забезпечується планетарне рух (тобто планетарний рух по

колу внутрішньої поверхні заготовки). Поздовжня подача (зворотно-поступальний рух уздовж осі заготовки) та поперечна подача (поперечне переміщення) теж здійснюється шліфувальним кругом. При цьому поперечна подача дуже мала і виражається в тисячних або сотих частках мм [15; 16; 17].



1 – шліфувальний круг; 2 – заготовка; I – обертання інструмента навколо своєї вісі (рух різання V_p); II – планетарний рух по колу внутрішньої поверхні заготовки (кругова подача); III – зворотно-поступальний рух інструмента уздовж осі заготовки (поздовжня подача); IV – поперечне переміщення інструмента (поперечна подача)

Рисунок 1.9 – Схема планетарної внутрішньошліфувальної обробки [15; 16; 17]

Таким чином, в результаті літературного огляду було встановлено, що найбільш поширеною операцією обробки отвору є свердління, яке забезпечує точність до 10-13 квалітету та шорсткість R_z 40-160 мкм, що обумовлює використання після зазначеної операції використання чистових переходів (зенкерування, розточування, розгортання). Встановлено, що точність отвору і його вісь формуються на першому переході, тому похибку, що виникає внаслідок уведення свердла, чистовим інструментом не завжди в повній мірі вдається усунути. Крім того, при свердлінні спостерігаються високі осьові навантаження на інструмент та забезпечується невисока точність оброблюваної поверхні. Ситуація, що виникла, може бути вирішена за допомогою більш перспективного методу – планетарної обробки отвору, який може бути реалізований способами «прецесійного» свердління та планетарної внутрішньошліфувальної обробки. Але такі недоліки, як не

універсальність інструменту, низька продуктивність, можливість отримувати отвори обмеженої форми й дуже обмежених розмірів, наявність готових точних отворів з точно координованою віссю в деталях, високі вартість та збільшення часу обробки отворів тощо робить зазначені способи вузькопрофільними, що дає підставу пошуку більш ефективного методу обробки отворів.

2 ПЛАНЕТАРНЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ ОТВОРІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

2.1 Розробка технологічної схеми обробки деталі та вибір обладнання

В якості досліджуваної деталі була обрана маточина колеса. Основна задача маточини полягає в тому, що вона забезпечує обертання колеса навколо своєї осі, тобто передачу обертального руху на колесо, й міцно утримує колесо на підвісці. Також завдяки маточині реалізується гальмування автомобіля, оскільки на ній закріплюється гальмівний барабан або диск, вона надійно утримує всі вузли на півосі та диск колеса. Таким чином, вона забезпечує з'єднання всіх частин колеса в єдине ціле та являється одним з основних конструкційних елементів автомобільної підвіски [18]. Загальний вигляд деталі представлений на рисунку 2.1.

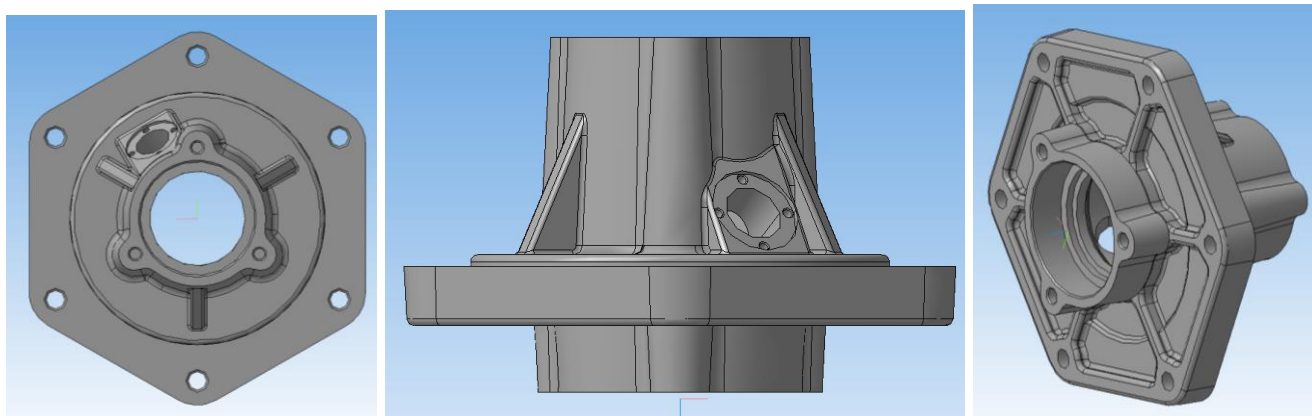


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд деталі «Маточина»

В якості матеріалу деталі використовують сталь 40Х, оскільки маточина колеса постійно перебуває під навантаженням. Сталь 40Х ДСТУ 4543-71 – конструкційна легрована сталь. До замінників 40Х відносять наступні сталі: 45Х, 38ХА, 40ХН, 40ХС, 40ХФ, 40ХР. Хімічний склад матеріалу деталі надано в таблиці 2.1 [18; 19].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 4543-71 [19]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P	Fe
				не більше				
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	0,30	0,30	0,035	0,035	≈ 97

Фізико-механічні властивості сталі 40Х представлені в таблиці 2.2 [19].

Таблиця 2.2 – Фізико-механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 4543-71 [19]

Межа міцності при розтягу σ_B , МПа	Відносне видовження після розриву δ_5 , %	Відносне звуження ψ , %	Твердість НВ, не більше
610	10	45	165

Призначення сталі 40Х – це деталі, від яких вимагається підвищена міцність. Технологічні властивості сталі 40Х ДСТУ 4543-71 [19]:

- оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 163-168 та $\sigma_B = 610$ МПа;
- оброблюваність матеріалу характеризується коефіцієнтом оброблюваності різанням твердосплавним інструментом $K_{V \text{ тв. спл.}} = 1,20$, та коефіцієнтом оброблюваності різанням швидкорізальною сталлю $K_{V \text{ б. ст.}} = 0,95$;
- температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 800, перерізи до 350 мм охолоджуються на повітрі;
- зварюваність – важкозварювальна;
- флокеночутливість – чутлива;
- схильність до відпускної крихкості – схильна.

В загальному випадку, хром як легований елемент забезпечує зниження критичної швидкості охолодження при гартуванні. Це важливо, оскільки гартування сталі відбувається при різкому охолодженні, що обумовлює появу великих напружень, в результаті чого з'являються термічні тріщини, короблення,

в результаті чого знижується твердість, міцність і працездатність виробу. Тому в сталях з великим вмістом вуглецю та карбідів додають хром (до 1%) [20; 21].

Заготовка після кокільного лиття потребує механічної обробки відповідальних поверхонь та отворів під кріплення. Отвори, вісі яких розташовані перпендикулярно базовим торцям деталі, можна обробити, застосовуючи універсальні кондуктори, встановивши деталь на горизонтальну площину. Крім цього, в конструкції деталі присутній ряд отворів, осі яких розташовані під кутом до базового торця деталі, й обробити їх в універсальних кондукторах немає можливості. Отже, необхідно розробити спеціальне пристосування, яке дозволить встановити деталь так, щоб повернути вісі цих отворів у вертикальне положення. В даній роботі розглядається виготовлення отвору $\varnothing 26H8\left(^{+0,033}\right)$ з шорсткістю $Ra = 1,6$ мкм. Оскільки вісь отвору розташована під кутом, в програмному забезпеченні САПР Компас-3D було спроектоване спеціальне пристосування, зовнішній вигляд якого показано на рисунку 2.2.

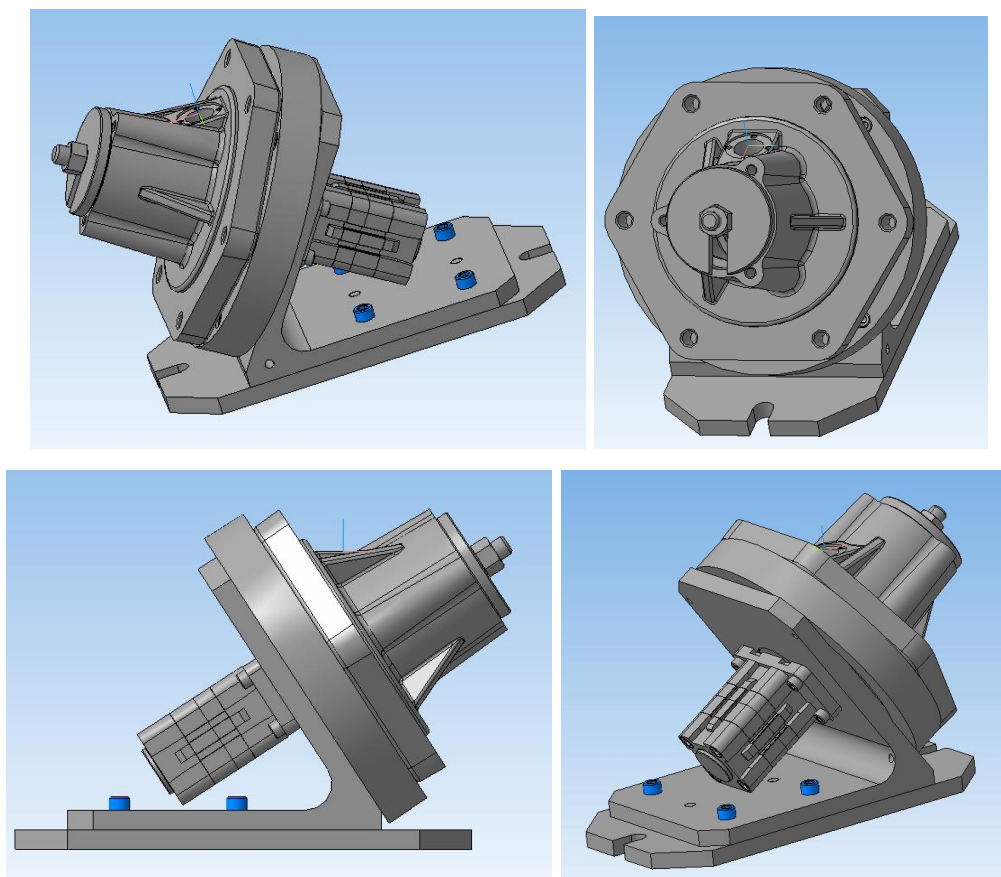


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд пристосування

Пристрій складається з плити, корпусу, опорного кільця, пальця. Деталь своїм центральним отвором встановлюється на палець по зазору й своїм торцем опирається на торець опорного кільця (тобто базування маточини здійснюється по центральному отвору й торцю). Штифт (зрізаний фіксатор) використовується для фіксування деталі в даному положенні та не дає можливості деталі провертатися. Всі кріплення в пристосуванні здійсненні гвинтами.

Принцип роботи пристосування полягає в наступному. Повітря подається в штокову порожнину пневмоциліндра, переміщуючи донизу поршень із закріпленим на штоку затискним гвинтом. Гвинт з гайкою тисне на швидкозмінну шайбу й притискає деталь до торця опорного кільця. Для зняття деталі після обробки повітря подається в безштокову порожнину пневмоциліндра. Шток пневмоциліндра з гвинтом переміщаються вгору, звільняючи швидкозмінну шайбу. Знявши шайбу, робочий вільно може зняти деталь з пристосування. Таким чином, за рахунок пневмоциліндра забезпечується автоматизований процес закріплення деталі. Повітря подається через пневморозподілювач. Було встановлено, що сила затиску деталі повинна бути більше сили різання в 3-5 разів [22].

У пневмосистемах енергія тиску стисненого повітря перетворюється в механічну енергію виконавчих механізмів при впливі повітря на їх робочі органи. В запропонованому пристосуванні робочим органом є поршень, а виконавчим механізмом (за видом руху, що реалізується цим механізмом) є лінійний пневмодвигун (пневматичний циліндр). Зусилля, що розвивається виконавчим механізмом (пневмоциліндром), пропорційно тиску в ньому, а швидкість руху вихідної ланки (поршня) визначається витратою стиснутого повітря [22].

В даному випадку використовується пневмоциліндр двосторонньої дії, який здійснює лінійний (зворотно-поступальний) рух та принципова відмінність якого полягає в тому, що і прямий, і зворотній ходи поршня здійснюються під дією стисненого повітря при змінній його подачі в одну з порожнин, в той час як інша з'єднана з атмосферою. Притискання деталі здійснюється через центр деталі за рахунок пневмоциліндру [22].

Розміри пристосування разом з деталлю (рисунок 2.2) наступні: висота 260 мм, довжина 350 мм, ширина 260 мм. В свою чергу, розміри деталі наступні: висота 150 мм, ширина 235 мм, довжина 262 мм. Маса деталі 12 кг, пристосування з деталлю – 39 кг.

Для здійснення обробки було запропоновано використовувати компактний та високошвидкісний 3-хкоординатний вертикально-фрезерний обробний центр з ЧПК Haas DT-1, оскільки верстати з ЧПК швидко переналагоджується та широко використовується в різних типах виробництва, а також є багатофункціональними та здатні забезпечити процес виготовлення деталей з високою точністю й продуктивністю за одну або дві установки заготовки. Крім того, ефективне використання фрезерних обробних центрів ЧПК є одним із пріоритетних напрямків сучасного машинобудування. Високопродуктивний обробний центр Haas DT-1 має значний робочий простір з переміщенням по осях $508 \times 406 \times 394$ мм і робочий стіл 660×381 мм з Т-образними пазами, при цьому займає малу площу, дозволяє використовувати цінну площу цеху раціонально. Потужний вбудований шпиндель з прямим приводом з конусом BT-30 обертається зі швидкістю 10000 об/хв. Шпиндель безпосередньо пов'язаний з двигуном для забезпечення безшумної роботи та відмінної термостійкості. Такий шпиндель забезпечує високі швидкості й без втрат потужності передає обертання на інструмент. Векторний привід потужністю 11,2 кВт забезпечує максимальний крутний момент 62 Нм. Haas DT-1 забезпечує швидкість подачі при різанні до 30,5 м/хв, а його високошвидкісний бічний пристрій зміни інструменту на 20 гнізд швидко змінює інструменти, що знижує час простою. Швидкі переміщення зі швидкістю 61 м/хв в поєднанні з великим прискоренням скорочують час циклу, в тому числі і час холостого ходу, й збільшують продуктивність. Тобто в якості пристрою автоматичної заміни інструмента використовується накопичувач у вигляді радіального інструментального магазину (вісь інструмента перпендикулярна осі магазину) барабанного типу, що вміщує відносно невелику кількість інструментів. Розміри інструментального магазину безпосередньо залежать від його ємності та діаметра інструмента, що встановлюється в ньому. В

разі кодування гнізд накопичувача діаметр окремого інструмента може бути збільшений за умови пропускання сусідніх гнізд магазина. Крім того, пристрій автоматичної заміни виконаний з одним автооператором, який здійснює обмін інструментів між шпинделем верстата й магазином. Рука автооператора пристрою автоматичної заміни інструмента оснащена двома захватними пристроями для утримання інструменту. Принцип заміни інструменту наступний: під час обробки деталі для пошуку інструменту виконується поворот інструментального магазина між двома сусідніми позиціями (тобто на чотири позиції), потім здійснюється нахил гільзи магазина або нахил інструменту (з положення 0°) на 90° з обраним інструментом, в результаті чого інструмент опиняється в позиції заміни (саме в цей час шпиндель також опиняється в позиції заміни). Здійснюється заміна інструмента. Для цього реалізується поворот руки автооператора на 90° й захоплення інструмента – відбувається звільнення інструменту в шпинделі (тобто виймання інструменту зі шпинделя). Далі здійснюється поворот руки автооператора на 270° для заміни інструмента й встановлюється (закріплюється) інструмент в шпинделі. Потім виконується поворот руки автооператора (на 180°) в початкове положення та під час обробки встановлюється інструмент в магазин і здійснюється нахил гільзи інструментального магазина на 0° . Після встановлення інструмента, що відпрацював, в відповідне гніздо інструментального магазина виконується пошук інструмента, потрібного для виконання наступного переходу. Цей рух інструментального магазина співпадає з процесом обробки деталі на верстаті, тому не впливає на продуктивність обробки.

Для DT-1 пропонується система шнекового типу. Додаткові сопла для змиву стружки вздовж осі Y, що входять в базову комплектацію, роблять цю систему ще більш ефективною. В стандартну комплектацію також входять: система подачі ЗОР з відкатним баком на 208 л; ручний пневмопістолет для видалення стружки з деталі й верстата; автоматична централізована система змащення; лампа індикації стану верстата; комплект регулювальних опор (на які встановлюється верстат за рівнем); електромеханічний замок дверей огорожі робочої зони; функція автоматичного відключення верстата. Особливості

конструкції: повністю закрита герметична захисна огорожа; серводвигуни переміщень по осях з прямою передачею моменту; володіє можливістю свердління та різьбонарізання; сталеві загартовані підшипникові блоки направляючих; кулькова гвинтова передача з подвійним кріпленням і попередньо натягнутою гайкою; система автоматичного змащення напрямних і кулькової гвинтової передачі. Зовнішній вигляд Haas DT-1 представлений на рисунку 2.3 [23; 24].



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд 3-хкоординатного вертикально-фрезерного обробного центру з ЧПК Haas DT-1 [24]

Технічні характеристики вертикально-фрезерного обробного центру з ЧПК Haas DT-1 наведені в таблиці 2.3 [23; 24].

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики 3-хкоординатного вертикально-фрезерного обробного центру з ЧПК Haas DT-1 [23; 24]

Параметри робочої зони		
Розміри робочої поверхні столу з Т-образними пазами, мм	довжина столу	660
	ширина столу	381
Кількість Т-образних пазів, шт.		3
Ширина Т-образних пазів, мм		16
Відстань між сусідніми Т-образними пазами, мм		125
Максимально допустиме навантаження на стіл (рівномірно розподілене), кг		113
Ширина відкривання робочої двері, мм		560
Параметри шпинделя		
Виконання конуса шпинделя		BT30
Розмір конуса шпинделя		30
Максимальна частота обертання шпинделя, об/хв		10000
Максимальний крутний момент, Нм		62
Максимальна потужність шпинделя, кВт		11,2
Максимальне осьове зусилля, кН		18,7
Максимальна частота обертання при різьбонарізанні, об/хв		5000
Спосіб передачі крутного моменту		прямий
Змащування підшипників шпинделя		повітряно-масляне
Охолодження шпинделя		повітряне
Параметри переміщень робочих органів		
Максимальна величина робочих переміщень за осями, мм	за віссю X	508
	за віссю Y	406
	за віссю Z	394

Продовження таблиці 2.3

Максимальна відстань від поверхні столу до торця шпинделя (в крайньому верхньому положенні шпинделя), мм	546
Мінімальна відстань від поверхні столу до торця шпинделя (в крайньому нижньому положенні шпинделя), мм	152
Максимальна величина робочих подач за осями X, Y, Z, м/хв	30,5
Максимальна швидкість холостих подач (холостих переміщень робочих органів), м/хв	61
Параметри інструментального магазину	
Виконання інструментального магазину	бічного типу
Тип встановлюваних оправок	BT30
Кількість інструментальних позицій в магазині	20
Максимальний діаметр встановлюваного інструменту (при зайнятих сусідніх позиціях), мм	51
Максимальна довжина інструменту, мм	178
Максимальна вага встановлюваного інструменту, кг	2,5
Час зміни інструменту, сек	1,8
Параметри точності	
Точність позиціонування супорта, мм	$\pm 0,0050$
Повторюваність позиціонування супорта, мм	$\pm 0,0025$
Параметри пристрою ЧПК	
Тип пристрою	HAAS
Кількість керованих осей	3
Тип монітора для відображення інформації (кольоровий рідкокристалічний)	LCD 15"
Швидкість обробки програм, блоків/сек	до 1000
Тип інтерфейсу для підключення знімних носіїв пам'яті	USB
Обсяг пам'яті для зберігання програм, ГБ	1
Мінімальна дискретність значень, що задаються, мм	0,001

Продовження таблиці 2.3

Параметри підключення й установки		
Споживана електрична потужність, кВА		28
Обсяг бака ЗОР, л		208
Вимоги до стисненого повітря	робочий тиск в мережі, бар	6,9
	робочі витрати, л/хв	113
Габаритні розміри верстата, мм	довжина	2626
	ширина	1727
	висота	2616
Маса орієнтовна, кг		2750
Гарантія, міс.		12

Виходячи з того, що довжина столу становить 660 мм, ширина – 381 мм, максимальна величина робочих переміщень за віссю X становить 508 мм, Y – 406 мм, Z – 394 мм (таблиця 2.3), то це свідчить про те, що робоча зона верстата дозволяє встановити пристосування з деталлю (висота 260 мм, довжина 350 мм, ширина 260 мм). Оскільки ширина Т-образних пазів складає 16 мм, а ширина пазів пристосування – 18 мм, це дозволяє закріпити пристосування на столі верстата болтом з гайкою.

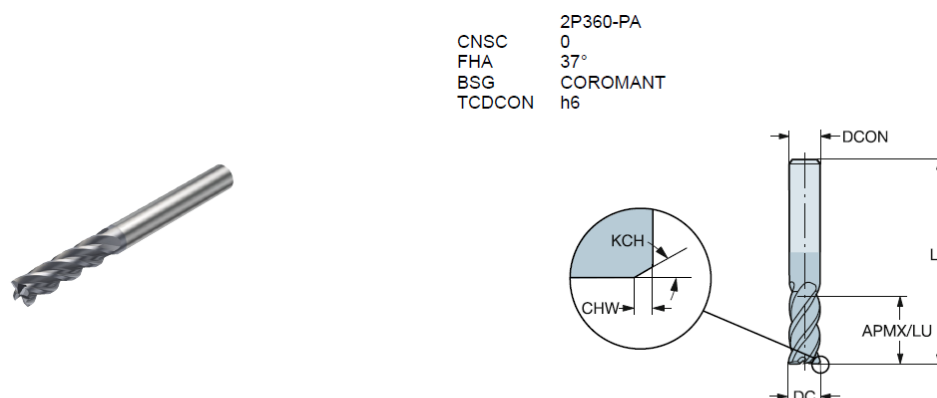
2.2 Вибір інструменту та інструментального матеріалу

Для обробки отвору Ø26H8 була використана універсальна кінцева твердосплавна фреза CoroMill Plura виробника Sandvik Coromant. Виготовлення отвору реалізується завдяки планетарному фрезеруванню [25].

Цільні твердосплавні фрези CoroMill Plura призначені забезпечити високошвидкісну, високопродуктивну та високоефективну обробку деталі незалежно від її розміру, форми й матеріалу, з якого вона виготовлена. Таким чином, немає необхідності здійснювати зміну інструменту кожен раз, коли

змінюються характеристики оброблюваної деталі. Фрези CoroMill Plura застосовуються для виконання чорнових та чистових операцій. Посилена конструкція торцевих зубів дозволяє уникнути надмірного утворення стружки, ширина витка є оптимальною, а плоска поверхня пристрою забезпечує максимальну стійкість. Особливе покриття лез запобігає передчасному зносу леза, робить дані фрези надійними та придатними для виконання широкого спектру операцій. Фрези CoroMill Plura мають оптимізовані геометрії для чорнової, чистової, профільної обробки. Змінна глибина стружкової канавки забезпечує оптимальне поєднання жорсткості серцевини фрези й достатнього обсягу стружкової канавки, що обумовлює хорошу якість обробленої поверхні та покращення умов евакуації стружки. Має оптимальну жорсткість. Також фрези CoroMill Plura дозволяють виконувати фрезерування пазів, уступів, фасок, профільне фрезерування, торцеве фрезерування з високими подачами, фрезерування з врізання під кутом, гвинтову інтерполяцію, внутрішнє різьбонарізання, обробку кромek тощо. Крім того, виробник Sandvik Coromant рекомендує використовувати цільну кінцеву фрезу CoroMill Plura для обробки складних та відповідальних деталей, коли першочергове значення мають висока якість, забезпечення жорстких допусків й ефективність. Діапазон діаметрів фрез CoroMill Plura становить від 0,4 до 25 мм, а глибина різання, з якою вони дозволяють здійснювати обробку може досягати 50 мм. Позитивний передній кут від 9° до 12° сприяє зменшенню сили різання, а діаметр серцевини від 60 до 70% забезпечує підвищення опору згинанню й забезпечує задовільний процес видалення стружки. Також для відводу стружки в необхідному напрямку стружкові канавки виготовляються гвинтовими або похилими. У той же час враховується кут нахилу гвинтових канавок, оскільки він впливає на жорсткість і міцність інструменту, а також процес відведення стружки. Так, вірно обраний кут забезпечить більш легкий процес різання за рахунок збільшення переднього кута й жорсткість інструмента на кручення. Разом з тим, при великому значенні кута спостерігається зниження жорсткості інструменту в осьовому напрямку [26; 27; 28; 29].

Для обробки отвору Ø26H8 довжиною 37 мм була обрана твердосплавна кінцева фреза CoroMill Plura, загальний вигляд якої наданий на рисунку 2.4 [29].



Метрическое исполнение

								P	K	Размеры, мм		
								1630	1630			
DC	CZC _{MS}	APMX	CHW	KCH	LU	ZEFP	Код заказа					
6.00	6.0	22.00	0.15	45°	22.00	4	2P360-0600-PA	☆	☆	6.00	5°	65.00
8.00	8.0	28.00	0.15	45°	28.00	4	2P360-0800-PA	☆	☆	8.00	5°	80.00
10.00	10.0	32.00	0.15	45°	32.00	4	2P360-1000-PA	☆	☆	10.00	5°	100.00
12.00	12.0	40.00	0.15	45°	40.00	4	2P360-1200-PA	☆	☆	12.00	5°	100.00
14.00	14.0	50.00	0.20	45°	50.00	4	2P360-1400-PA	☆	☆	14.00	5°	104.00
16.00	16.0	60.00	0.15	45°	60.00	4	2P360-1600-PA	☆	☆	16.00	5°	124.00
20.00	20.0	70.00	0.20	45°	70.00	4	2P360-2000-PA	☆	☆	20.00	5°	155.00

DC – діаметр фрези; CZC_{MS} – розмір з'єднання з боку верстата; APMX – максимальна глибина різання; CHW – ширина фаски при вершині; KCH – фаска при вершині; LU – робоча довжина або довжина ріжучої частини (максимально рекомендована); ZEFP – число зубів; DCON – діаметр з'єднання; RMPX – максимальний кут врізання; LF – функціональна довжина (довжина інструменту); CNSC – тип підведення ЗОР до інструменту; FHA – кут підйому стружкової канавки; BSG – стандарт; TCDCON – допуск на діаметр з'єднання

Рисунок 2.4 – Кінцева фреза CoroMill Plura [29]

Довжина отвору Ø26H8 становить 37 мм, отже обраною фрезою з довжиною ріжучої частини 60 мм можна виконати обробку зазначеного отвору. Крім того, довжина фрези 124 мм дозволяє закріпити її в цанговому патроні з вильотом інструменту 100 мм. Діаметр фрези становить 16 мм, що дає змогу виготовити отвір Ø26 за допомогою планетарного фрезерування. Також, виходячи

з рисунку 2.4, можна надати наступну інформацію щодо обраної фрези: дана фреза є універсальною, має можливість свердління, дозволяє здійснювати обробку отворів методом планетарного фрезерування, кут підйому стружкової канавки становить 37° , діапазон допустимих глибин різання складає 3,1-3,5 від діаметру фрези, призначена для обробки сталей, хвостовик циліндричний, має чотири зуба, використовується без застосування ЗОР (відсутнє внутрішнє підведення ЗОР).

Для того, щоб здійснити обробку отвору методом планетарного фрезерування, були дотримані наступні рекомендації щодо вибору діаметра інструмента (рисунок 2.5) [25; 30].

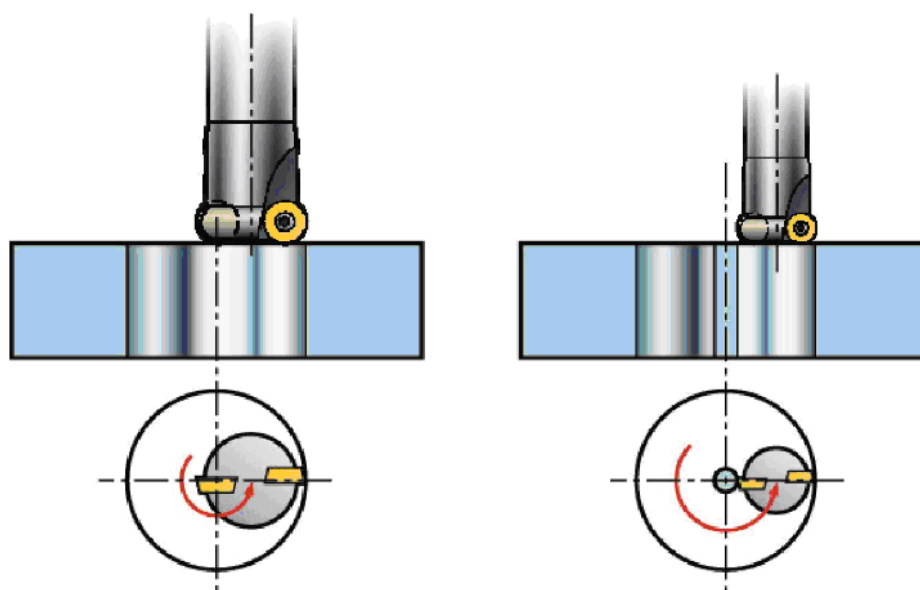


Рисунок 2.5— Вибір діаметру фрези [30]

Діаметр фрези повинен бути таким, щоб забезпечувати різання металу в зоні центру отвору, що оброблюється. У випадку, коли діаметр інструменту буде замалим, то в центрі отвору залишатиметься стрижень. Подібне прийнятно для обробки різного роду прорізів, однак існує необхідність підтримки стрижня при випаданні. Отже, рекомендується вибирати твердосплавну кінцеву фрезу з умови, щоб її мінімальний діаметр був в 2 рази менше отвору, що обробляється, при цьому максимальний діаметр отвору повинен бути не більше двох діаметрів інструменту [25; 30]:

$$D_{\max} = 2d, \quad (2.1)$$

$$d_{\min} = \frac{D}{2} \quad (2.2)$$

де $D_{\max}$ – максимальний діаметр отвору, мм;

d – діаметр фрези, мм;

$d_{\min}$ – мінімальний діаметр фрези, мм;

D – діаметр отвору, мм.

Також рекомендовані значення діаметру інструмента представлені на рисунку 2.6 [31].

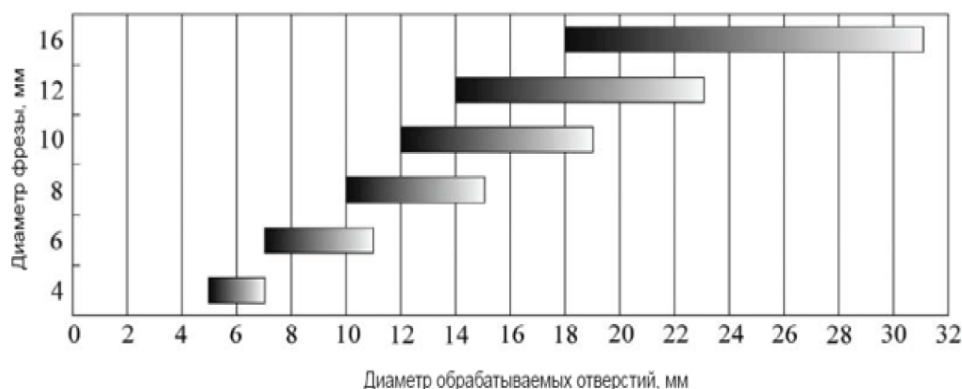


Рисунок 2.6 – Діапазон оброблюваних отворів в залежності від діаметра фрези [31]

Відомо, що при обробці важливу роль відіграє теплостійкість ріжучого матеріалу, оскільки зі збільшенням температури нагріву в процесі різання в наслідок тертя в зоні контакту ріжучий матеріал для забезпечення точності повинен зберігати свою твердість, зносостійкість та міцність межах в певного рівня та впродовж певного проміжку часу. Крім того, висока теплостійкість обумовлює збільшення швидкості різання, що, в свою чергу, забезпечує вищу точність та продуктивність обробки, а також скорочення машинного часу. Отже, теплостійкість обмежує величину швидкості різання. В свою чергу міцність визначає ударне навантаження, яке може витримати ріжучий клин, та істотно знижується від карбідної неоднорідності в інструментальному матеріалі. Крім

того, ріжучий матеріал характеризується високою вартістю та частка затрат на нього в собівартості інструменту досить велика. Тому при розрахунку економічності виробництва слід виходити із затрат на інструмент, які припадають на одиницю оброблюваних деталей [20; 21].

В якості ріжучого матеріалу для здійснення обробки сталі фрезеруванням виробник Sandvik Coromant пропонує наступні марки твердих сплавів, що надані на рисунку 2.7 та області їх застосування на рисунку 2.8 [29; 30].

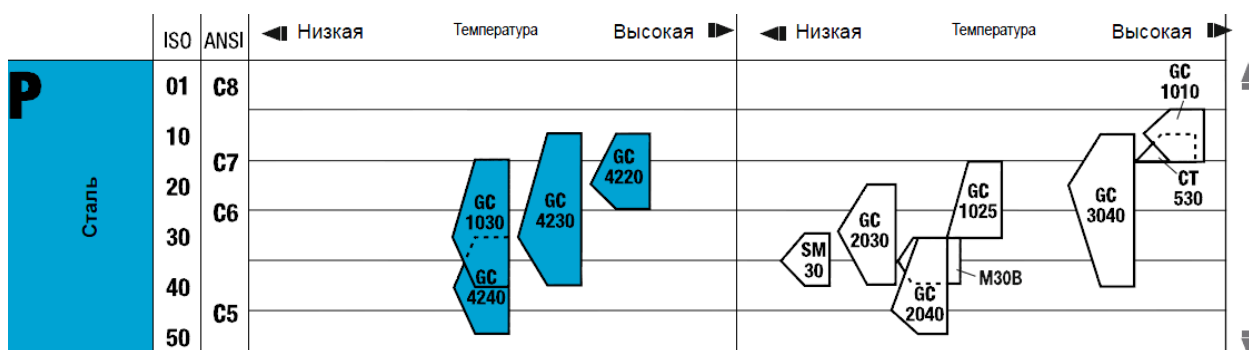


Рисунок 2.7 – Марки твердих сплавів від виробника Sandvik Coromant для обробки сталей [29]

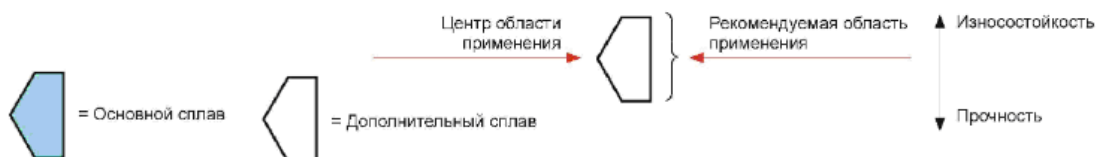


Рисунок 2.8 – Область застосування сплаву [30]

До групи різання P відносяться сталі й сталеве лиття, при обробці яких одержують зливну стружку. Сталь 40X як представник групи P відноситься до сталей, які можуть надаватися як у стані поставки, так і загартовані й відпущені. Група різання P ділиться на підгрупи від 01 до 50, при цьому зі збільшенням цифрового показника умови різання стають більш жорсткими (від чистового різання до чорнового з ударами), тому застосовуються нижчі зносостійкість твердого сплаву й припустиму швидкість різання та більші міцність (ударна в'язкість) і припустима подача й глибина різання. Отже, цифровий показник

вказує на рівень в'язкості та зносостійкості твердого сплаву: чим більша цифра, тим вища в'язкість і нижча зносостійкість сплаву. Тому малі цифри відповідають чистовим операціям, коли необхідні зносостійкість та теплостійкість твердих сплавів, а більші – чорновим (висока міцність). Отже, починаючи з підгрупи 01 до підгрупи 50 групи P, у зміні режимів різання спостерігається збільшення подачі та глибини різання та зменшення швидкості різання, а у зміні властивостей твердих сплавів, що застосовуються для відповідної підгрупи оброблюваного матеріалу, – збільшення міцності та зменшення зносостійкості. Сталі групи P10-P25 в якості оброблюваних матеріалів включають сталь та сталеве лиття, які дають зливну стружку та які оброблюються фрезеруванням [32; 33].

Як інструментальний матеріал для обробки сталі 40X використовувався твердий сплав GC 4220 за маркуванням виробника Sandvik Coromant, найближчий український аналог – це твердий сплав T15K6. Твердий сплав GC 4220 – це сплав з покриттям для досягнення максимальної продуктивності при фрезеруванні сталі з, який використовується для обробки сталей групи P10-P25 (краща область застосування сплаву). Поєднує в собі оптимальну комбінацію зносостійкості й міцності. Рекомендується використовувати без ЗОР на високих подачах та з великою швидкістю зйому матеріалу. Слід також зазначити, що виробник Sandvik Coromant стверджує, що відмова від використання ЗОР збільшує стійкість. Фрези CoroMill Plura здатні витримувати високі швидкості різання та значні температури. У більшості випадків, найкращі результати отримуються при обробці без використання охолодження, при цьому стійкість інструменту зростає на 40% і навіть більше [1; 29; 30].

T15K6 представляє собою металокерамічний двокарбідний твердий сплав (титановольфрамокобальтовий або титановольфрамокарбідний), який складається з карбіду вольфраму, карбіду титана й твердого розчину цих карбідів в кобальті та застосовується для обробки вуглецевих і легованих сталей (в'язких матеріалів, що сприяють зносу інструменту по передній поверхні). Застосовується твердий сплав T15K6 для напівчорнового точіння при безперервному різанні, чистового точіння при переривчастому різанні, напівчистового й чистового фрезерування суцільних

поверхонь, розсвердлювання й розточування попередньо оброблених отворів, чистового зенкерування, розгортання та інших аналогічних видів обробки вуглецевих і легованих сталей [20; 21; 32]. Хімічний склад та фізико-механічні властивості сплаву інструментального матеріалу T15K6 вказані в таблиці 2.4 [32].

Таблиця 2.4 – Хімічний склад та фізико-механічні властивості твердого сплаву T15K6 [32]

Група	Марка	Хімічний склад, %			Фізико-механічні властивості			
		WC	Co	TiC	Межа міцності при згинанні σ_b , МПа	Межа міцності при стисканні $\sigma_{ст}$, МПа	Твердість HRA	Теплостійкість, °C
ТК	T15K6	79	6	15	1150	4500	90	900-1000

За рахунок того, що твердий сплав в більшій мірі складається з тугоплавких карбідів, для нього характерна більш висока твердість, зносостійкість (до 50 разів більша, ніж у швидкорізальних сталей), теплостійкість, а отже швидкість різання (в 3-4 разів більша у порівнянні з швидкорізальними сталями, становить 100-200 м/хв), що в результаті забезпечує більшу продуктивність. Але в умовах високих вібрацій через значну крихкість твердий сплав може сколюватися. Тому в хімічний склад твердого сплаву додають кобальт, що використовується в якості металевої зв'язки, яка утримує карбіди між собою, та забезпечує підвищення міцності та теплостійкості сталі, що дає можливість працювати при більш високих швидкостях різання (підвищує її в 4-8 разів), особливо при обробці важкооброблюваних матеріалів з високою температурою в зоні контакту. Також кобальт дозволяє зменшити температуру відпуску. Але, з іншого боку, він обумовлює зменшення твердості, появу

крихкості та знеуглецювання. Тобто з підвищенням кобальту ріжучі властивості твердого сплаву зменшуються, але підвищується їх міцність та в'язкість. Таким чином, для збільшення міцності забезпечують підвищений вміст кобальту та зменшення карбідів. Як правило, титановольфрамокарбідні сплави відрізняються більш високою ріжучою здатністю та зносостійкістю у порівнянні з вольфрамокарбідними сплавами. Також ТК сплави краще працюють при високих швидкостях різання, ніж при низьких, оскільки при нагріванні ці сплави дають підвищену величину ударної в'язкості й зберігають її при високій температурі, а при надмірному зниженні швидкості різання спостерігається викришування сплаву [20; 21].

Тверді сплави відрізняються від швидкорізальних сталей більшим вмістом вольфраму (до 90%) та наявністю в деяких марках титану (5-60%), які утворюють тугоплавкі карбіди. Завдяки відповідним карбідам, які мають високу твердість, забезпечується підвищена теплостійкість та зносостійкість. Твердий сплав у порівнянні з інструментальними сталями має більш низький коефіцієнт лінійного розширення. Крім того, тверді сплави забезпечують більш високу ефективність (3-5 та більше разів) за машинним часом у порівнянні з інструментами з швидкорізальних сталей [20; 21].

Карбіди вольфраму являється основою твердого сплаву та забезпечують підвищення теплостійкості, твердості та міцності, забезпечуючи краще утримування ударного навантаження. Карбіди титану забезпечують зниження міцності та підвищення твердості, зносостійкості, теплостійкості, тобто дають змогу працювати з плавним навантаженням та плавною обробкою сталі. При цьому збільшення теплостійкості забезпечується більшим вмістом карбідів титану та зменшенням кобальту. Також твердість твердих сплавів забезпечується більшою, ніж у швидкорізальних сталей за рахунок збільшення вольфраму, титану та зменшення кобальту. Але зі зменшенням кобальту знижується межа міцності. Також слід додати, що властивості твердого сплаву групи ТК мають наступну залежність: від марки Т5К10 до марки Т30К4 зносостійкість підвищується, а межа міцності – зменшується за рахунок підвищення вмісту

карбіду титану та скорочення кобальту. Тому марка T15K6 оптимально поєднує в собі зносостійкість та міцність. Сплави групи ТК мають більшу зносостійкість, теплостійкість та твердість, ніж групи ВК (однокарбідні вольфрамові тверді сплави), але вони менш міцні. Крім того, вольфрамові сталі володіють підвищеною адгезією при обробці сталі, що обумовлює швидку появи лунки на передній поверхні. Сплави ТК більш зносостійкі, ніж ВК, тому цього недоліку не мають, оскільки на поверхні сплаву утворюється щільна оксидна плівка, яка знижує коефіцієнт тертя між парою металів, що труться, та міцність приварених частинок металу до інструменту. Крім того, застосування твердих сплавів дозволяє отримати більшу економію коштів, а також забезпечує значне підвищення темпів виробництва [20; 21].

В якості інструментального матеріалу для здійснення традиційної обробки свердлінням, зенкеруванням та розгортанням була обрана сталь Р6М5. Сталь Р6М5 (вольфрамомолібденова) використовується для обробки конструкційних сталей, в тому числі й легованих, та відноситься до швидкорізальних сталей нормальної теплостійкості (620 °С), які не містять в хімічному складі кобальт. Хімічний склад та фізико-механічні властивості інструментального матеріалу Р6М5 вказані в таблиці 2.5 [20; 21; 34].

Таблиця 2.5 – Хімічний склад та фізико-механічні властивості швидкорізальної сталі Р6М5 [34]

Марка	Хімічний склад, %					Фізико-механічні властивості		
	Вуглець (C)	Вольфрам (W)	Хром (Cr)	Ванадій (V)	Молібден (Mo)	Межа міцності при згинанні σ_b , МПа	Твердість HRC	Теплостійкість, °С
Р6М5	0,8-0,9	6	3,3	2,2	3,3	3300	63-64	610-620

За хімічними властивостями сталь Р6М5 близька до сталі Р18, але значно дешевша та має схильність до знеуглецювання при нагріві. За рахунок збільшення вольфраму в швидкорізальних сталях (карбідоутворюючого, жароміцного, тугоплавкого елементу, який забезпечує підвищення теплостійкості до 600 °С та твердості) забезпечується збільшення швидкості різання до 60 м/хв та продуктивності в 3 рази у порівнянні з вуглецевими інструментальними сталями та підвищується теплостійкість в 2 рази у порівнянні з легованими інструментальними сталями, за рахунок чого підвищується ріжучі властивості сталі. За рахунок карбідів при підвищенні вуглецю в хімічному складі збільшується твердість, зносостійкість та теплостійкість інструментального матеріалу, але зменшується пластичність, в'язкість, міцність різальних кромки та підвищується крихкість, а також можливі при великій кількості карбідів збільшення карбідної неоднорідності та поява викришування ріжучих кромки. У зв'язку з цим в хімічний склад добавляють молібден – карбідоутворюючий елемент, який підвищує міцність та ударну в'язкість, зменшує карбідну неоднорідність (ліквацію) й ударне навантаження (тобто дозволяє працювати в умовах вібрацій) та за рахунок своєї більш низької вартості у порівнянні з вольфрамом забезпечує економічність та дешевизну інструментального матеріалу: 5% молібдену замінює 10% вольфраму. Тому швидкорізальну сталь Р6М5 рекомендують використовувати при виготовленні багатолезового інструменту, для якого характерні вібрації та ударне навантаження на зуб при обробці. Але при збільшенні молібдену підвищується чутливість ріжучої сталі до її знеуглецювання, що негативно відображається на твердості. Ванадій як сильно карбідоутворюючий елемент також забезпечує підвищення теплостійкості, твердості, а отже й зносостійкості, а також зменшує карбідну неоднорідність, тобто розподіляє карбіди по металу (оскільки в осередках карбідів утворюються тріщини, це обумовлює зниження стійкості, твердості, теплостійкості та підвищення крихкості, а також викришування ріжучих кромки та можливу поломку інструменту), що, в свою чергу, забезпечує збільшення міцності. Хром, крім того, що забезпечує зниження критичної швидкості охолодження при

гартуванні, також хром підвищує загартовуваність сталі, зменшує знеуглецювання поверхневого шару інструменту при нагріванні під загартування, сприяє деякому підвищенню теплостійкості інструментального матеріалу [20; 21].

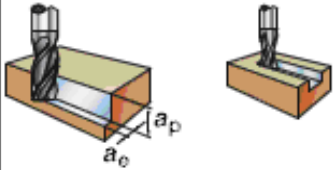
2.3 Розрахунок режимів різання й норм часу

Розрахунок режимів різання виконаний аналітичним методом для операції планетарного фрезерування отвору діаметром $D = 26$ інструментом – цільною кінцевою твердосплавною фрезою CoroMill Plura діаметром $d = 16$ мм. Ріжучий матеріал – GC 4220. Глибина фрезерування $t = 16$ мм. Ширина фрезерування $B = 3$ мм. Глибина фрезерування t при обробці отвору кінцевою фрезою визначає тривалість контакту зуба фрези з оброблюваною поверхнею; вимірюється в напрямку, перпендикулярному до осі фрези. Ширина фрезерування B визначає довжину леза зуба фрези, яке приймає участь в різанні; вимірюється в напрямку, паралельному осі фрези. Стійкість кінцевої фрези становить $T = 80$ хв. За каталогом Sandvik Coromant при чистовому фрезеруванні сталей незагартованих низьколегованих заготовок довідкова швидкість різання складає $V = 250$ м/хв (рисунок 2.9) [28; 35].

ISO P		GC4220	
Код MC	Код CMC	Обрабатываемый материал	Скорость резания, v_c , м/мин
		Сталь	
		Нелегированная	
P1.1.Z AN	01.1	C = 0.1–0.25%	490–405–330
P1.2.Z AN	01.2	C = 0.25–0.55%	440–360–295
P1.3.Z AN	01.3	C = 0.55–0.80%	415–340–280
P1.3.Z AN	01.4		365–300–245
P1.3.Z HT	01.5		270–220–180
		Низколегированная (легирующих эл. $\leq 5\%$)	
P2.1.Z AN	02.1	Незакаленная	345–285–230
P2.5.Z HT	02.2	Закаленная и отпущенная	225–185–150

Рисунок 2.9 – Рекомендована швидкість різання обробки фрезою CoroMill Plura [29]

За каталогом Sandvik Coromant при чистовому фрезеруванні сталейних заготовок фрезою діаметром 16 мм довідкова подача інструменту становить $S_z = 0,05$ мм/зуб (рисунок 2.10) [29].

GC1620 GC1630 H10F N20C		 $a_p \times a_e > D_c$	
D_c или D_{c2}		f_z	f_z
мм	дюйм	мм/зуб	дюйм/зуб
16	.630	0.055	.0022

D_c – діаметр фрези; a_p – ширина фрезерування; a_e – глибина фрезерування; f_z – подача на зуб

Рисунок 2.10 – Рекомендована подача на зуб для обробки фрезою CoroMill Plura [29]

При роботі з подачами для чистового фрезерування досягається шорсткість $R_a = 0,8-1,6$ мкм [35].

Частота обертання шпинделя n розраховується наступним чином [35]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (2.3)$$

де V – довідкова швидкість різання, м/хв;

d – діаметр фрези, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 250}{3,14 \cdot 16} = 4973,59 \text{ об/хв}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата та приймаємо дійсну частоту обертання $n_d = 5000$ об/хв. Максимальна частота

обертання шпинделя Haas DT-1 (таблиця 1.3) складає 10000 об/хв. Тоді дійсна швидкість різання V_d визначається за формулою [35]:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n_d}{1000} \quad (2.4)$$

де d , мм – діаметр формулу (2.3);

n_d – дійсна частота обертання шпинделя верстата, об/хв.

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 5000}{1000} = 251,2 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу S_{xb} [35]:

$$S_{xb} = S_z \cdot z \cdot n_d \quad (2.5)$$

де S_z – довідкова подача на зуб фрези, мм/зуб;

z – кількість зубів фрези;

n_d , об/хв – діаметр формулу (2.4).

$$S_{xb} = 0,05 \cdot 4 \cdot 5000 = 1000 \text{ мм/хв}$$

Сила різання або окружна сила різання при фрезеруванні P_z кінцевою твердосплавною фрезою визначається наступним чином [45]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{d^q \cdot n_d^w} \cdot K_{MP} \quad (2.6)$$

де C_p – коефіцієнт в формулі сили різання при фрезеруванні;

t – глибина різання, мм;

S_z , мм/зуб – діаметр формулу (2.5);

B – ширина фрезерування, мм;

z – дивись формулу (2.5);

d , мм – дивись формулу (2.3);

n_d , об/хв – дивись формулу (2.4);

K_{MP} – поправочний коефіцієнт для сталі, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силу різання [35]:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (2.7)$$

де n – показник ступеня;

σ_B – межа міцності оброблюваного матеріалу при розтягу (таблиця 1.2), МПа.

При фрезеруванні конструкційної вуглецевої та легованої сталі з $\sigma_B > 600$ МПа $n = 0,75$ [35].

$$K_{MP} = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,75} = 0,856$$

При фрезеруванні конструкційної вуглецевої сталі кінцевою фрезою з твердого сплаву $C_p = 12,5$, $x = 0,85$, $y = 0,75$, $u = 1,0$, $q = 0,73$, $w = -0,13$ [35].

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 16^{0,85} \cdot 0,05^{0,75} \cdot 3^{1,0} \cdot 4}{16^{0,73} \cdot 5000^{-0,13}} \cdot 0,856 = 573 \text{ Н}$$

Визначаємо крутний момент за формулою [35]:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot d}{2 \cdot 100} \quad (2.8)$$

де P_z , Н – дивись формулу (2.6);

d , мм – дивись формулу (2.3).

$$M_{кр} = \frac{573 \cdot 16}{2 \cdot 100} = 45,84 \text{ Нм}$$

Розрахований крутний момент становить 45,84 Нм, а максимальний крутний момент Haas DT-1 (таблиця 2.3) складає 62 Нм, тобто розрахована величина не перевищує довідкову, що дає можливість використовувати даний верстат з ЧПК.

Визначаємо потужність різання $N_{різ}$ [35]:

$$N_{різ} = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} \quad (2.9)$$

де P_z , Н – дивись формулу (2.6);

V_d , м/хв – дивись формулу (2.4).

$$N_{різ} = \frac{573 \cdot 251,2}{1020 \cdot 60} = 2,352 \text{ кВт}$$

Максимальна потужність шпинделя Haas DT-1 (таблиця 2.3) – 11,2 кВт, а розрахована – 2,352 кВт, що свідчить про достатність потужності шпинделя та дає змогу здійснювати обробку на даному верстаті за розрахованими режимами.

Основний (технологічний) час на планетарне фрезерування отвору T_o визначається за [36], виходячи з рисунку 2.11.

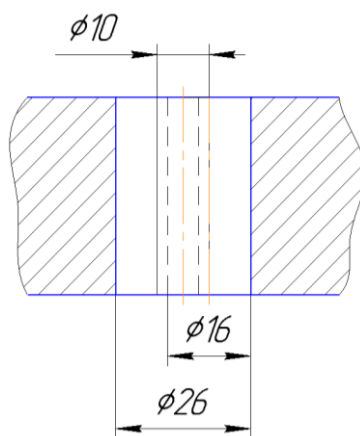


Рисунок 2.11 – Визначення діаметру еквідистанти (ексцентриситету)

Основний (технологічний) час на планетарне фрезерування отвору T_o (тобто частина штучного часу, що витрачається на зміну й подальше визначення стану предмету праці або час безпосереднього впливу інструменту на заготовку) визначається за формулою [36]:

$$T_o = \frac{\pi \cdot E}{S_{\text{хв}}} \cdot i \quad (2.10)$$

де E – діаметр еквідистанти, мм;

$S_{\text{хв}}$, мм/хв – дивись формулу (2.5);

i – кількість проходів (число витків при гвинтовій стратегії або число шарів при круговій інтерполяції):

$$i = \frac{L}{B} \quad (2.11)$$

де L – довжина отвору, мм;

B – ширина фрезерування, мм.

$$i = \frac{37}{3} = 12,3 = 13,$$

$$T_o = \frac{\pi \cdot 10}{1000} \cdot 13 = 0,4 \text{ хв}$$

Режими різання для традиційного способу обробки отвору діаметром 26 мм за допомогою свердління, зенкерування та розгортання також були розраховані аналітичним методом [35; 37], враховуючи, що ріжучим матеріалом є Р6М5, оброблюваний матеріал – сталь 40Х, при цьому здійснюється обробка на верстаті з ЧПК, а діаметри традиційних інструментів становлять наступні значення [38]: свердла – 24 мм, зенкера – 25,8 мм, розгортки – 26 мм. Результати розрахунків надані в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання для свердління, зенкерування, розгортання

Інструмент	Глибина різання t , мм	Подача S , мм/об	Стійкість інструменту T , хв	Дійсна частота обертання n_d , об/хв	Дійсна швидкість різання V_d , м/хв	Основний час T_{oi} , хв	Сумарний основний час ΣT_o , хв
Свердло Ø24	12	0,4	50	400	30,159	0,356	1,231
Зенкер Ø25,8	0,9	0,63	40	270	21,884	0,270	
Розгортка Ø26	0,1	0,84	80	120	9,802	0,605	

Було виконано нормування операції планетарного фрезерування отвору. Технічні норми часу в умовах серійного виробництва визначаються розрахунково-аналітичним методом.

Норма штучного часу (часу, що витрачається на виконання операції) визначається за наступною формулою [37]:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{дод} \quad (2.12)$$

де $T_{оп}$ – оперативний час (сума основного й допоміжного часу), хв [37]:

$$T_{оп} = \Sigma T_o + T_{доп} \quad (2.13)$$

де ΣT_o – сумарний основний технологічний час або основний машинний час, хв;

$T_{\text{доп}}$ – допоміжний час (частина штучного часу, що витрачається на виконання прийомів, необхідних для забезпечення безпосереднього впливу на заготовку), хв [37]:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{вст.зн.закр.}} + T_{\text{контр.}} + T_{\text{перех.}} \quad (2.14)$$

де $T_{\text{вст.зн.закр.}}$ – час на встановлення, закріплення та зняття деталі, хв;

$T_{\text{контр.}}$ – час на контроль деталі, хв;

$T_{\text{перех.}}$ – час, пов'язаний з переходами, хв.

$T_{\text{дод}}$ – додатковий час на операцію, хв [37]:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{орг.тех.обсл.}} + T_{\text{відп.}} \quad (2.15)$$

де $T_{\text{орг.тех.обсл.}}$ – час на організаційне та технічне обслуговування робочого місця (частина штучного часу, що витрачається виконавцем на підтримку засобів технологічного оснащення в працездатному стані та догляд за ними й робочим місцем), хв [37]:

$$T_{\text{орг.тех.обсл.}} = (3 - 8\%) \cdot T_{\text{оп}} \quad (2.16)$$

де $T_{\text{оп}}$, хв – дивись формулу (2.13).

$T_{\text{відп.}}$ – час перерви на відпочинок й особисті потреби (частина штучного часу, що витрачається людиною на особисті потреби й, при стомлюючих роботах, на додатковий відпочинок), хв [37]:

$$T_{\text{відп.}} = (4 - 9\%) \cdot T_{\text{оп}} \quad (2.17)$$

де $T_{\text{оп}}$, хв – дивись формулу (2.13).

Допоміжний час $T_{\text{доп}}$ розраховується, виходячи з того, що деталь встановлюється та закріплюється в спеціальному пристосуванні [37]:

$$T_{\text{доп}} = 0,5 + 0,08 + 0,1 = 0,68 \text{ хв},$$

$$T_{\text{оп}} = 0,4 + 0,68 = 1,08 \text{ хв},$$

$$T_{\text{шт}} = 1,08 + 0,11 = 1,19 \text{ хв}$$

Норма штучно-калькуляційного часу (час виконання певного обсягу робіт в конкретних виробничих умовах одним або декількома робітниками) визначається за формулою [37]:

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n} \quad (2.18)$$

де $T_{\text{шт}}$, хв – дивись формулу (2.12);

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заклучний час, що призначається на партію деталей (час на наладку верстата, інструменту та пристосувань; на отримання та здачу пристосувань; на додаткові прийоми, пов'язані із вмістом операції; на пробну обробку деталей), хв;

n – обсяг партії деталей (кількість деталей, що запускаються у виробництво), шт.

Річна програма випуску деталі «Маточина» становить $N = 1000$ шт. Кількість деталей в партії n визначається за формулою [37]:

$$n = \frac{a \cdot N}{A} \quad (2.19)$$

де a – періодичність запуску партій деталей у виробництво (число днів, на яке необхідно забезпечити роботу ділянки; для п'ятиденного робочого тижня $a = 5-10$) [37];

N – річна програма випуску деталі, шт;

A – число робочих днів у році, дн.

$$n = \frac{7 \cdot 1000}{253} = 28 \text{ шт.},$$

$$T_{\text{шк}} = 1,19 + \frac{13}{28} = 1,28 \text{ хв}$$

Аналогічно було виконано нормування операції з ЧПК, на якій здійснюється свердління, зенкерування та розгортання, результати розрахунків надані в таблиці 2.7 [45].

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку норм часу для операції з ЧПК, на якій здійснюється свердління, зенкерування та розгортання

Операція	ΣT_o , хв	$T_{\text{доп}}$, хв	$T_{\text{оп}}$, хв	$T_{\text{шт}}$, хв	$T_{\text{шк}}$, хв
Свердління, зенкерування, розгортання	1,231	1,08	2,311	2,54	2,64

Таким чином, в якості досліджуваної деталі була обрана маточина колеса, що виконана зі сталі 40Х. Оскільки в конструкції деталі присутній ряд отворів, осі яких розташовані під кутом до базового торця деталі, й обробити їх в універсальних кондукторах немає можливості, то було розроблено спеціальне пристосування, яке дозволить встановити деталь так, щоб повернути вісі цих отворів у вертикальне положення. В дані роботі розглядається виготовлення отвору $\varnothing 26H8^{(+0,033)}$ шорсткістю $Ra = 1,6$ мкм, вісь якого розташована під кутом. Також встановлено, що сила затиску деталі повинна бути більше сили різання в 3-5 разів. Для виготовлення зазначеного отвору довжиною 37 мм була обрана твердосплавна кінцева фреза CoroMill Plura виробника Sandvik Coromant довжиною 124 мм та діаметром 16 мм та довжиною ріжучої частини 60 мм, що дає змогу обробити даний отвір. Отримана різниця діаметрів отвору та фрези дає змогу здійснити обробку за допомогою планетарного фрезерування за умови, що мінімальний діаметр інструменту є в 2 рази менше отвору, при цьому максимальний діаметр отвору становить не більше двох діаметрів інструменту. Як

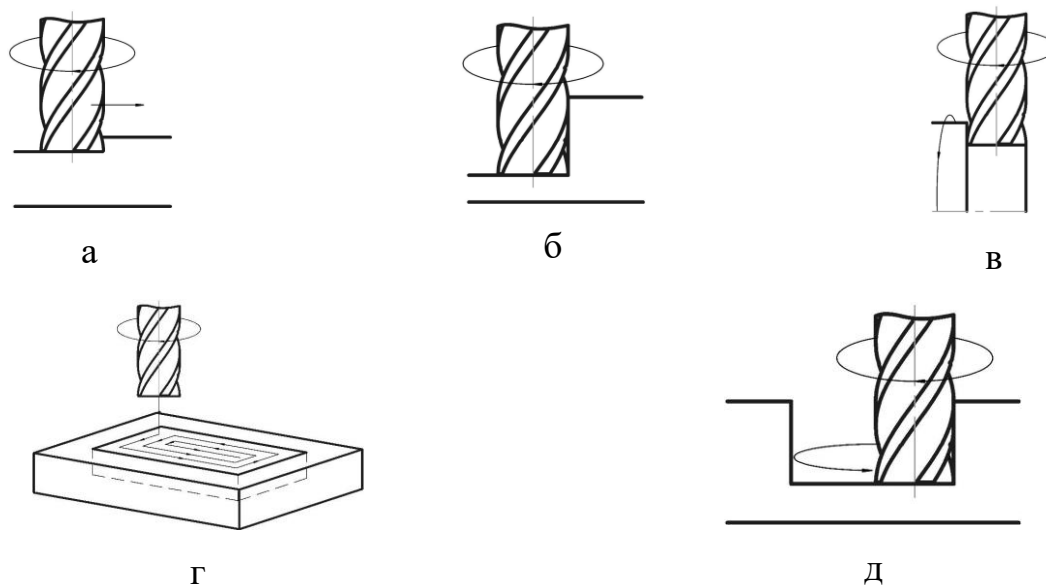
інструментальний матеріал для обробки сталі 40Х використовувався твердий сплав GC 4220 за маркуванням виробника Sandvik Coromant, який поєднує в собі оптимальну комбінацію зносостійкості й міцності. Запропоновано здійснювати обробку на компактному та високошвидкісному 3-хкоординатному вертикально-фрезерному обробному центрі з ЧПК Haas DT-1. Виходячи з того, що довжина столу становить 660 мм, ширина – 381 мм, максимальна величина робочих переміщень за віссю X становить 508 мм, Y – 406 мм, Z – 394 мм, то це свідчить про те, що робоча зона верстата дозволяє встановити пристосування з деталлю (висота 260 мм, довжина 350 мм, ширина 260 мм). Оскільки ширина Т-образних пазів складає 16 мм, а ширина пазів пристосування – 18 мм, це дозволяє закріпити пристосування на столі верстата болтом з гайкою. Тобто робоча зона верстата дозволяє встановити та закріпити деталь на ньому. Також аналітичним методом були розраховані режими різання для планетарного фрезерування отвору діаметром 26 мм фрезою 16 мм, при цьому глибина різання становить 16 мм, ширина фрезерування – 3 мм, подача на зуб – 0,05 мм/зуб, дійсна частота обертання шпинделя верстата – 5000 об/хв, дійсна швидкість різання – 251,2 м/хв. Встановлено, що у випадку чистового фрезерування досягається шорсткість $R_a = 0,8-1,6$ мкм. Визначені сила різання (окружна сила різання) при фрезеруванні, яка складає 573 Н, крутний момент – 45,84 Нм, потужність різання – 2,352 кВт, основний (технологічний) час на планетарне фрезерування отвору – 0,4 хв. Виходячи з того, що максимальна частота обертання шпинделя Haas DT-1 складає 10000 об/хв., максимальний крутний момент – 62 Нм, максимальна потужність шпинделя – 11,2 кВт, то можна зробити висновок, що даний верстат забезпечує виконання визначених режимів різання обробки отвору Ø26.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ ОТВОРІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

В умовах розвитку автоматизації машинобудування як базової галузі металообробки все більшою мірою ґрунтується на застосуванні високошвидкісних технологій різання на обладнанні з ЧПК. Завдяки впровадженню в машинобудівну промисловість верстатів з ЧПК і багатоопераційних верстатів (оброблювальних центрів), які забезпечують управління одночасно не менше, ніж трьома координатами в процесі обробки, що, в свою чергу, дозволяє здійснити планетарне рух інструменту, з'явилася можливість виготовляти точні отвори методом планетарного фрезерування за один прохід (за один робочий цикл). Така технологія дозволяє виконувати обробку одним ріжучим інструментом за один установ з дотриманням принципу єдності баз та забезпечує максимальну концентрацію операцій (переходів) в межах однієї одиниці обладнання. Як результат, скорочується число операцій і переходів при виготовленні отворів, отже, й номенклатура ріжучого, допоміжного і контрольно-вимірювального інструментів та технологічного оснащення; зменшується кількість заповнених гнізд в інструментальному магазині; значно зменшується оперативний час, оскільки скорочується основний технологічний час, а також допоміжний час, пов'язаний з підведенням і відводом інструменту, час, що витрачається на його зміну і наладку, а, отже, підвищується як технологічна, так і циклова продуктивність. Крім того, скорочується машинний час завдяки високим швидкостям різання та подачі, що робить метод планетарної обробки більш ефективним в порівнянні з традиційними методами; здійснюється повна обробка за один прохід при значному зменшенні силового навантаження на ріжучий інструмент; мінімізується кількість використовуваного верстатного обладнання, отже, скорочується витрати електроенергії, зменшуються розміри виробничої площі й кількість обслуговуючого персоналу (основних і допоміжних робітників), підвищується надійність роботи технологічного обладнання;

мінімізуються трудомісткість та собівартість виготовлення отворів та деталей в цілому; скорочується технологічний маршрут обробки і виробничий цикл виготовлення виробу, підвищується продуктивність, ефективність та економічна складова обробки. З урахуванням того, що за один установ виконується обробка одним інструментом, підвищується точність виготовлення отвору (співвісність і точність розташування оброблюваних поверхонь), а також отримуються геометричні параметри внутрішніх поверхонь отвору на рівні традиційних методів обробки (розточування, розгортання). Також клас точності поверхні отвору можна отримати одним інструментом, вводячи відповідний коректор в програму верстата. Крім того, за допомогою виконання переривчастого різання методом планетарного фрезерування забезпечуються не тільки продуктивність та точність обробки, а й енергоємність даного методу. Отже, на сьогоднішній день планетарне фрезерування отворів корпусних деталей на верстатах з ЧПК становить досить серйозну конкуренцію обробці мірним і розточувальним інструментом. Тому метод планетарного фрезерування отворів, за допомогою якого реалізується швидкісна обробка внутрішніх поверхонь в корпусних деталях, на сьогоднішній день є досить перспективним та прогресивним напрямком в сучасному машинобудівному виробництві, який забезпечує розширення технологічних можливостей процесу різання [1; 3; 5; 36; 39; 40; 41; 42].

Слід зазначити, що вагомою перевагою планетарного фрезерування точних отворів є і те, що їх можливо виготовляти багатофункціональним та універсальним ріжучим інструментом – кінцевою твердосплавною фрезою, яка дозволяє здійснювати обробку в широкому діапазоні: виготовляти отвори різного діаметру (в певному діапазоні діаметрів), форми (профілю) й різного призначення, а також обробляти внутрішні та зовнішні поверхні, як показано на рисунку 3.1 [1; 39; 43].



а – фрезерування плоских поверхонь; б – фрезерування уступів; в – фрезерування поверхонь обертання; г – фрезерування кишень (островів); д – планетарне фрезерування отворів

Рисунок 3.1 – Стратегії обробки отворів кінцевими фрезами [1; 26]

Саме завдяки тому, що траєкторія руху фрези задається програмою, це дозволяє отримати отвори різної форми та розмірів. Так, за допомогою планетарного фрезерування з круговою та гвинтовою інтерполяцією можна здійснити обробку прямокутних вибірок (прямокутних карманів), як показано на рисунку 3.2 [1; 30].



а – кругова інтерполяція; б – гвинтова інтерполяція

Рисунок 3.2 – Обробка прямокутних карманів планетарним фрезеруванням з різними стратегіями [30]

Крім того, циліндричною поверхнею (периферією) фрези виконується обробка не тільки циліндричних поверхонь отворів, але і уступів, кишень, виїмок, контурних поверхонь, а торцевою її частиною реалізується обробка пазів шпонок, канавок, плоских (в тому числі і фасонних) поверхонь і доопрацювання кутів сполучення. Перераховані особливості свідчать про те, що використання універсальної кінцевий твердосплавних фрези є вигідною альтернативою за собівартістю обробки по відношенню до вузькопрофільного традиційного і комбінованого різального інструменту. Крім того, скорочуються складські запаси інструменті завдяки використанню одного ріжучого інструменту як для обробки зовнішніх, так і для внутрішніх поверхонь різної форми та розмірів. Таким чином, кінцева твердосплавна фреза виступає в якості енергозберігаючого різального інструменту, що ефективно дозволяє виконувати обробку, відповідає вимогам по точності її виготовлення, надійності, міцності та продуктивності. За допомогою її багатофункціональності забезпечується не тільки висока продуктивність, а й технологічна гнучкість, оскільки при використанні одного ріжучого інструменту забезпечується обробка досить розширеної номенклатури й числа оброблюваних поверхонь. До того ж фреза – це багатолезовий інструмент, що вимагає менше переточок. Крім того, затрати часу при фрезеруванні мінімізуються і завдяки відсутності холостого ходу, оскільки два-три зуба фрези завжди знаходяться в роботі й в результаті обробка ведеться безперервно [1; 39; 43].

Під час планетарної обробки отвору фреза рівномірно зношується завдяки розподіленому навантаженню на ріжучу кромку внаслідок планетарного руху інструменту – це забезпечує більшу стійкість інструменту та зменшує імовірність його поломки. Таким чином, забезпечується більший термін служби інструменту та покращення перебігу процесу оброблення отвору. Стійкість інструменту обумовлена також і тим, що розмір отвору більше розміру фрези, що створює сприятливі температурні умови в зоні різання. Тобто за рахунок наявності повітряного зазору забезпечується охолодження процесу обробки – це означає, що охолоджуюча рідина не потрібна. Крім того, завдяки різниці діаметрів отвору та інструменту поліпшується відведення стружки, усувається поява несприятливих

умов щодо видалення стружки з зони різання, а отже і виключається заклинювання інструменту та його поломка внаслідок цього. До того ж це дозволяє слідкувати за процесом різання та керувати ним. Підвищення терміну служби фрези, збільшення продуктивності та підвищення безпеки процесу також досягається за рахунок того, що осьова сила складає лише десять відсотків того, що необхідно для звичайного свердління. У разі можливої в крайніх випадках поломки фрези евакуація інструменту з оброблюваного отвору не складе труднощів, здійснюється легко та не потребує додаткових маніпуляцій для його виймання, на відміну від свердла, розгортки та зенкеру, які в разі поломки залишаються в отворі. Переривчасте різання, яке характерне для планетарної обробки, забезпечує стружколамання та запобігає скупченню стружки в важкодоступних місцях. Також завдяки отриманню короткої та дрібної стружки, що легко видаляється з отвору, скорочується допоміжний час, який пов'язаний з видаленням стружки. До того ж переривчасте різання дозволяє інструменту більш стабільно працювати на високих обертах та збільшити стійкість інструменту за рахунок охолодження ріжучих кромek. Перелічені фактори мають значний вплив особливо при обробці глухих отворів. Слід також зазначити, що інструмент добре працює без ЗОР або при охолодженні струменем стисненого повітря, що значно зменшує витрати на оснащення верстата гідравлічною системою подачі ЗОР. Крім того, завдяки максимально можливому значенню кута початкової точки радіуса врізання фрези в матеріал заготовки забезпечується плавність процесу врізання та зменшення при цьому ймовірності виникнення удару, вібрацій, миттєвого навантаження на привід обробного центру в процесі чистової обробки внаслідок різкого зниження сили різання. Так слід зазначити, що планетарне фрезерування дозволяє виготовляти отвори без попереднього використання операції свердління, що є важливою перевагою даного методу, оскільки не тільки скорочується число ріжучого інструменту, а й відсутнє відведення свердла на першій операції, в наслідок якого може виникнути брак [1; 5; 26; 41; 44; 45].

Таким чином, виходячи з виконаного літературного огляду, при здійсненні аналізу існуючих методів планетарної обробки точних отворів, можна зробити

висновок, що одним із найбільш ефективних та прогресивних методів є планетарне фрезерування на верстатах з ЧПК, оскільки зазначений метод задовольняє всі вимоги для здійснення чистової обробки отвору, що встановлені А.Ж. Касеновим [12]:

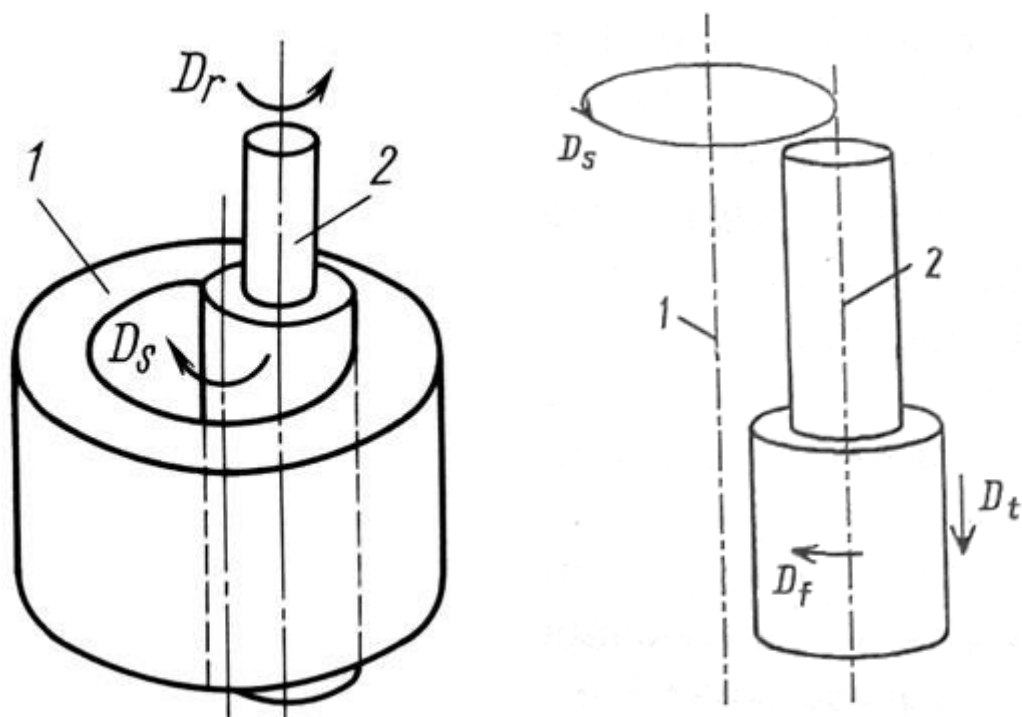
- стійкість (стабільність) процесу;
- отримання отвору з заданими технічними параметрами, зазначеними в кресленні виробу;
- максимальна продуктивність при найменшій собівартості.

Автор зазначає, що реалізація цих вимог залежить від технологічних можливостей інструменту, його конструкції, геометричних параметрів ріжучого клина, матеріалу ріжучої частини, прийнятих режимів різання, моделі верстата, способу кріплення інструменту, жорсткості системи СПД (технологічної системи) [12].

Формоутворення при планетарній обробці отвору реалізується завдяки обертанню інструменту навколо своєї вісі зі швидкістю головного руху, планетарному руху інструменту по контуру оброблюваного отвору (по напрямній формованій поверхні) зі швидкістю, що дорівнює круговій подачі, та переміщенню в осьовому напрямку (по твірній формованій поверхні) зі швидкістю, що дорівнює осьовій подачі. Крім того, обробка може здійснюватися на всю глибину припуску без осьового переміщення [41; 46].

Слід зазначити, що процес планетарного фрезерування забезпечується за рахунок радіального зміщення інструменту на величину ексцентриситету для реалізації планетарної обробки. При цьому реалізується планетарний рух фрези з круговою (планетарною) подачею. Таким чином, інструмент, вісь якого паралельна вісі отвору, обертається навколо своєї осі й одночасно обертається навколо вісі отвору, і в той час отримує осьове переміщення (рисунок 3.3). Бувають випадки, коли при обробці отвору кругова подача забезпечується заготовкою. За один планетарний оберт осі ріжучого інструменту навколо осі отвору, що обробляється, фреза переміщується уздовж осі отвору з осьовою подачею на один виток (при гвинтовій стратегії) або на один шар (при круговій

інтерполяції чи переміщенні), при цьому число планетарних обертів дорівнює кількості витків (шарів). Такий планетарний рух інструменту реалізуються на верстатах з ЧПК, оскільки вони забезпечують управління одночасно не менше, ніж трьома координатами в процесі обробки [3; 45].

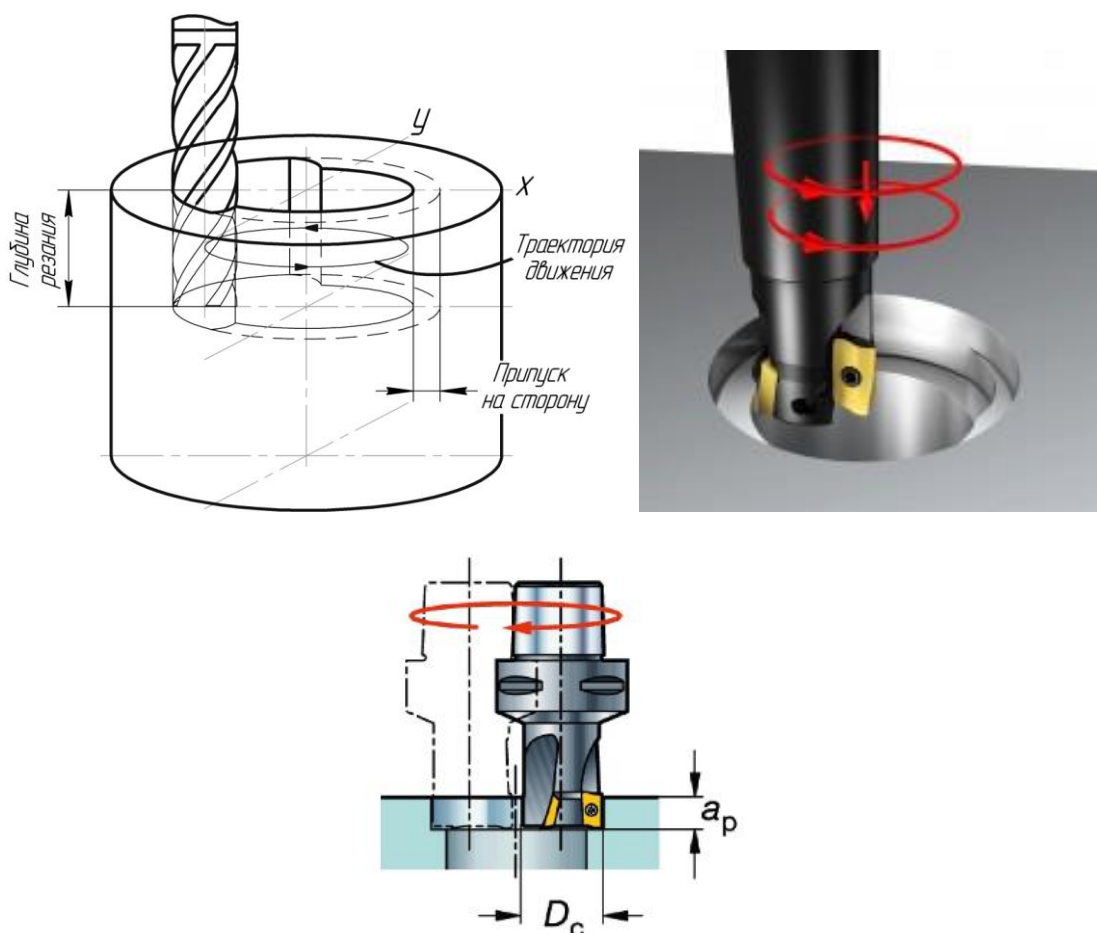


1 – заготовка; 2 – інструмент (кінцева фреза); D_r (D_f) – головний рух різання; D_s – планетарний рух інструменту по контуру оброблюваного отвору; D_t – рух в осьовому напрямку

Рисунок 3.3 – Схема планетарної обробки внутрішньої циліндричної поверхні отвору [3; 46]

Планетарне фрезерування отворів на верстатах (обробних центрах) з ЧПК реалізується двома основними стратегіями високоефективної обробки: методами кругової та гвинтовий інтерполяції. Стратегія обробки – це процес організації технології отримання деталі з найбільшою продуктивністю при заданій якості (точності) виробу. Кожна зі стратегій являє собою трьохосьову обробку, але перша полягає в русі інструменту по колу на заданій глибині, а друга – в зануренні інструменту в матеріал заготовки по спіральній траєкторії [1].

Стратегія з круговою інтерполяцією (рисунок 3.4) – це трьохосьова обробка, яка використовується з метою чистової обробки отвору в суцільному металі, а також для збільшення діаметрального розміру існуючого отвору, для чистової обробки, для вибірки кругових кишень, для отримання фаски або для формування дна глухих отворів та коли необхідно отримати більший діаметр отвору замість застосування операції чистового розточування тощо. У випадку, коли даний метод використовується не для виготовлення отвору в суцільному матеріалі, то принцип роботи зазначеної стратегії полягає в тому, що фреза збільшує діаметр вже існуючого отвору при русі по круговій траєкторії. В загальному випадку, фрезерування з круговою інтерполяцією полягає в русі інструменту по колу на заданій глибині (при постійній координаті z). Тобто кругова інтерполяція як окремий випадок гвинтової стратегії полягає в тому, що рух подачі фрези відбувається в результаті переміщення лише по двом осям, а траєкторія інструменту стає планетарною по відношенню до діаметру отвору. Крім того, попутне фрезерування більш кращий метод для стратегії з круговою інтерполяцією, при якому обертання шпинделя здійснюється проти годинникової стрілки. Однією з головних особливостей даної стратегії є висока продуктивність за рахунок збільшення глибини обробки, але збільшення глибини обробки призводить до зростання сили різання, що виникає в процесі обробки, яка, в свою чергу, веде до збільшення похибки. Крім того, при круговому фрезеруванні реалізується постійне врізання інструменту в матеріал заготовки по принципу «старт-стоп» (тобто спостерігається вхід і вихід інструменту для кожного проходу), що обумовлює виникнення значних навантажень на інструмент, а отже і меншу точність, та забезпечує більшу кількість холостих ходів, ніж при гвинтовій інтерполяції. Також дана технологія потребує високої жорсткості обладнання, а для кращого видалення стружки – реалізацію кругового фрезерування на верстатах з горизонтальним розташуванням шпинделя (стружка сама видаляється під силою тяжіння при горизонтальному розташуванні фрези) з використанням подачі стисненого повітря або ЗОР під високим тиском через інструмент [1; 27; 30; 47].

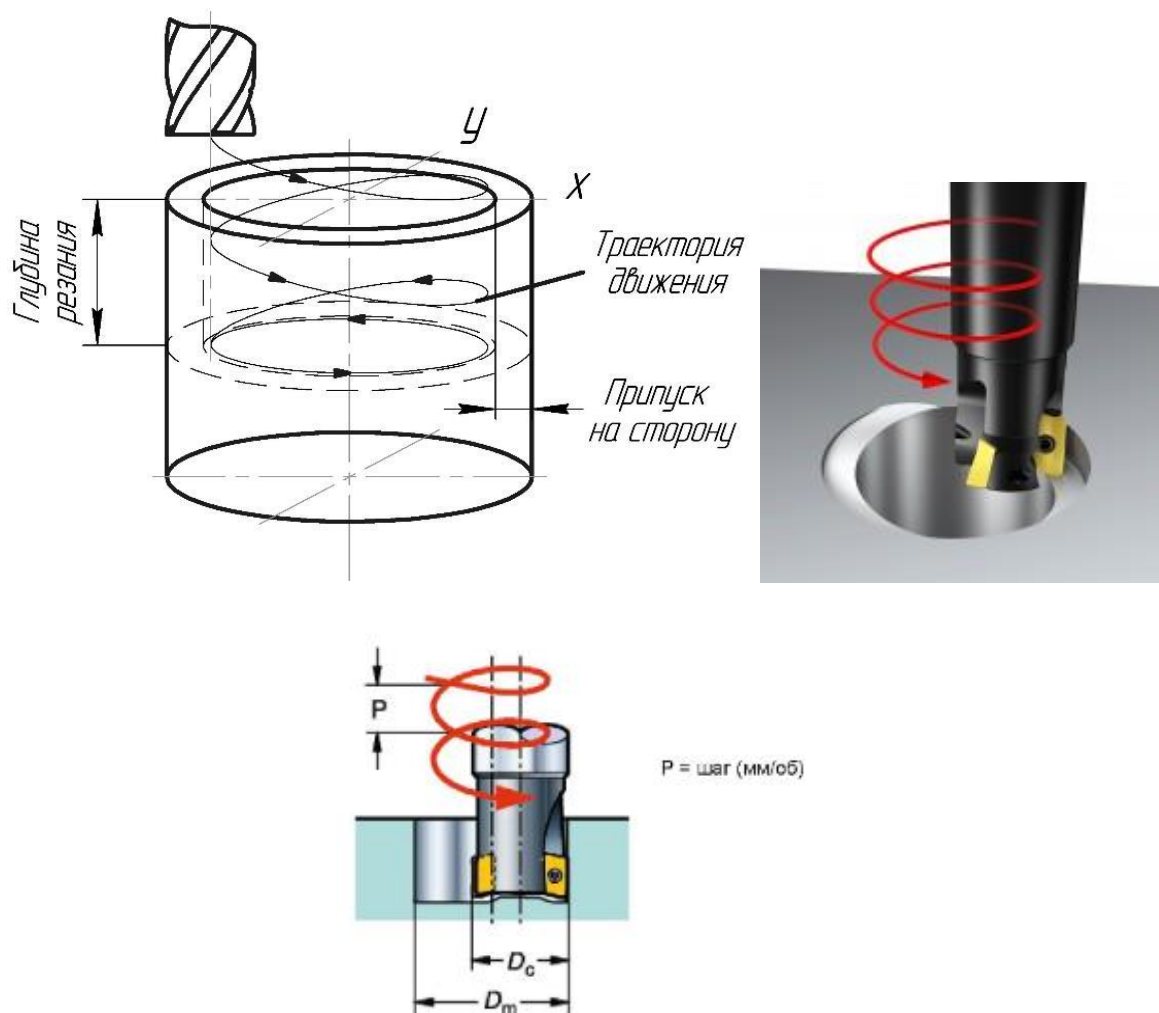


$D_c = d$ – діаметр інструменту; $a_p = B$ – ширина фрезерування

Рисунок 3.4 – Метод кругової інтерполяції [1; 30]

Стратегія з гвинтовою чи спіральною інтерполяцією – це трьохосьова обробка, під час якої занурення інструменту в матеріал заготовки (тобто рух фрези) виконується по спіральній траєкторії, як показано на рисунку 3.5. Метод фрезерування по гвинтовій лінії відноситься до високошвидкісної обробки та полягає в тому, що формування отвору відбувається за рахунок поєднання осьового переміщення інструменту зі спіральним рухом його осі. Рух подачі фрези, що обертається, по спіралі забезпечується одночасними рухами уздовж трьох координатних осей, що в результаті призводять до гвинтової траєкторії інструменту. Тобто при спіральному фрезеруванні траєкторія руху ріжучих кромок фрези має гвинтову форму і є безперервною, а не покроковою (за принципом «старт-стоп»), як при круговому фрезеруванні. Застосовується

фрезерування з гвинтовою інтерполяцією для чистової обробки отвору в суцільному металі, а також для чистової обробки як вже існуючих отворів, так і для їх виправлення (ремонт). Основною перевагою даної стратегії є можливість виготовлення більш точних отворів в порівнянні з круговою стратегією [1; 31; 47; 48; 49].



$D_c = d$ – діаметр інструменту; $D_m = D$ – діаметр отвору; P – крок спіралі

Рисунок 3.5 – Метод спіральної інтерполяції [1; 30]

Метод фрезерування з гвинтовою інтерполяцією є доброю альтернативою свердлінню при обробці деталей складної форми (корпусних деталей), оскільки є більш універсальним та дозволяє виконувати обробку отворів різного діаметру,

глухих отворів з плоским дном, ступінчастих отворів, а також може замінити операцію розточування та дозволяє реалізовувати обробку отворів в нежорстких тонкостінних деталях, тобто дана технологія характеризується високою гнучкістю застосування. Даний метод складає серйозну конкуренцію операції свердління, в тому числі, з подальшим розточуванням, в умовах серійного виробництва, на обробних центрах або при обробці отворів значного діаметру. Все вище перелічене веде до зменшення номенклатури інструменту, що використовується, й скорочення загального часу обробки деталі. Універсальність методу в застосуванні проявляється в тому, він дозволяє отримати отвори різного призначення з різними характеристиками. Завдяки зменшенню номенклатури ріжучого й допоміжного інструменту, скорочення загального часу обробки забезпечується збільшення продуктивності технологічного процесу та зниження собівартості виготовлення деталей. Крім того, при гвинтовій траєкторії забезпечується м'яке врізання фрези в матеріал, плавність ходу за спіральною траєкторією та рівномірне, на відміну від кругового фрезерування, радіальне навантаження на інструмент, що мінімізує виникнення вібрацій, а отже дозволяє підвищити продуктивність обробки. При цьому на фрезу діє постійне навантаження за рахунок постійної величини кроку спіралі. Крім того, при гвинтовій інтерполяції найбільша радіальна сила спостерігається в момент врізання, а потім вона стає постійно, тоді як при круговій інтерполяції фреза, переходячи на кожен наступний шар, постійно врізається в матеріал заготовки. Такий вид обробки дозволяє виконувати попутне фрезерування і гарантує кращу евакуацію стружки (особливо при попутному фрезеруванні), до того ж не виникає проблеми видалення стружки з-під центру фрези. Також фрезерування з гвинтовою стратегією дозволяє обробляти отвори великих діаметрів на верстатах з обмеженою потужністю. Крім того, цей спосіб рекомендується використовувати на верстатах з недостатньою жорсткістю шпинделя та у випадку значного вильоту інструменту, оскільки зусилля різання спрямовані вздовж шпинделя та за рахунок меншого навантаження на інструмент. Гвинтове фрезерування дозволяє отримати оптимальні значення круглості й співвісності отвору, особливо при великому

вильоті інструменту та нежорсткій системі, тобто при таких умовах гвинтове фрезерування може бути єдиним рішенням. Також круглість отвору як при застосуванні даної технології, так і при круговій інтерполяції можливо покращити за допомогою реалізації стратегії, коли буде обертатися не інструмент, а заготовка, що оброблюється. Крім того, гвинтове фрезерування підходить для використання на верстатах будь-якого типу та з будь-яким розташуванням шпинделя. Також слід зазначити, що при гвинтовій стратегії за рахунок того, що процес різання відбувається безперервно (тобто фреза перебуває в постійному контакті з заготовкою), стружка не накоплюється на одному рівні, як при круговому фрезеруванні, за рахунок чого відбувається безперервне видалення стружки по стружечним канавкам інструмента та, як результат, забезпечуються кращі умови видалення стружки. Крім того, гвинтове фрезерування не вимагає застосування ЗОР, що дозволяє його використовувати для верстатів відкритого типу [1; 27; 30; 31; 47; 48].

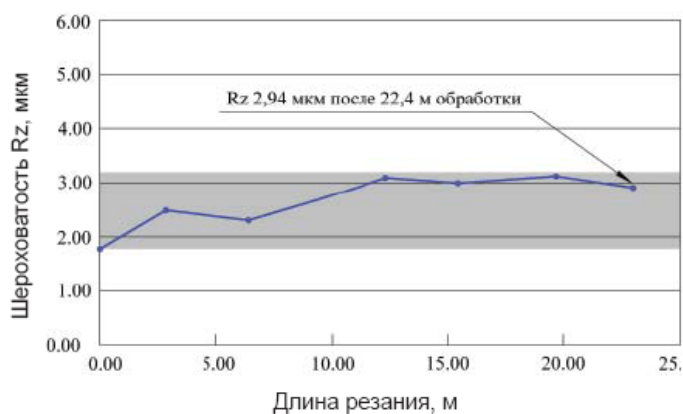
Крок гвинтової інтерполяції визначається, виходячи з діаметра траєкторії руху інструменту. Рекомендовані значення глибини інтерполяції представлені на рисунку 3.6, де діаметр траєкторії інструмента – це діаметр його еквідистанти [31].

Діаметр траєкторії інструмента, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Глибина спіральної інтерполяції, мм	2,6	5	6,4	7,4	8,2	8,8	9,4	9,8	10,2	10,6	11	11,3	11,5	11,8	12

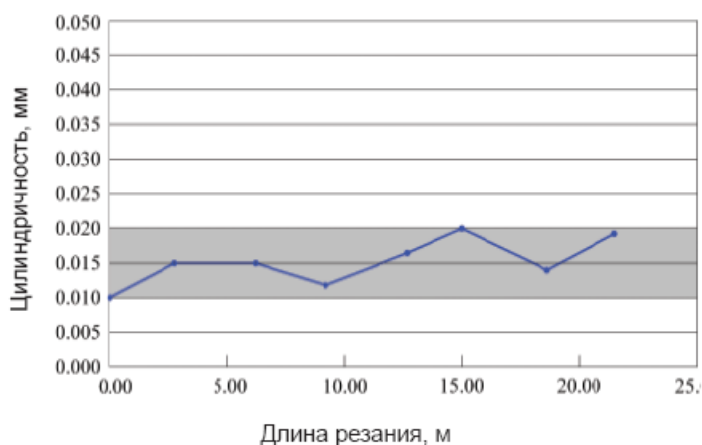
Рисунок 3.6 – залежність кроку гвинтової інтерполяції від діаметру траєкторії руху інструмента [31]

Комплексною характеристикою інструменту, що застосовується при обробці на верстатах з ЧПК, є його розмірна стійкість, що забезпечує повний цикл обробки однієї або декількох деталей в межах встановленого поля допуску. Порівняльні випробування фрез, що працюють за методом гвинтової інтерполяції, показали, що шорсткість (рисунок 3.7, а) і геометрія (рисунок 3.7, б) одержуваної

поверхні при досить жорсткій системі СПІД залишаються незмінними на протязі тривалого часу [26].



а



б

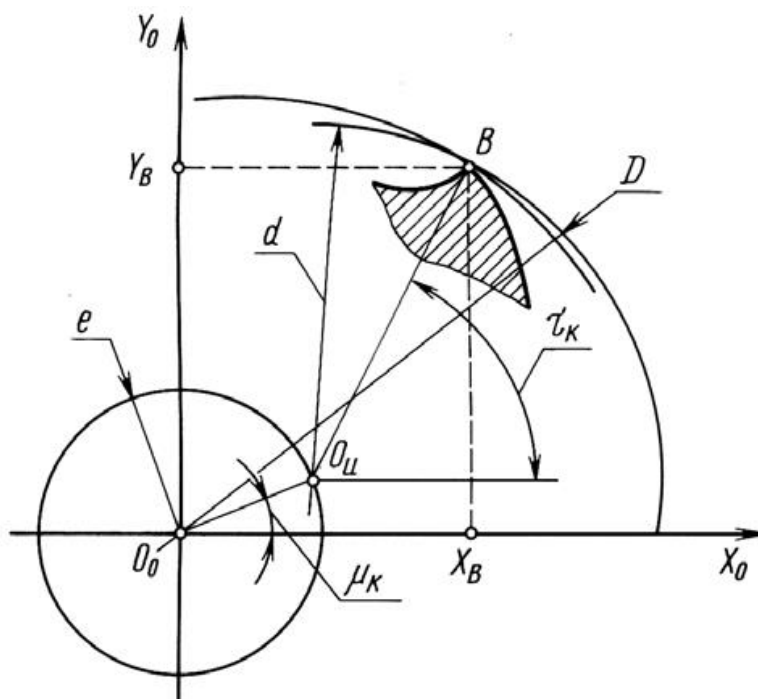
а – шорсткість поверхні, отриманої на протязі 22,4 м обробки; б – точність виготовлення отворів на протязі 22,4 м обробки

Рисунок 3.7 – Незмінність шорсткості та точності оброблюваних отворів при застосуванні гвинтової стратегії [31]

Використання методу планетарного фрезерування, виходячи з вищевказаного, дійсно є досить перспективним, оскільки для нього не характерні такі похибки, як для традиційного інструменту. Але і даний планетарний метод обумовлює наявність на обробленій поверхні отвору деяких нерівностей.

3.1 Опис траєкторії планетарного руху зубців фрези

При планетарній обробці отвору вісь інструменту розташована на відстані ексцентриситету від осі отвору, в результаті чого інструмент рухається з круговою подачею по еквідистанті (лінії, яка описує траєкторію руху центру фрези). Схема обробки циліндричного отвору методом планетарного фрезерування надана на рисунку 3.8 [36].



O_0 – центр отвору; O_i – центр інструмента; X_B , Y_B – координати вершини зуба фрези в точці B; e – ексцентриситет; d – діаметр інструмента; D – діаметр отвору; μ_k – елементарний (поточний) кут повороту центру інструменту навколо вісі отвору; τ_k – кут повороту вершини зуба навколо вісі інструменту

Рисунок 3.8 – Схема обробки отвору методом планетарного фрезерування [36]

Схема обробки внутрішньої циліндричних поверхні планетарним фрезеруванням описується наступними параметрами (рисунок 3.8): $d = 2r$ – діаметр інструмента, мм; $D = 2R$ – діаметр циліндричної поверхні отвору, що обробляється, мм; S_z – подача на зуб (кругова подача, з якою здійснюється планетарний рух інструменту),

мм/зуб; z – число зубів інструменту; μ_k – елементарний (поточний) кут повороту центру інструменту навколо вісі отвору, рад.; ξ – кут повороту центру інструменту відносно центру виробу за один оберт інструменту навколо своєї вісі, рад.; τ_k – кут повороту вершини зуба навколо вісі інструменту, рад.; e – ексцентриситет, мм [36; 50].

Кут повороту центру інструменту відносно центру виробу за один оберт інструменту навколо своєї вісі ξ , рад., визначається за формулою [36]:

$$\xi = \frac{2S_z z}{D} \quad (3.1)$$

де S_z – кругова подача на зуб, мм/зуб;

z – число зубів інструменту;

D – діаметр отвору, мм.

В свою чергу, кут повороту вершини зуба навколо вісі інструменту τ_k , рад., визначається наступним чином [36]:

$$\tau_k = \frac{2\pi\mu_k}{\xi} = \frac{\pi D\mu_k}{S_z z} \quad (3.2)$$

де μ_k – елементарний (поточний) кут повороту центру інструменту навколо вісі отвору, рад.;

ξ , рад. – дивись формулу (3.1);

D , мм – дивись формулу (3.1);

S_z , мм/зуб – дивись формулу (3.1);

z – дивись формулу (3.1).

Ексцентриситет e , мм, визначається за наступною формулою [36]:

$$e = \frac{D - d}{2} \quad (3.3)$$

де D , мм – дивись формулу (3.1);

d – діаметр інструмента, мм.

Потрібно відзначити, що отвір обробляється за один прохід інструменту на всю довжину оброблюваної поверхні отвору. Схема для розрахунку координат точки В у вершині зуба інструмента відповідає схемі обробки на рисунку 3.7, де $X_0Y_0Z_0$ – система координат отвору [36].

Рух інструменту (рисунок 3.8) проілюстровано рухом вершини зуба в точці В, який описується координатами (X_B, Y_B) в системі координат X_0Y_0 з центром в точці O_0 . Вісь інструменту (точка O_i) здійснює планетарний рух щодо точки O_0 з ексцентриситетом e [50]. Тут слід зазначити наступне. Вісь фрези знаходиться на відстані ексцентриситету від вісі отвору та одночасно здійснює обертання навколо своєї осі й планетарний рух. Тому, якщо розглядати рух одного зуба інструмента, то за один повний оберт цього зуба (тобто за один поворот центру інструменту навколо вісі отвору на кут μ_k) фреза зі швидкістю головного руху буде переміщуватись за прямолінійною траєкторією. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що для того, щоб зуб фрези рухався та здійснював обробку не за прямолінійною, а за криволінійною траєкторією (за еквідистантою з радіусом, який дорівнює ексцентриситету e) з круговою подачею, то для здійснення планетарного переміщення зуб необхідно довернути навколо вісі інструменту на кут τ_k , щоб вершина зуба опинилася в точці В. Таким чином, за рахунок того, що при планетарній обробці отвору фреза виконує два рухи, вона не приходить в одну й ту ж точку за рахунок кругової подачі та кута τ_k .

Траєкторія руху вершини зуба (точка В, рисунок 3.8) інструменту при планетарному фрезеруванні отвору описується системою рівнянь [36]:

$$\begin{cases} X_B = e \cos \mu_k + r \cos \tau_k, \\ Y_B = e \sin \mu_k + r \sin \tau_k \end{cases} \quad (3.4)$$

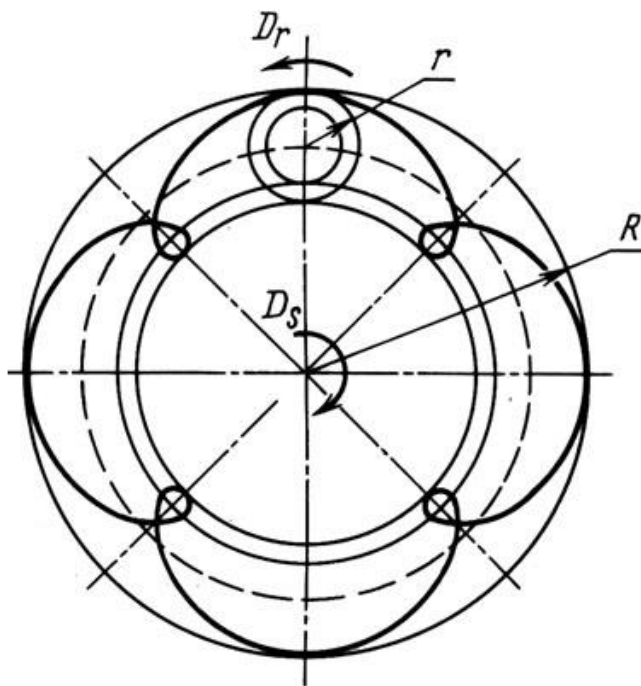
де e , мм – дивись формулу (3.3);

μ_k , рад. – дивись формулу (3.2);

r – радіус інструмента, мм;

τ_k , рад. – дивись формулу (3.2).

Крім того, при планетарній обробці отвору вершина зуба фрези описує подовжену епіциклоїду, що зображена на рисунку 3.9 [36].



D_r – головний рух різання; D_s – планетарний рух інструменту; r – радіус інструмента; R – радіус отвору

Рисунок 3.9 – Подовжена епіциклоїда [36]

Епіциклоїда – це плоска крива, траєкторія точки кола, яка котиться по іншому, але вже нерухомому, колі та має з ним зовнішній дотик. Іншими словами, якщо круг (в даному випадку фреза), з колом якого пов'язана точка В (вершина зуба фрези), котиться, обертаючись навколо своєї вісі, не по прямій, а по деякому нерухомому колу (еквідистанті, радіус якої дорівнює ексцентриситету), при цьому круг, що котиться, розташований поза нерухомого кола, то утворюється епіциклоїда.

На рисунку 3.9 наведена траєкторія руху вершини зуба фрези у вигляді подовженої епіциклоїди для визначених параметрів обробки ($D = 30$ мм, $d = 20$ мм, $S_z = 10$ мм/зуб, $e = 5$ мм), розрахована відповідно до системи рівнянь (3.4); суцільною лінією показана траєкторія зуба фрези при $z = 1$, штриховою – рух другого зуба при $z = 2$ [1].

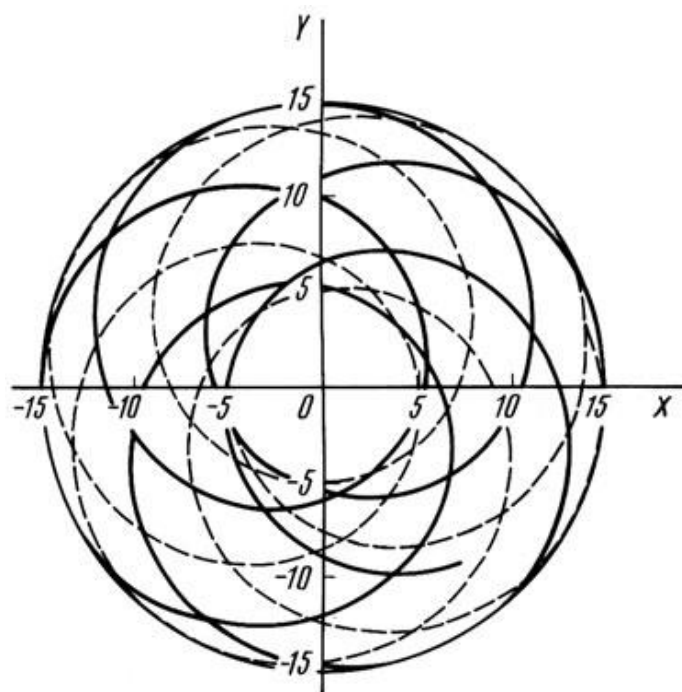
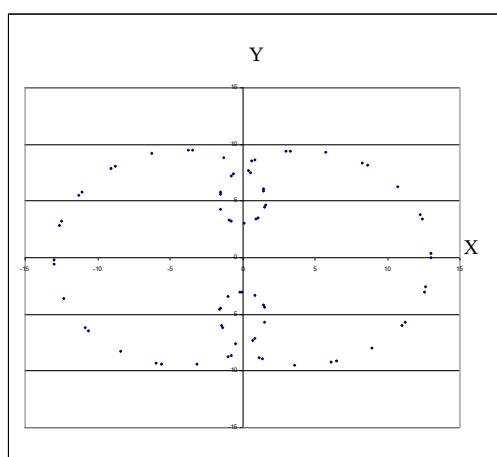


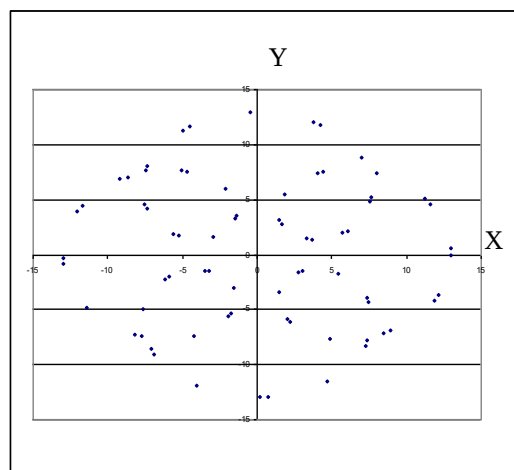
Рисунок 3.9 – Траєкторія руху зубів фрези при планетарному русі [36]

За системою рівнянь (3.4), які описують траєкторію руху вершини зуба інструменту при планетарному фрезеруванні отвору, за допомогою програми MS Excel були визначені координати вершини зуба фрези (X_B , Y_B) та побудовані відповідні графіки, тобто був змодельований процес фрезерування отвору. Перший графік (рисунок 3.10, а) був виконаний, виходячи з того, що кут τ_k змінювався в межах 0, 3, 6, 9, 12, ... 432 рад, кут μ_k – в межах 0, 1, 2, 3, 4 ... 144 рад. Тобто кут τ_k перевищував кут μ_k в 3 рази. При цьому ексцентриситет e дорівнював 5 мм, а радіус фрези – 8 мм. В результаті було отримано дві петлі. Другий графік (рисунок 3.10, б) був виконаний, виходячи з того, що кут τ_k змінювався в межах 0, 5, 10, 15, 20 ... 720 рад, кут μ_k – в межах 0, 1, 2, 3, 4 ... 144 рад. Тобто кут τ_k перевищував кут μ_k в 5 разів. При цьому

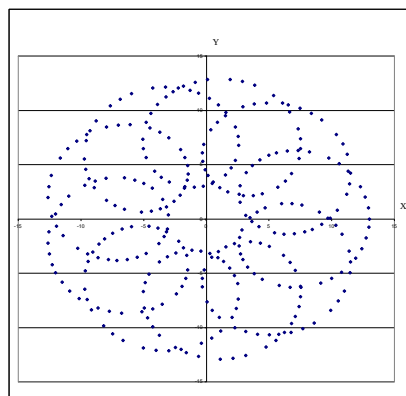
ексцентриситет e також дорівнював 5 мм, а радіус фрези – 8 мм. В результаті було отримано 4 петлі. Третій графік (рисунок 3.10, в) був виконаний, виходячи з того, що кут τ_k змінювався в межах 0, 5, 10, 15, 20 ... 1510 рад, кут μ_k – в межах 0, 0,5, 1, 1,5, 2 ... 151 рад. Тобто кут τ_k перевищував кут μ_k в 10 разів. При цьому ексцентриситет e також дорівнював 5 мм, а радіус фрези – 8 мм. В результаті було отримано 9 петель. Таким чином, траєкторія руху вершини зуба фрези змінювалась.



а



б



в

Рисунок 3.10 – Траєкторія руху зуба фрези при планетарному русі за умови: а – перевищення кута τ_k в 3 рази, ніж кут μ_k ; б – перевищення кута τ_k в 5 разів, ніж кут μ_k ; в – перевищення кута τ_k в 10 разів, ніж кут μ_k

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що зі збільшення кута τ_k у порівнянні з кутом μ_k кількість петель зростає, при цьому зі

збільшенням кута μ_k кількість петель, навпаки, зменшується. Якщо прирівнювати ці обидва кути, μ_k та τ_k , один до одного, то траєкторія руху фрези буде наближатися до кола (рисунок 3.10, а). Отже, кут μ_k відповідає планетарному руху (круговій подачі) фрези (D_s) або, іншими словами, відповідає за кількість обходів в одиницю часу, а кут τ_k – швидкості обертання інструменту навколо своєї вісі (D_r). Тому в результаті збільшення кругової подачі кут μ_k буде збільшуватися, забезпечуючи отримання меншої кількості петель, а при зменшенні швидкості обертання фрези навколо своєї вісі кут τ_k буде зменшуватися, що обумовить виникнення траєкторії руху фрези, наданої на рисунку 3.10, а. Іншими словами, епіциклоїда, що містить дві петлі, отримується, коли здійснюється швидка або більша кругова подача та повільна швидкість обертання фрези навколо своєї вісі. Загальновідомо, що при таких режимах точність обробки зменшується. В свою чергу, при зменшенні кругової подачі спостерігатиметься зменшення кута μ_k , тоді як при збільшенні частоти обертання фрези навколо своєї вісі обумовить збільшення величини кута τ_k . В результаті, швидкість обертання фрези навколо своєї вісі буде великою, а планетарний її рух (кругова подача) – низькою, що забезпечує більшу кількість петель в епіциклоїді, як показано на рисунках 3.10, б, в. При таких режимах різання оброблювана поверхня отримується досить точною та з низькою шорсткістю. Виходячи з проведених досліджень, постала важлива задача визначити, яка похибка форми з'являється в процесі планетарного руху фрези в оброблюваному отворі та які основні параметри фрезерування впливають на точність оброблюваних отворів у поперечному перерізі.

Схему обробки отвору методом планетарного фрезерування можна поділити на дві групи: обробка при обертанні інструментом за напрямком кругової подачі (попутне фрезерування) та обробка при обертанні інструмента проти напрямку кругової подачі (зустрічне фрезерування). Тобто попутне фрезерування полягає в тому, що напрямок обертання інструменту навколо своєї осі та напрямок планетарного обертання осі інструменту навколо осі отвору

співпадають. Встановлено, що при виконанні планетарного фрезерування отвору з попутною круговою подачею радіальне навантаження на інструмент P_y зменшується в середньому в 2,5 рази в порівнянні з обробкою при зустрічній круговій подачі, в результаті похибка (огранка) значно зменшується [41; 51].

Основною характеристикою планетарної обробки є величина відношення частоти обертання інструмента до частоти планетарного руху, яка визначає форму траєкторії переміщення точок ріжучих кромок інструмента [41]:

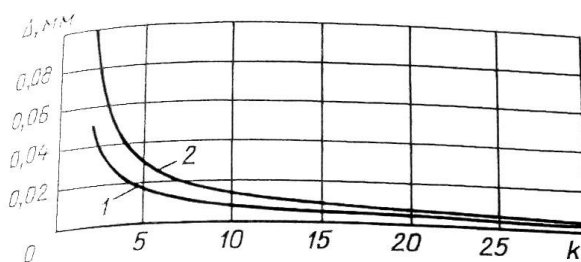
$$u = \frac{n_i}{n_{п.р.}} \quad (3.5)$$

де n_i – частота обертання інструмента, об/хв;

$n_{п.р.}$ – частота планетарного руху інструмента (характеризує, скільки планетарних обертів з круговою подачею було здійснено інструментом в одиницю часу), об/хв.

Як зазначалося вище, можливе обертання інструмента за напрямком кругової подачі (попутне фрезерування) та проти напрямку кругової подачі (зустрічне фрезерування). Для цих двох варіантів, коли u (формула (3.5)) є цілим числом, то траєкторія руху інструмента являє собою замкнену лінію. Це значить, що за u повних обертів інструмента здійснюється один планетарний оберт (оборот інструмента навколо вісі оброблюваного отвору), а точки ріжучої частини інструменту при подальшому планетарному русі будуть повторювати свою траєкторію переміщення на попередньому обороті (тобто залишатиметься необроблена ділянка по всій довжині отвору). Якщо ж відношення u являє собою дріб, який в нескоротимій формі має вигляд p/q ($q \neq 1$), то траєкторії руху в двох випадках також мають замкнутий вигляд та складаються з p петель. Таким чином, тільки через q планетарних обертів (p обертів інструмента навколо своєї вісі) точки почнуть повторювати свою траєкторію. Якщо u є ірраціональним числом, то траєкторії незамкнені та мають нескінченну множину петель. В цьому випадку точки ніколи не повторюють свою траєкторію [41].

На рисунку 3.11 надані залежності похибки Δ від величини u для обох випадків планетарної обробки.

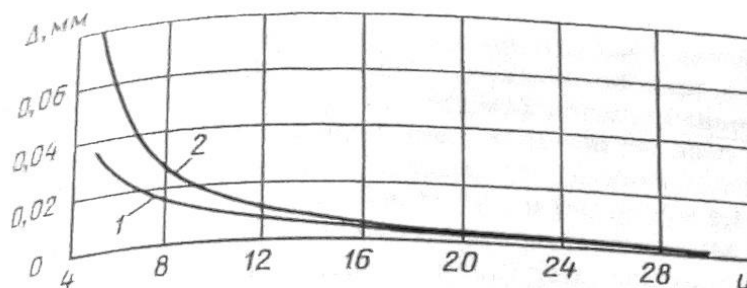


1 – обробка за напрямком кругової подачі (попутне фрезерування); 2 – обробка проти напрямку кругової подачі (зустрічне фрезерування)

Рисунок 3.11 – Залежності похибки Δ від величини u [41]

Величина огранки Δ істотно залежить від значення u (рисунок 3.11), причому при обробці у напрямку кругової подачі (лінія 1) похибка менше, ніж при обробці проти кругової подачі (лінія 2). Така залежність похибки Δ від величини u характерна для схеми обробки без осьової подачі, а також при u , коли воно є цілим числом, при обробці з осьовою подачею, тому при цих варіантах доцільно приймати великі значення u ($u > 8$). При дрібних значеннях u (та обробці з осьовою подачею) дана залежність буде відображати величину похибки на одному обороті, а загальна величина похибки буде менше (за рахунок зміщення траєкторії переміщення точок на наступних планетарних оборотах) і визначатися вона буде в кожному конкретному випадку в залежності від величини осьової подачі і параметрів інструменту. Тому при обробці з осьовою подачею для збільшення точності обробки значення u вибирають дробовим [41].

Крім того, величина похибки залежить від параметра форми $k = R_i/e$, який відображає відношення між радіусом інструменту й ексцентриситетом (при обробці отворів в суцільному матеріалі завжди $k > 1$). На рисунку 3.12 подані отримані залежності величини огранки від параметра k при постійному значенні u [41].



1 – обробка за напрямком кругової подачі (попутне фрезерування); 2 – обробка проти напрямку кругової подачі (зустрічне фрезерування)

Рисунок 3.12 – Залежності похибки Δ від величини u [41]

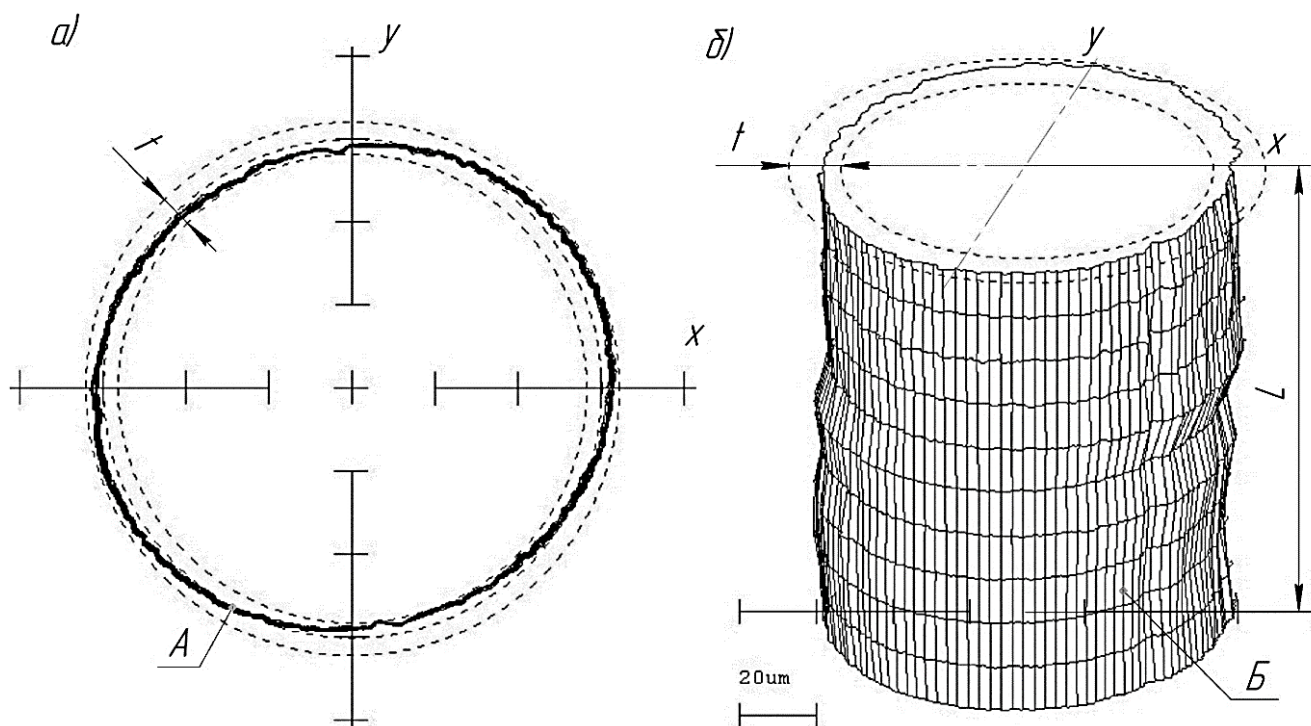
Як в попередньому випадку (рисунок 3.11), на рисунку 3.12 при попутному фрезеруванні (лінія 1) величина похибки менше, ніж при зустрічному (лінія 2). Зі збільшенням параметра k зменшується похибка Δ . При малих значеннях k ($k < 3$) похибка обробки різко збільшується, тому її значення доцільно регулювати параметром u . Слід також зазначити, що при дуже малих значеннях k погіршуються умови обробки, тому найкраще проводити обробку при $k > 2$ [41].

При фрезеруванні отворів точність діаметральні розмірів, що отримується в результаті обробки, повинна забезпечуватись за квалітетами IT6-IT7 (таблиця 3.1), а похибка їх геометричної форми не повинна перевищувати 0,25-0,4 від допуску на діаметральний розмір [1].

Таблиця 3.1 – Точність виготовлення отворів [1]

Квалітет	Діапазон діаметрів (мм)				
	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50
IT6	0,008	0,009	0,011	0,013	0,016
IT7	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
IT8	0,018	0,022	0,027	0,033	0,039
IT9	0,030	0,036	0,043	0,052	0,062

Точність деталі в машинобудуванні – це ступінь відповідності характеристик реальної деталі, отриманої за допомогою механічної обробки, по відношенню до еталону – деталі, заданої кресленням і технічними умовами на виготовлення, тобто відповідність геометричної форми, розмірів, взаємного розташування оброблених поверхонь деталі вимогам технологічного процесу (вимогам креслення). Слід зазначити, що точність геометричної форми відноситься до макровідхилень і при обробці отворів регламентується відхиленнями від круглості (в поперечному перерізі) та від циліндричності (в прокольному перерізі), що надано на рисунку 3.13 [1].



t – допуск; L – довільна відстань; А – виявлена круглість; Б – виявлена поверхня

Рисунок 3.13 – Відхилення від круглості (а) та від циліндричності (б) [1]

Виходячи з того, що отримання абсолютних показників для всієї партії виготовлених деталей практично неможливо, в технологічному процесі передбачені допустимі відхилення від номінального розміру, тобто точність регламентується допусками, проставленими на робочому кресленні деталі. При

цьому, зі збільшенням величини поля допуску точність деталі зменшується. В результаті недостатня точність виготовлення деталей машин, вузлів і виробів призводить до виникнення додаткових навантажень, вібрацій і, як наслідок, до руйнування. Так, на рисунку 3.13 поле допуску відхилення від круглості в розглянутій площині обмежена двома концентричними колами, віддаленими одна від одної на відстані рівній значенню допуску $t = TD$. В свою чергу, поле допуску відхилення від циліндричності (рисунок 3.13) обмежено двома співвісними циліндрами, відстань між якими дорівнює числовому значенню допуску $t = Td$ [1].

3.2 Точність обробки отворів у поперечному перерізі

3.2.1 Методика розрахунку величини огранки оброблюваних отворів

В процесі планетарного руху інструменту в обробленому отворі проявляється похибка форми – огранка. У загальному випадку огранка Δ (рисунок 3.14) – це відхилення від правильної геометричної форми, яке виражається в тому, що контур перерізу в площині, перпендикулярній до осі циліндра, являє собою ряд пов'язаних (об'єднаних, сполучених) дуг з різними центрами. За величину огранки Δ приймають різницю між діаметром кола, в яку повністю вписується контур перерізу, та відстанню між паралельними площинами, дотичними до поверхні виробу. Тобто за величину огранки Δ приймемо найбільшу радіальну відстань Δ від точок реального профілю до прилеглого кола або, іншими словами, огранка Δ – це висота нерівностей. Слід зазначити, що поява огранки як неточності поверхні отвору викликана результатом дії сукупного впливу головного обертового руху інструменту й допоміжного обертового руху заготовки (або осі інструменту щодо осі оброблюваної поверхні отвору), встановлених з ексцентриситетом [36; 50].

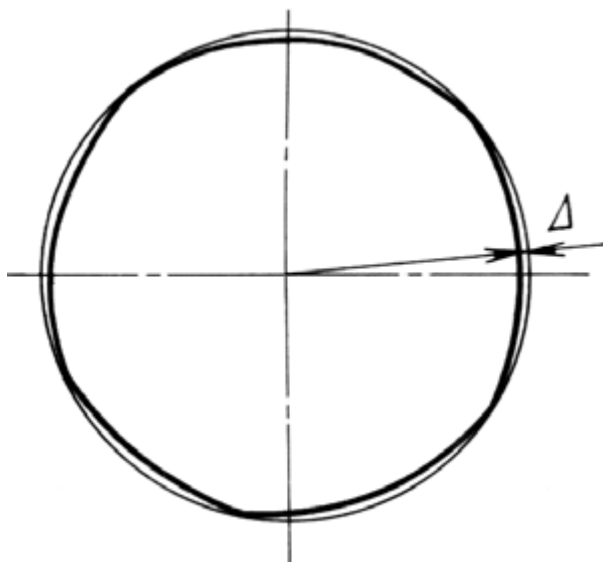
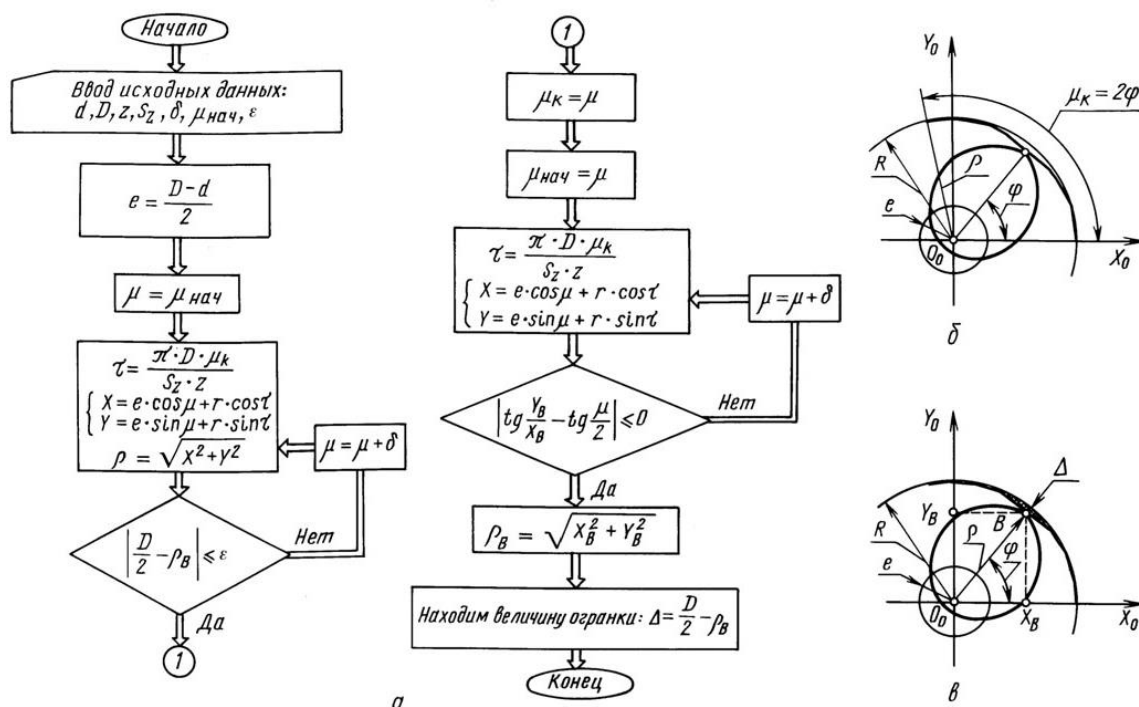


Рисунок 3.14 – Відхилення форми циліндричної деталі – огранка Δ [36]

Для математичної оцінки величини огранки Δ використовується алгоритм, представлений на рисунку 3.15. Розрахунок за даним алгоритмом ґрунтується на параметричному описі траєкторії руху вершини зуба інструменту. В алгоритмі $\delta = 0,01$ рад – це крок ітерації параметра μ ; $\mu_{\text{нач}} = 0$ – початкове значення параметра μ (тобто початкове положення інструменту, коли вершина зубу співпадає з віссю X_0 ; $\mu = 0$ – початкове значення формування елементарної огранки); ε – нескінченно мала величина, пов’язана з умовами розрахунку в MS Excel. При цьому, в даному алгоритмі слід зазначити, що елементарний (поточний) кут повороту центру інструменту навколо вісі отвору μ_k , рад., дорівнює куту 2φ . Величина кута φ дорівнює половині кута елементарної огранки або елементарного кута повороту центру інструменту навколо осі отвору (чи кроку нерівностей) 2φ та визначає положення вершини огранки, тобто кут φ відповідає максимальному значенню отриманої огранки Δ [36; 50].



а – блок-схема алгоритму розрахунку огранки Δ ; б – визначення кута 2φ ; в – залежність величини огранки Δ від кута φ та радіусу кривизни траєкторії руху зуба фрези ρ

Рисунок 3.15 – Алгоритм розрахунку величини огранки при фрезеруванні отвору інструментом, який здійснює планетарний рух [36]

Кут φ визначається за наступною формулою [36]:

$$\varphi = \frac{S_z \pi}{\pi D - S_z z} \quad (3.6)$$

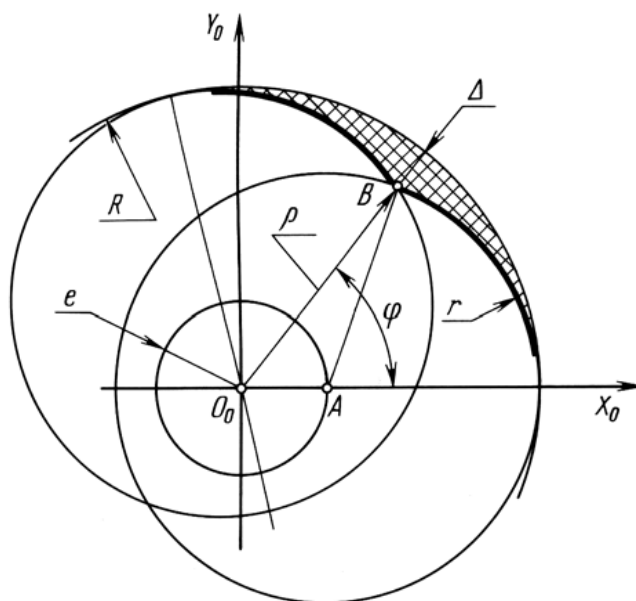
де S_z , мм/зуб – дивись формулу (3.1);

D , мм – дивись формулу (3.1);

z – дивись формулу (3.1).

В свою чергу, радіус кривизни траєкторії руху зуба фрези визначається з рисунку 3.16, на якому зображено отримання огранки Δ в точці В при

планетарному русі інструменту, який переміщується за еквідистантою, розташованою від центру отвору на відстані e [36].



O_0 – центр отвору; A – центр інструмента; B – точка вершини зуба фрези; e – ексцентриситет; r – радіус інструмента; R – радіус отвору; Δ – висота (максимальне значення) огранки; φ – кут, що визначає положення вершини огранки (відповідає максимальному значенню отриманої огранки Δ) та дорівнює половині кута елементарної огранки або елементарного кута повороту центру інструменту навколо вісі отвору (чи кроку нерівностей) 2φ ; ρ – радіус кривизни траєкторії руху зуба фрези

Рисунок 3.16 – Визначення радіусу кривизни траєкторії руху зуба фрези [36]

З трикутника AO_0B за теоремою косинусів знаходимо радіус кривизни траєкторії руху зуба фрези ρ [36]:

$$r = \sqrt{e^2 + \rho^2 - 2e\rho \cos \varphi} \quad (3.7)$$

звідки

$$\rho = e \cos \varphi + \sqrt{r^2 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (3.8)$$

де e , мм – дивись формулу (3.3);

φ – кут, який відповідає положенню вершини або максимальному значенню отриманої огранки, рад.;

r , мм – дивись формулу (3.4).

Тоді огранка Δ дорівнює:

$$\Delta = R - \rho = R - e \cos \varphi - \sqrt{r^2 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (3.9)$$

де R – радіус отвору, мм;

ρ , мм – дивись формулу (3.8);

e , мм – дивись формулу (3.3);

φ , рад. – дивись формулу (3.8);

r , мм – дивись формулу (3.4).

Таким чином, було встановлено, що на величину огранки Δ й кута φ впливають наступні чинники: діаметр оброблюваного отвору D , діаметр фрези d , число зубів інструменту z і подача на зуб фрези S_z .

Аналіз траєкторій руху зубів показав, що максимальне значення огранки в разі $z > 1$ спостерігається між сусідніми зубами. Тому при розрахунку огранки за алгоритмом (рисунк 3.15) для $z > 1$ в системі X_0Y_0 враховувався зсув зубів за параметром τ на кут $\frac{2\pi}{z}$ [36]:

$$\begin{cases} X_B = e \cos \mu_k + r \cos \left(\tau_k - \frac{2\pi}{z} \right), \\ Y_B = e \sin \mu_k + r \sin \left(\tau_k - \frac{2\pi}{z} \right) \end{cases} \quad (3.10)$$

де e , мм – дивись формулу (3.3);

μ_k , рад. – дивись формулу (3.2);

r , мм – дивись формулу (3.4);

τ_k , рад. – дивись формулу (3.2);

z – дивись формулу (3.1).

Згідно з блок-схемою (рисунок 3.15) була розроблена програма (додаток А) в Dev C ++ для розрахунку огранки Δ та кута ϕ при планетарному фрезеруванні отвору. Величина огранки при $z > 1$ розраховується за аналогічним алгоритмом відповідно до траєкторіями руху двох сусідніх зубів інструменту (рисунок 3.17, б, в) з урахуванням зсуву (формула (3.10)). Крім того, на рисунок 3.17 надані траєкторії руху зубів фрези при планетарній обробці отвору при $z = 1, 2, 3$ та вказана величина огранки [36].

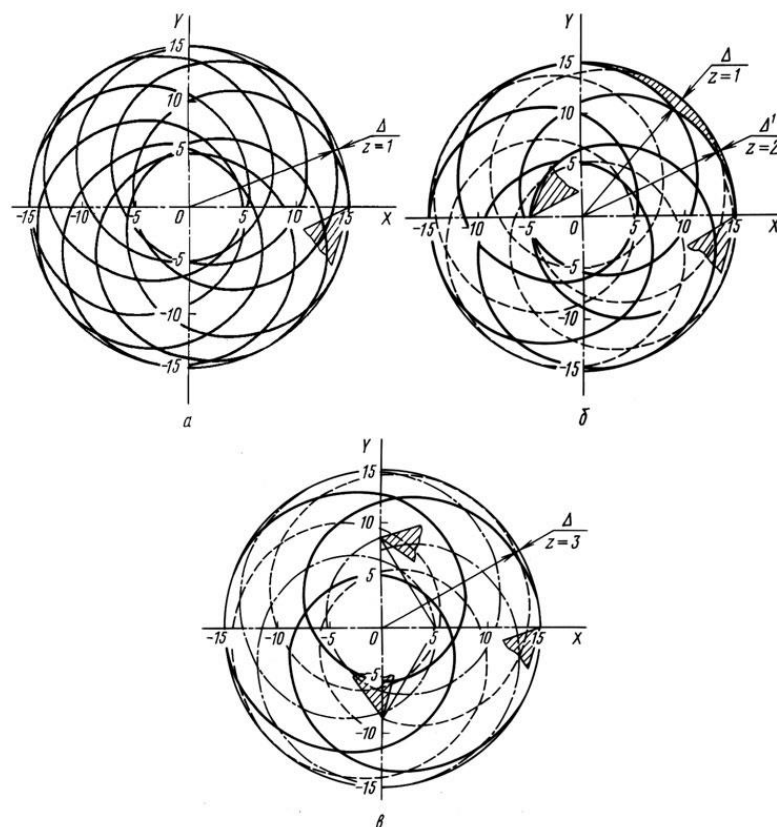


Рисунок 3.17 – Траєкторія руху зубів фрези при планетарній обробці: а – при $z = 1$; б – при $z = 2$; в – при $z = 3$ [36]

Результати розрахунку величини огранки Δ та кута φ в залежності від діаметру оброблюваного отвору D , діаметру фрези d , числа зубів інструменту z і кругової подача на зуб фрези S_z за розробленою програмою (додаток А) в Dev C++ надані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку величини огранки Δ та кута φ при планетарній обробці отвору

Діаметр фрези d , мм	Діаметр отвору D , мм	Кругова подача на зуб фрези S_z , мм/зуб	Число зубів фрези z	Величина (висота) огранки Δ , мкм	Кут, що відповідає положенню вершини (максимальному значенню отриманої огранки) φ , рад.
1	2	3	4	5	6
32	50	0,2	1	17,9907	0,0040051
			2	1,66165	0,00401021
			3	0,725626	0,00401534
			4	0,398614	0,00402048
			5	0,24865	0,00402563
			6	0,168131	0,00403079
			7	0,120195	0,00403597
			8	0,0894939	0,00404116
			9	0,0687334	0,00404637
			10	0,0540914	0,00405159
32	50	0,05	6	0,789944	0,00100191
		0,075		1,39385	0,00150431
		0,1		1,75696	0,00200767
		0,125		1,99389	0,00251199
		0,15		2,15966	0,00301729

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6
32	50	0,175	6	2,28185	0,00352355
		0,2		2,37554	0,00403079
25	50	0,2	6	0,182487	0,00403079
27				0,181315	0,00403079
29				0,177798	0,00403079
30				0,175162	0,00403079
32				0,168131	0,00403079
34				0,158761	0,00403079
36				0,147053	0,00403079
38				0,13301	0,00403079
40				0,116637	0,00403079
42				0,0979387	0,00403079
44				0,0769194	0,00403079
45				0,0655414	0,00403079
46				0,0535855	0,00403079
47				0,0410525	0,00403079
48				0,0279433	0,00403079
10	45	0,2	4	0,0603951	0,00446974
	50			0,276133	0,00402048
	55			0,652409	0,00365328
	60			1,18548	0,00334754
	65			1,86384	0,00308902
	70			2,66851	0,00286757
	75			3,57337	0,00267575
	80			4,54581	0,00250798

Подальший аналіз отриманих результатів величини огранки Δ та кута φ розглянутий в підпункті 3.2.2.

3.2.2 Аналіз залежностей характеристик огранки від основних параметрів фрезерування

З метою виявлення характеру впливу параметрів D , d , S_z , z на величину огранки Δ за результатами таблиці 3.2 в MS Excel були побудовані графіки залежностей $\Delta = f(z)$, $f(S_z)$, $f(d)$, $f(D)$, що представлені на рисунку 3.18.

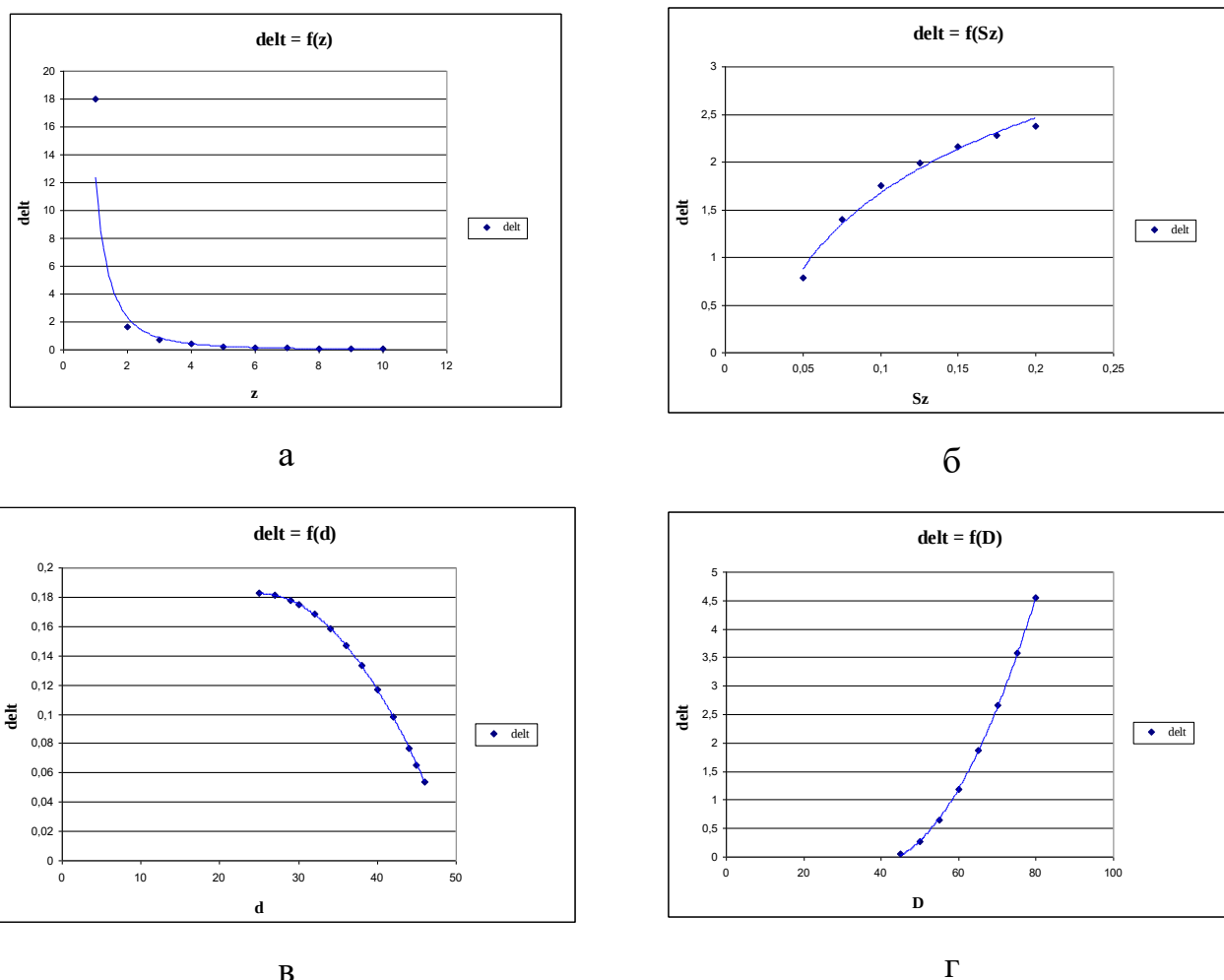
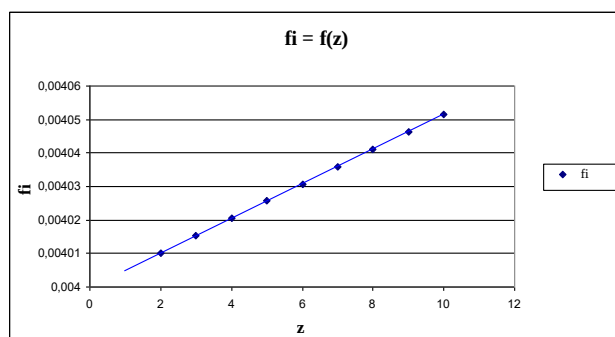


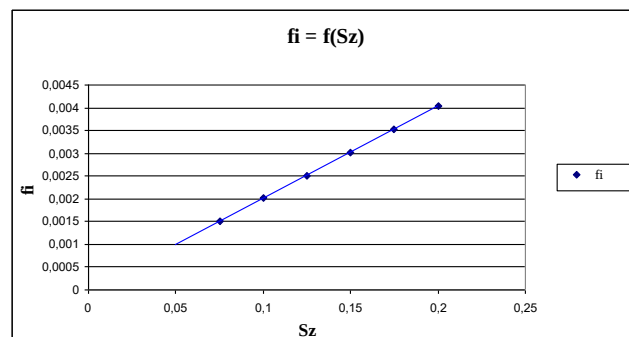
Рисунок 3.18 – Графіки залежностей величини огранки Δ від параметрів отвору та інструменту: а – від числа зубів фрези z ; б – від кругової подачі на зуб S_z ; в – від діаметра інструменту d ; г – від діаметра отвору D

Виходячи з аналізу графіків (рисунок 3.18), можна зробити висновок, що при планетарній обробці отвору величина огранки Δ зростає зі збільшенням кругової подачі на зуб S_z й збільшенням діаметру оброблюваного отвору D та зменшується з ростом числа зубів z і діаметрів інструмента d , що дозволяє вибрати необхідні при обробці параметри. Оскільки збільшується співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d , забезпечується зростання величини огранки Δ .

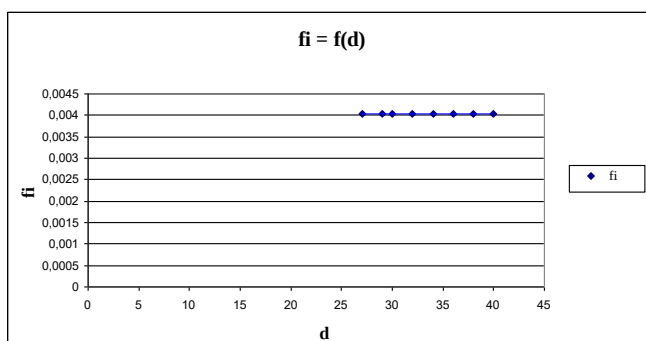
Також з метою виявлення характеру впливу параметрів z , S_z , d , D на величину елементарного кута повороту центру інструменту навколо вісі отвору (2φ) або на величину кута, що відповідає положенню вершини (максимальному значенню отриманої огранки) φ за результатами таблиці 3.2 MS Excel були побудовані графіки залежностей $\varphi = f(z)$, $\varphi = f(S_z)$, $\varphi = f(d)$, $\varphi = f(D)$, що представлені на рисунку 3.19.



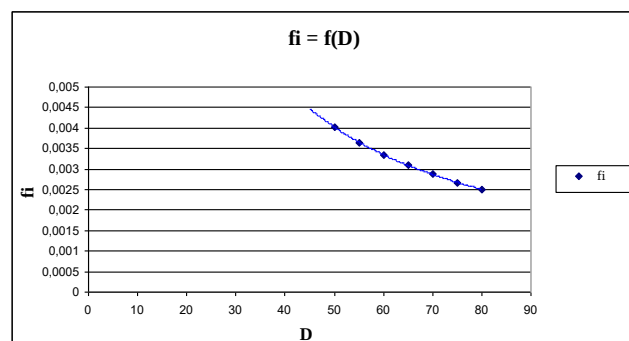
а



б



в

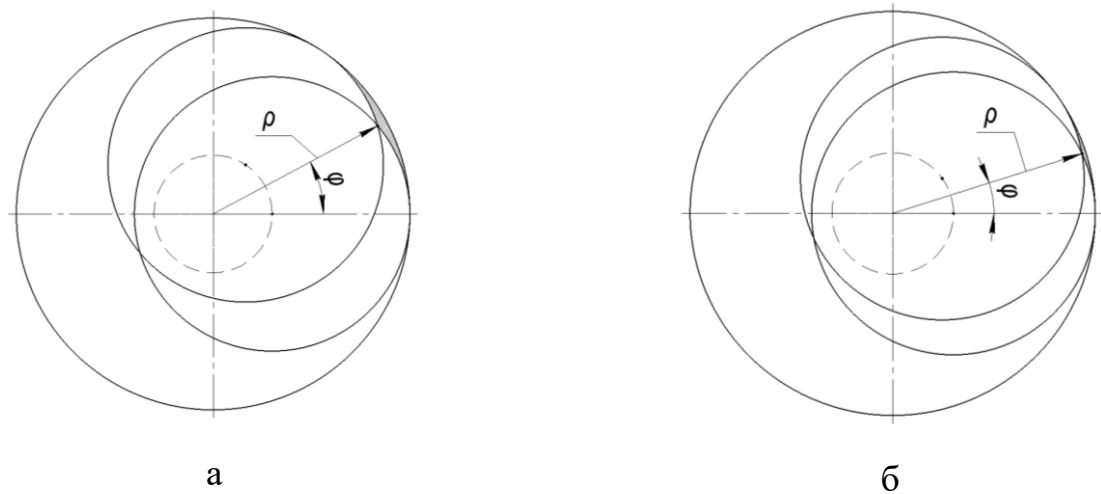


г

Рисунок 3.19 – Графіки залежностей величини кута φ від параметрів отвору та інструменту: а – від числа зубів фрези z ; б – від кругової подачі на зуб S_z ; в – від діаметра інструменту d ; г – від діаметра отвору D

Аналізуючи отримані графіки (рисунок 3.19), можна зробити висновок, що при планетарній обробці отвору величина кута φ , що відповідає положенню вершини огранки (максимальному значенню отриманої огранки), зростає при збільшенні числа зубів z та кругової подачі на зуб S_z фрези. В результаті, чим більший кут φ , тим більший крок нерівностей. При цьому показано збільшення φ для одного зуба (тобто якщо розглядати кожен зуб окремо, то зі збільшенням кількості зубів кут φ (та кут 2φ відповідно) буде збільшуватися, оскільки, відкладаючи φ від вісі X_0 для першого зуба φ буде меншим, а для шостого зуба φ буде більшим. Але, якщо в сукупності буде працювати декілька зубів фрези, то величина огранки зменшиться. При зміні діаметру інструмента d величина кута φ залишалася постійною, а при зростанні діаметра отвору D кут φ зменшується внаслідок збільшення співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d . І якщо зменшується кут φ , то зменшується і величина кута 2φ (кут елементарної огранки, іншими словами, елементарний кут повороту центру інструменту навколо осі отвору (або крок нерівностей)). Отже, приходимо до висновку, що кут φ безпосередньо не обумовлює величину огранки, а параметри фрезерування (z , S_z , d , D) безпосередньо впливають на величину огранки, що призводить, в тому числі, й зміну кута φ .

З метою дослідження впливу зміни радіусу кривизни траєкторії руху зуба фрези ρ та кута, що відповідає положенню вершини (максимальному значенню отриманої огранки) φ в залежності від зміни параметрів фрезерування (z , S_z , d , D), в програмному забезпеченні САПР Kompas-3D була спроектована траєкторія руху зуба фрези (рисунки 3.20, 3.21, 3.22).



кругова подача на зуб $S_{za} > S_{zб}$;

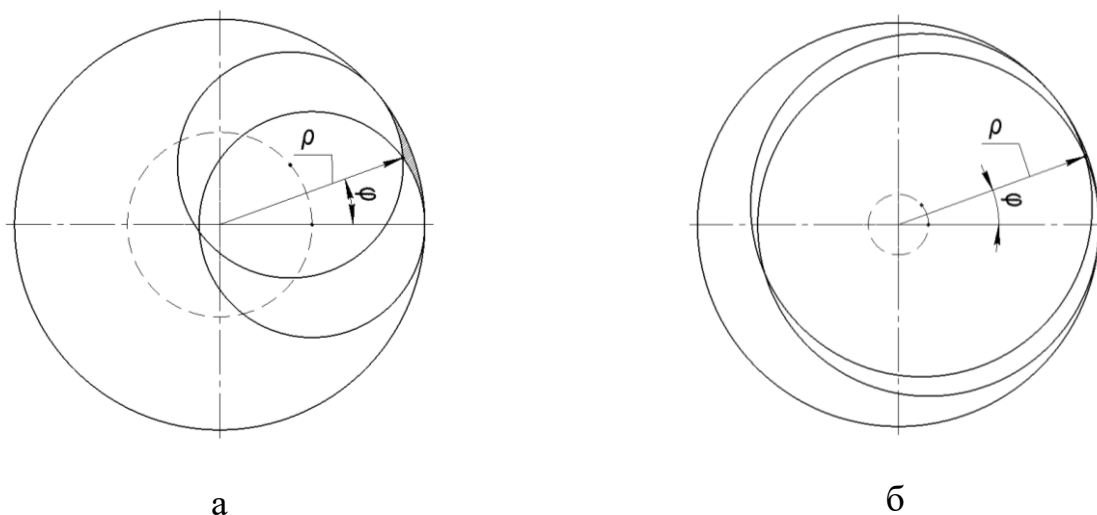
число зубів фрези $z_a < z_б$

Рисунок 3.20 – Зміна величини огранки Δ в залежності від значень ρ та ϕ при зміні кругової подачі на зуб S_z та числа зубів фрези z

Аналізуючи рисунок 3.20, приходимо до висновку, що при зменшенні кругової подачі на зуб S_z (швидкості планетарного руху) та збільшенні числа зубів фрези z , а також збільшенні швидкості обертання фрези навколо своєї вісі за умови обробки одного отвору діаметром D однією фрезою діаметром d спостерігається зменшення величини огранки (рисунок 3.20, б), оскільки кожен зуб фрези буде переміщатися на меншу відстань та зрізувати тонший шар металу. Це призводить до того, що значення радіусу кривизни траєкторії ρ збільшується (тобто збільшується відстань від центру отвору до вершини огранки, що забезпечує зменшення висоти огранки Δ), а значення кута ϕ зменшується, що в результаті забезпечує менший крок між сусідніми вершинами огранок. Тоді профіль отриманого отвору наблизатиметься до ідеального профілю кола.

Таким чином, збільшення кількості петель в траєкторії руху зуба фрези при планетарній обробці отворів (рисунок 3.20, б) свідчить про зменшення величини кругової подачі, що обумовлює зменшення огранки та кута ϕ . Отже,

для зменшення огранки потрібно зменшувати кругову подачу, тобто збільшувати кількість петель в одиницю довжини шляху.

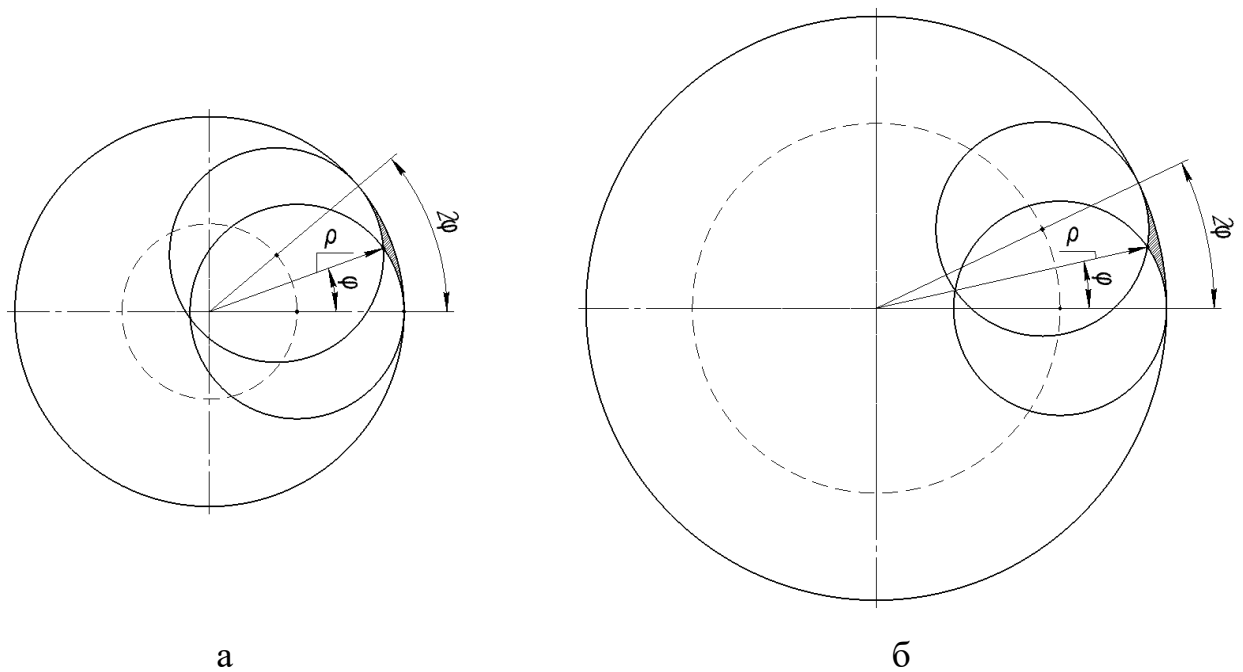


діаметр інструмента $d_a < d_b$;

ексцентриситет $e_a > e_b$

Рисунок 3.21 – Зміна величини огранки Δ в залежності від значень ρ та φ при зміні діаметру інструмента d та ексцентриситету e

Виходячи з аналізу рисунку 3.21, можна зробити висновок, що зі збільшенням діаметру фрези d забезпечується більша площа контакту фрези з заготовкою та зменшення ексцентриситету e , при цьому при однаковій величині кута φ (за умови однакового кроку), що було раніше визначено з графіку залежності $\varphi = f(d)$ (рисунок 3.19, в), забезпечується різна величина радіусу ρ : при збільшенні діаметру фрези відстань від центру отвору до вершини огранки зростає, тобто збільшується ρ , що забезпечує меншу висоту огранки Δ (рисунок 3.21, б). Крім того, якщо величина ексцентриситету велика, то використовується фреза меншого діаметру, якщо величина ексцентриситету зменшується, то слід використовувати фрезу більшого діаметру. Отже, зі зменшенням значення ексцентриситету необхідно використовувати фрезу більшого діаметру, що в результаті забезпечує меншу величину (висоту) огранки.



діаметр отвору $D_a < D_b$;
ексцентриситет $e_a < e_b$

Рисунок 3.22 – Зміна величини огранки Δ в залежності від значень ρ та φ при зміні діаметру отвору D та ексцентриситету e

В даному випадку для забезпечення сталості всіх інших параметрів фрезерування (z , S_z , d) довжина дуги, яка обмежена кутом 2φ , тобто довжина хорди, повинна бути однаковою для кожного діаметру отвору. Аналізуючи графіки (рисунок 3.22), приходимо до висновку, що зі збільшенням діаметру отвору значення кута φ зменшується, що в результаті забезпечує менший крок між сусідніми вершинами огранок. Однак, внаслідок великого співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d , що обумовлює збільшення ексцентриситету, спостерігається збільшення висоти огранки Δ (рисунок 3.22, б). Отже, для зменшення висоти огранки необхідно прагнути до того, щоб діаметр оброблюваного отвору збільшувався за наступним співвідношенням:

$$\frac{D}{d} = 2 \quad (3.11)$$

де D , мм – дивись формулу (3.1);

d , мм – дивись формулу (3.3).

Таким чином, при дотриманні співвідношення (3.11) значення кута φ все також буде зменшуватися, але при цьому забезпечуватиметься зменшення висоти огранки Δ .

Таким чином, зі збільшенням числа зубів фрези z , діаметру фрези d (при зростанні d підвищується швидкість різання) та зменшенням кругової подачі на зуб S_z (швидкості планетарного руху) і діаметру отвору D збільшується радіус ρ та зменшується кут φ . При цьому на φ впливають такі параметри фрезерування, як число зубів фрези z , кругова подача на зуб S_z та діаметр отвору D , а на ρ – число зубів z , кругова подача на зуб S_z , діаметр фрези d та співвідношення діаметрів D і d . Крім того, зі збільшенням величини ексцентриситету або діаметру еквідистанти спостерігається зростання величини висоти огранки (рисунки 3.21, а та 3.22, б).

В свою чергу, зменшення шорсткості та підвищення якості поверхні, а також підвищення точності отвору досягається за рахунок збільшення швидкості обертання фрези навколо своєї вісі D_f , зменшення кругової подачі, за якої здійснюється планетарний рух інструменту (тобто зменшення швидкості планетарного руху D_s), в результаті величина огранки наблизатиметься до мінімального значення (до нуля). Отже, важливу роль грає саме співвідношення діаметрів отвору та інструменту.

Також за розробленою програмою була визначена величина огранки при планетарній обробці отвору $\varnothing 26H8^{(+0,033)}$ в деталі «Маточина» фрезою діаметром 16 мм з числом зубів $z = 4$ з подачею $S_z = 0,05$ мм/зуб (дивись підпункт 2.3). Величина огранки склала 7,97686 мкм, що значно менше допуску на отвір, який становить 33 мкм. Це свідчить про прийнятну точність обробки, тобто про те, що огранка не є обмеженням за точністю обробки.

Також була проаналізована залежність похибки діаметрального розміру та відносного розташування осі отворів від обраного способу й стратегії обробки:

традиційного способу виготовлення отвору (свердління, свердління з використанням центрального свердла, розгортання, розточування) або за допомогою планетарного фрезерування за круговою чи спіральною стратегією. Дана залежність наочно представлена на рисунку 3.23 [1].

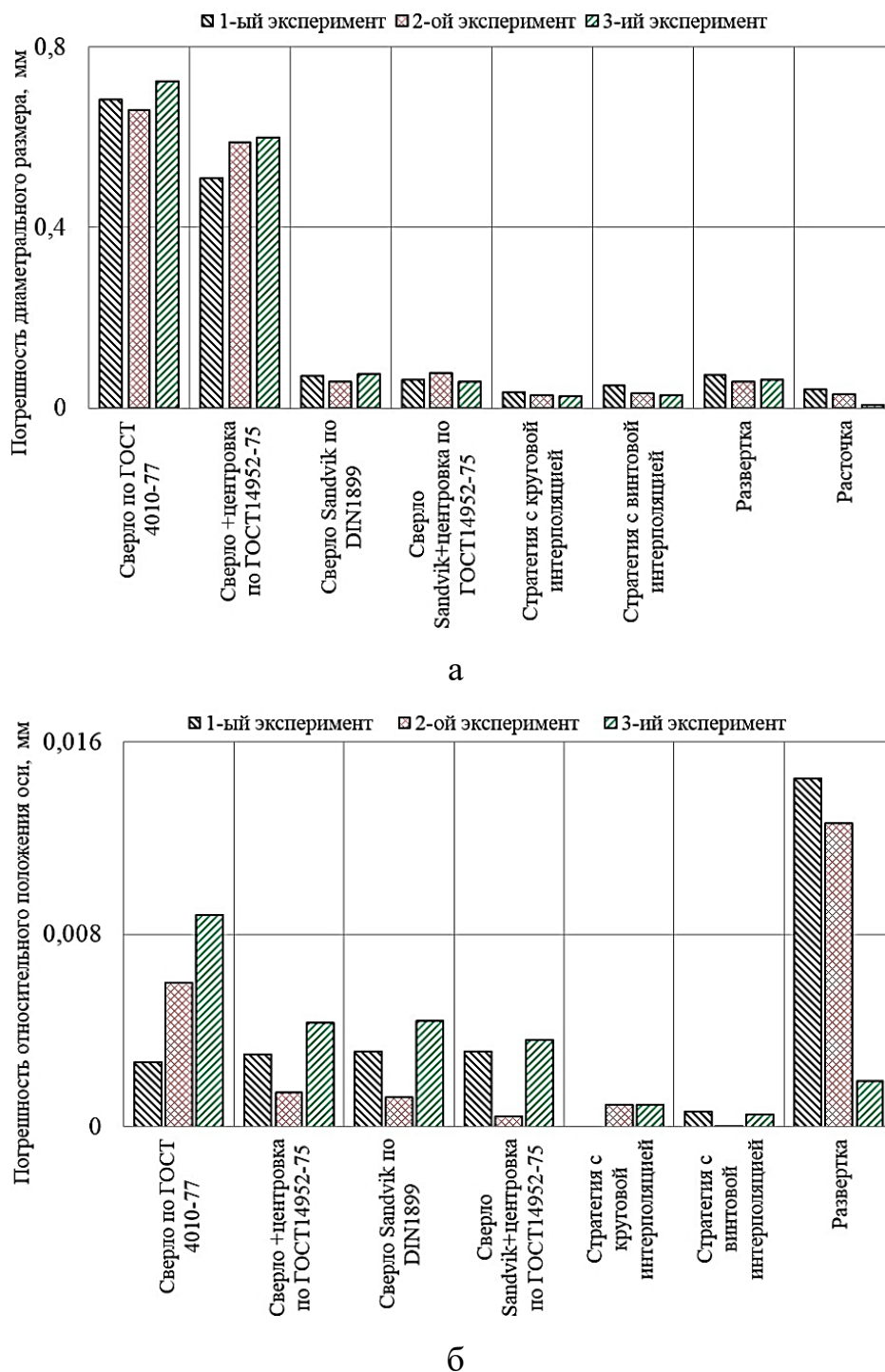


Рисунок 3.23 – Залежність похибки діаметрального розміру (а) та відносного положення осі (б) від методу й стратегії обробки [1]

З аналізу наданих залежностей можна зробити висновок, що найбільш ефективним і точним є метод фрезерування з гвинтовою інтерполяцією та метод розточування. Під час обробки фрезеруванням за спіральною стратегією точність отвору по всій довжині становить Н7-Н8. При цьому метод фрезерування з круговою інтерполяцією по точності діаметрального розміру гірший, ніж метод розточування та метод фрезерування з гвинтовою інтерполяцією, оскільки точність отвору по всій довжині становить Н8-Н9. Що стосується методу розгортання, то положення координати вісі отвору під час розгортання може змінюватися, тобто розгортку веде. Це пов'язано з радіальної складової сили різання, яка діє на розгортку в процесі обробки [1].

Як зазначалося раніше, істотний вплив на точність діаметрального розміру на всій довжині при чистовій обробці отвору при планетарному фрезеруванні з різними стратегіями має подача інструменту. При збільшенні її значення спостерігається зростання величини похибки, особливо це помітно для стратегії фрезерування з круговою інтерполяцією. Для стратегії фрезерування з круговою інтерполяцією втрата точності обробки відбувається в межах 40-50% при підвищенні робочої подачі. В свою чергу, для стратегії з гвинтовий інтерполяцією залежність росту похибки діаметрального розміру від подачі зберігається, але втрата точності, на відміну від кругової інтерполяції, становить в межах 10-30%. Більш наочно залежність похибки від подачі при різних стратегіях планетарного фрезерування отворів показано на рисунку 3.24 [1].

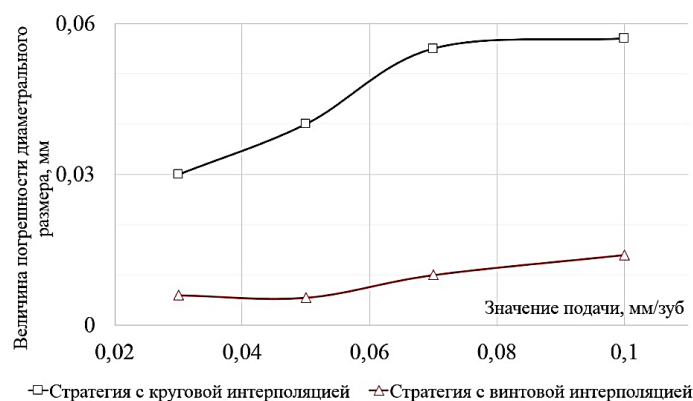


Рисунок 3.24 – Залежність величини похибки діаметрального розміру від значення робочої подачі [1]

Отже, планетарне фрезерування з гвинтовою інтерполяцією є більш сприятливим методом для отримання точних отворів.

3.3 Точність обробки отворів у поздовжньому перерізі

Після чистової фрезерної обробки також може бути похибка у поздовжньому перерізі отвору, виникнення якої обумовлено пружнім відтисканням інструменту від деталі, що, в свою чергу, викликано дією радіальної складової сили різання під час обробки. В результаті можливе виникнення вібрацій, а отже, й погіршення точності внутрішньої поверхні та відхилення від циліндричності обробленого отвору (відхилення форми), як показано на рисунку 3.25 [1; 5].

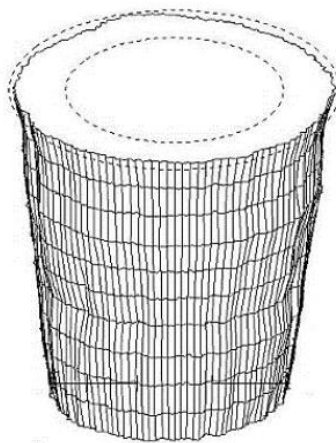
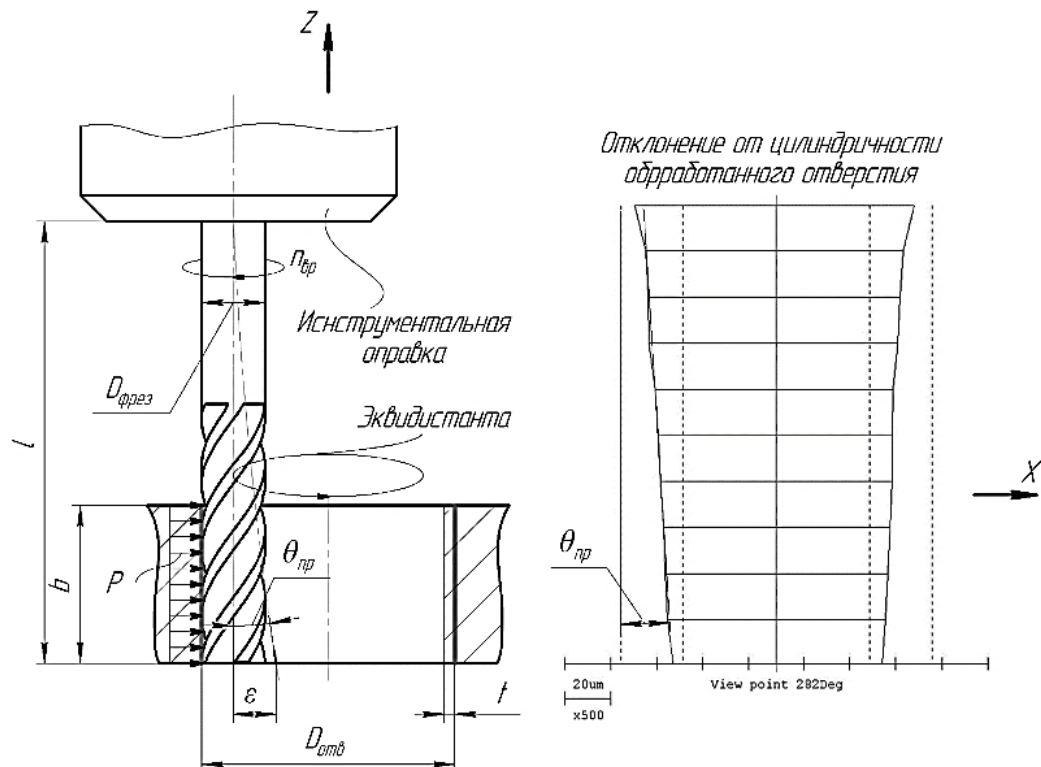


Рисунок 3.25 – Похибка геометричної поверхні отвору, що викликана пружнім відтисканням фрези [5]

Зростання значення сили різання пов'язане безпосередньо з ростом величини шару матеріалу, що зрізується одним зубом фрези. Збільшення товщини шару, що зрізується, безпосередньо залежить від обраної величини робочої подачі, діаметра інструмента, припуску на чистову обробку тощо. Крім того, величина похибки геометричної форми безпосередньо залежить від величини консольного вильоту інструменту l , від характеру його закріплення в інструментальній оправці, биття інструменту при його позиціюванні в шпинделі

верстата, від довжини ріжучої частини інструменту. Розподілена по довжині обробки b сила різання P починає діяти на інструмент у момент врізання кінцевої фрези в матеріал заготовки. При цьому величина цієї сили P зростає по досягненню інструментом точки старту чистової обробки, після якої значення сили різання стає постійним. Схема виникнення похибки геометричної форми отвору внаслідок появи пружних відтискань фрези надана на рисунку 3.26 [1].

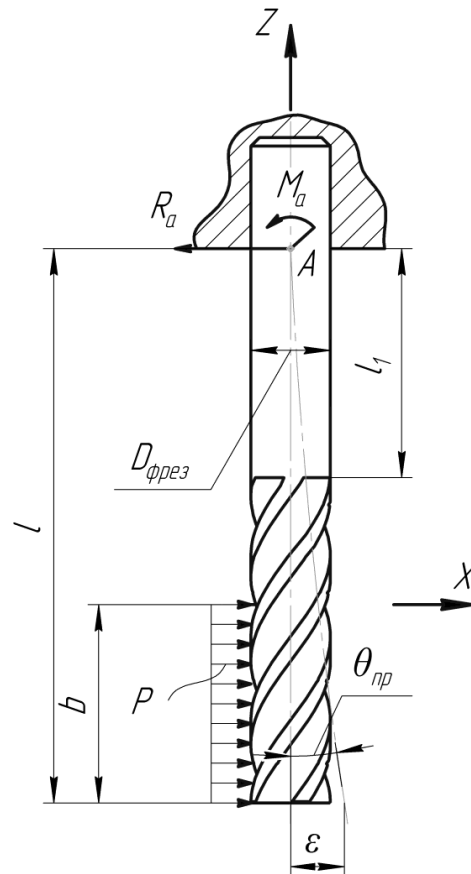


$n_{вр}$ – обертання фрези; $D_{фрез} = d$ – діаметр фрези; b – глибина (довжина) обробки;

$P = P_y$ – сила різання, яка розподілена по довжині обробки b або радіальна складова сили різання; $D_{отв} = D$ – діаметр отвору; l – довжина інструменту від інструментальної оправки (величина консольного вильоту фрези); ϵ – величина похибки, що викликана пружним відтисканням фрези (величина прогину вісі балки); $\theta_{пр}$ – кут відхилення вісі фрези, який забезпечує відповідну величину відтискання інструменту

Рисунок 3.26 – Схема виникнення похибки геометричної форми отвору, що пов’язана з пружним відтисканням фрези [1]

Схему, що надана на рисунку 3.26, можна представити в більш спрощеному вигляді (рисунок 3.27), приймаючи до уваги той факт, що закріплення інструменту в інструментальній оправці є абсолютно жорстким [1].



R_a – реакція (реактивне зусилля) в жорсткому закріпленні (точка A); M_a – реактивний момент в закріпленні; $D_{\text{фрез}} = d$ – діаметр фрези; l – довжина інструменту від інструментальної оправки (величина консольного вильоту фрези); l_1 – довжина інструменту від інструментальної оправки до його ріжучої частини; b – глибина (довжина) обробки; $P = P_y$ – сила різання, яка розподілена по довжині обробки b або радіальна складова сили різання; ϵ – величина похибки, що викликана пружнім відтисканням фрези (величина прогину вісі балки); $\theta_{\text{пр}}$ – кут відхилення вісі фрези, який забезпечує відповідну величину відтискання інструменту

Рисунок 3.27– Спрощена схема навантаження інструменту [1]

За розрахованими раніше режимами різання (підпункт 2.3) та силою різання $P_z = 573$ Н (формула (2.6)) за спрощеною схемою навантаження інструменту (рисунок 3.27) при обробці отвору Ø26H8 довжиною 37 мм була розрахована величина похибки, що викликана пружнім відтисканням фрези (величина прогину вісі балки (інструменту), один кінець якої закріплений) ε за наступною формулою [1; 16]:

$$\varepsilon = \frac{P_y \cdot l^3}{3EJ} \quad (2.12)$$

де P_y – радіальна складова сили різання, Н:

$$P_y = 0,5 \cdot P_z \quad (2.13)$$

де P_z – сила різання або окружна сила різання при фрезеруванні, Н

l – довжина інструменту від інструментальної оправки (величина консольного вильоту фрези), мм;

E – модуль пружності матеріалу ріжучого інструменту (для твердого сплаву Т15К6 $E = 600$ кг/см²), кг/см²;

J – момент інерції, см⁴:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (2.14)$$

де d – діаметр фрези, мм.

$$J = \frac{\pi \cdot 16^4}{64} = 3217 \text{ мм}^4,$$

$$P_y = 0,5 \cdot 573 = 287 \text{ Н},$$

$$\varepsilon = \frac{28,7 \cdot 60^3}{3 \cdot 60000 \cdot 3217} = 0,01 \text{ мм}$$

Таким чином, величина похибки, що викликана пружним відтисканням фрези, склала 0,01 мм на бік або 0,02 мм на діаметр, що менше допуску на отвір Ø26 за 7 квалітетом точності.

Також на величину пружних відтискань інструменту чинить вплив робоча подача. Залежності величини пружних відтискань від робочої подачі надана на рисунку 3.28, з якої видно, що зі збільшенням подачі величина відтискання росте [1].

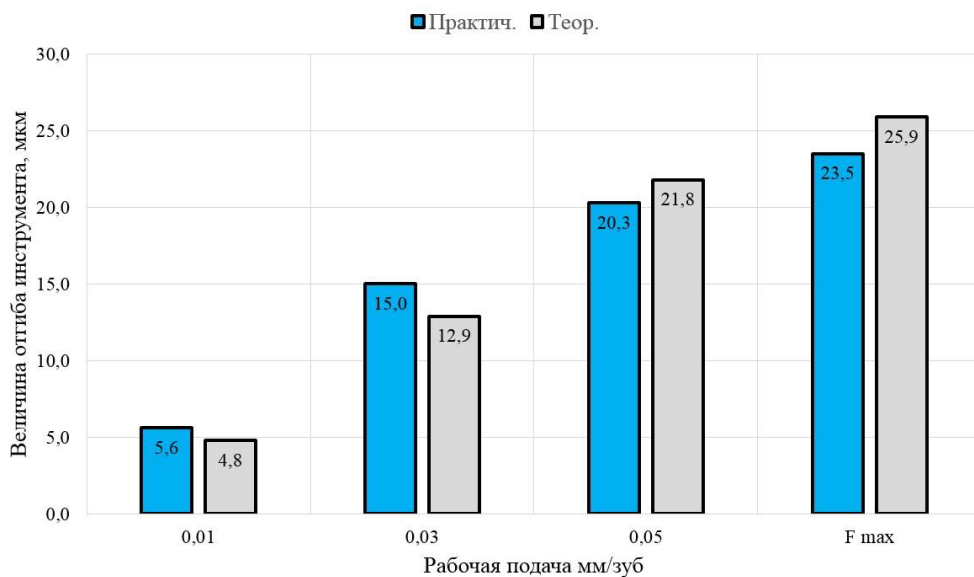


Рисунок 3.28 – Залежність пружних відтискань від робочої подачі при планетарній обробці з круговою стратегією отворів сталевих заготовок [1]

Слід також зазначити, що при чистовій обробці отворів для зменшення відтискання інструменту, по можливості, необхідно забезпечувати виліт ріжучого інструменту l від інструментальної оправки мінімальним, а також вибирати ріжучий інструмент з найменшою довжиною ріжучої частини l_p , оскільки жорсткість інструменту на даній ділянці падає в порівнянні з хвостовою його частиною в 2-3,5 рази [1].

Отже, зменшення величина похибки, що викликана пружним відтисканням фрези, може бути забезпечено зменшенням довжини вильоту інструменту, подачі, числа зубів та збільшенням діаметра фрези.

Таким чином, було встановлено, що метод планетарного фрезерування отворів є найбільш оптимальним, оскільки він дозволяє здійснювати обробку одним універсальним інструментом за один прохід, забезпечуючи отримання різних за формою та розмірами отворів, обумовлюючи сприятливі умови видалення стружки, менші навантаження на інструмент та більшу його стійкість. Встановлено, що при планетарній обробці отвору утворюється огранка Δ , величина якої зростає зі збільшенням кругової подачі на зуб S_z й збільшенням діаметру оброблюваного отвору D та зменшується з ростом числа зубів z і діаметрів інструмента d , що дозволяє вибрати необхідні при обробці параметри. Оскільки збільшується співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d , забезпечується зростання величини огранки Δ . При цьому, при попутному фрезеруванні ця нерівність стає меншою. Також виявлено, що в результаті впливу параметрів фрезерування (z , S_z , d , D) змінюються радіус кривизни траєкторії руху зуба фрези ρ та кут, що відповідає положенню вершини (максимальному значенню отриманої огранки) φ . Встановлено, що кут φ зростає при збільшенні числа зубів z та кругової подачі на зуб S_z фрези, зміні діаметру інструмента d величина кута φ залишалася постійною, а при зростанні діаметра отвору D кут φ зменшується внаслідок збільшення співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d .

Також за розробленою програмою в поперечному перерізі була визначена величина огранки при планетарній обробці отвору $\varnothing 26H8^{(+0,033)}$ в деталі «Маточина» фрезою діаметром 16 мм з числом зубів $z = 4$ з подачею $S_z = 0,05$ мм/зуб. Величина огранки склала 7,97686 мкм, що значно менше допуску на отвір, який становить 33 мкм. При цьому величина похибки у поздовжньому перерізі, що викликана пружним відтисканням фрези, склала 0,01 мм на бік або 0,02 мм на діаметр, що менше допуску 21 мм на отвір $\varnothing 26$ за 7 квалітетом точності. Це свідчить про прийнятну точність обробки та про те, що огранка не є обмеженням за точністю обробки.

4 ПРОДУКТИВНІСТЬ ПЛАНЕТАРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ОТВОРІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

4.1 Огляд факторів, які можуть вплинути на продуктивність обробки

Одним із головних завдань кожного підприємства є зниження технологічної собівартості деталей. Це здійснюється з тією метою, щоб в результаті реалізації виробів підприємство отримало більший прибуток за умови здійснення мінімальних витрат. Виходячи з цього, важлива не тільки конкурентоспроможність продукції, що виготовляється та випускається підприємством, а також і забезпечення її рентабельності. Рентабельність продукції показує, наскільки ефективно використовуються витрати на її виробництво, тобто характеризує відносний ступінь прибутковості підприємства або продукції, що виробляється ним. Цей показник відображає розмір прибутку, який підприємство отримує з кожної гривни собівартості продукції або, іншими словами, це сума прибутку, що припадає на одиницю собівартості, тобто [52; 53]:

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100, \% \quad (4.1)$$

де Π – прибуток від виробництва та реалізації продукції, грн;

C – собівартість продукції, грн.

Таким чином, забезпечення більшої рентабельності характеризує більш ефективне функціонування підприємства, оскільки саме прибуток становить фінансову мету підприємства та забезпечує покращення його діяльності [52].

Продуктивність обробки як один із ефективних напрямків зменшення технологічної собівартості виготовлення деталей досягається за рахунок зниження штучно-калькуляційного часу на виконання технологічної операції обробки отворів. Крім того, продуктивність механічної обробки залежить від

того, наскільки правильно призначені режими різання, обрані параметри фрези та побудована технологічна операція в цілому [42].

За допомогою штучно-калькуляційного часу можна визначити число деталей, виготовлених протягом години та однієї робочої зміни ріжучим мірним, розточувальним інструментом, а також фрезою, що працює за схемою планетарного фрезерування, за наступною формулою [42]:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{60}{T_{\text{шт.к}}} \quad (4.2)$$

де $T_{\text{шт.к}}$ – штучно-калькуляційний час на виконання операції, шт./год.

Виходячи з цієї формули, була визначена продуктивність виготовлення отворів для кожного з вище перелічених способів. Результати надані на рисунку 4.1 [42].

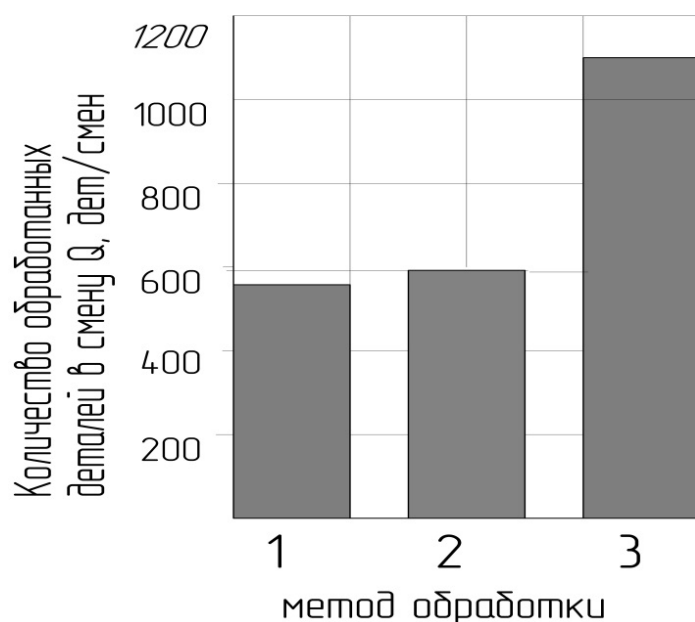


Рисунок 4.1 – Продуктивність механічної обробки отворів при використанні різних технологічних способів з використанням: 1 – мірного інструменту; 2 – розточувального інструменту; 3 – фрези за схемою планетарного фрезерування [42]

З рисунку 4.1 випливає, що при виготовленні отвору мірним інструментом (свердлом, зенкером, розгорткою) продуктивність обробки складає 580 шт., при розточування – 600 шт., а при планетарному фрезеруванні на обробному центрі з ЧПК – 1100 деталей в зміну. Таким чином, останній спосіб обробки є найбільш продуктивним [20].

Зниження вартості виготовлення отворів, прискорення процесу та підвищення продуктивності обробки при планетарному фрезеруванні забезпечується за рахунок таких факторів, як: підвищення ефективності внаслідок застосування більш високих швидкостей різання та подачі, що забезпечує економію часу обробки; отримання чистових отворів без застосування напівчистових та чорнових операцій; забезпечення великого терміну експлуатації інструменту знижує витрати на інструмент для виготовлення одного отвору. Тобто ефективність збільшується за рахунок продуктивності обробки. Крім того, максимально ефективне використання інструменту дозволяє підвищити продуктивність і знизити вартість обробки. Таким чином при планетарному фрезеруванні отворів досягається така продуктивність, що у порівнянні з традиційними технологіями збільшується в 2-4 рази [41; 54].

Для оптимізації режимів планетарного фрезерування та зменшення технологічної собівартості обробки отворів були розглянуті математичні моделі технологічної та циклової продуктивності [42]:

$$Q_T = \frac{znS_z}{\pi D_e m}, \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{ц}} = \frac{znS_z}{\pi Dm + znS_z T_{\text{xx}}} \quad (4.4)$$

де z – число зубів фрези, шт.;

n – частота обертання фрези, хв^{-1} ;

S_z – швидкість подачі на зуб фрези, мм/зуб ;

D_e – діаметр окружності, еквідистанти руху осі фрези в процесі планетарного фрезерування отвору, мм ;

m – коефіцієнт, що враховує перевищення повного обороту фрези навколо центру оброблюваного отвору;

T_{xx} – час, що витрачається на холості ходи, хв.

Технологічна або ідеальна продуктивність визначається з ідеальних умов, при яких відсутні втрати часу на допоміжні (холості) ходи, не поєднані з часом машинної обробки, простої устаткування та витрати часу з технічних, технологічних й організаційних причин, а також забезпечується безперебійна (безперервна) робота верстата. Технологічна продуктивність характеризує вибрані методи та режими обробки, що використовуються при виготовленні виробу. Підвищення технологічної продуктивності досягається за рахунок інтенсифікації режимів і застосування сучасних технологій. В свою чергу, цикл роботи верстата – це сукупність дій, що здійснюються для обробки виробу та при яких виріб змінюється в певній послідовності до закінчення обробки. Робочий цикл залежить від часу машинної обробки, його поєднання з допоміжними операціями і суміщення допоміжних операцій між собою. Тривалість робочого циклу визначає циклову або конструктивну продуктивність, яка визначається з реальних умов, при яких враховуються втрати часу на допоміжні (холості) ходи в робочому циклі та забезпечується безперебійна робота верстата при відсутності його простоїв [55; 56; 57].

На продуктивність планетарного фрезерування отворів впливають деякі фактори, до яких, виходячи з формули (4.3), відносяться число зубів фрези z , швидкість подачі на зуб фрези S_z , частота обертання інструменту n , діаметр фрези d . З метою здійснення оцінки впливу на продуктивність зазначених факторів їх значення були розглянуті в наступних інтервалах: $z = 2-4$ зубів, $S_z = 0,05-0,20$ мм/зуб, $n = 1500-3000$ хв⁻¹, $d = 5-8$ мм. Вплив цих факторів був представлений у вигляді функцій [42]:

$$Q_T = f(z), \quad (4.5)$$

$$Q_T = f(S_z), \quad (4.6)$$

$$Q_T = f(n), \quad (4.7)$$

$$Q_T = f(d) \quad (4.8)$$

де Q_T , шт./хв – дивись формулу (4.3);

z , шт. – дивись формулу (4.3);

n , хв^{-1} – дивись формулу (4.3);

S_z , мм/зуб – дивись формулу (4.3);

Більш наочно процес впливу перерахованих факторів на продуктивність обробки представлений на рисунку 4.2 [42].

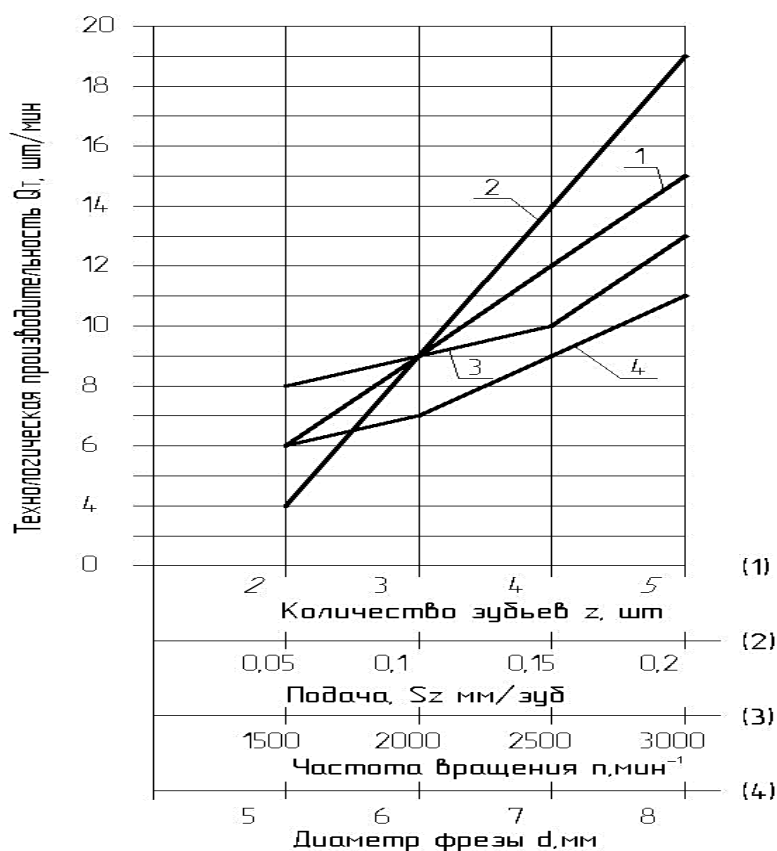


Рисунок 4.2 – Залежність технологічної продуктивності від: 1 – числа зубів z ; 2 – швидкості подачі на зуб S_z , 3 – частоти обертання n , 4 – діаметру фрези d [42]

Виходячи з рисунку 4.2, криві 1-4 можна описати відповідними рівняннями [42]:

$$Q_T = 3,18z \text{ при } n = 2000 \text{ хв}^{-1}, d = 7 \text{ мм}, S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}, \quad (4.9)$$

$$Q_T = 95,5S_z \text{ при } n = 2000 \text{ хв}^{-1}, z = 3, d = 7 \text{ мм}, \quad (4.10)$$

$$Q_T = 95,5 n \text{ при } S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}, z = 3, d = 7 \text{ мм}, \quad (4.11)$$

$$Q_T = 38,22 / (11 - d) \text{ при } n = 2000 \text{ хв}^{-1}, z = 3, S_z = 0,1 \text{ мм/зуб} \quad (4.12)$$

Таким чином, згідно з рівняннями (4.9)-(4.12) встановлено, що при збільшенні швидкості кругової подачі S_z , числа зубів z , частоти обертання n і діаметра фрези d технологічна продуктивність зростає. Отже, з метою забезпечення максимально можливої продуктивності планетарного фрезерування отворів корпусних деталей при одночасному виконанні технологічних вимог до оброблених поверхонь виробу необхідно дотримуватися наступних рекомендацій [42]:

- використовувати фрези максимального діаметра та з найбільшим числом зубів;

- здійснювати фрезерування отворів при максимальних швидкостях кругової подачі та частотах обертання відповідно до можливостей обладнання, обмежуючи їх значення забезпеченням необхідних геометричних характеристик оброблених поверхонь;

- призначати при планетарному фрезеруванні відношення радіуса фрези до ексцентриситету в наступних межах, що дозволить проводити ефективну обробку однією фрезою отворів з дворазовим збільшенням їх діаметрів [42]:

$$\frac{r}{e} = (0,45 - 0,75)D \quad (4.13)$$

де r – радіус фрези, мм;

e – ексцентриситет, мм;

D – діаметр отвору, мм.

Іншим підтвердженням того, що метод планетарного фрезерування є більш продуктивним для обробки отворів, ніж використання традиційних технологій,

становлять наступні дані. При обробці деталі, що має на одній площині три отвори завглибшки 30 мм з діаметрами 10, 12,5 та 15 мм, можливо застосувати як свердління, так і планетарне фрезерування з гвинтовою інтерполяцією. При цьому швидкість виконання обробки при використанні кожного з методів буде досить відрізнятися, як показано в таблиці 4.1 [31].

Таблиця 4.1 – Порівняння часу обробки отворів методом свердління та методом планетарного фрезерування з гвинтовою інтерполяцією [31]

	Свердління	Планетарне фрезерування з гвинтовою інтерполяцією
Загальна кількість інструментів, що використовуються	3	1
Загальна кількість допоміжних інструментів (комплектів), що використовується	3	1
Частота зміни інструменту	2	0
Фактичний час зміни інструменту, хв	0,167	0
Основний (технологічний) час операції, хв	1,231	0,4
Штучно-калькуляційний час, хв	3,01	1,65

На підставі отриманих результатів в таблиці 4.1 можна зробити висновок, що для обробки отворів методом свердління необхідно мати три свердла відповідного діаметру, три комплекти допоміжного інструменту і наявність трьох вільних гнізд в інструментальному магазині верстата. Обробка отворів при даному способі ведеться кожним інструментом окремо з наступною зміною інструменту в кінці кожного циклу. В свою чергу, обробка отворів методом планетарного фрезерування з гвинтовою інтерполяцією здійснюється однією фрезою, не вимагає зміни інструменту та є найбільш доцільною і рентабельною. Скорочується номенклатура ріжучого й допоміжного інструменту, що використовуються при виготовленні отворів, зменшується загальний час обробки

деталі (скорочення часу на 1,36 хв, що становить 45% в порівнянні зі свердлінням), що забезпечує підвищення продуктивності технологічного процесу. В результаті знижуються витрати на придбання дорогого інструменту та собівартість виготовлення деталі в цілому. Тому даний метод створює серйозну конкуренцію свердленню при обробці корпусних деталей [31].

З точки зору практичного застосування планетарного фрезерування також встановлені результати щодо значного підвищення продуктивності завдяки використанню цього способу. Так, компанія Baldor Electric Company (Гейнсвілл, штат Джорджія) виробляє електродвигуни та приводи з регульованою швидкістю обертання. На заводі в Гейнсвіллі працює 400 співробітників, які беруть участь у виготовленні двигунів постійного й змінного струму. Головною задачею кампанії було знайти більш ефективний спосіб обробки 46 мм отворів у деталі з товщиною стінки в 50,8 мм. Ця деталь являла собою вибухозахищену кришку коробки виводів електродвигуна, яка закривала електропроводку в великих двигунах. Вона вимагала найбільшої кількості операцій, а отже й трудомісткості, в порівнянні з усіма заводськими деталями з великими отворами, і будь-яке дієве нововведення відразу ж позначилося б на її собівартості, що в результаті дозволило б отримати максимальний ефект в грошовому вираженні. Річний обсяг виробництва таких деталей на заводі Baldor в Гейнсвіллі складав 100 штук, які виготовлялися партіями по 10 штук одночасно. Виявилось, що робота фрезами великих діаметрів вимагала високої потужності обладнання та витрати електроенергії, крім того, важко було дістати фрези нестандартного розміру. Тоді вони відкрили для себе більш універсальний та швидший спосіб обробки – фрезерування отворів за круговою стратегією. Але внаслідок складної геометрії заготовки доводилося фрезерувати в важкодоступних місцях при великому вильоті інструменту, що дуже сповільнювало процес обробки, оскільки при повільній подачі пристрій вимірювання навантаження на шпиндель верстата з ЧПК показував 90% допустимої. При цьому для фрезерування кожного отвору в п'ятдесяти міліметровій стінці доводилося виконувати до 20 операцій. В якості інструменту використовували твердосплавну чотирьохзубу кінцеву фрезу діаметром 11,5 мм.

Техніка роботи при круговому фрезеруванні полягала в зануренні фрези на 15 міліметрів вглиб металу та подальшому її круговому русі при дуже обережній подачі, щоб уникнути обламування інструменту. Далі процес повторювався до отримання наскрізного отвору [49].

Рішенням даної ситуації було застосування при обробці отворів спіральної техніки з використанням фрези більшого діаметру, ніж при круговому способі. При спіральному фрезеруванні ріжуча частина постійно зсувається по мірі кругової подачі, що дає змогу збільшити швидкість подачі, дозволяючи отримувати менш глибокі, але більш часті різи, швидше просуватись вглиб оброблюваного матеріалу, при цьому не вимагається значна сила різання та зменшується напруга на інструмент і на шпиндель. В якості інструменту була застосована тризуба фреза, яка за спіральним фрезеруванням дозволяла отримати отвір за 5 хвилин на відміну від 17-хвилинного циклу обробки того ж самого отвору круговим способом. Фреза плавно заглиблювалась на 5 мм при кожному витку, оброблюючи отвір за шість витків. Швидкість поглиблення при цьому склала 330 см/хв, на відміну від 18,5 см в хвилину при круговому фрезеруванні. При цьому швидкість різання склала 149 м в хвилину проти 62 м/хв. Крім того, за рахунок збільшення діаметру фрези до 23 мм інструмент краще витримував бокові навантаження, а також дозволяв застосовувати подачу на зуб від 2 до 6 мм, на відміну від 0,3-0,9 мм для твердосплавної фрези діаметром 12 мм. За рахунок меншої кількості зубів стружка виходила набагато швидше, оскільки вона мала більше місця для виходу завдяки більш великим канавкам. Зменшення кількості зубів також дозволило застосувати більшу подачу на зуб. Ця стратегія використовувалась і при обробці отворів нестандартного діаметру, коли для їх обробки важко знайти готовий інструмент. Крім того, спіральне фрезерування забезпечило підвищення безпеки роботи. Більшість отворів на заводі в Гейнсвіллі діаметром менше 46 міліметрів, а завдяки обробці 23-міліметровою фрезою половини діаметру в отворі не залишається серцевини, що усуває небезпеку травмування робітників або пошкодження обладнання при вильоті цієї серцевини з отвору на останньому проході (після закінчення різання), оскільки весь метал

виходить у вигляді стружки. Але для реалізації спірального фрезерування необхідно було перепрограмувати траєкторії руху інструменту й параметри роботи верстата. Проте нова технологія миттєво окупилася [49].

За рахунок переходу від кругового фрезерування до спіральної обробки отворів діаметром до 46 мм, Baldor вдалося прискорити цикл обробки в середньому в три рази та за рахунок зменшення навантаження на фрезу збільшити термін служби інструменту, в середньому, в 10 раз. При круговій стратегії твердосплавної фрези вистачало на один отвір. Операційний час обробки отворів в кришці зменшився з 17 до 5 хв. Це дозволило заводу в Гейнсвіллі не тільки поліпшити процес обробки отворів й отримати приріст продуктивності, а й отримати річну економію від впровадження нової технології більш ніж в 40000 доларів [49].

4.2 Визначення точки беззбитковості виробництва та економічного ефекту

З економічної точки зору необхідно отримати не тільки збільшення продуктивності, а й отримання більшого прибутку за умови менших витрат та трудомісткості обробки. Як було зазначено раніше, на рентабельність продукції, а отже і на економічний ефект, впливає зміна собівартості продукції. В свою чергу, на собівартість виробів впливає один із найбільш вагомих факторів, як час випуску продукції. Отже, рівень рентабельності, а отже і прибутковість підприємства, впливає обсяг виробництва: чим більший обсяг, тим вища рентабельність. Але в даному випадку постає важливим питання щодо визначення ступеня прибутковості обсягу виробництва або критичного обсягу виробництва. З цією метою будується графік залежності (співвідношення) загальної суми витрат і доходу підприємства від обсягу виробництва або графік беззбиткового й ефективного обсягу виробництва. Крім того, цей графік наочно показує витрати підприємства та очікуваний прибуток від продажу його продукції [53; 58].

Відомо, що загальну вартість деталі складають змінні та постійні (фіксовані) витрати, які необхідно враховувати під час прийняття рішень щодо обсягів виробництва. До змінних витрат відносяться ті, загальна сума яких

змінюється зі зміною обсягу виробництва продукції, надання послуг, виконання робіт (тому на графіку вони мають вигляд похилої прямої). Це витрати на сировину, матеріали, технологічну (силову) електроенергію, купівельні комплектуючі вироби (на ріжучий інструмент, оснащення тощо), витрати на заробітну плату й відрахування на соціальні потреби. При нульовому обсязі виробництва змінні витрати підприємства дорівнюють нулю, а зі збільшенням обсягів виробництва ці витрати зростають. В свою чергу, до постійних відносяться витрати, загальна сума яких не залежить від кількості виготовленої продукції, а змінюється лише із дією часу (тому на графіку вони мають вигляд прямої, паралельної до вісі обсягу виробництва N). Це витрати на управління підприємством (адміністративні витрати), на утримання та експлуатацію обладнання, загальновиробничі витрати (витрати на організацію виробництва та управління роботою цехів та інших структурних підрозділів підприємства) та витрати на збут (реалізацію продукції). Співвідношення постійних і змінних витрат називають структурою витрат підприємства. В сукупності вони формують повні витрати підприємства та складають собівартість продукції [54; 58].

Коли забезпечення продуктивності має пріоритет, вибір інструменту, його кількість та час обробки набуває великого значення. Підвищення швидкості виробництва деталей дозволяє знизити як змінні, так і постійні витрати. Підвищення продуктивності дає можливість економити на управлінні, оплаті праці, зменшити витрати на обладнання тощо. Крім того, це збільшує ефективність [54].

Підвищення продуктивності та зменшення собівартості продукції дає змогу підприємству отримати більший прибуток при реалізації своєї продукції. Тут слід зазначити, що за нульового обсягу виробництва та реалізації дохід підприємства і його змінні витрати дорівнюють нулю. Однак мають місце постійні витрати, які підприємство несе при будь-якому обсязі виробництва. Із зростанням обсягу виробленої продукції збільшуватимуться змінні витрати та дохід. У точці перетину ліній на графіку беззбитковості має місце рівність між витратами підприємства й отриманим доходом. Обсяг виробництва, що відповідає

цій точці, називається беззбитковим або критичним ($N_{кр}$). Якщо підприємство буде реалізувати продукцію в обсязі, меншому за критичний обсяг виробництва, воно буде нести збитки, оскільки витрати перевищуватимуть дохід підприємства. У випадку, коли обсяг реалізації продукції перевищує критичний обсяг виробництва, підприємство отримуватиме прибуток, оскільки дохід буде більшим за його витрати. А якщо обсяг реалізації дорівнює критичному обсягу, то за таких умов прибуток підприємства дорівнюватиме 0 [58].

Метою цього підрозділу є обґрунтування доцільності використання методу планетарного фрезерування отвору у порівнянні з традиційною обробкою за допомогою свердління, зенкерування та розгортання (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Техніко-економічні показники способів обробки отвору

Показник	Базовий спосіб	Новий спосіб
1. Способи обробки отвору	Традиційна обробка (свердління, зенкерування, розгортання)	Метод планетарного фрезерування

Вартість сировини розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів [59]. Вартість сировини наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість сировини для виготовлення деталі «Маточина» зі сталі 40Х

Найменування сировини	Норма використання, кг	Ціна, грн/т	Вартість, грн
Сталь 40Х	20	35000	700

В якості купівельних комплектуючих виробів виступають інструменти, що були використані при обробці отвору. При базовому способі для обробки отвору використовується три інструменти (свердло, зенкер, розгортка зі швидкорізальної

сталі Р6М6). При вивченні цінової політики на українському ринку було встановлено, що ціна зазначених інструментів в середньому становить 200 грн. Для реалізації нового способу необхідно застосовувати лише один інструмент – кінцеву твердосплавну фрезу. В даному випадку обробка здійснюється кінцевою фрезою виробника Sandvik Coromant, яка виготовлена з твердого сплаву GC 4220. Вартість зазначеного інструмента складає 300 грн. Також для повної обробки всієї деталі «Маточина» необхідно декілька інструментів, вартість яких була умовно прийнята у розмірі 800 грн. Приблизно встановлено, що період, на протязі якого інструменти можуть використовуватися для обробки отвору, становить 20 днів – після цього інструменти замінюють на нові. Загальна вартість інструментів, що розподілена на весь період їхнього застосування (20 днів), для реалізації кожного способу з урахуванням вищевикладеного наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вартість купівельних комплектуючих виробів (інструментів)

Способи обробки отвору	Інструменти	Вартість, грн/день
Базовий	Свердло, зенкер, розгортка	70
Новий	Фреза	55

Технологічна (силова) електроенергія, що витрачається на здійснення обробки деталі, розраховується за наступною формулою [59]:

$$E_c = C_{1\text{кВт}} \cdot T_{\text{виг}} \quad (4.14)$$

де $C_{1\text{кВт}}$ – ціна за 1 кВт електроенергії, грн;

$T_{\text{виг}}$ – трудомісткість виготовлення деталі, год.

У разі використання базового способу вартість силових електроенергії, затраченої на виготовлення деталі, складатиме:

$$E_{\text{сб}} = 2,68 \cdot 0,384 = 1,029 \text{ грн}$$

При використанні нового способу вартість силової електроенергії, затраченої на виготовлення деталі, становитиме:

$$E_{\text{сн}} = 2,68 \cdot 0,361 = 0,968 \text{ грн}$$

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок [59]. Трудомісткість виготовлення отвору традиційним способом (3,01 хв) та за допомогою планетарного фрезерування (1,65 хв) відповідає нормі штучно-калькуляційного часу на виконання даної операції, яка була визначена в підрозділі 2.3. При цьому, слід врахувати, що на обробку інших поверхонь для отримання готової деталі додатково потрібно 20 хв. Таким чином, обробка деталі з урахуванням базового способу складає 0,384 год, а з урахуванням нового способу – 0,361 год, що свідчить про зниження трудомісткості виготовлення однієї деталі на 6% (тобто на 0,023 год або 1,38 хв). Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції (розцінки) наведений в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Способи обробки отвору	Норма часу, год	Розряд робітника	Середня часова тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн
Базовий	0,384	V	50	19,2
Новий	0,361	V	50	18,05

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою [59]:

$$ЗД = ЗО \cdot 0,4 \quad (4.15)$$

де ЗО – основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу (розцінка), грн.

Додаткова заробітна плата виробничих робітників у разі застосування базового способу складатиме:

$$ЗД_{\text{Б}} = 19,2 \cdot 0,4 = 7,68 \text{ грн}$$

В свою чергу, додаткова заробітна плата виробничих робітників у разі використання нового способу становитиме:

$$ЗД_{\text{Н}} = 18,05 \cdot 0,4 = 7,22 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників (тобто єдиний соціальний внесок в соціальне страхування) являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства й складають 22% від фонду оплати праці (суми основної та додаткової заробітної плати основних виробничих робітників). Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою [59]:

$$ВС = (ЗО + ЗД) \cdot 0,22 \quad (4.16)$$

де ЗО, грн – дивись формулу (4.15);

ЗД, грн – дивись формулу (4.15).

$$ВС_{\text{Б}} = (19,2 + 7,68) \cdot 0,22 = 5,914 \text{ грн,}$$

$$ВС_{\text{Н}} = (18,05 + 7,22) \cdot 0,22 = 5,559 \text{ грн}$$

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші та в середньому складають 400% від фонду оплати праці та розраховуються за формулою [59]:

$$ВУЕО = (ЗО + ЗД) \cdot 4 \quad (4.17)$$

де ЗО, грн – дивись формулу (4.15);

ЗД, грн – дивись формулу (4.15).

$$ВУЕО_{\text{Б}} = (19,2 + 7,68) \cdot 4 = 107,52 \text{ грн},$$

$$ВУЕО_{\text{Н}} = (18,05 + 7,22) \cdot 4 = 101,08 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати вміщують цехові витрати і послуги виробничого характеру. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці й техніку безпеки в цеху та інші. Загальновиробничі витрати складають в середньому 300% від фонду оплати праці та розраховуються за формулою [59]:

$$ЗВВ = (ЗО + ЗД) \cdot 3 \quad (4.18)$$

де ЗО, грн – дивись формулу (4.15);

ЗД, грн – дивись формулу (4.15).

$$ЗВВ_{\text{Б}} = (19,2 + 7,68) \cdot 3 = 80,64 \text{ грн},$$

$$ЗВВ_{\text{Н}} = (18,05 + 7,22) \cdot 3 = 75,81 \text{ грн}$$

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість [59].

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці, техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 250% від фонду оплати праці та розраховуються за формулою [59]:

$$AB = (ZO + ZD) \cdot 2,5 \quad (4.19)$$

де ZO, грн – дивись формулу (4.15);

ZD, грн – дивись формулу (4.15).

$$AB_B = (19,2 + 7,68) \cdot 2,5 = 67,2 \text{ грн,}$$

$$AB_H = (18,05 + 7,22) \cdot 2,5 = 63,175 \text{ грн}$$

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від фонду оплати праці та розраховуються за формулою [59]:

$$B_z = (ZO + ZD) \cdot 0,02 \quad (4.20)$$

де ZO, грн – дивись формулу (4.15);

ZD, грн – дивись формулу (4.15).

$$B_{зБ} = (19,2 + 7,68) \cdot 0,02 = 0,538 \text{ грн,}$$

$$B_{зН} = (18,05 + 7,22) \cdot 0,02 = 0,505 \text{ грн}$$

Вищенаведені витрати в сукупності складають собівартість повну [59].

Калькуляція собівартості продукції (бюджет витрат на одиницю продукції) наведена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Калькуляція собівартості продукції (бюджет витрат на одиницю продукції)

№	Статті витрат	Вартість, грн		Витрати
		базовий спосіб	новий спосіб	
1	Сировина для виготовлення деталі	700	700	Змінні витрати
2	Купівельні комплектуючі вироби	70	55	
3	Технологічна (силова) електроенергія	1,029	0,968	
4	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	19,2	18,05	
5	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	7,68	7,22	
6	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	5,914	5,559	Постійні витрати
7	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	107,52	101,08	
8	Загальновиробничі витрати	80,64	75,81	
	Собівартість виробнича	991,983	963,687	
9	Адміністративні витрати	67,2	63,175	Постійні витрати
10	Витрати на збут	0,538	0,505	
	Собівартість повна	1059,721	1027,367	
	Змінні витрати	803,823	786,797	
	Постійні витрати	255,898	240,57	

При вивченні цінової політики на українському ринку доцільно встановити ціну деталі «Маточина» у розмірі 1220 грн. Використовуючи данні таблиці 4.6, в програмному забезпеченні САПР Kompas-3D був побудований графік залежності (співвідношення) загальної суми витрат і доходу підприємства від обсягу виробництва або графік беззбиткового й ефективного обсягу виробництва, виходячи з того, що річна програма випуску деталей становить $N = 1000$ шт. На

рисунку 4.3 наданий графік беззбиткового обсягу виробництва для базового варіанту з використанням традиційної обробки отворів.

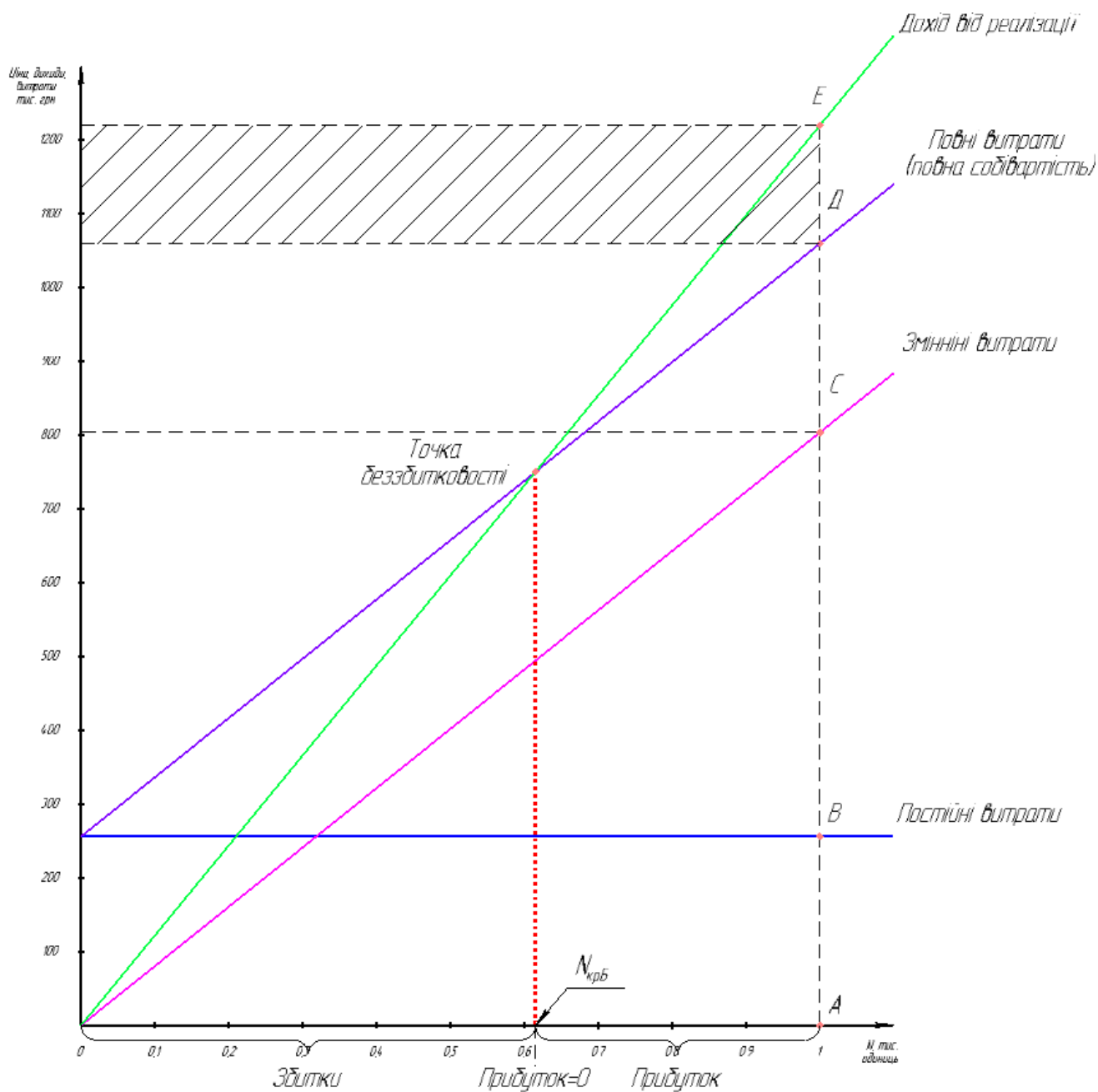


Рисунок 4.3 – Графік беззбиткового обсягу виробництва для базового варіанту з використанням традиційної обробки отворів

Також був розроблений графік беззбиткового обсягу виробництва для нового варіанту з використанням планетарної обробки отворів, що надано на

рисунку 4.4, та, виходячи з якого, одразу можна визначити, що даний метод є більш прибутковим та перспективним.

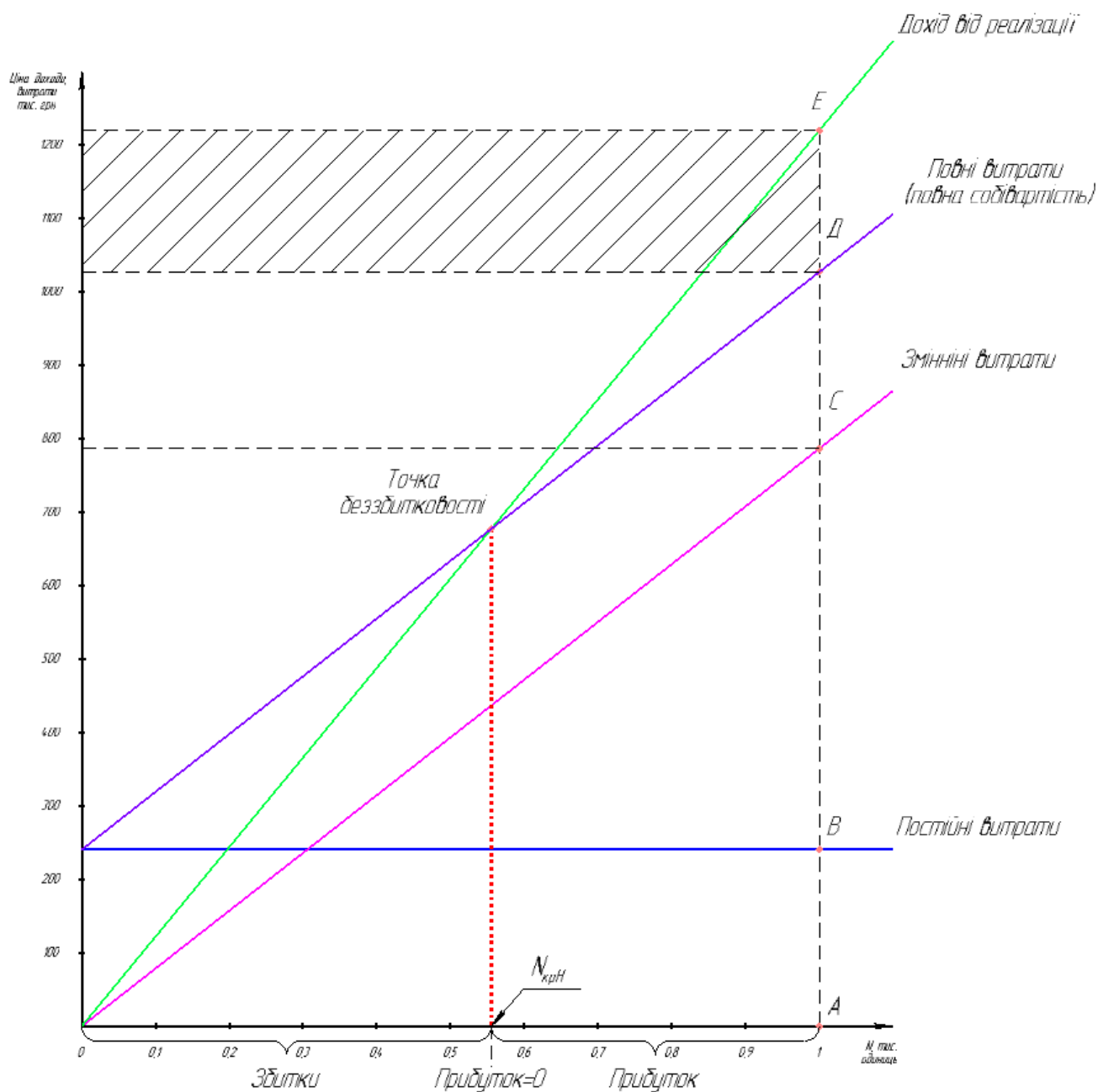


Рисунок 4.4 – Графік беззбиткового обсягу виробництва для базового варіанту з використанням традиційної обробки отворів

На рисунках 4.3 та 4.4 вертикальна лінія АЕ відображає величину вартості реалізованої продукції або величину доходу від реалізації з урахуванням того, що обсяг виробництва N становить 1000 шт. Лінія АД відображає загальну величину повних витрат, а лінії АС та АВ – змінних та постійних витрат відповідно, що

складають повні витрати. Лінія ДЕ показує величину фактичного прибутку при випуску 1000 одиниць даної продукції. Точка перетину лінії повних витрат та доходу від реалізації і є точкою критичного (беззбиткового) обсягу виробництва, при якому виручка за продукцію дорівнює її собівартості. Перпендикуляр з точки беззбитковості на горизонтальну вісь до точки $N_{кр}$ показує критичний обсяг виробництва. При виробництві продукції нижче від цього обсягу підприємство працюватиме зі збитком, при вищому обсязі – одержить прибуток [53].

Беззбитковість виробництва характеризується критичним обсягом виробництва продукції ($N_{кр}$), який можна розрахувати окремо для базового та нового способу за наступною формулою, виходячи з даних таблиці 4.6, що підтвердить адекватність отриманих результатів за графіками (рисунок 3.3, 3.4) [53; 59]:

$$N_{кр} = \frac{S_{пост}}{Ц_i - S_{змі}} \quad (4.21)$$

де $S_{пост}$ – загальна сума постійних витрат річного випуску продукції, грн;

$Ц_i$ – ринкова ціна одиниці продукції, грн;

$S_{змі}$ – змінні витрати на одиницю продукції, грн.

$$N_{крБ} = \frac{255,898}{1220 - 803,823} = 615 \text{ од.},$$

$$N_{крН} = \frac{240,57}{1220 - 786,797} = 555 \text{ од.}$$

Отже, при обсязі виробництва 1000 шт. при використанні планетарного способу обробки підприємство буде отримувати прибуток значно раніше, ніж при використанні традиційного способу обробки. При цьому дохід від реалізації продукції для обох варіантів становитиме [53]:

$$Д = Ц_i \cdot N \quad (4.22)$$

де $Ц_i$, грн – дивись формулу (4.21);

N – обсяг виробництва, шт.

$$D_B = D_H = 1220 \cdot 1000 = 1220000 \text{ грн}$$

При цьому прибуток для кожного з варіанту складатиме [53]:

$$P = D - \text{СП} \quad (4.23)$$

де D , грн – дивись формулу (4.22);

СП – собівартість повна з урахуванням обсягу виробництва 1000 шт. (таблиця 4.6), грн.

$$P_B = 1220000 - 1059721 = 160279 \text{ грн},$$

$$P_H = 1220000 - 1027367 = 192633 \text{ грн}$$

При цьому рентабельність продукції для кожного з варіантів за формулою (4.1) складатиме:

$$P_B = \frac{160279}{1059721} \cdot 100 = 15,13\%,$$

$$P_H = \frac{192633}{1027367} \cdot 100 = 18,75\%$$

В перспективі при збільшенні обсягу виробництва за умови використання планетарного фрезерування є можливість збільшити прибуток до 20% від собівартості. Крім того, збільшення обсягів виробництва дозволить в більшій мірі розподілити витрати, що призведе до їх зменшення на одиницю продукції та обумовить отримання більшого прибутку.

В результаті використання методу планетарного фрезерування буде отриманий економічний ефект у розмірі [53]:

$$E_E = (СП_B - СП_H) \cdot N \quad (4.24)$$

де $СП_B$ – повна собівартість при використанні базового варіанту (таблиця 4.6), грн;

$СП_H$ – повна собівартість при використанні нового варіанту (таблиця 4.6), грн;

N , шт. – дивись формулу (4.22).

$$E_E = (1059,721 - 1027,367) \cdot 1000 = 32354 \text{ грн}$$

Таким чином, за умови однакової ціни одиниці виробу 1220 грн та обсягу виробництва 1000 шт. за рахунок більшої продуктивності та менших витрат (постійних та змінних) при застосуванні планетарного фрезерування отвору забезпечується менший критичний обсяг продукції (555 шт. замість 615 шт.), що обумовлює швидший випуск виробів та більш швидке отримання прибутку. При цьому підприємство працюватиме беззбитково за умови, що обсяг випуску його продукції перевищуватиме критичний обсяг. Також встановлено, що зменшення номенклатури інструменту (фреза вартістю 300 грн замість трьох традиційних інструментів за ціною 200 грн) та трудомісткості виготовлення деталі на 1,38 хв (на 6%) при застосуванні планетарного фрезерування в результаті забезпечило отримання прибутку у розмірі 192633 грн (у порівнянні з 160279 грн), підвищення рентабельності до 18,75% (у порівнянні з 15,13%) та отримання економічного ефекту у розмірі 32354 грн. Всі ці обставини підтверджують, що метод планетарного фрезерування забезпечує не тільки високу точність, а й є більш продуктивним, ніж застосування традиційних методів обробки (свердління, зенкерування, розгортання).

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Тема дослідження дипломного проекту: «Математичне моделювання та аналіз способів планетарної обробки отворів». При виконанні дипломного проекту розглядаються такі способи планетарної обробки отворів, як «прецесійне» свердління та планетарна внутрішньошліфувальна обробка на традиційних верстатах, а також планетарне фрезерування отворів на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) – методи гвинтової та кругової інтерполяції. Розглянуто основні потенційні небезпеки (небезпечні та шкідливі виробничі фактори), що можуть виникнути при обробці деталі даними методами. Ці фактори за природою дії на організм людини поділяються на: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні та такі, що пов'язані з порушеннями санітарно-гігієнічних умов, правил пожежної безпеки й з проявом наслідків надзвичайних ситуацій. Для кожної переліченої групи факторів характерні певний вид небезпеки, причини її появи та небажані наслідки, що виникають в результаті негативного впливу на здоров'я людини.

При виконанні зазначених видів обробки можливі наступні фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- ураження електричним струмом у зв'язку з невиконанням правил електробезпеки або відсутності захисного заземлення;
- наявність гострих кромek, шорсткості поверхні на заготовках, інструментах чи обладнанні при роботі без рукавиць (без спеціального одягу) може призвести до пошкодження шкіряного покриву;
- відліт стружки при виконанні операцій різання деталей з вуглецевої сталі при роботі без спецодягу та захисних щитів може призвести до порізів або опіків;
- наявність частинок металевого або абразивного пилю, стружки, що відлітає, під час роботи без захисних окулярів може призвести до травматизму очей;

- ковзання та падіння працівника при неправильно підбраному взутті, ненормованих розмірів дерев'яного трапу, розташованого біля верстата, при неуважності або надмірній втомі може призвести до травматизму на робочому місці;
- підвищений рівень шуму на робочому місці при виконанні обробки без захисних навушників може призвести до поступового погіршення слуху та значної втоми, роздратованості та зниження концентрації;
- у разі знаходження працівника дуже близько до частини виробничого обладнання, заготовки або інструменту, що рухаються, при відсутності захисної огорожі, а також при роботі з незібраним волоссям, в спеціальній одежі, що має довгі рукава та штанини, при неуважності може виникнути травмування;
- руйнування ріжучого інструменту при порушенні режимів обробки деталей, технологічного процесу або недостатнє закріплення заготовки в пристосуванні чи інструменту в верстатному оснащенні через неуважність працівника може призвести до травм ступеня різної важкості.

Крім зазначених, при виконанні планетарної внутрішньошліфувальної обробки можливі такі фізичні та хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, як:

- розрив шліфувального круга при відсутності захисних пристроїв або при перевищенні максимально допустимої швидкості різання в залежності від матеріалу круга, а також при невідповідності механічної міцності інструменту і запасу міцності кругів при наявності тріщин може привести до травмування самого робітника та осіб, що знаходяться поруч;
- утворення дрібнодисперсного пилу під час обробки деталі без використання засобів захисту (респіратору), при відсутності місцевої та загальної вентиляції, внаслідок ураження органів дихання може призвести до збільшення загальних захворювань, а в подальшому і до професійного захворювання (пневмоконіозу);
- при піднятті та установці на верстат крупно габаритної заготовки масою понад 10 кг може призвести до травмування та до захворювань опорно-рухового апарату.

Потенційні небезпеки біологічного характеру включають наступне:

- подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів можуть викликати мастильно-охолоджувальні технічні засоби при порушенні правил безпеки,

при цьому аерозоль нафтових олив, що входять до їх складу, сприяє зниженню імунітету та може призвести до алергічних реакцій.

До потенційних небезпек психофізіологічного характеру відносять такий перелік:

- незадовільна організація робочих місць в лабораторії внаслідок недостатньої їхньої раціоналізації, недостатнього врахування вимог ергономіки, може призвести до нервово-психічного перевантаження працівників;
- нервово-емоційне навантаження у зв'язку зі стресовими ситуаціями може призвести до роздратованості, неадекватних дій, погіршення настрою;
- фізичне перевантаження при установці, закріпленні та зйомі крупно габаритних деталей або пристосувань може призвести до кістково-м'язових порушень та надмірного навантаження на серцево-судинну систему.

До санітарно-гігієнічних умов відносять наступне:

- незадовільний стан повітряного середовища через відсутність ефективної місцевої та загальної вентиляції може викликати захворювання дихальних шляхів,
- незадовільний рівень освітленості внаслідок відсутності ефективного загального та місцевого освітлення призводить до поступового погіршення зору;
- не виконання вимог до режиму праці й відпочинку призводить до зниження працездатності.

Потенційні небезпеки, що пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки, включають наступне:

- імовірні виникнення загоряння у зв'язку з несправністю електрообладнання, короткого замикання, що може призвести до виникнення пожеж, порушення правил пожежної безпеки, а також відсутність або неправильний вибір типу та необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників), не герметичність систем живлення, може стати причиною поширення пожежі.

До потенційних небезпек, що пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, відносять:

- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайної ситуації, при ліквідації наслідків такої ситуації може призвести до травмування та загибелі людей.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання фізичних, хімічних, біологічних потенційних небезпек та небезпек психофізіологічного характеру при виконанні дослідження необхідно дотримуватись наступних вимог: НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями», ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація», ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009 «ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць», ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож (EN ISO 14120:2015, IDT; ISO 14120:2015, IDT)», ДСТУ EN 418-2003 «Безпечність машин. Пристрої аварійної зупинки. Функціонування і принципи проектування», ДСТУ EN 457-2001 «Безпечність машин. Звукові сигнали небезпеки. Загальні вимоги проектування та випробування», «Технічний регламент безпеки машин», ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплювальні знімні» (EN 13155:2003 + A2:2009, IDT)», ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування», ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення».

З організаційної точки зору згідно зі статтею 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець з метою постійного контролю й нагляду за станом охорони праці створює систему управління охороною праці на підприємстві (СУОПП), яка здійснює професійний відбір персоналу, навчання працівників безпечним методам праці, технічну підготовку виробництва з урахуванням вимог охорони праці, розробляє нормативно правові акти підприємства з охорони праці (інструкції, положення тощо), нормалізує санітарно-гігієнічні умови праці, забезпечує працівників засобами індивідуального та колективного захисту та здійснює контроль, облік і аналіз роботи підприємства в галузі охорони праці [1].

Також згідно з НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» передбачено проходження працівниками на підприємстві інструктажів і, крім того, один раз на три роки навчання з охорони праці, атестація та перевірка знань. З метою навчити працівників правильно й безпечно для себе і навколишнього середовища виконувати свої трудові обов'язки проводяться інструктажі: спеціалістами служби з охорони праці – вступний інструктаж в разі прийняття на роботу працівників; безпосередньо керівником робіт до початку роботи на робочому місці проводиться первинний інструктаж з урахуванням усіх специфічних особливостей, властивих для виконання даного виду робіт, а також зо всіма працівниками 1 раз на півроку (або 1 раз в квартал при роботі з підвищеною небезпекою) проводиться повторний інструктаж; при ліквідації аварій та стихійних лих безпосередньо керівник робіт здійснює цільовий інструктаж, що фіксується в наряд-допуску [2].

З технічної точки зору з метою запобігання ураження працівників електричним струмом необхідно враховувати, що електроживлення верстатного обладнання здійснюється від мережі змінного струму напругою 220-380 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», верстатне обладнання характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення верстатного обладнання у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом. Також конструкцією виробничого обладнання передбачено захист від ураження електричним струмом у випадках помилкових дій працюючого: струмопровідні частини обладнання ізолювані чи огорожені або розташовані в недоступних для людей місцях. Електрообладнання, що має відкриті струмопровідні частини, розміщене всередині корпусів (шаф, блоків) із дверима, які закриваються, або закриті захисними кожухами при розміщенні в доступних для людей місцях. Також у схемі електричного ланцюга виробничого обладнання передбачено пристрій централізованого відключення від мережі живлення всього електричного ланцюга. Враховано заземлення (занулення) металевих частин виробничого обладнання, які через пошкодження ізоляції можуть опинитися під електричною напругою

небезпечної величини. З метою занулення працівника біля кожного верстата розташований дерев'яний трап (решітка) [3].

Згідно з НПАОП 0.00-7.11-12 та ДСТУ 7239:2011 з метою забезпечення захисту працівника від опіків, порізів та травматизму очей, а також органів дихання при здійсненні шліфування, під час виконання операцій різання передбачено використання спецодягу (добре підігнаного й застібнутого віскозно-лавсанового костюму з рукавами, застебнутими манжетами, які щільно облягають руки, у шліфувальника – комбінезону бавовняного з пилонапроникної тканини), спецвзуття (черевики шкіряних з гладким верхом), засобів індивідуального захисту (захисних окулярів, рукавиць, навушників протишумових; респіратору пилозахисного). Працювати на верстатах у рукавицях забороняється. Також важливо, щоб волосся у жінок було закрито головним убором (косинкою, беретом, сіткою тощо) й підібрані під нього. Для запобігання ковзанню підшва спецвзуття виготовляється литою, рельєфною з гуми чи полімерних матеріалів (поліуретану). Крім того, передбачено виконання елементів конструкції виробничого обладнання, заготовок та інструменту без гострих кутів, країв і шорстких поверхонь. Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 під час виконання робіт на верстатах робоче місце утримується в чистоті та не захаращується. Забороняється прибирання стружки руками – з цією метою передбачено відповідні пристрої (гачки, щітки, совки), також в конструкції верстата включено пристосування для уловлювання та видалення стружки (спеціальні стружковідвідники) [4; 5; 6].

Виходячи з ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009, для уникнення падіння верстатника на кожному робочому місці біля верстата на підлозі передбачені дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони та за шириною не менше 0,6 м від виступаючих частин верстата, при цьому відстань між планками трапу – не більше 30 мм [7].

Згідно з ДСТУ EN ISO 14120:2017 передбачено використання стаціонарних та рухомих захисних засобів у справному стані у вигляді металевих чи пластмасових ґраток, сіток, кожухів, прозорих екранів з метою огороження та ізоляції рухомих частини й систем приводу верстатного обладнання та зони обробки, а також для захисту верстатника від змащувально-охолоджувальної рідини й стружки, що відлітає. З метою захисту працівника від травмування при розриві шліфувального

кругу останній закривають спеціальним запобіжним сталевим кожухом. Захисні огороження виконуються досить міцними (міцність захисних огорожень визначається характером аварії, яка прогнозується для конкретного верстатного обладнання), виключають ймовірність травмування, надійно фіксуються в потрібному положенні, не підвищують рівень шуму і вібрацій, не заважають під час роботи та налагоджування верстата. Також передбачено використання захисних огорожень масою до 6 кг, що знімаються частіше, ніж один раз за зміну та закріплюються без застосування ключів і викруток. Крім того, при зніманні рухомих огорожень величина прикладеного до них зусилля становить до 80 Н. Огороження, що самовідкриваються, у разі усталеного руху переміщуються із зусиллям до 40 Н. Враховано розміщення огороження з металевих сіток (решіток) не ближче, ніж за 50 мм від рухомих деталей. Згідно з ДСТУ EN 418-2003 змінні, відкидні або розсувні огороження робочих органів виробничого обладнання, а також двері, кришки, щитки, що відкриваються в огороженнях або корпусі обладнання, мають пристрої фіксації (замки, знімання за допомогою інструменту тощо), які не припускають довільного та випадкового їх знімання чи відкривання під час роботи, та електричні чи механічні блокувальні пристрої, які забезпечують зупинку верстата під час знімання, відключення або відкривання огороження. Ззовні, внутрішні поверхні та посадкові місця захисних огорожень пофарбовані в жовтий колір, що сигналізує про небезпеку в разі їх відкривання, а відкриті струмопровідні елементи – в червоний. На зовнішньому боці огорожень наносять або прикріплюють певний попереджувальний знак (знак безпеки) – рівносторонній трикутник жовтого кольору вершиною вгору з чорною облямівкою і чорним знаком оклику всередині. Під знаком розташовують табличку з пояснювальним написом «У разі ввімкненого верстата не відкривати!» [8; 9].

Якщо не можливо застосувати захисні засоби, то згідно з ДСТУ EN 457-2001 в конструкції виробничого обладнання передбачено засоби сигналізації, що попереджають працюючих про пуск та зупинку верстата, зміни стану, порушення технологічного процесу й нормального режиму роботи, про місце виникнення небезпеки, а також запобіжні засоби – засоби автоматичної зупинки і відключення від джерела енергії при небезпечних несправностях, відхиленні від нормального режиму,

при аваріях чи режимах роботи, близьких до небезпечних. Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові й кольорові сигналізатори, знаки і плакати безпеки, які розміщуються так, щоб їх добре бачили і чули працівники.

Виходячи з «Технічного регламенту безпеки машин», передбачено використання запобіжних пристроїв, які, залежно від природи потенційних небезпек та конструкції виробничого обладнання, протидіють механічним перевантаженням (обмежувачі вантажопідйомності, регулятори частоти обертання; фрикційні муфти, зрізні штифти та шпильки (система слабкої ланки)), переміщенню частин верстата за встановлені межі (обмежувачі ходу, кінцеві вимикачі, упори, спеціальні пристрої для зупинення рухомої частини обладнання), перевищенню тиску (розривні мембрани), температури, перевищенню сили електричного струму понад припустимі межі.

Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 з метою запобігання руйнування ріжучого інструменту передбачено використання раціональних режимів обробки, що відповідають технологічному процесу та не перевищують допустимих значень. Також для уникнення травматизму перед установленням на верстат пристосувань та деталей, передбачено їх очищення від стружки та мастила (особливо базових та кріпильних поверхонь) – для забезпечення правильного установлення їх та досягнення міцності закріплення. Крім того, перед початком роботи здійснюється перевірка пристосування на цілісність та справність. Закріплюється деталь в місцях, що розташовані якомога ближче до оброблювальної поверхні. При цьому використовуються спеціальні пристосування: лещата, що кріпляться до стола верстата болтами, розмір яких відповідає розміру паза стола, кондуктори чи електричні, електромагнітні, пневматичні пристосування. Посадочні місця та базові поверхні верстата та інструменту, за якими здійснюються закріплення інструменту, ретельно очищаються та протираються, а забоїни – усуваються. При закріпленні інструменту передбачено досягнення співвісності інструменту зі шпинделем верстата, а також надійність закріплення за допомогою відповідних пристосувань: фрезерну оправку або фрезу закріплюють в шпинделі ключем (залишати ключ на головці затяжного болта після установки інструменту забороняється), шліфувальний круг затискується між фланцями кріпильною гайкою тощо. Також важливо включати механізоване й

автоматичне закріплення деталей та інструментів на верстаті. Крім того, для здійснення шліфування не використовуються круги з тріщинами на поверхні, з відшаровуванням шару, що містить ельбор, а також круги, що не мають відмітки про проведення випробування, на механічну міцність або з простроченим терміном зберігання. Передбачено збалансування шліфувальних кругів діаметром 125 мм і більше з робочою швидкістю більше ніж 50 м/с, а також шліфувальних кругів діаметром 250 мм і більше, складені разом із планшайбою, перед установленням на верстат з метою усунення вібрацій. Також, коли у повітрі робочої зони працівника утворюється пил з концентрацією, що перевищує гранично допустиму, в конструкції шліфувального верстата включено індивідуальний відсмоктувальний пристрій (місцеву витяжну вентиляцію) з тканинними фільтрами, тканина яких є вогнестійкою (або на ділянці всмоктування перед пристроєм передбачений іскроуловлювач).

Згідно з ДСТУ EN 13155-2018 для установки заготовок масою більше ніж 8 кг, а також інструментів та пристосувань масою більше ніж 20 кг передбачено оснащення верстату індивідуальним підймальним пристроєм, що утримує вантаж у будь-якому положенні. Для установки заготовок масою більше за 25 кг застосовуються внутрішньо цехові підймальні засоби.

Виходячи з НПАОП 0.00-7.11-12, передбачено оснащення систем циркуляції змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР) пристроями для видалення ЗОР з зони обробки і її скидання в приймальники, пристроями очищення технологічної рідини від механічних забруднень (пилу, стружки тощо) та пристроями дозованої і направленої подачі ЗОР у зону обробки з урахуванням автоблокування подачі в разі припинення роботи верстата. При цьому верстати забезпечуються пристроями місцевої вентиляції: місцевими витяжними пристроями типу вентильованих укриттів зони обробки металів (кожухів, панелей рівномірного всмоктування тощо) та витяжними повітроводами, – в конструкції яких передбачена можливість стоку пари, що конденсується, та аерозолів ЗОР у відстійники або фільтрувальні системи ЗОР. Передбачено одночасне вмикання місцевої витяжної вентиляції з пуском верстата та вимикання після його зупинки. Періодичність заміни ЗОР встановлюється за результатами контролю її змісту: замінюються водні розчини у циркуляційних

системах ЗОР не рідше ніж один раз на місяць, у літній період – один раз на два тижні, для масляних ЗОР – один раз на 3 місяці. Відпрацьовані ЗОР збираються в спеціальні ємності. Передбачено забезпечення працюючих із ЗОР захисними мазями й пастами для змащування шкіри рук та мийними засобами відповідно до характеру вживаних технологічних рідин. Після закінчення роботи із ЗОР миють руки, тіло гарячою водою, при цьому забороняється застосування для цієї мети синтетичних мийних засобів, господарського мила, а також використовувати як мийний засіб для прибирання верстата технологічні рідини та мити руки ними. Також передбачено централізоване чищення та ремонт спецодягу та періодичне видалення з поверхні мийного розчину масляної плівки при пранні.

Згідно з ДСТУ EN 894-3:2017 передбачено раціональне використання у конструкції верстатів принципів ергономіки та засобів особистого захисту з метою зниження до мінімуму стомлюваності, психологічного (стресу) й фізичного навантаження працюючих. Передбачено використання такої конструкції органів керування верстата, яка забезпечує оптимальні умови для управління виробничим обладнанням та відповідає антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним властивостям людини, а також характеру роботи (як в звичайних умовах експлуатації, так і в аварійних ситуаціях). Передбачено використання таких органів керування, що мають форму, розміри поверхні, безпечні й зручні для роботи, розміщуються в робочій зоні так, щоб відстань між ними, а також до інших елементів конструкції не утруднювала виконання операцій, відповідала фізичним характеристикам працюючого, дозволяла при необхідності здійснювати управління в засобах індивідуального захисту, а також врахування необхідних для переміщення органів керування зусиль й напрямків. Розташовуються органи поза небезпечної зони так, щоб маніпулювання органами керування не викликало додаткових небезпек для працюючого. При затиску і розтисканні заготовки рукоятки спрямовують в протилежний бік від інструменту. Також форма, розміри і поверхні контакту органів керування здійснюються так, щоб вони відповідали способу захоплення (пальцями, кистю) або натискання (пальцем, долонею, стопою, носком ноги) та виключали можливість скупчення на них стружки й інших відходів. Робоча поверхня кнопок і клавіш, керованих пальцями, має плоску або

злегка увігнуту форму, а долонею – опуклу (грибоподібну) форму; рукоятки важелів мають овальну форму в разі точного регулювання та переміщення всією рукою, в інших випадках – круглу; поворотні органи управління (маховики, поворотні вимикачі і перемикачі тощо) – конічну або циліндричну форму; вимикачі і перемикачі типу «тумблер» – циліндричної (у вигляді кульки, лопатки), конусоподібної (основа конуса звернена у бік працюючого) або у вигляді паралелепіпеда; опорна поверхня ножних кнопок виконується рівною та неслизькою; опорна поверхня педалі шириною не менше 60 мм виконується неслизькою і при необхідності має упор для ніг, при цьому кут її нахилу при виконанні робіт сидячі забезпечує природне положення ноги та кут між гомілкою і стопою від 90 до 115° з наявністю опори для п'яти ноги. Ділянки захоплення на рукоятках керування верстатами (за винятком настільних) розташовують при середньому положенні рукояток на висоті не нижче 500 і не вище 1700 мм від нижньої площини основи верстатів або майданчика, з якого здійснюється керування, а при користуванні рукоятками не більше восьми разів на зміну – на висоті від 300 до 1850 мм, тоді як нижній ряд кнопок пультів керування верстатом розташовують на висоті не нижче 600 мм, а верхній – не вище 1700 мм. При цьому відстань між найближчими точками приводних елементів кнопоквих і клавішних вимикачів і перемикачів становить не менше 15 мм, а при роботі в засобах індивідуального захисту – не менше 25 мм.

Передбачено компонування органів керування, яке враховує послідовність і частоту їх використання та значущість функцій. Органи керування та налагоджування верстата, що найбільш часто використовують, розташовують на передній стінці верстатів в зручних для роботи місцях. Застосовують уніфіковане керування виробничим обладнанням, що належить до однієї групи (розміщення рукояток, педалей, кнопок контрольно-вимірювальних приладів, правила керування, типові написи, знаки). Також органи керування приводяться в дію зусиллями, що не перевищують допустимі динамічні і (або) статичні навантаження на руховий апарат людини з урахуванням частоти використання. Крім того, їх переміщення співпадає з напрямом руху вказівника відповідного засобу відображення інформації та (або) частини самого обладнання, яка переміщується, у разі неможливості цього органи керування виконують або заблоковують так, щоб виключалась імовірність

неправильної послідовності операцій, обладнують схемою і написом, що наочно вказують правильну послідовність операцій. Органи керування, пов'язані з певною послідовністю їх застосування, групують таким чином, щоб дії працюючого здійснювалися зліва направо і зверху вниз. При цьому забезпечується: при переміщенні вперед чи натисканні (від себе), направо чи вгору або обертання за годинниковою стрілкою – пуск, включення або збільшення параметра, при переміщенні назад чи при зменшенні сили натискання (до себе), ліворуч чи вниз або обертання проти годинникової стрілки – виключення або зменшення параметра. Конструкція і розміщення органів керування виконуються так, щоб унеможливити ймовірність самовільного й випадкового їх зміни положення, вмикання й вимикання. Органи ручного керування розташовують так, щоб користування ними було зручним, не призводило до затискання та наштотування руки на інші органи керування та частини верстата, до закриття рукою індикаторів, і повністю усувалась випадкова дія на ці органи. Температура нагрітих поверхонь приводних елементів органів управління, які використовуються без застосування засобів індивідуального захисту, складає не більше ніж 310 K (або 36,85°C). Поверхні приводних елементів органів управління виконуються з нетоксичних, нетеплопровідних, за необхідністю – з електроізоляційних матеріалів.

Передбачено кодування органів управління формою, розміром, кольором або іншими видами коду або їх комбінаціями. Для позначення засобів керування верстатами поряд з цими органами зазначаються чіткі написи чи символи, що однозначно визначають призначення органів керування, добре читаються на відстані не менше 500 мм та не витираються. Органи керування аварійного вимикання передбачають сигнальне пофарбування у червоний колір, що має зберігатися протягом всього періоду експлуатації, відрізнятися формою від решти елементів керування, мати покажчики їх знаходження, написи про призначення, розміщуватися в легкодоступних для працівників місцях і виключати ймовірність пуску до усунення аварійної ситуації. Частини виробничого обладнання, що становлять небезпеку, фарбують в сигнальні кольори з нанесенням знаків безпеки.

Організація робочих місць цеху також виконується з дотриманням ергономічних вимог, раціонального планування, що забезпечує взаємозв'язок

основного й допоміжного устаткування, та з раціональним розміщенням обладнання, тобто основні джерела тепла розміщуються біля зовнішніх стін будинку та не застосовується перехрещення теплових потоків. Робоче місце виконують безпечним й зручним для працівника та розташовують так, щоб було забезпечено максимально можливе спостереження за траєкторіями рухомих частин з метою запобігання можливому їх зіткненню з людьми або обладнанням чи іншими машинами. Також на робочих місцях для створення високопродуктивних і безпечних умов праці передбачають площу для раціонального розташування на ній допоміжних пристроїв: стелажів, тари, столів та інших пристроїв (інструментальних шафок, полиць тощо) для розміщення оснащення, пристосувань, матеріалів, заготовок, інструментів, напівфабрикатів, деталей, відходів виробництва. Стілець працівника з регульованими нахилом спинки і висотою сидіння, який забезпечує стійке положення працівнику, враховує його фізичні характеристики. Якщо ноги працівника не спираються на підлогу, забезпечують опори для ніг, покриті матеріалом, що запобігає проковзуванню.

Згідно з ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009 передбачено установлення стаціонарних верстатів на міцних фундаментах або підмурках, а також віброопорах та інших віброізолювальних пристроях, що запобігають вібрації обладнання, при цьому верстати ретельно вивіряють та надійно закріплюють. Введення в роботу верстатів здійснюється тільки після прийняття його комісією і складання відповідного акту, який затверджується головним інженером підприємства. Крім того, конструкція виробничого обладнання з метою запобігання виробничого травматизму виключає можливість випадкового дотику працюючих до гарячих і холодних частин.

Відповідно до ДБН В.2.2-28:2010 забороняється ставити верстати упиртул до стін, колон і один до одного торцевими або задніми сторонами, тому передбачаються розриви з метою забезпечення безпечних умов налагодження, змазування та ремонту верстата. Розрив (відстань) між верстатами визначається залежно від наявності і кількості робочих місць у проході, розміру верстатів і максимального вильоту їх рухомих частин, площі для допоміжних пристроїв, розміру оброблюваних деталей та становить від 50 см до 1 м. Ширина основних проходів всередині цехів та дільниць

становить не менше 1,5 м (в лабораторії – не менше 3 м), а ширина проїздів – 2,5 м. Висота виробничих приміщень становить не менше 3,2 м.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці та робочих кімнат розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»). Згідно з зазначеними нормами передбачено відповідність мікрокліматичних (метеорологічних) умов таким параметрам, як температура (на висоті 2 м від підлоги) відносна вологість і швидкість переміщення повітря та барометричний (атмосферний) тиск. В холодну пору року на дільниці температура повітря становить 18-20 °С, в теплу – 21-23 °С (оптимальна температура – 20 °С). Відносна вологість повітря – 40-60% (оптимально – 75%). Оптимальна швидкість переміщення повітря в приміщенні цеху $0,2 \div 0,3$ м/с, а в проїзні ворота – 0,4 м/с. Працівник здатен виконувати роботи в інтервалі тиску 550-950 мм.рт.ст, але без різких змін (оптимально – 760 мм.рт.ст.). Згідно з санітарними нормами об'єм виробничих приміщень на одного працівника повинен складати не менше 15 м³, а площа приміщень – не менше 4,5 м².

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою водяного опалювання (променистого нагрівання постійних робочих місць та окремих дільниць), що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Захист від протягів досягається шляхом щільного закривання вікон, дверей та інших отворів, а також влаштування повітряних і повітряно-теплових завіс на дверях і воротах.

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення»

передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5%.

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітлення на дільниці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин. Для металорізальних верстатів передбачено комбіновану систему освітлення робочих зон верстатів. Місцеве освітлення забезпечується лампами розжарювання, для живлення застосовується напруга 42 В.

ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» регламентують рівень шуму у робочій зоні. Дані норми встановлюють методи оцінки виробничого шуму, параметри та їх допустимі значення. Рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБ. При перевищенні цього значення робочий час повинен бути скорочений в залежності від рівня перевищення шуму. При роботі за верстатами необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту, наприклад, беруші. Верстати повинні мати таку конструкцію, що забезпечує зниження рівнів шуму і вібрації до значень, регламентованих стандартом, та оснащені шумоізоляційними корпусами.

ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину» та ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій», ДСТУ EN 14253-2018 «Вібрація механічна, вимірювання та обчислювання впливу на здоров'я загальної виробничої вібрації. Практична настанова» зазначають рівні вібрації під час верстатних та інших видів робіт, описують вплив рівня вібрацій на здоров'я працюючих. На місцях праці з вібраціями необхідно робити перерви кожні 10-15 хвилин. Для зниження негативного впливу вібрацій на стан здоров'я робітника необхідно регулярно робити огляд у лікаря та виконувати профілактичне лікування.

5.4 Вплив інформації на людину та методи захисту

В житті людини інформація про осіб, предмети, технології, засоби, ресурси, події та явища, що відбуваються в усіх сферах життєдіяльності, займає дуже важливе місце. Як правило, пошук інформації, її обробка, аналіз та діагностика, її використання в професійній та у побутовій сфері потребує від кожного з нас фізичного та психічного напруження, значних зусиль та значного терміну внаслідок перенасиченості та непорядкованості інформаційного простору. Зазвичай, для здійснення пошуку кожен з нас звертається до найбільшої комп'ютерної мережі в світі – до Інтернету. Але користуючись Інтернетом, ми не усвідомлюємо або не помічаємо, як інформація впливає на нас, формуючи нашу поведінку, цінності, принципи, наміри, звички, світогляд, задає напрямок вдосконалення та розвитку. При цьому такий вплив не завжди може бути безпечним та може впливати на фізичне й психічне здоров'я та особистісні властивості людини, оскільки соціальні наслідки «інформаційного забруднення» цілком порівнювані з негативними наслідками хімічних, фізичних та інших забруднень середовища існування людини. З метою аналізу існування зазначеної проблеми та оцінки ступеню небезпеки проведено інформаційний пошук та проаналізовано матеріали щодо інформаційних загроз (небезпек) та основних напрямів по забезпеченню інформаційної безпеки. Так, була здійснена класифікація інформаційних загроз за п'ятьма критеріями:

1) джерела загроз: зовнішні (атмосферні явища, стихійні лиха, катастрофи, аварії; діяльність конкуруючих економічних структур; діяльність злочинних угруповань) та внутрішні (порушення персоналом режимів безпеки; відмови та збої апаратних засобів і носіїв інформації; помилки програмного забезпечення; діяльність злочинних угруповань);

2) напрямки загроз: розкриті (нелегальне ознайомлення або читання), порушення цілісності (несанкціоноване знищення або модифікація) та порушення готовності чи доступності (відмова в обслуговуванні);

3) види загроз: програмно-математичні (впровадження комп'ютерних вірусів; впровадження програмних закладок; використання операційних і функціональних дефектів; дешифрування), інформаційні (несанкціоноване проникнення; порушення регламенту інформаційного обміну; розкрадання баз даних), радіоелектронні

(перехоплення інформації в каналах зв'язку; радіоелектронне придушення) та фізичні (знищення та руйнування засобів обробки інформації; розкрадання апаратних та програмних ключів, добування зразків; вплив на персонал);

4) типи загроз: технологічні (впровадження на етапі розробки інформаційних систем) та експлуатаційні (впровадження на етапі експлуатації інформаційних систем);

5) види збитків: явні (порушення безпеки інформації), непрямі (руйнування апаратно-програмного забезпечення) та неявні (промислове шпигунство, розкрадання апаратно-програмного забезпечення та документації, моральний збиток).

В зв'язку наявності інформаційних загроз передбачено такі основні напрямки забезпечення інформаційної безпеки: нормативно-правове і організаційно-технічне забезпечення та система страхування ризиків. Так, в 2015 році було створено Міністерство інформаційної політики, прийнята Стратегія національної безпеки з окремим розділом про інформаційні загрози. Практично у всіх силових структурах створені і функціонують елементи інформаційного впливу і протидії. Інформаційний захист регламентується нормативними документами: «Про Державну службу спеціального зв'язку та захисту інформації України» від 23.02.2006 № 3475-IV, «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» від 05.10.2017 № 2163-VIII, Указом Президента України затверджено «Положення про Національний координаційний центр кібербезпеки» та «Стратегію кібербезпеки України» від 15.03.2016 № 96/2016. З метою забезпечення протидії кіберзлочинності, завчасного інформування населення про появу нових кіберзлочинів, для систематизування та аналізу кіберінцидентів, здійснення оперативно-розшукової діяльності була створена Кіберполіція. Вона запобігає зламу баз даних, платіжних систем, поширенню вірусів та крадіжок інформації із, наприклад, держреєстрів з персональними даними громадян тощо. Так Кіберполіція України створила сервіс для генерації паролів, які не зможуть зламати хакери. Вона розслідує злочини в сфері інформаційної безпеки, електронної комерції, господарської діяльності, інтелектуальної власності, при яких застосовуються комп'ютери, телекомунікаційні та комп'ютерні інтернет-мережі й системи.

Організаційно-технічне забезпечення спрямовано на захист інформаційних ресурсів, тобто не допускає витік, знищення даних, несанкціонований доступ до

інформації та модифікації тощо. Режимне й оперативне забезпечення відкривають безпосередній доступ особам та організаціям до закритої захищеної інформації.

За допомогою технічних засобів забезпечується захист від побічного електромагнітного випромінювання і наведень, захист від несанкціонованого доступу до інформації, криптографічний захист інформації. Організаційним забезпеченням є проведення єдиної державної політики захисту інформації.

Також держава контролює здійснення обов'язкової сертифікації та ліцензування діяльності в галузі захисту інформації, зокрема виробництва товарів та надання послуг у галузі технічного і криптографічного захисту інформації відповідно до ліцензійних умов провадження господарської діяльності з надання послуг у галузі технічного захисту (14.10.2014 № 532). Органи державного нагляду (контролю) забезпечують спеціальний режим захисту та доступу до інформації, що є комерційною таємницею, згідно з Законом України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 05.04.2007 № 877-V.

Страхування інформаційних ризиків стосується лише недержавних установ. Це гостре та актуальне питання, яке потребує вирішення для усіх користувачів інформації. Контроль за страховою діяльністю в Україні здійснює Комітет з нагляду за страховою діяльністю. Але, нажаль, сучасне страхове забезпечення в Україні перебуває на низькому рівні, а його доцільність недооцінюється. Наприклад, страховий захист інформації дозволяє економічно стабілізувати ситуацію (матеріально компенсувати загублену інформацію), знизити психоемоційні навантаження на користувача в зв'язку з втратою важливої інформації. Страхування також дає можливість стабілізувати розвиток суспільства, підприємства, організації, державних структур. Залучення коштів страхових компаній дасть можливість розробляти більш захищене програмне забезпечення та практично підтримувати розробку технічних принципів забезпечення інформаційної безпеки.

Для більш доступного і повного сприйняття інформації щодо забезпечення безпеки вона була систематизована та візуалізована у вигляді блок-схеми, яка представлена на рисунку 5.1.

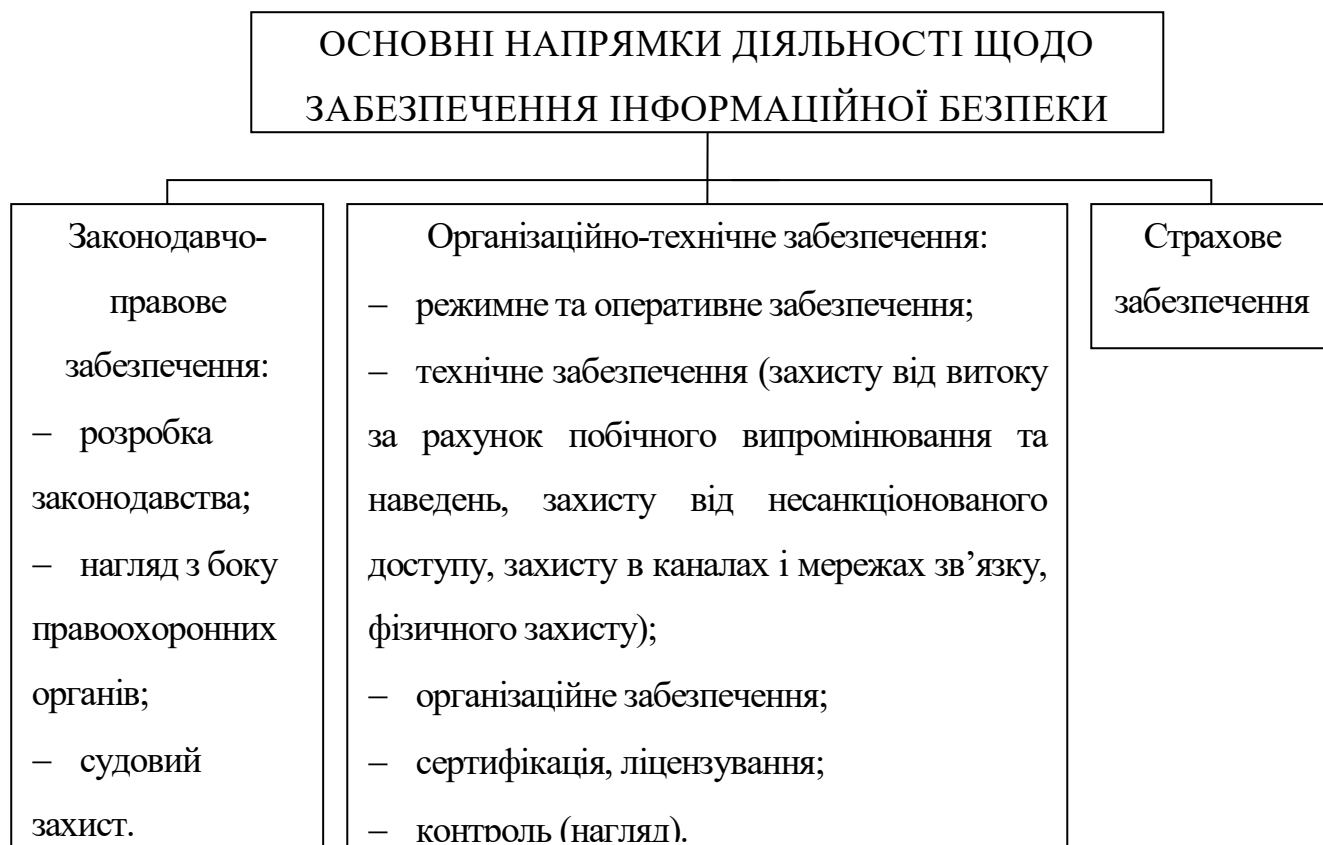


Рисунок 5.1 – Основні напрямки діяльності щодо забезпечення інформаційної безпеки

Таким чином, проаналізувавши стан України стосовно інформаційної безпеки, ми виявили ряд проблем. По-перше, держава своєчасно не приділила увагу і не розробила ефективний механізм загальної інформаційної безпеки. По-друге, результати забезпечення інформаційною безпекою залежить від індивідуальних особливостей окремо взятого користувача, тобто далеко не всі користувачі схильні постійно (в умовах дефіциту часу) виконувати правила щодо перевірки безпеки системи. По-третє, через недостатньо розвинуту систему страхового забезпечення інформаційної безпеки Україна переживає більш масштабні наслідки в зв'язку появи кібератак і втрати даних. Отже, для забезпечення високого рівня національної безпеки України в інформаційній сфері діяльність держави та приватних компаній має бути спрямована на вкладення суттєвих матеріальних та інтелектуальних ресурсів у інформаційний захист та кібербезпеку.

5.5 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки

Для запобігання потенційних небезпек, пов'язаних з порушеннями правил пожежної безпеки, при виконанні дослідження необхідно дотримуватись наступних

вимог: ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT)», ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», «Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

Виходячи з того, що дослідження здійснюються в лабораторії, в якій розташовані верстати, то згідно з ДСТУ EN 2:2014 можлива пожежа класу А, що супроводжується горінням твердих речовин, підкласу А1 (горіння твердих речовин, яке супроводжується тлінням: деревина, папір), та класу Е – горіння електроустановок, що перебувають під напругою електричного струму. Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення лабораторії відноситься до категорії Д пожежної небезпеки, бо в лабораторії здійснюється оброблення металу в холодному стані та використовується система мащення й охолодження, що містить горючі рідини (при цьому в одиниці устаткування – не більше 60 кг горючої рідини за умови тиску не вище 0,2 МПа). Згідно з ДБН В.1.1-7:2016 приміщення лабораторії відповідає II ступеню вогнестійкості. Виходячи з ДБН В.2.5-56:2014, лабораторія оснащена засобами виявлення загорянь і пожеж: автоматичними сигналізаторами про пожежу та системою електричної пожежної сигналізації. Відповідно до «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» в приміщенні загальною площею 40м² повинен бути 1 вуглекислотний вогнегасник (застосовується в діапазоні температур зовнішнього середовища від -25°C до 50°C) місткістю 5л для гасіння невеликих початкових вогнищ загоряння металевих виробів та горючих рідин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В. При цьому для приміщень категорії Д відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати 70 м. Також при гасінні пожежі в приміщеннях з електрообладнанням доцільно використовувати системи автоматичних вуглекислотних установок.

5.6 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

З метою недопущення потенційних небезпек, пов'язаних з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, згідно з Кодексом цивільного захисту України главою 10 статтями 39-42 передбачено організацію навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях [60].

Стаття 39. Організація навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях [60]

2. Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється [60]:

- 1) за місцем роботи – працюючого населення;
- 2) за місцем навчання – дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- 3) за місцем проживання – непрацюючого населення.

3. Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається [60]:

1) працюючого та непрацюючого населення – на центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до таких дій;

2) дітей дошкільного віку, учнів та студентів – на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних надзвичайними ситуаціями, з надання домедичної допомоги за погодженням з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

4. Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачається набуття знань у сфері цивільного захисту [60].

5. Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях встановлюється Кабінетом Міністрів України [60].

6. Громадські організації та позашкільні навчальні заклади здійснюють навчання діям у надзвичайних ситуаціях відповідно до своїх статутів [60].

Стаття 40. Навчання працюючого населення [60]

1. Навчання працюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях є обов'язковим і здійснюється в робочий час за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення діям у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту [60].

2. Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту [60].

3. Для отримання працівниками відомостей про конкретні дії у надзвичайних ситуаціях з урахуванням особливостей виробничої діяльності суб'єкта господарювання у кожному суб'єкті господарювання обладнується інформаційно-довідковий куточок з питань цивільного захисту [60].

4. Особи під час прийняття на роботу та працівники щороку за місцем роботи проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях [60].

5. Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, мають попередньо пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань відповідних нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки [60].

6. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема з пожежної безпеки, забороняється [60].

7. Програми навчання з питань пожежної безпеки погоджуються з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту [60].

Стаття 41. Формування культури безпеки життєдіяльності населення. Навчання учнів, студентів та дітей дошкільного віку [60]

1. Культура безпеки життєдіяльності населення – це сукупність цінностей, стандартів, моральних норм і норм поведінки, спрямованих на підтримання самодисципліни як способу підвищення рівня безпеки [60].

2. Популяризація культури безпеки життєдіяльності серед дітей та молоді організовується і здійснюється центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, спільно з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, громадськими організаціями шляхом [60]:

1) проведення шкільних, районних (міських), обласних та всеукраїнських змагань з безпеки життєдіяльності;

2) проведення навчально-тренувальних зборів і польових таборів;

3) участі команд-переможниць у заходах міжнародного рівня з цих питань.

3. Навчання учнів, студентів та дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та правилам пожежної безпеки є обов'язковим і здійснюється під час навчально-виховного процесу за рахунок коштів, передбачених на фінансування навчальних закладів [60].

4. Навчання дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та запобігання пожежам від дитячих пустощів з вогнем проводиться шляхом формування у них поведінки, відповідної віку дитини, щодо власного захисту та рятування [60].

Стаття 42. Навчання непрацюючого населення [60]

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки у побуті та громадських місцях та має право отримувати від органів державної влади, органів місцевого самоврядування, через засоби масової інформації іншу наочну продукцію, відомості про надзвичайні ситуації, у зоні яких або у зоні можливого ураження від яких може опинитися місце проживання непрацюючих громадян, а також про способи захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних такими надзвичайними ситуаціями [60].

Таким чином, з метою усунення потенційних небезпек, що можуть виникнути при здійсненні планетарної обробки отворів деталі: фізичних, хімічних, біологічних,

психофізіологічних та таких, що пов'язані з порушеннями санітарно-гігієнічних умов, правил пожежної безпеки й з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, – були передбачені відповідні заходи та дотримання нормативів, що в результаті забезпечило збереження здоров'я працюючих.

ВИСНОВКИ

В результаті літературного огляду в першому розділі було встановлено, що найбільш поширеною операцією обробки отвору є свердління, яке забезпечує точність до 10-13 квалітету та шорсткість Rz 40-160 мкм, що обумовлює використання після зазначеної операції використання чистових переходів (зенкерування, розточування, розгортання). Встановлено, що точність отвору і його вісь формуються на першому переході, тому похибку, що виникає внаслідок уведення свердла, чистовим інструментом не завжди в повній мірі вдається усунути. Крім того, при свердлінні спостерігаються високі осьові навантаження на інструмент та забезпечується невисока точність оброблюваної поверхні. Ситуація, що виникла, може бути вирішена за допомогою більш перспективного методу – планетарної обробки отвору, який може бути реалізований способами «прецесійного» свердління та планетарної внутрішньошліфувальної обробки. Але такі недоліки, як не універсальність інструменту, низька продуктивність, можливість отримувати отвори обмеженої форми й дуже обмежених розмірів, наявність готових точних отворів з точно координованою віссю в деталях, високі вартість та збільшення часу обробки отворів тощо робить зазначені способи вузькопрофільними, що дає підставу пошуку більш ефективного методу обробки отворів.

В другому розділі вказано, що в якості досліджуваної деталі була обрана маточина колеса, що виконана зі сталі 40Х. Оскільки в конструкції деталі присутній ряд отворів, осі яких розташовані під кутом до базового торця деталі, й обробити їх в універсальних кондукторах немає можливості, то було розроблено спеціальне пристосування, яке дозволить встановити деталь так, щоб повернути вісі цих отворів у вертикальне положення. В дані роботі розглядається виготовлення отвору $\varnothing 26H8\left(^{+0,033}\right)$ шорсткістю $Ra = 1,6$ мкм, вісь якого розташована під кутом. Також встановлено, що сила затиску деталі повинна бути більше сили різання в 3-5 разів. Для виготовлення зазначеного отвору довжиною 37 мм була обрана твердосплавна кінцева фреза CoroMill Plura виробника Sandvik

Coromant довжиною 124 мм та діаметром 16 мм та довжиною ріжучої частини 60 мм, що дає змогу обробити даний отвір. Отримана різниця діаметрів отвору та фрези дає змогу здійснити обробку за допомогою планетарного фрезерування за умови, що мінімальний діаметр інструменту є в 2 рази менше отвору, при цьому максимальний діаметр отвору становить не більше двох діаметрів інструменту. Як інструментальний матеріал для обробки сталі 40X використовувався твердий сплав GC 4220 за маркуванням виробника Sandvik Coromant, який поєднує в собі оптимальну комбінацію зносостійкості й міцності. Запропоновано здійснювати обробку на компактному та високошвидкісному 3-хкоординатному вертикально-фрезерному обробному центрі з ЧПК Haas DT-1. Виходячи з того, що довжина столу становить 660 мм, ширина – 381 мм, максимальна величина робочих переміщень за віссю X становить 508 мм, Y – 406 мм, Z – 394 мм, то це свідчить про те, що робоча зона верстата дозволяє встановити пристосування з деталлю (висота 260 мм, довжина 350 мм, ширина 260 мм). Оскільки ширина Т-образних пазів складає 16 мм, а ширина пазів пристосування – 18 мм, це дозволяє закріпити пристосування на столі верстата болтом з гайкою. Тобто робоча зона верстата дозволяє встановити та закріпити деталь на ньому. Також аналітичним методом були розраховані режими різання для планетарного фрезерування отвору діаметром 26 мм фрезою 16 мм, при цьому глибина різання становить 16 мм, ширина фрезерування – 3 мм, подача на зуб – 0,05 мм/зуб, дійсна частота обертання шпинделя верстата – 5000 об/хв, дійсна швидкість різання – 251,2 м/хв. Встановлено, що у випадку чистового фрезерування досягається шорсткість $R_a = 0,8-1,6$ мкм. Визначені сила різання (окружна сила різання) при фрезеруванні, яка складає 573 Н, крутний момент – 45,84 Нм, потужність різання – 2,352 кВт, основний (технологічний) час на планетарне фрезерування отвору – 0,4 хв. Виходячи з того, що максимальна частота обертання шпинделя Haas DT-1 складає 10000 об/хв., максимальний крутний момент – 62 Нм, максимальна потужність шпинделя – 11,2 кВт, то можна зробити висновок, що даний верстат забезпечує виконання визначених режимів різання обробки отвору Ø26.

В результаті виконання третього розділу було визначено, що метод планетарного фрезерування отворів є найбільш оптимальним, оскільки він дозволяє здійснювати обробку одним універсальним інструментом за один прохід, забезпечуючи отримання різних за формою та розмірами отворів, обумовлюючи сприятливі умови видалення стружки, менші навантаження на інструмент та більшу його стійкість. Встановлено, що при планетарній обробці отвору утворюється огранка Δ , величина якої зростає зі збільшенням кругової подачі на зуб S_z й збільшенням діаметру оброблюваного отвору D та зменшується з ростом числа зубів z і діаметрів інструмента d , що дозволяє вибрати необхідні при обробці параметри. Оскільки збільшується співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d , забезпечується зростання величини огранки Δ . При цьому, при попутному фрезеруванні ця нерівність стає меншою. Також виявлено, що в результаті впливу параметрів фрезерування (z , S_z , d , D) змінюються радіус кривизни траєкторії руху зуба фрези ρ та кут, що відповідає положенню вершини (максимальному значенню отриманої огранки) φ . Встановлено, що кут φ зростає при збільшенні числа зубів z та кругової подачі на зуб S_z фрези, зміні діаметру інструмента d величина кута φ залишалася постійною, а при зростанні діаметра отвору D кут φ зменшується внаслідок збільшення співвідношення діаметрів отвору D та інструменту d . Також за розробленою програмою в поперечному перерізі була визначена величина огранки при планетарній обробці отвору $\text{Ø}26\text{H}8^{(+0,033)}$ в деталі «Маточина» фрезою діаметром 16 мм з числом зубів $z = 4$ з подачею $S_z = 0,05$ мм/зуб. Величина огранки склала 7,97686 мкм, що значно менше допуску на отвір, який становить 33 мкм. При цьому величина похибки у поздовжньому перерізі, що викликана пружним відтисканням фрези, склала 0,01 мм на бік або 0,02 мм на діаметр, що менше допуску 21 мм на отвір $\text{Ø}26$ за 7 квалітетом точності. Це свідчить про прийнятну точність обробки та про те, що огранка не є обмеженням за точністю обробки.

В четвертому розділі встановлено, що за умови однакової ціни одиниці виробу 1220 грн та обсягу виробництва 1000 шт. за рахунок більшої продуктивності та менших витрат (постійних та змінних) при застосуванні

планетарного фрезерування отвору забезпечується менший критичний обсяг продукції у порівнянні з традиційним методом обробки (555 шт. замість 615 шт.), що обумовлює швидший випуск виробів та більш швидке отримання прибутку. При цьому підприємство працюватиме беззбитково за умови, що обсяг випуску його продукції перевищуватиме критичний обсяг. Також встановлено, що зменшення номенклатури інструменту (фреза вартістю 300 грн замість трьох традиційних інструментів за ціною 200 грн) та трудомісткості виготовлення деталі на 1,38 хв (на 6%) при застосуванні планетарного фрезерування в результаті забезпечило отримання прибутку у розмірі 192633 грн (у порівнянні з 160279 грн), підвищення рентабельності до 18,75% (у порівнянні з 15,13%) та отримання економічного ефекту у розмірі 32354 грн. Всі ці обставини підтверджують, що метод планетарного фрезерування забезпечує не тільки високу точність, а й є більш продуктивним, ніж застосування традиційних методів обробки (свердління, зенкерування, розгортання).

В п'ятому розділі – для усунення потенційних небезпек, що можуть виникнути при здійсненні планетарної обробки отворів деталі: фізичних, хімічних, біологічних, психофізіологічних та таких, що пов'язані з порушеннями санітарно-гігієнічних умов, правил пожежної безпеки й з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, – були передбачені відповідні заходи та дотримання нормативів, що в результаті забезпечило збереження здоров'я працюючих.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Стельмаков В.О. Підвищення ефективності чистової обробки отворів кінцевими фрезами на обробних центрах з ЧПК в умовах багатомономенклатурного виробництва : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Стельмаков Вадим Олександрович; наук. керівн. Давидов В. М. – Хабаровськ : ФДБОУ ВО «Тихоокеанський державний університет», 2018. – 182 с.

2 Все про метал, його обробку, інструмент: Головна: Зенкування: Зенкер, зенківка – що це таке та технологія роботи [Електронний ресурс]: [сайт]. – Режим доступу: <https://oxmetall.ru/zenkovka/cto-takoe-zenkovanje> (дата звернення: 03.10.2019). – Назва з екрану.

3 Дудак Н.С. Обробка отворів комбінованим інструментом [Електронний ресурс] / Н.С. Дудак, Г.Т. Итибаєва, Ж.К. Мусіна, А.Ж. Касенов // Наука та техніка Казахстану. – 2008. – №2. – С. 11-19. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/v/obrabotka-otverstiy-kombinirovannym-instrumentom-1> (дата звернення: 03.10.2019). – Назва з екрану.

4 Мальков О.В. Дослідження технологічних можливостей фрезерування отворів інструментом з планетарним рухом / О.В Мальков, А.В. Литвиненко, І.В. Жучкова // Вісник МГТУ ім. Н.Е. Баумана. Машинобудування. – 2005. – №4(61). – С. 34-48.

5 Косарев В.А. Розробка збірного інструменту для планетарного формоутворення отворів на базі дослідження та моделювання процесу : автореф. дис. ... док. техн. наук : 05.02.07 / Косарев Володимир Анатолійович. – Москва : ФДБОУ ВПО «Московський державний технологічний університет «СТАНКІН»», 2012. – 40 с.

6 Юркевич В.В. Причини зниження точності обробки свердління / В.В. Юркевич // Металообробка. – 2012. – № 5-6 (71-72). – С. 2-6.

7 Федосов М.М. Підвищення точності обробки отворів при роботі одномірним та комбінованим інструментом [Електронний ресурс] : автореф. до

магістр. роботи / Федосов Микола Миколайович. – Режим доступу : <http://masters.donntu.org/2006/mech/fedosov/diss/index.htm> (дата звернення 03.05.2019). – Назва з екрану.

8 Карпіцкий В.Р. Загальний курс слюсарної справи : навч. посібник / В.Р. Карпіцкий. – Мінськ : Нове знання ; М. : ІНФРА-М, 2011. – 400 с.

9 Савілов А.В. Вплив вібрацій на точність та якість поверхні отворів при свердленні / А.В. Савілов, А.С. П'ятих // Вісник ІрДТУ. – 2013. – № 12 (83). – С. 103-110.

10 Вінніков І.З. Свердлильні верстати і робота на них : підруч. для СПТУ / І.З. Вінніков. – 5-е вид., перероб. і доп. – М. : Вища школа, 1988. – 256 с.

11 Бруштейн Б.Є. Токарна справа : підруч. для проф.-техн. училищ / Б.Є. Бруштейн, В.І. Дементьев. – 6-е вид., перероб. і доп. – М.: Вища школа, 1967. – 448 с.

12 Касенов А.Ж. Підвищення ефективності обробки точних отворів: монографія / А.Ж. Касенов. – Павлодар: Кереку, 2015. – 138 с.

13 Черказний В.Ю. Забезпечення якості оброблення отворів у композиційних матеріалах методом «орбітального» свердління : авториф. дис. ... наук. ступ. магістр : 8.05050302 / Черказний Віталій Юрійович. – К. : НТУ «Київський політехнічний інститут», 2015. – 11 с.

14 Пасічник В.А. Систематизація та аналіз методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах / В.А. Пасічник, В.Ю. Черказний // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2015. – №1 (73). – С. 29-37.

15 Ковалевський С.В. Технологія обробки типових деталей та складання машин : конспект лекцій / С.В. Ковалевський, С.Г. Онищук, Ю.Б. Борисенко. – Краматорськ : ДГМА, 2015. – 119 с.

16 Космачов І.Г. Технологія машинобудування для молодих працівників / І.Г. Космачов. – Л. : Леніздат, 1970. – 400 с.

17 Єгоров М.Є. Технологія машинобудування : підручн. для вузів / М.Є. Єгоров, В.І. Дементьев, В.Л. Дмитрієв. – 2-е вид., доп. – М. : Высша школа, 1976. – 534 с.

18 CarTore.ru : Маточина колеса – як вона влаштована та для чого служить [Електронний ресурс]: [сайт]. – Режим доступу: <https://cartore.ru/3437-kak-vygljadit-stupica-naznachenie.html> (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

19 Марочник сталей і сплавів / В.Г. Сорокін, А.В. Волосинкова, С.А. Вяткін та ін. ; за заг. ред. В.Г. Сорокіна. – М. : Машинобудування, 1989. – 640 с.

20 Семенченко І.І. Проектування металорізального інструменту / І.І. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров ; за заг. ред. І.І. Семенченка. – М. : Машгіз, 1952. – 952 с.

21 Металорізальні інструменти : підручник для вузів за спеціальностями «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та інструменти» / Г.М. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой та ін. – М. : Машинобудування, 1989. – 328 с.

22 Кампневмомаш : Пневматичне та гідравлічне обладнання. Приводні системи : Головна : Статті : Статті з пневматики та гідравліки : Основи пневмопривода : Пневмоциліндри [Електронний ресурс]: [сайт]. – Режим доступу: <http://kamprm.ru/articles/111/114/829/> (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

23 Abamet.ru : Головна : Каталог обладнання : Металорізальні верстати фрезерні й обробні центри : Вертикально-фрезерні обробні центри з ЧПК : Вертикально-фрезерний обробний центр Haas DT-1 [Електронний ресурс]: [сайт]. – Режим доступу: <https://www.abamet.ru/catalog/metallorzhushhie/frezernye-chpu/v-obrabatyvajushhie-centry/haas-dt-1/#tab1> (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

24 Abamet.ru : Вертикально-фрезерний обробний центр з ЧПК Haas DT-1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.abamet.ru/stanki-pdf/haas/dt/dt-1.pdf> (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

25 Керівництво Sandvik Coromant 2005 по обробці металів різанням на верстатах. – 2005. – 564 с.

26 Фадєєв А.А. Планетарна обробка отворів / А.А. Фадєєв, А.Р. Ісакова, Н.А. Березін, А.А. Горохов // Прогресивні технології та процеси : у 2 т. – Курськ, 2014. – Т.2. – С. 209-212.

27 Керівництво Sandvik Coromant 2008 по обробці металів різанням на верстатах. – 2008. – 580 с.

28 Керівництво Sandvik Coromant 2015. Оберткові інструменти. Фрезерування, свердління, нарізування різьби мітчиками, розточування, розгортання, інструментальне оснащення. – 2015. – 1500 с.

29 Загальномашинобудівні нормативи часу допоміжного, на обслуговування робочого місця і підготовчо-заключного для технічного нормування верстатних робіт. Серійне виробництво. – 2-ге вид., уточ. і доп. – М. : Машинобудування, 1974. – 421 с.

30 Керівництво Sandvik Coromant 2010 по металообробці: точіння, фрезерування, свердлення. – 2010. – 800 с.

31 Обробка отворів – свердління або фрезерування? [Електронний ресурс] // Металообробне обладнання. – 2008. – №12 (57). – Режим доступу: https://www.s-t-group.com/useful/12.2008.php?sphrase_id=1542697 (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

32 Сплави тверді спечені. Марки : ДСТУ 3882-74 (ІСО 513-75). – Чинний від 1976-01-01. – К. : Міністерство кольорової металургії СРСР, 1976. – (Державний стандарт).

33 Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, В.Д. Гончаров, О.О. Залога; за заг. ред. В.О. Залоги – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 372 с.

34 Прутки й смуги зі швидкорізальної сталі. Технічні умови : ДСТУ 19265-73. – На заміну ДСТУ 9373-60 та ДСТУ 5952-63; чинний від 1975-01-01. – К. : Державний комітет стандартів Ради Міністрів СРСР, 1975. – (Державний стандарт).

35 Косилова А.Г. Довідник технолога-машинобудівника [Текст]: довідник в 2т. / ред. : А. Г. Косилова. Т.2. – 4-те вид., перероб. і доп. – М. : Машинобудування, 1985. – 496 с.

36 Мальков О.В. Дослідження технологічних можливостей фрезерування отворів інструментом з планетарним рухом / О.В. Мальков, А.В. Литвиненко, І.В. Жучкова // Вісник МГТУ ім. Н.Е. Баумана. Машинобудування. – 2005. – №4(61). – С. 34-48.

37 Загальномашинобудівні нормативи часу допоміжного, на обслуговування робочого місця і підготовчо-заключного для технічного нормування верстатних робіт. Серійне виробництво. – 2-ге вид., уточ. і доп. – М. : Машинобудування, 1974. – 421 с.

38 Балабанов А. Н. Короткий довідник технолога-машинобудівника / А. Н. Балабанов. – М. : Видавництво стандартів, 1992. – 464 с.

39 Гречишников В.А. Дослідження особливостей формування похибки обробки при планетарному формоутворенні отворів довгих тонкостінних деталей / В.А. Гречишников, В.В. Куц, І.В. Ванін, М.С. Разумов, О.М. Гречухін // Сучасні матеріали, техніка та технології. – 2018. – №1 (16). – С. 11-15.

40 Харламов Ю.О. Підвищення експлуатаційних властивостей ріжучого інструменту : навч. посібник / Ю.О. Харламов, О.С. Кроль. – Северодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2015. – 448 с.

41 Гречишников В.А. Моделювання та аналіз процесу обробки деталей інструментом з планетарним рухом / В.А. Гречишников, Л.Л. Артюхін, Д.Г. Сергєєв // Вісник машинобудування. – 1999. – №11. – С. 39-41.

42 Харитонova Т.О. Продуктивність обробки отворів при планетарному фрезеруванні / Т.О. Харитонova, В.Г. Гусєв // Master's Journal. – 2016. – № 1. – С. 164-168.

43 Руднєв А.В. Володимир Сергійович Кнаббе та його праця «Фреза та її роль у сучасному машинобудуванні» / А.В. Руднєв // Різання та інструмент в технологічних системах. – 2013. – №83. – С. 248-254.

44 Разумов М.С. Пристрій для планетарного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / М.С. Разумов, О.М. Гречухін, Г.М. Смирнова, М.В. Митрофанов, О.І. Дринова // Автоматизація технологічних процесів механічної обробки, зміцнення та складання у машинобудуванні. – Курськ, 2016. – С. 87-90.

45 Пасічник В.А. Систематизація та аналіз методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах / В.А. Пасічник, В.Ю. Черказний // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2015. – №1 (73). – С. 29-37.

46 Ємельянов С.Г. Обробка отворів інструментами з планетарним рухом / С.Г. Ємельянов, А.В. Олійник, Є.І. Яцун, А.А. Фадєєв // СТІН. – 2003. – №12. – С. 12-13.

47 Каталог Iscar : Ріжучий інструмент у виробництві штамів і прес-форм : короткий довідник. посібник. – 3-тє вид.

48 Леонов С.Л. Моделювання процесу фрезерування отворів на верстатах з ЧПК / С.Л. Леонов, А.Б. Белов // Ползуновский вісник 1/1. – 2012. – С. 177-180.

49 Спиральне фрезерування – новий метод для прискорення вибірки отворів [Електронний ресурс] // Твердий сплав. – 2013. – Режим доступу: <http://tverdysplav.ru/spiralnoe-frezerovanie-otverstij/> (дата звернення 19.10.2019). – Назва з екрану.

50 Мальков О.В. Дослідження технологічних можливостей планетарного фрезерування зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь / О.В Мальков, А.В. Литвиненко, Л.Д. Малькова, І.В. Синцова // Вісник МГТУ ім. Н.Е. Баумана. Машинобудування. – 2007. – №1. – С. 86-98.

51 Стельмаков В.О. Підвищення ефективності чистової обробки отворів кінцевими фрезами на обробних центрах з ЧПК в умовах багатомасштабного виробництва : автореф. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Стельмаков Вадим Олександрович. – Хабаровськ : ФДБОУ ВО «Тихоокеанський державний університет», 2018. – 182 с.

52 Швиданенко Г.О Сучасна технологія діагностики фінансово-економічної діяльності підприємства : монографія / Г.О. Швиданенко, О.І. Олексюк. – К. : КНЕУ, 2002. – 192 с.

53 Івахненко В.М. Курс економічного аналізу: навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисципліни / В.М. Івахненко. – К. : КНЕУ, 2000. – 263 с.

54 Каталог Seco : Seco Feedmax-P і Perfomax : високопродуктивні та високоточні інструменти для обробки отворів. – 2017. – 17 с.

55 Болотін М.М. Системи автоматизації виробництва та ремонту вагонів : підручник [Електронний ресурс] / М.М. Болотін, А.А. Іванов. – М. : ФГБОУ «УМЦ ЖДТ», 2016. – Режим доступу: https://studref.com/455785/tehnika/proizvoditelnost_mashin (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

56 Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні: методичні вказівки до практичних і самостійних занять [Електронний ресурс] / уклад. Л.В. Боршова, М.В. Созинова; Ніжнетагіл. технол. ін-т (філ.) УГТУ-УПІ. – Нижній Тагіл: НТІ (ф) УГТУ-УПІ, 2009. – Режим доступу: <https://studopedia.org/13-112119.html> (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

57 Ремонт, будівництво, інтер'єр : Головна : Основи теорії продуктивності робочих машин і поточкових ліній [Електронний ресурс]: [сайт]. – Режим доступу: <http://industrial-wood.ru/lesopilenie/6288-osnovy-teorii-proizvoditelnosti-rabochih-mashin-i-potochnyh-liniy.html> (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

58 Обработка отворів – свердління або фрезерування? [Електронний ресурс] // Металообробне обладнання. – 2008. – №12 (57). – Режим доступу: https://www.s-t-group.com/useful/12.2008.php?sphrase_id=1542697 (дата звернення: 19.10.2019). – Назва з екрану.

59 Економічне управління підприємством : методичні вказівки до практичних занять та виконання контрольної роботи : для студентів спеціальності 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність» освітня програма «Економіка підприємства» всіх форм навчання / Ткаченко А.М., Бобровникова Р.Г., Онуфрієнко Н.Л. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2018. – 44 с.

60 Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] – Чинний від 2012-11-21. : станом на 01.01.2018 р. – К. : ВР України, 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. – (Закон України).

Додаток А

Текст програми розрахунку характеристик огранки оброблюваних отворів при планетарному фрезеруванні

```
#include <iostream>
#include <cmath>

using namespace std;
main()
{  setlocale(0, "");
    double d,D,z,Sz,delta,munach,epsilon,fi,r,q;
    double e,mu,muk,tau,X,Y,ro,Xb,Yb,rob,DELT;

    cout<<" \n  ПРОГРАММА: Вычисление величины огранки \n при
планетарном фрезеровании отверстий"<<endl;
    cout<<"\n  Необходимо ввести исходные данные: "<<endl;
    cout<<" (дробные числа вводятся через точку)"<<endl;
    cout<<"\n  Диаметр фрезы, мм = ";
    cin>>d;
    cout<<"\n  Диаметр отверстия, мм = ";
    cin>>D;
    cout<<"\n  Число зубьев фрезы = ";
    cin>>z;
    cout<<"\n  Подача, мм/зуб = ";
    cin>>Sz;
    cout<<"\n  Шаг итерации параметра Мю, рад = ";
    cin>>delta;
```

```

    e= (D-d)/2;
munach = 0;
mu=munach;
epsilon = 0.001;
r = d/2;

psi = Sz*M_PI/(M_PI*D-Sz*z);

    do {
        tau= (M_PI*D*mu)/(Sz*z);
        X= e*cos(mu)+r*cos(tau-2*M_PI/z);
        Y= e*sin(mu)+r*sin(tau-2*M_PI/z);
        ro= sqrt(pow(X,2)+pow(Y,2));
        mu= mu+delta;
    }
while(fabs(D/2-ro)<=epsilon);

muk= mu;

munach=mu;

    do {
        tau= (M_PI*D*muk)/(Sz*z);
        X= e*cos(muk)+r*cos(tau-2*M_PI/z);
        Y= e*sin(muk)+r*sin(tau-2*M_PI/z);
        ro= sqrt(pow(X,2)+pow(Y,2));
        muk= muk+delta;
    }
while(fabs(tan(Yb/Xb)-tan(mu/2))<=0);

```

```

Xb=e*cos(muk)+r*cos(tau-2*M_PI/z);
Yb=e*sin(muk)+r*sin(tau-2*M_PI/z);

rob= sqrt(pow(Xb,2)+pow(Yb,2));

DELT= D/2-rob;
cout << "\n\n Величина огранки = "<<DELT<<" мкм"<<endl;
cout << "\n Угол положения вершины огранки = "<<psi<<"рад."<<endl;
cin >>q;
}

```