

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра МЕТАЛОРИЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ ТА ІНСТРУМЕНТ

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Визначення оптимальних режимів різання при
високошвидкісному фрезеруванні нержавіючих сталей.

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи М-219м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудув.
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи

Рина В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фролов М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Глушко П.В.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Металорізальні верстати та інструмент
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність Металорізальні верстати та системи
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) _____
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Фролов М.В.
 « 13 » 12 2010 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Ріна Володимир Романович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Визначення оптимальних режимів різання при високошвидкісному фрезеруванні нержавіючих сталей

керівник проєкту (роботи) Фролов М.В., к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » 20 _____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2020

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Хімічний склад та характеристики оброблюваності нержавіючих сталей.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд оптимізації режимів різання. Критерії оптимальності та цільові ф-ції при призначенні режимів різання. Послідовність та процедура оптимізації режимів різання при обробці нержавіючих сталей методом швидкісного фрезерування. Охорона праці та безпеки.

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1.	Фролов М.В., доцент		
2.	Фролов М.В., доцент		
3.	Фролов М.В., доцент		
4.	Шмирко В.І., доцент		
Норм. контр.	Матвеев А.С., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання « 01 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1.	Оптимізація режимів різання нержавіючої сталі. Аналітичний огляд.	01.09-01.10	
2.	Критерії оптимальності і цільові ф-ції при призначенні режимів різання.	02.10-30.10	
3.	Послідовність та процедура оптимізації режимів різання.	02.11-13.11	
4.	Охорона праці та безпеки у питаннях надзвичайних ситуацій.	16.11-30.11	
5.	Оформлення звіту дипломного проекту	01.12-10.12	

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Ріна В.Р.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Фролов М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 22 рис., 8 табл., 22 джерела.

РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ, ВИСОКОШВИДКІСНЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ, НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ, ШВИДКІСТЬ, СТІЙКІСТЬ, ІНСТРУМЕНТ.

Мета роботи – Розглянути процес моделювання режимів різання та підходи до нього. Оптимізація режимів різання нержавіючої сталі при високошвидкісному фрезеруванні.

У дипломному проекті проаналізовано застосування нержавіючих сталей у виробництві. Показана перспективність високошвидкісного фрезерування при обробці нержавіючих сталей. Систематизовані підходи, методики і рекомендації по вибору інструменту і оптимізації режимів різання при високошвидкісному фрезеруванні нержавіючих сталей. Узагальнено та систематизовано критерії оптимізації, цільові функції і обмеження при призначенні режимів різання. Запропоновано залежності для визначення коефіцієнта різання при високошвидкісному фрезеруванні і її коригування за матеріалом і стійкості. Показані стратегія і алгоритм оптимізації режимів різання.

ABSTRACT

PZ: 85page., 22 figs., 8 tablets, 22 sources.

CUTTING MODES, OPTIMIZATION, TARGET FUNCTION, HIGH-SPEED MILLING, STAINLESS STEEL, MATHEMATICAL MODEL, CRITERIA AND CRITERIA.

The purpose of the work - Consider the process of modeling cutting modes and approaches to it. Optimization of stainless steel cutting modes for high-speed milling.

The diploma project analyzes the use of stainless steels in production. The prospects of high-speed milling in the processing of stainless steels are shown. Systematized approaches, methods and recommendations for tool selection and optimization of cutting modes in high-speed milling of stainless steels. The optimization criteria, target functions and limitations in assigning cutting modes are generalized and systematized. Dependencies for determination of cutting coefficient at high-speed milling and its adjustment on material and stability are offered. The strategy and algorithm of optimization of cutting modes are shown.

ЗМІСТ

	Реферат.....	4
	Вступ.....	7
1.	Оптимізація режимів різання нержавіючої сталі при швидкісному фрезеруванні. Аналітичний огляд.....	8
1.1	Класифікація нержавіючої сталі.....	8
1.2	Моделювання процесів різання і підходи до нього.....	16
1.2.1	Види математичних моделей.....	17
1.2.2	Вимоги, що пред'являються до математичних моделей.....	19
1.2.3	Методи оптимізації математичної моделі процесів різання.....	20
1.3	Швидкісне фрезерування.....	20
1.3.1	Вимоги до обладнання для здійснення високошвидкісної обробки..	25
1.3.2	Підбір металорізального інструменту для високошвидкісної і обробки.....	28
1.3.3	Вибір фрезерного інструменту.....	29
1.3.4	Рекомендації по фрезерної обробки нержавіючих сталей.....	32
1.3.5	Розрахунок сил різання при фрезеруванні.....	36
2	Критерії оптимальності і цільові функції при призначенні режимів різання.....	40
2.1	Постановка задачі оптимізації як завдання визначення оптимальних умов різання. Оптимізація процесу різання	40
2.2	Вибір критеріїв оптимальності і цільових функцій при розрахунку режимів різання.....	45
2.3	Технічні обмеження режимів різання в задачі оптимізації.....	48
3	Послідовність та процедура оптимізації режимів різання при обробці нержавіючих сталей методом швидкісного фрезерування.....	54
4	Охорона праці та безпеки у питаннях надзвичайних ситуацій.....	62
5	Висновки.....	64
6	Список літератури.....	65
	Додаток А Заходи з охорони праці.....	67

ВСТУП

Зростаюча конкуренція серед виробників деталей вимагає від виробника виготовлення продукції в мінімальні терміни з максимальною якістю і мінімальною собівартістю виробу.

Собівартість виробу в значній мірі залежить від використання технологічних процесів застосування прогресивного технологічного обладнання та зменшення тривалості виробничого циклу конструкторської та технологічної підготовки виробництва при впровадженні новітніх засобів автоматизації виробництва.

Процес обробки металів різанням може бути істотно вдосконалений і більш доступним шляхом, ніж покупка нового устаткування - за рахунок раціонального застосування правильно обраного високопродуктивного інструменту.

Розвиток процесу металообробки йде швидкими темпами. Методи, що застосовуються при точінні, фрезеруванні і свердлінні десять і навіть п'ять років тому, зараз в більшості своїй застаріли. Сучасний інструмент настільки відрізняється за своїми можливостями від застосовуваного п'ять років тому, що якщо оснастити два однакових верстата сучасним і старим інструментом, то верстат з новим інструментом за один робочий день обробить незрівнянно більшу кількість деталей.

Робочі процеси в сучасних установках і агрегатах проходять при значних навантаженнях на всі конструктивні елементи. Експлуатація деталей при високих швидкостях, тиску і температурах призводить до того, що елементи, виконані зі звичайних конструктивних сталей, швидко виходять з ладу. Для роботи в таких умовах необхідні особливі сплави, до числа яких належить нержавіюча сталь. Висока міцність, жаростійкість і хороші антикорозійні властивості - основні характеристики нержавіючої сталі. Однак ці властивості сплавів мають і негативні сторони: міцності нержавіючої сталі не змінюються під впливом тиску і температур, що тягне за собою складність механічної обробки.

1 ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ ПРИ ШВИДКІСНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Класифікація нержавіючої сталі

Нержавіюча сталь - це сталь, яка має високу корозійну стійкість в агресивних середовищах (морська і річкова атмосфера, повітря, деякі кислоти, розчини солей і т.д.). Нержавіючі сталі прийнято ще називати «корозійностійкі», але це не означає, що вони абсолютно не піддаються корозії. Як і всі метали, нержавіючі сталі також піддаються корозійному руйнуванню, тільки в меншому ступені [1].

Нержавіюча сталь має наступні переваги:

- Міцна, стійка до пошкоджень;
- Піддається самим різним видам обробки;
- Добре формується, піддається зварюванню;
- довговічна;
- Не потребує витрат на утримання;
- Немає необхідності фарбувати;
- Відповідає всім гігієнічним вимогам;
- 100% переробка;
- Створює імідж якості і надійності;
- Прекрасно поєднується з будь-якими будівельними матеріалами.

Залежно від основних властивостей нержавіючі сталі і сплави підрозділяють на групи:

➤ Корозійностійкі сталі - від них вимагається стійкість до корозії в нескладних промислових і побутових умовах (з них можна виготовляти деталі обладнання для нафтогазової, легкої, машинобудівної промисловості, хірургічні інструменти, побутовий нержавіючий посуд і тару).

➤ Жаростійкі сталі - від них вимагається жаростійкість - тобто стійкість до корозії при високих температурах в сильно агресивних середовищах (наприклад на хімічних заводах).

➤ Жароміцні сталі - від них вимагається жароміцні - то є хороша механічна міцність при високих температурах.

Класифікація видів нержавіючих сталей:

Класифікують нержавіючі сталі за ГОСТ 5632 - 72. Можна виділити основні види: хромисті, нікелеві і хромонікелеві сталі, хромомарганцеві, хромомарганцевонікелеві [2].

Основний елемент, який і робить звичайну сталь нержавіючою - це хром. Метал має високу корозійну стійкість. На його поверхні в окислювальних атмосфера утворюється захисна оксидна плівка.

При додаванні в сталь, хром утворює з залізом твердий розчин, збільшуючи при цьому корозійну стійкість сталі. При цьому, вміст хрому не повинно бути менше, ніж 11,7%. Цю межу можна відстежити під час вимірювання потенціалу, коли при утриманні близько 12 - 13% Cr, йде різка зміна потенціалу системи залізо-хром. Зі збільшенням вмісту хрому, корозійна стійкість сталі збільшується. Це притаманне сплаву не тільки в атмосферних умовах, а й у ряді інших агресивних середовищ. Також можна сказати, що нержавіючі сталі краще протистоять корозійним руйнувань зі збільшенням вмісту окиснювачів в навколишньому середовищу, тому що електродний потенціал металу стає більш позитивним. Це не може бути застосовано для азотної кислоти, тому що зі збільшенням її концентрації хромисті сталі швидше піддаються корозії - настає пере пасивація. При малих концентраціях сталь має високу стійкість.

Всі добавки, що вводяться в сталь, можуть покращувати або погіршувати її властивості. В табл.1.1 наведено вплив легуючих елементів на властивості нержавіючої сталей.

Таблиця 1.1 - Вплив легуючих елементів на властивості нержавіючих сталей

Легуючий елемент	Ni	Cr	Mn (більше 1%)	Si (більше 0,8%)	W	Cu (0,3 - 0,5%)
Входить в твердий розчин з Fe і зміцнює його	+	+	+	+	-	+
Збільшує ударну в'язкість	+	-	+	+	-	-
Розширює область аустеніту	+	-	+	-	-	-
Звужує область аустеніту	-	+	-	+	-	-
Збільшує прокалюємість	+	-	+	-	-	-
Сприяє розкисленню	-	-	+	+	-	-
Утворює стійкі карбіди	-	+	+	-	+	-
Підвищує опір корозії	+	+	+	-	-	+

Хромисті нержавіючі сталі

Хромисті нержавіючі сталі (нержавіюча сталь) широко застосовуються в промисловості і народному господарстві. Випускається хромиста сталь у вигляді прутків, листів, труб, литих заготовок і деталей. Вона найбільш економічна і щодо легування.

Класифікація в хромистих нержавіючих сталей:

- теплотривкі хромисті сталі (напівнержавіючі), які містять 5 - 10% Cr і гартуються на мартенситі;
- клапанні хромисті сталі (сильхроми і ін.);
- нержавіючі сталі, з вмістом хрому 10 - 17%;
- важко леговані нержавіючі сталі, які містять 12 - 17% Cr і застосовуються в якості теплостійких;
- хромисті сталі кислотостійкі і нержавіючі з вмістом хрому 16 - 20% (ферритного і напівферритного класу), жаростійкі сталі феритного класу з вмістом Cr 25 - 33%, хромоазотні жаростійкі і нержавіючі сталі;
- жаростійкі хромисті сталі з добавками алюмінію та інших елементів.

Нікелеві і хромонікелеві нержавіючі сталі

Це найбільш поширена нержавіюча сталь. Зараз випускається близько сотні марок такої нержавіючої сталі. З цієї сталі виготовляють листовий і сортовий прокат, холоднокатані та гарячекатані труби, поковки, всілякі профілю і багато іншого для різних сфер діяльності людини.

В наш час є марки хромонікелевих нержавіючих сталей з інтерметалідним і карбідних зміцнення, леговані різними матеріалами, що мають проміжні структури.

Нікелеві і хромонікелеві нержавіючі сталі підрозділяються на наступні підгрупи:

- кислотостійкі хромонікелеві аустенітні сталі з добавками міді і молібдену;
- аустенітні сталі з невеликим вмістом вуглецю, в тому числі і стабілізовані ніобієм або титаном;
- окалино стійкі хромонікелеві сталі з високим вмістом хрому і нікелю;
- аустенітно-феритні хромонікелеві нержавіючі сталі
- аустенітно-мартенситні хромонікелеві сталі з мартенситом нестійкої форми.

Хромомарганцеві та хромомарганцевонікелеві нержавіючі сталі

Марганець, як і нікель, є аустенітоутворюючим елементом. Крім того, марганець сприяє зміцненню сталі. Нержавіюча сталь, до складу якої входить марганець, використовується в умовах підвищеного стирання. Нікель володіє кращими аустенітоутворюючими властивостями, тому марганець необхідно вводити до складу сталі в більшій кількості, ніж нікель (майже в два рази).

Хромомарганцеві і хромомарганцевонікелеві сталі прийнято ділити на чотири підгрупи:

- аустенітна сталь, що містить 12 - 14% хрому, з різним вмістом нікелю і марганцю;
- аустенітна нержавіюча сталь, що містить близько 17 - 19% Cr, а також нікель, марганець і азот;

- аустенітно-мартенситна нержавіюча сталь з вмістом хрому близько 12 - 18%, також, до складу якої входять нікель і марганець;
- аустенітно-феритна сталь з добавками різної кількості марганцю та 16 - 18% хрому.

Класифікація нержавіючих сталей в залежності від їх структури.

Сучасна нержавіюча сталь представлена на ринку різними сплавами, які відрізняються наявністю і кількісним складом тих чи інших легуючих елементів. Від цього набору залежать технічні характеристики, якими володіє нержавіюча сталь, що відбивається в відповідного маркування металу, закріпленої стандартом. Однак, загальна класифікація нержавіючих сталей (рис.1.1) здійснюється за хімічним і структурному складу, який визначає сферу застосування і споживчі властивості цього антикорозійного металу [3].

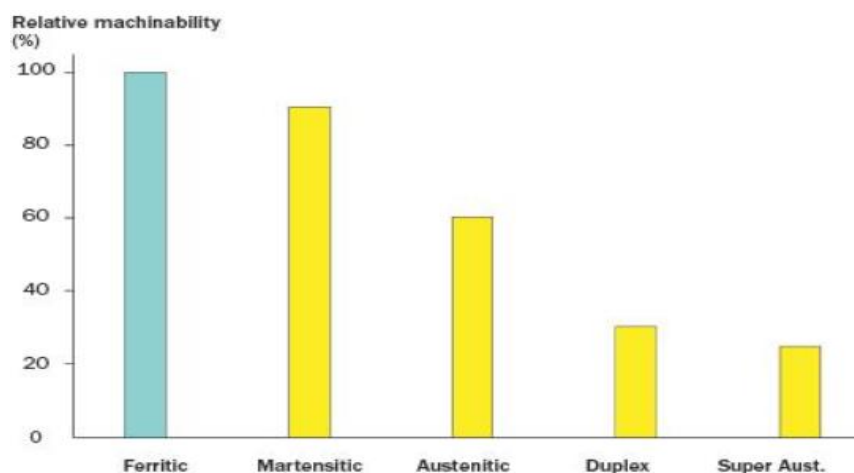


Рисунок 1.1 - Відносна оброблюваність в залежності від виду нержавіючої сталі

Сьогодні в світовому металопрокат розрізняють чотири основних види нержавіючої сталі [2]:

Аустенітна нержавіюча сталь

Цей вид нержавіючої сталі в процесі виробництва передбачає пряме використання атомів вуглецю в кристалічну решітку заліза, що в сукупності з

легуючими елементами забезпечує неперевершено високу твердість одержуваного металу. Зазвичай в якості основних легуючих компонентів в цьому класі виступають хром і нікель, що становлять до третини від загального складу. Аустенітні нержавіючі сталі, завдяки високій міцності й антикорозійності, в даний час домінує на ринку сталевого прокату, складаючи понад 70% світового обороту металу цієї категорії. Головне завдання у виробництві аустенітної сталі - це максимальне зниження кількості сірчаних домішок, що підвищує загальну опірність корозії. Цей клас нержавіючої сталі має номенклатурне позначення 300. Прикладом його використання служить труба AISI 304 або її вітчизняний аналог - труба нержавійка 12Х18Н10Т.

Феритний або хромистого нержавіюча сталь

В основі цього класу металу лежить кубічна об'ємно центрова решітка, створена на базі твердого розчину вуглецю і легуючих компонентів. Як правило, в цій нержавіючій сталі хром становить близько п'ятої частини загального складу. Цей вид нержавіючої сталі володіє яскраво вираженими магнітними властивостями і високою опірністю агресивним зовнішнім середовищам, включаючи кислотні розчини. Нержавіюча сталь цієї категорії позначається цифрою 400 і широко застосовується в хімічній і важкій промисловості, а також при виготовленні широкого класу опалювального обладнання. Феритні сплави вигідно відрізняються більш низькими цінами, а за кількістю споживання займають друге місце, після аустенітної сталі, користуючись високим попитом у власній ринковій ніші.

Мартенситними і феритний–мартенситного сталь

Цей загартований метал створений на базі специфічної вуглецевої мікроструктури, яка характеризується максимальною міцністю, що доповнюється відомим у вузьких колах явищем технологічної «пам'яті металу». Ця нержавіюча сталь характеризується низьким вмістом домішок і підвищеною зносостійкістю. Відповідно мартенситна сталь застосовується у виготовленні ріжучих

інструментів, у виробництві відповідальних несучих конструкцій та високоміцних деталей промислового обладнання. Багато видів даної сталі – це жароміцні, визнаного якості.

Дуплексні нержавіючі сталі

Це метал нового покоління, який народився завдяки вимогам сучасних високих технологій. Успішне поєднання технічних властивостей вищенаведених категорій відкриває широкі можливості для використання цих високотехнологічних сплавів. Застосування цих видів нержавіючої сталі охоплює практично всю область сучасного будівництва, промислового виробництва, суднового та машинного будівництва.

Дуплексні нержавіючі сталі мають змішану мікроструктуру фериту і аустеніту. З цієї причини їх властивості схожі і з феритних і з аустенітними сталями. Вони надзвичайно стійкі до корозії. Високий рівень стійкості як до точкової, так і до щілинної корозії. Їх недолік полягає в складності зварювання. Існує два типи дуплексних сталей, відомі як перше покоління і другому поколінні. Покращені сталі другого покоління містять більше азоту і значно більш стійкі до точкової корозії. Їх відмінність від супердуплексних нержавіючих сталей полягає в тому, що їх числовий еквівалент стійкості до точкової корозії (PREN) менше 40, в той час як супердуплексні сталі мають показник PREN більше 40. Ці типи сталей відомі під такими назвами, як SAF 2507, Ferralium SD40 і Zeron 100.

Супердуплексні сплави використовуються як надзвичайно стійкий до корозії метал.

Дуплексні нержавіючі сталі містять від 19 до 24% хрому і від 3 до 5% нікелю. Супердуплексні нержавіючі сталі містять від 24 до 27% хрому і від 6 до 8% нікелю, також вони, як правило, мають підвищений вміст азоту - від 0,2 до 0,35%.

Правильний вибір нержавіючої сталі визначає довговічність і ефективність використання набутого металу. Тому, крім маркування, дуже важливо розуміти структуру і фізико-хімічні властивості тих чи інших класів нержавіючої сталі.

Грамотність в питаннях класифікації нержавіючої сталі дозволить використовувати метал в точній відповідності з його властивостями, що є запорукою максимального використання всіх незаперечних переваг нержавіючої сталі.

Області застосування нержавіючих сталей

Нержавіючу сталь широко використовують у всіх сферах життя людини, починаючи від будівництва і машинобудування, закінчуючи виробництвом побутової техніки та електроніки. Структура використання нержавіючих сталей у відсотковому співвідношенні наведена на рис. 1.2.

Нержавіюча сталь використовується в таких сферах як:

- Хімічної та нафтохімічної промисловості;
- Будівництві та архітектурі;
- Целюлозно-паперовому виробництві;
- Транспортному машинобудуванні;
- Електроенергетиці;
- Харчової промисловості;
- Побутових приладах;
- Домашньому господарстві.



Рисунок 1.2 – Області застосування нержавіючих сталей

Основні споживачі сортового прокату (рис.1.3) - це нафтохімічні і машинобудівні підприємства, які використовують нержавіючу коло, квадрат, куточок, смугу і шестигранник для виготовлення високоточних деталей, таких як вали, втулки, опори і багато іншого.



Рисунок 1.3 - Види сортового прокату

1.2 Моделювання процесів різання і підходи до нього.

Об'єктами моделювання (ОМ) в машинобудівному виробництві можуть бути:

- технологічні системи (ТС) - ділянки з універсальних верстатів, автоматичні лінії, гнучкі виробничі системи (ГВС);
- технологічні процеси (ТП);

➤ фізичні процеси (ФП) - процеси, що протікають при різанні металів, при функціонуванні технологічного обладнання в пружній системі верстат-пристосування-інструмент-деталь (СНІД) і т.д.

1.2.1 Види математичних моделей

Математична модель (ММ) об'єкта моделювання - це система математичних елементів (чисел, змінних, рівнянь, нерівностей, множин, матриць, графів і т.д.) і відносин між ними, адекватно відображає деякі властивості об'єкта, його стан в реальних умовах, створена для вирішення того чи іншого завдання. ММ розробляються для опису і дослідження ФП, ТП, ТС, проектування і оптимізації ТП, ТС, організації роботи ТС і побудови САПР.

Розрізняють аналітичне (рішення задач оптимізації процесів ТС і оптимізація самих ТЗ) і імітаційне моделювання (вивчення характеристик процесу, що протікає в ході експерименту).

Аналітичне моделювання ґрунтується на непрямому описі ОМ (ММ на основі апарату математичного програмування, кореляційного і регресійного аналізу). Як правило, модель складається з цільової функції (характеристика об'єкта (системи), яку потрібно обчислити або оптимізувати), що варіюються, змінних і системи обмежень на змінні.

Імітаційне моделювання ґрунтується на прямому описі ОМ з законами функціонування кожного елемента об'єкта і зв'язків між ними. Перерахунок системного часу в моделі здійснюється двома способами: крок за часом вибирається з деяким постійним інтервалом або від події до події, при цьому вважається, що в проміжках часу між подіями в моделі змін не відбувається.

Види ММ визначаються за різними ознаками класифікації (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Класифікація математичних моделей за ознаками

Ознаки класифікації	Види математичних моделей	Призначення
1. Належність до ієрархічним рівнем	моделі мікрорівня	Відображають фізичні процеси, що протікають, наприклад, при різанні металів, описують процеси на рівні переходу (проходу)
	моделі макрорівня	Описують технологічні процеси
	моделі метарівня	Описують технологічні системи (ділянки, цехи, підприємство в цілому)
2. Характер відображаються властивостей об'єкта	структурні	Призначені для відображення структурних властивостей об'єктів (в САПР ТП для представлення структури технологічного процесу, розцеховки виробів (використовуються структурно-логічні моделі)
	функціональні	Призначені для відображення інформаційних, фізичних, тимчасових процесів, що протікають в працюючому обладнанні, в ході виконання технологічних процесів і т.д.
3. Спосіб подання властивостей об'єкта	аналітичні	Являють собою явні математичні вирази вихідних параметрів як функцій від параметрів вхідних і внутрішніх (вираження для сил різання)
	алгоритмічні	Висловлюють зв'язку між вихідними параметрами і параметрами вхідними і внутрішніми у вигляді алгоритму
	імітаційні	Відображають розвиток процесу (поведінку досліджуваного об'єкта) в часі при завданні зовнішніх впливів на процес (об'єкт)
4. Спосіб отримання моделі	теоретичні	Створюються в результаті дослідження об'єктів (процесів) на теоретичному рівні (вираження для сил різання, отримані на основі узагальнення фізичних законів)
	емпіричні	Створюються в результаті проведення експериментів (вивчення зовнішніх проявів властивостей об'єкта за допомогою вимірювання його параметрів на вході і виході) і обробки їх результатів методами математичної статистики

5. Особливості поведінки об'єкта	детерміновані	Описують поведінку об'єкта з позицій повної визначеності в сьогоденні і майбутньому (формули фізичних законів, технологічні процеси обробки деталей і т.д.)
	імовірнісні	Враховують вплив випадкових факторів на поведінку об'єкта, тобто оцінюють його майбутнє з позицій ймовірності тих чи інших подій (опис точності розмірів в партії деталей з урахуванням явища розсіювання і т.д.)

1.2.2 Вимоги, що пред'являються до математичної моделі

До математичних моделей пред'являються наступні основні вимоги:

- універсальності (характеризує повноту відображення в ній властивостей реального об'єкта);
- точності (оцінюється ступенем збігу значень вихідних параметрів реального об'єкта і значень тих же параметрів, розрахованих за допомогою моделі);
- адекватності (здатність моделі відображати задані властивості об'єкта з похибкою, що не вище заданої);
- економічності (характеризується витратами обчислювальних ресурсів на її реалізацію);
- обчислюваності (можливість ручного або за допомогою ЕОМ дослідження якісних і кількісних закономірностей функціонування об'єкта (системи));
- модульності (відповідність конструкцій моделі структурним складовим об'єкта (системи));
- алгоритмізації (можливість розробки відповідних алгоритму і програми, що реалізує математичну модель на ЕОМ);
- наочності (зручне візуальне сприйняття моделі).

1.2.3 Методи оптимізації математичної моделі процесів різання

Для оптимізації математична модель повинна мати такі елементи:

- критерій (критерії) оптимізації;
- цільову функцію;
- систему обмежень;
- систему рівнянь, що описують об'єкт;
- вхідні, вихідні та внутрішні параметри;
- керований (варійований) або керовані (варійовані) параметри, які виділяються з числа внутрішніх параметрів.

Цільова функція - це аналітична залежність між критерієм (критеріями) оптимальності і такими, що підлягають оптимізації параметрами з вказівкою напрямку екстремуму.

Відмінність понять «критерій» і «цільова функція» полягає в наступному: цільова функція може включати в себе більше одного критерію і для цільової функції завжди обов'язково вказується вид екстремуму: $f(x) \rightarrow \max$ ($f(x) \rightarrow \min$).

1.3 Швидкісне фрезерування

Останнім часом існує стійка тенденція впровадження в машинобудівне виробництво високошвидкісної (HSM - High Speed Machining) і високопродуктивної (HPM - High Productivity Machining) обробки. В основі цих понять лежить характерно однаковий процес різання. При ньому діючі значення швидкостей різання і подач в 5-10 разів вище, ніж при звичайній обробці (рис. 1.4).

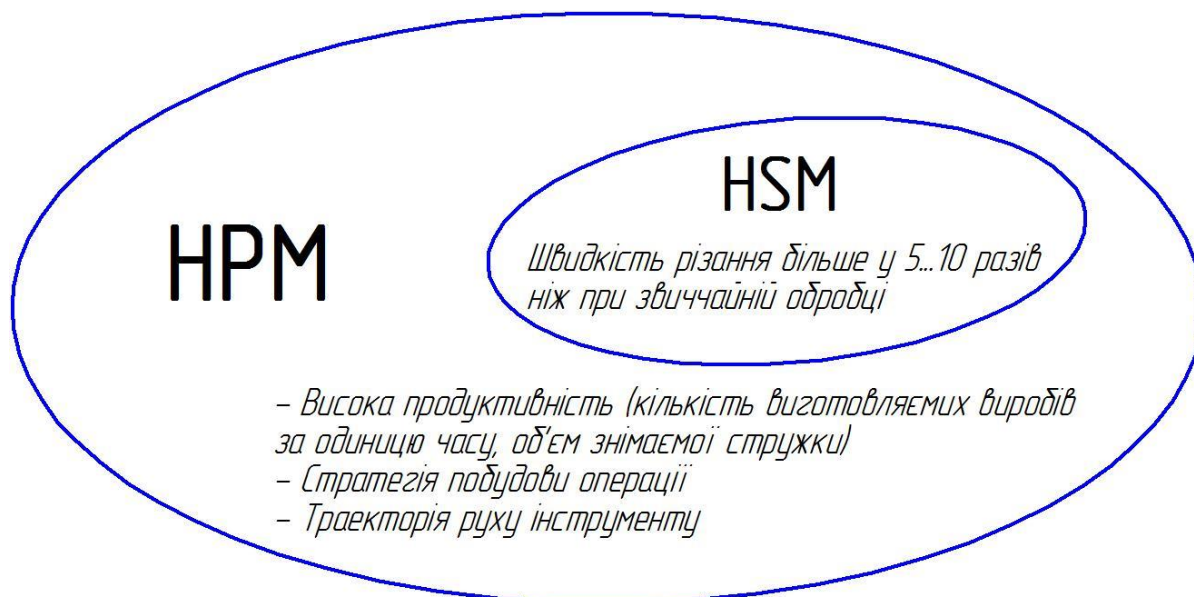


Рисунок 1.4 - Взаємозв'язок і ключові моменти HSM і HPM обробки

Високошвидкісна обробка спрямована на отримання складних форм поверхонь (поверхнева обробка, наприклад гравюр штампів, деталей мають поверхні відмінні від примітивних - площин, циліндрів).

Сенс HSM полягає в наступному: «При певних швидкостях різання тепловиділення починає зменшуватися», що супроводжується зменшенням сили різання. Зона використання швидкостей різання відзначена на графіку високошвидкісного фрезерування (рис. 1.5), на якому видно, що між «звичайною» і високошвидкісний механообробною знаходиться невикористана область обробки за матеріалами [1].

Ефект HSM обумовлюється структурними змінами матеріалу (через пластичних деформацій, здійснюваних з великою швидкістю) в місці відриву стружки. При підвищенні швидкості деформацій сили різання спочатку ростуть, а потім, з досягненням певної температури в зоні утворення стружки, починають суттєво знижуватися. Час контакту ріжучої кромки з заготовкою і стружкою малий, а швидкість відриву стружки настільки висока, що велика частина тепла, що утворюється в зоні різання, видаляється разом зі стружкою, а заготовка і інструмент не встигають нагріватися.

При лезовій обробці матеріалів, які утворюють зливну стружку, у ріжучої кромки відбувається пластична деформація при різанні матеріалу, спостерігається

процес тертя між стружкою і передньою поверхнею інструменту, а також між поверхнею деталі і задньою поверхнею інструмента. При високошвидкісній обробці зі зростанням швидкості різання коефіцієнт тертя зменшується. Це відбувається внаслідок розм'якшення оброблюваного матеріалу в зоні розрізу, в деяких випадках - до появи рідкого шару.

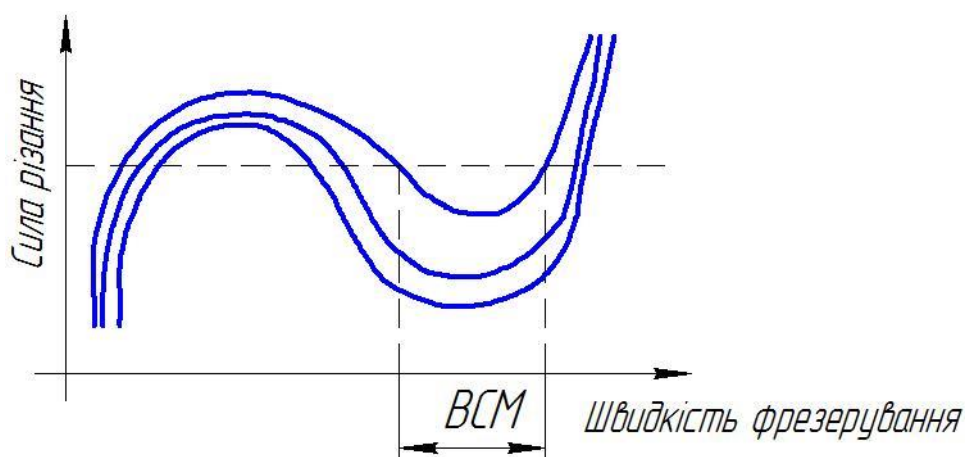


Рисунок 1.5 - Узагальнена якісна залежність сили від швидкості різання (Криві Соломона)

В ході багатьох дослідів було встановлено, що 80% тепла утворюється в зоні пластичної деформації, 18% - в зоні контакту стружка-інструмент і 2% - в зоні тертя ріжучої кромки інструменту з матеріалом. Дослідженнями доведено, що при правильно підібраних параметрах 75% виробленого тепла відводяться зі стружкою, 20% - через інструмент і 5% через оброблювану заготовку (рис. 1.6).

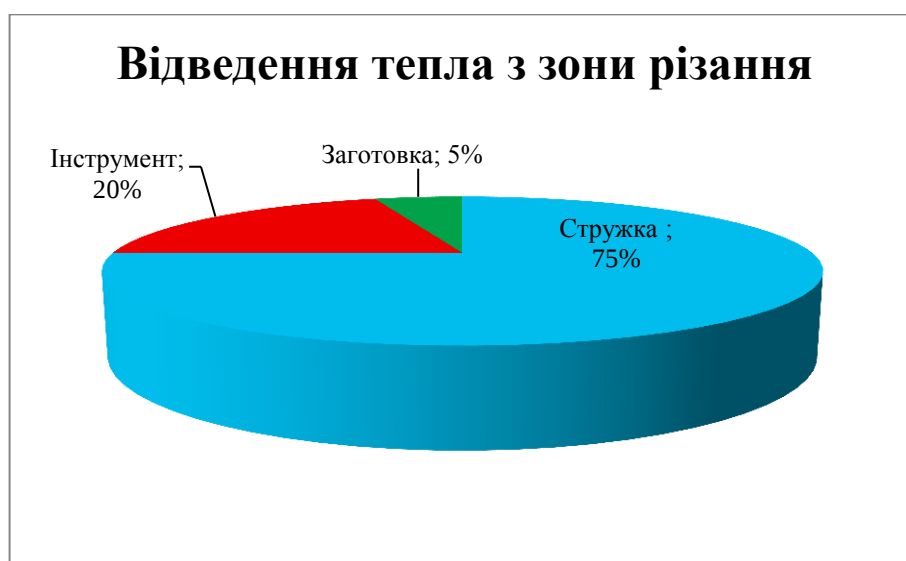


Рисунок 1.6 - Графік розподілу тепла в зоні різання

Резюмуючи сказане, слід зазначити ключовий принцип методу HSM - обробки: найбільшу кількість виробленого тепла відводиться разом зі стружкою.

Високопродуктивна обробка висуває додаткові вимоги. Як відомо продуктивність можна вимірювати за обсягом стружки в одиницю часу (Q), або нормою вироблення виробів за одиницю часу.

Відповідно завдання високопродуктивної обробки буде формулюватися таким чином: досягнення високої продуктивності за рахунок реалізації HSM методу обробки, при збереженні точносних і якісних параметрів обробки. Це досягається шляхом реалізації наступної стратегії побудови операції (рис. 1.7, 1.8):



Рисунок 1.7 - Стратегія побудови операції при швидкісному фрезеруванні

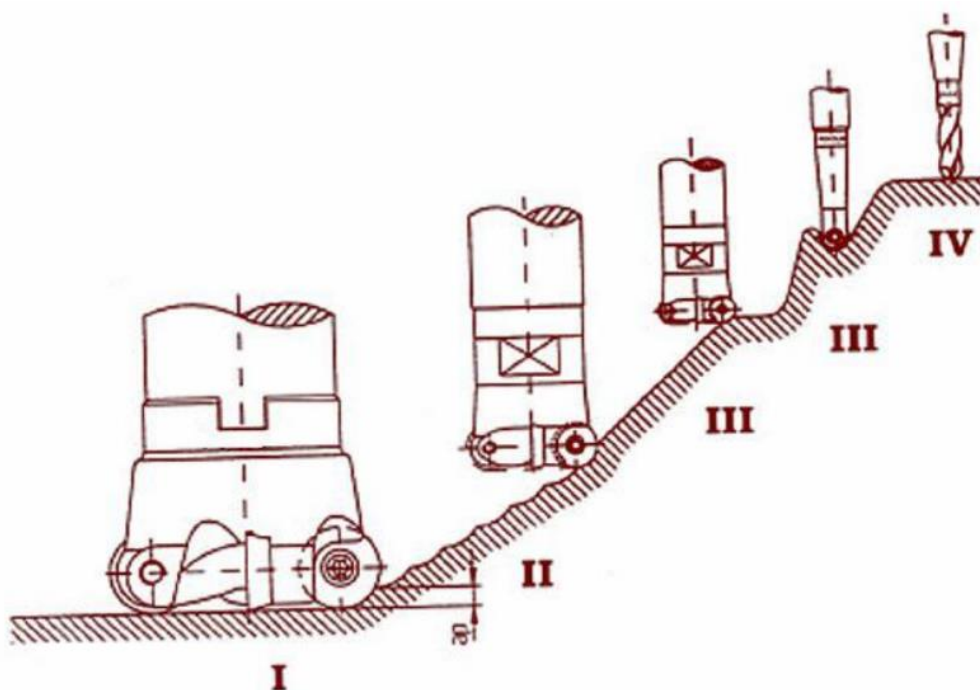


Рисунок 1.8 - Стратегія високопродуктивної обробки НРМ

Найважливішою компонентою НРМ обробки є дотримання бажаних траєкторій руху інструменту. Таким чином, основні відмінності високошвидкісний і високопродуктивної обробки від традиційної обробки полягають в наступному (рис.1.9):



Рисунок 1.9 – Основні завдання при високошвидкісному фрезеруванні

Відзначимо, що перехід на HSM і НРМ методи обробки має вирішуватися в комплексі, зачіпаючи обладнання, інструмент, режими різання, траєкторії обробки. Недооблік будь-якого з названих чинників може призвести до втрат переваг даних методів обробки або недоцільність впровадження в порівнянні зі звичайними методами обробки.

У наступних розділах наведено основні вимоги до обладнання та інструменту.

1.3.1 Вимоги до обладнання для здійснення високошвидкісної обробки

Фрезеруванням обробляються плоскі або фасонні лінійні поверхні. Фрезерування ведеться багатолезовими інструментами - циліндричними і торцевими фрезами. У зв'язку з цим розрізняють циліндричне або торцеве фрезерування. Головний рух надається фрезі, рух подачі зазвичай надається оброблюваній деталі, але може надаватися і інструменту - фрезі. Найчастіше воно є поступальним, але може бути обертальним або складним.

Для здійснення високошвидкісної та високопродуктивної обробки істотно зростають вимоги до обладнання та керуючого пристрою [2]. Проаналізуємо ці вимоги.

1. Висока швидкість різання вимагає високої частоти обертання шпинделя більше 20000 хв^{-1} . Це добре видно з виразу для визначення швидкості різання:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_m}$$

де V_c - швидкість різання, м / хв;

D_m - діаметр обробки (діаметр осьового інструменту), мм;

n - частота обертання оброблюваної поверхні заготовки інструменту), об/хв.

Високошвидкісний шпиндель (ВСП) - компроміс між силами і швидкістю різання. Зі збільшенням числа обертів шпинделя падає його потужність: 22KW

(до 12000об/хв), 12KW (до 24000об/хв), 4,5 KW (до 40000об/хв). Найбільш критичним фактором обмеження обертів шпинделя є підшипники, довговічність яких особливо важлива. ВСШ характеризується числом DN і обчислюється шляхом множення діаметра підшипника D (мм) на верхнє значення частоти обертання шпинделя N (об/хв). Для виконання робіт, при яких $DN < 2$ млн., Використовуються шарикопідшипники змішаного типу, що мають сталеві напрямні втулки і керамічні кульки, що забезпечують більшу термічну стабільність при високих швидкостях. Керамічні кульки довговічні, вони жорсткіше і значно легше сталевих, тому на них діють менші відцентрові сили. Для виконання робіт, при яких значення $DN > 2$ млн. потрібні безконтактні підшипники (гідростатичні, аеростатичні, електростатичні).

2. Можлива швидкість робочих подач інструменту 40 ... 60 м/хв, особливо це стосується високошвидкісної обробки.

3. Швидкості холостих переміщень інструменту до 90 м/хв, що забезпечує зниження часу на перехід в структурі штучного часу.

4. Осьові прискорення - сповільнення - більш $1g$, що також забезпечує зниження часу на перехід, особливо при великій кількості переходів в операції, коротких переміщеннях в траєкторії руху інструменту.

5. Швидкодіючі ЧПК. Використання функції HPCC (High Precision Contour Control), коли для збільшення швидкодії обробки сигналів зворотного зв'язку використовується додатковий процесор. Висока швидкість обробки інформації потужними процесорами забезпечує можливість поєднувати достатню точність переміщень з великою робочою подачею.

6. Інтерполяція NURBS. При стандартній підготовці УП в системі CAD/CAM отримана траєкторія руху інструменту представляє собою послідовність коротких лінійних переміщень, апроксимуючих поверхню математичної моделі. При цьому обсяг даних переміщень в УП може досягати десятки мегабайт на фінішних операціях. Сучасні системи ЧПК можуть самостійно плавно інтерполювати рух по вісям за допомогою математичних кривих В-типу. Використання вбудованої NURBS інтерполяції дозволяє в одному кадрі УП замінити до 10 кадрів, які

описують інтерполяцію хордами при збереженні точності. Інтерполяція по кривим дозволяє змінювати напрямок поступово, і система керування підтримує більш високу середню робочу подачу, ніж при переміщенні по полігональній траєкторії.

7. Крок переміщення рухомих частин менше 10 мкм, для реалізації вимог по точності розмірів, форми поверхонь, точності розташування поверхонь.

8. Висока термостійкість, жорсткість шпинделя і гарне охолодження підшипників шпинделя.

9. Обдув шпинделя повітрям або рідинне охолодження;

10. Велика жорсткість станини з гарною здатністю до поглинання вібрації (наприклад станина з полімербетона), це набуває великого значення, так як при високих швидкостях різання навіть порівняно невеликі вібрації призводять до викришування твердосплавного інструменту.

11. Компенсація різних похибок - температурних зазорів і різних інших видів, оскільки при високих частотах обертання шпинделя і великий споживаної потужності неминуча поява температурних похибок. Існує два методи корегування.

Перший полягає в атестації вузлів верстата вимірювальними пристроями високого класу. Результати атестації в вигляді таблиць похибок (внутрішньо крокова помилка, накопичена помилка, люфти, температурні похибки) заносяться в пам'ять системи ЧПК. При роботі верстата відбувається поправка атестованих неточностей.

Другий полягає в адаптивному управлінні. Такий підхід полягає у вимірюванні певних величин вузлів верстата за допомогою датчиків і внесення змін в динамічні і статичні характеристики даних вузлів з метою усунення неточностей.

Виробники при проектуванні нових моделей вивчають потреби ринку в конфігурації обладнання та його функціональних характеристиках. Спроектвані моделі мають свою певну галузь застосування. При виборі обладнання слід

враховувати його можливу комплектацію (наприклад за бажанням можуть встановлюватися шпинделі з різними частотами обертання, моментом на валу і потужністю), що впливає на його область застосування і характеристики.

Найчастіше виробники обладнання вказують основні галузі використання обладнання, при якій досягається максимальна ефективність його використання.

1.3.2 Підбір металорізального інструменту для високошвидкісної і обробки

Поява великої номенклатури ріжучого інструменту дуже гостро ставить проблему оптимального вибору. Завдання підбору оптимального інструменту для даних організаційно - технічних умов може бути досить трудомісткою. Внаслідок цього, для зниження трудомісткості, застереження від можливих неоптимальні рішень необхідно узагальнити основні ключові моменти, які прискорюють процес підбору. Нижче буде описана послідовність вибору інструменту з освітленням основних ключових питань, які з'являються на різних етапах.

Не мало важливим фактором є організаційний аспект. Він включає в себе інформаційне забезпечення технологів та інженерів - економістів та інших зацікавлених осіб необхідними джерелами даних. Узагальнюючи основні джерела даних необхідних, слід виділити найбільш важливі:

- державні стандарти;
- каталоги фірм виробників інструменту;
- електронні бази даних по інструменту;
- електронні ресурси в мережі Інтернет;
- технічні довідники.

Аналізуючи перераховані джерела даних необхідно відзначити те, що в умовах динамічного ринку ріжучих інструментів найбільш повну та останню за часом інформацію мають каталоги фірм виробників інструментів, електронні бази даних по інструменту, інтерактивні Інтернет - ресурси.

Найбільш зручні в користуванні це електронні бази даних, однак в них часто відсутня додаткова технічна інформація. Ця проблема може бути вирішена додатковим оснащенням робочого місця технічними довідниками, а також підбором необхідної інформації.

Електронні бази даних найбільших фірм виробників (фірма Sandvik - www.coroguide.com) оснащені автоматизованою системою пошуку. Це значно прискорює і спрощує процес підбору інструменту. Відзначимо Інтернет ресурси провідних фірм виробників інструменту для високошвидкісної і високопродуктивної обробки наведені в табл.1.2.

Таблиця 1.2 - Компанії виробники інструментів

фірма	Інтернет ресурс
Sandvik	www.coromant.sandvik.com/ru
ISCAR	www.iscar.ru
Mitsubishi	www.mitsubishicarbide.ru
Mapal	www.mapal.de
Kennametal	www.kennametal.com
Pokolm	www.pokolm.com
Dormer Tools	www.dormertools.ru
Seco	www.secotools.com
Prototyp	http://www.prototyp.com
Pramet	www.pramet.com
Walter	www.walter.com
Korloy	http://www.korloy.com
Titex	http://www.titex-prototyp.com

У тих випадках, коли потрібне проектування нового виробництва, необхідно провести порівняльний аналіз інструменту різних фірм на предмет технічної і економічної ефективності.

1.3.3 Вибір фрезерного інструменту

Фрезерним інструментом обробляються наступні основні види поверхонь: площині, поверхні з прямокутними уступами, канавки, пази, порожнини, фаски,

профілями. Для кожного поєднання оброблюваного матеріалу і конфігурації деталі зазвичай можна вибрати кілька варіантів інструменту. Для вибору фрезерного інструменту потрібно враховувати наступні фактори, які наведені на рис.1.10.

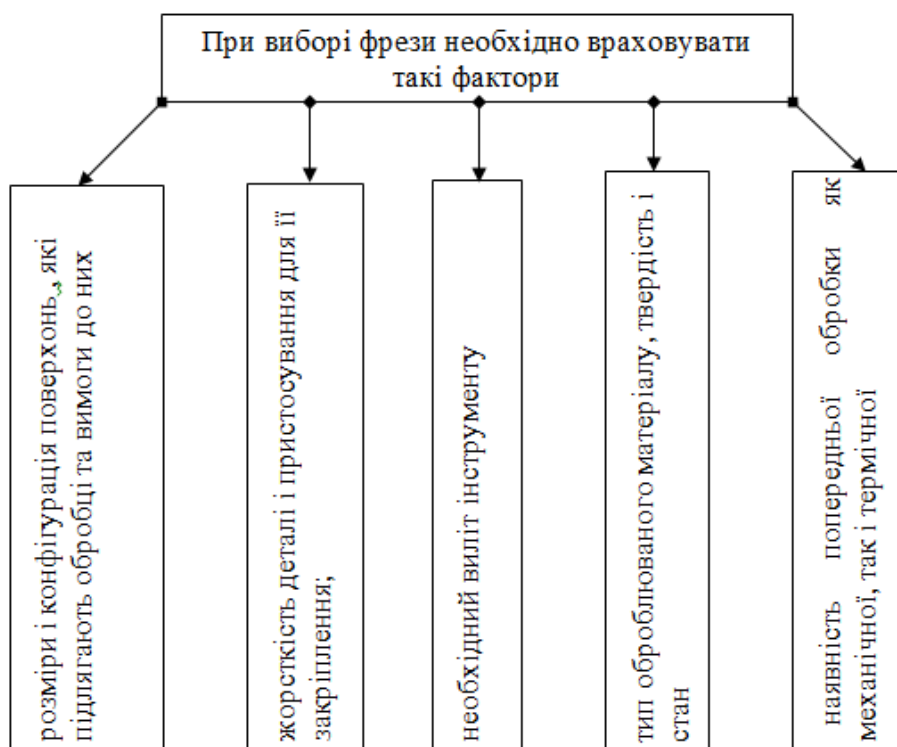


Рисунок 1.10 – Фактори для вибору фрез

Характеристики верстата, які слід проаналізувати:

- число обертів шпинделя, величини подач, кріплення інструменту, потужність;
- точність переміщення по вісях;
- можливі обмеження.

Вибір фрезерного інструменту здійснюється в наступній послідовності рис.1.11:

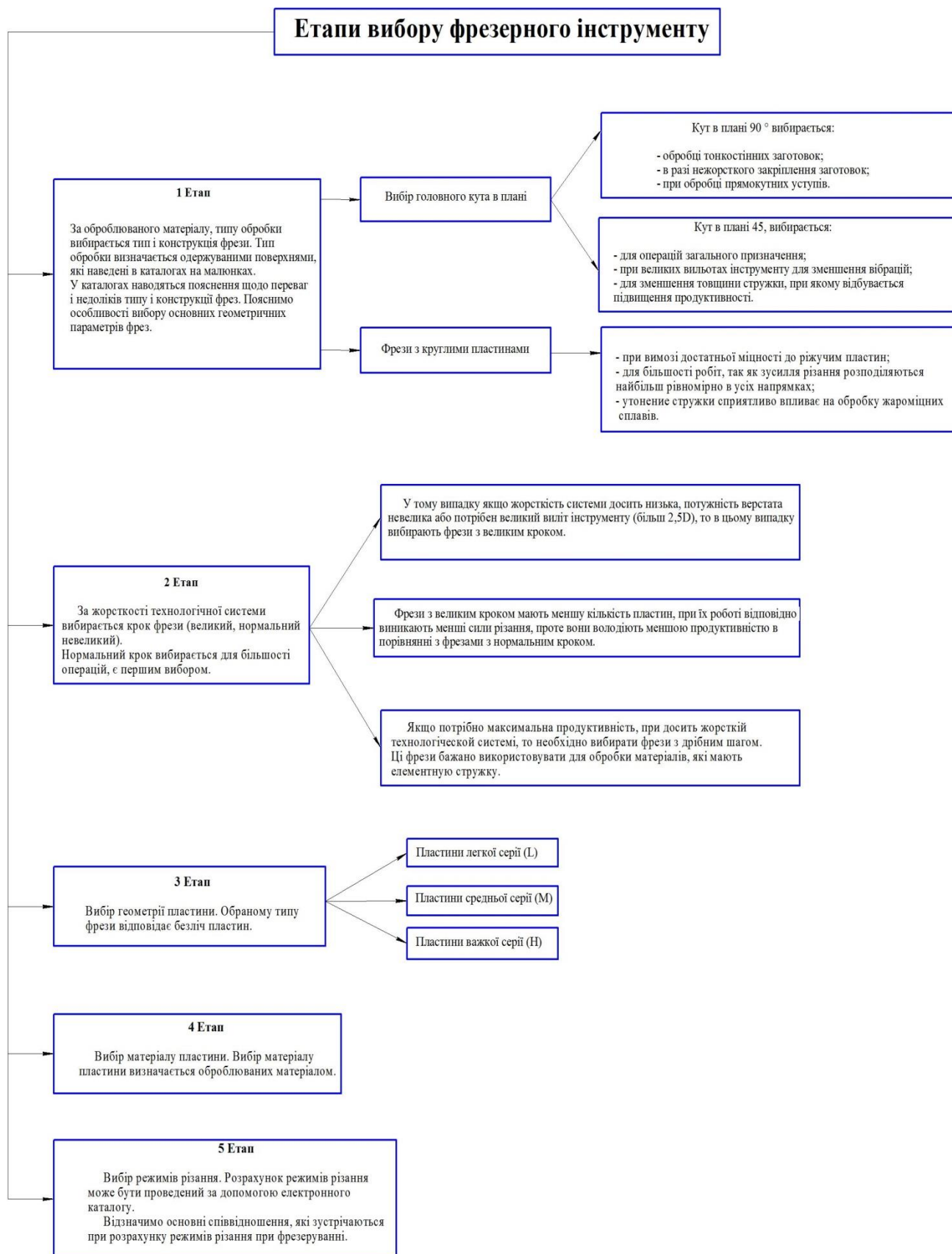


Рисунок 1.11 - Етапи вибору фрезерного інструменту

1.3.4 Рекомендації по фрезерній обробці нержавіючих сталей

Нержавіюча сталь володіє високою міцністю, жаростійкістю і гарними антикорозійними властивостями. Однак ці властивості сплавів мають і негативні сторони. Труднощі, а отже і непростий вибір фрези для обробки нержавіючої сталі, пов'язані з наступними факторами:

- у більшості нержавіючих сталей є схильність до самостійного зміцнення при знятті стружки. Причому в зоні різання твердість може підвищитися на 100%, якщо інструмент обраний неправильно;
- ріжучі кромки фрези сприймають великі навантаження через високу міцність цих сталей;
- погана теплопровідність і наклеп сприяють низькій оброблюваності нержавіючої сталі;
- налипання нержавіючої сталі на поверхню інструменту - ще одна трудність при її обробці. Висока міцність ускладнює стружкоутворення, але сприяє утворенню задирок.

Для якісної обробки нержавіючих сталей був розроблений комплекс рекомендацій:

- використання максимальної подачі МОР в зону різання, з метою зниження ступеня саме зміцнення;
- потрібно пам'ятати, що при використанні високих подач відведення тепла з оброблюваної ділянки повинно бути більше;
- обробку потрібно починати на мінімально можливих швидкостях, щоб протестувати різні режими;
- обов'язково використовувати фрези зі спеціальним покриттям, яке повинно ефективно перешкоджати утворенню наростів;
- бажано використання мінерального масла в складі МОР (не менше 8%).

Виходячи з вище перерахованих рекомендацій при фрезерній обробці нержавіючої сталі, розроблений ряд рекомендацій для кожної групи окремо. А також розроблений ряд рекомендацій для чорнової і чистової обробки нержавіючої сталі які наведено в табл.1.3.

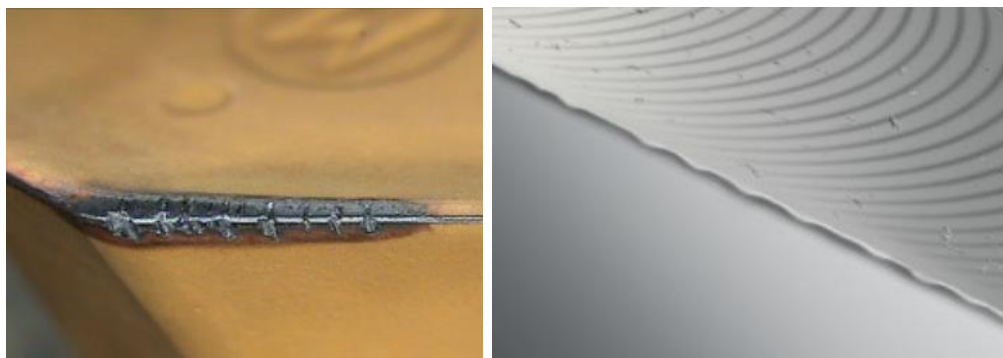
Фрезерування феритної / мартенситної нержавіючої сталі

Феритні нержавіючі сталі мають оброблюваність, схожу з низьколегованими сталями, тому при їх обробці можна керуватися загальними рекомендаціями з фрезерування сталі.

Мартенситні нержавіючі сталі більш схильні до зміцнення в процесі різання і викликають дуже високі сили різання при врізанні в заготовку. Для досягнення оптимального результату вибирайте правильну траєкторію інструмента і метод входу в різання по дузі, а також більш високу швидкість різання V_c , щоб подолати ефект зміцнення. Більш висока швидкість різання і міцніший сплав в поєднанні з посиленою ріжучою кромкою сприяють підвищенню стабільності.

Фрезерування аустенітної та дуплексної нержавіючої сталі

Основними видами зносу при фрезеруванні аустенітної і дуплексних нержавіючих сталей є викришування різальних крайок, що виникає в результаті виникнення термічних тріщин, утворення наростів і налипання матеріалу. Серед характерних дефектів деталей можна назвати основні це утворення задирок і низька якість оброблених поверхонь (рис.1.12).



а

б



В

Рисунок 1.12 - Характерні дефекти деталей
(а) термічні тріщини; (б) викришування різальних кромки;
(в) утворення задирок і низька якість оброблених поверхонь

Таблиця 1.3 - Рекомендації при чорновій і чистовій обробці нержавіючої сталі

Рекомендації для чорнової обробки	Щоб уникнути утворення наростів на різучих крайках вибирайте високу швидкість різання ($V_c = 150 - 250$ м/хв).
	Працюйте без застосування МОР для мінімізації ризику виникнення термічних тріщин
Рекомендації для чистовій обробки	Іноді необхідно застосовувати МОР, переважно у вигляді масляного туману або найтоншої плівки для поліпшення якості поверхні. При чистовому фрезеруванні ризик виникнення термічних тріщин знижується, так як в зоні різання виділяється менша кількість тепла.
	Використовуйте сплави типу кермет для забезпечення високої якості поверхні при роботі без МОР
	Занадто низьке значення подачі S_z може викликати надмірний знос пластини, так як в цьому випадку різуча кромка буде працювати в поверхнево зміцненій зоні.

При моделюванні процесу різання основною характеристикою є сила різання.

Сила різання при фрезеруванні витрачається на пластичні деформації зрізаного шару. Величина цієї сили залежить від твердості оброблюваного матеріалу, перерізу шару, що знімається і заточування різучої кромки фрези.

Крім того, сила витрачається ще на тертя сходу стружки об передню поверхню зуба фрези і на тертя задньої поверхні зуба фрези по обробленій поверхні. Величина сили, що витрачається на тертя, залежить від геометрії ріжучого інструменту і при правильно обраних розмірах є незначною.

Сумарна сила, необхідна на фрезерування, складається з усіх цих сил (рис.1.13) і повинна бути повідомлена фрезерному верстаті для здійснення процесу різання.

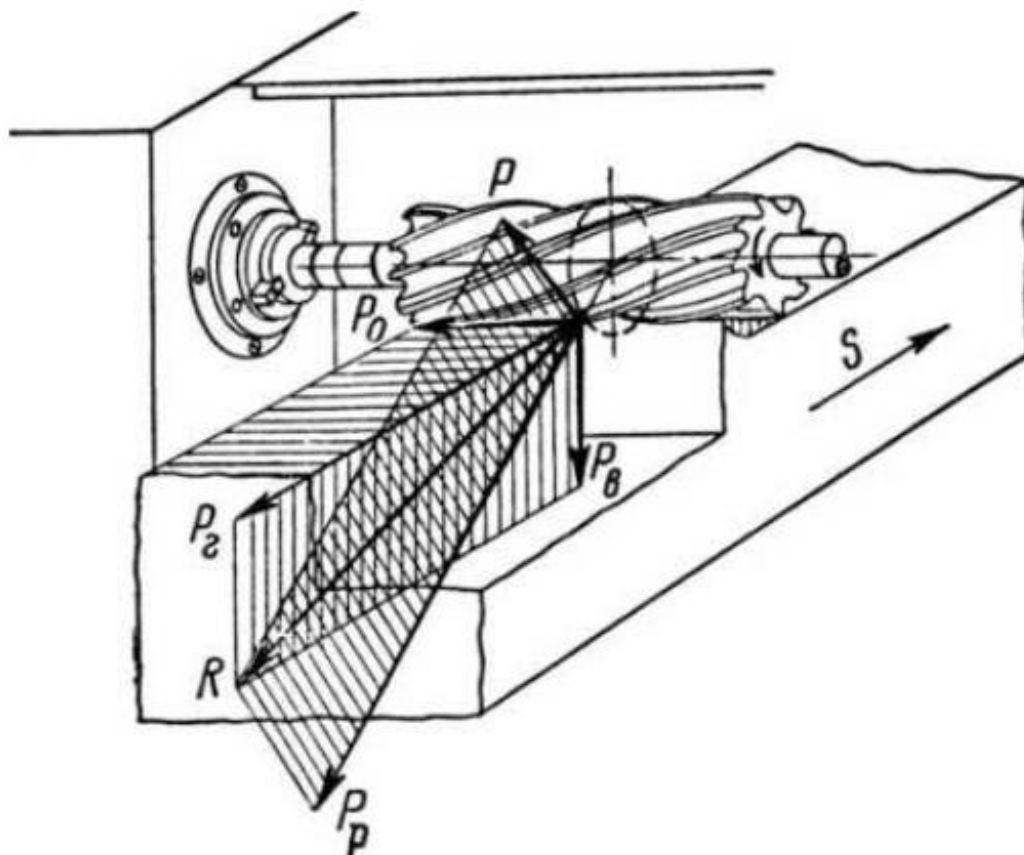


Рисунок 1.13 - Сили різання при фрезеруванні

На рис. 1.13 схематично показані сили, які виникають при зрізанні стружки зубом фрези. Одна з цих сил спрямована по дотичній, вона називається окружний силою різання і позначається через P . Інша сила спрямована по радіусу, вона називається радіальною силою різання і позначається через P_r . Результируюча сила R виходить як рівнодіюча сил P і P_r .

Результируюча сила R може бути розкладена на горизонтальну складову P_t і вертикальну складову P_v .

З усіх сил найбільше значення для розрахунків мають окружна сила P , горизонтальна складова P_r і вертикальна складова P_v .

1.3.5 Розрахунок сил різання при фрезеруванні.

Плавність роботи фрези залежить від глибини різання, діаметра фрези і числа зубів. Вона визначається величиною кута δ контакту фрези з оброблюваною заготівлею (центральный кут, відповідний довжині дуги зіткнення фрези з оброблюваною заготівлею) (рис. 1.14):

$$\cos = 1 - \frac{2t}{D} [5].$$

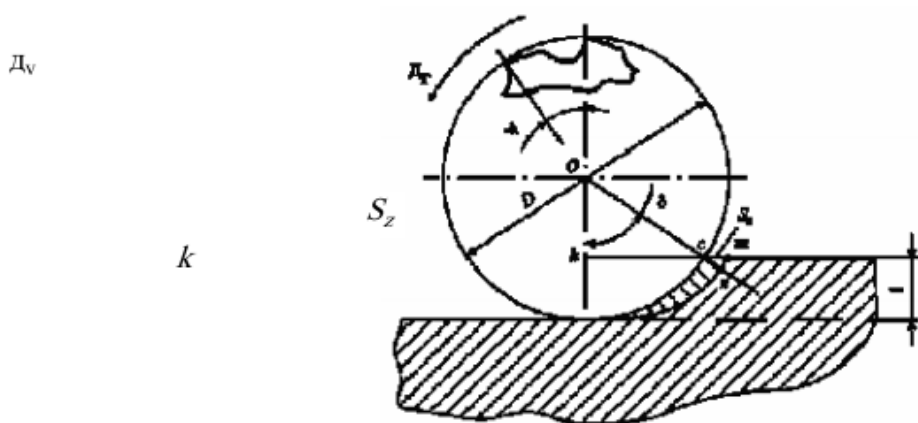


Рисунок 1.14 - Кут контакту фрези

Для забезпечення плавності роботи фрези число одночасно працюючих зубів має бути не менше двох: $Z_{pz} = \frac{\delta Z}{360^\circ}$. Товщина зрізу при фрезеруванні змінна, її величина залежить від подачі на зуб S_z і кута контакту фрези δ : $a = S_z \sin \delta$.

При розрахунку режиму різання глибина різання t призначається максимально можлива за умови жорсткості технологічної системи, ширина фрезерування B визначається розмірами оброблюваної поверхні. Подача на зуб S_z вибирається за таблицями довідників в залежності від виду і розмірів

інструменту, який застосовується, потужності верстата і властивостей оброблюваного матеріалу.

В умовах рівномірного фрезерування сила різання P_z , нормальна до гвинтового лезу зуба, дорівнює [5]:

$$P_z = \frac{2\pi k_p \sigma_B S_z t k}{Z \sin \delta} \quad (1.1)$$

З огляду на кут нахилу гвинтового зуба, окружна складова сили різання дорівнює:

$$P_{окр} = P_z \cos \delta, \quad (1.2)$$

а осьова складова, яка діє вздовж осі обертання фрези відповідно дорівнює:

$$P_{ос} = P_z \sin \delta. \quad (1.3)$$

Узагальнені результати експериментальних досліджень окружної (головної) складової сили $P_{окр}$ різними видами фрез виражаються рівнянням [5]:

$$P_{окр} = C_p t^x S_z^y Z_{pz} B D^n, \quad (1.4)$$

де t - глибина фрезерування;

S_z - подача на зуб;

B - ширина фрезерування;

D - діаметр фрези.

Значення коефіцієнтів C_p , а також показники ступеня для деяких видів фрез і оброблюваних матеріалів наведені в табл. 1.4 [5].

Значення швидкості різання і переднього кута зубів фрези враховують, множачи число, отримане з рівняння (1.4), на поправочні коефіцієнти k_v і k_γ (табл. 1.5) [5].

Ефективна потужність, кВт, що витрачається в процесі фрезерування металів, дорівнює [5]:

$$N_{\text{эф}} = P_{\text{окр}} v / 60 \quad (1.5)$$

де v - швидкість різання, м/хв,

$P_{\text{окр}}$ - окружна сила різання, кН.

Маса металу, кг, перетворена в стружку за одну годину фрезерування [5]:

$$m = 610^{-8} n z t B S_{\text{z}} \rho \quad (1.6)$$

де t - глибина фрезерування, мм;

B - ширина фрезерування, мм;

S_{z} - подача, мм / зуб;

z - число зубів фрези;

n - частота обертання фрези, об/хв;

ρ - щільність оброблюваного металу, кг/м³.

Енерговитрати, кВт / ч, при фрезеруванні визначаються відношенням роботи, витраченої протягом години, до маси зрізаної при цьому стружки [5]:

$$\Xi = 0,278 \cdot 10^6 P_{\text{окр}} v / (n z t B S_{\text{z}} \rho) \quad (1.7)$$

Таблиця 1.4 - Коефіцієнти і показники ступеня для рівняння 1.4

Матеріал, що обробляється	Фрези	Ср	х	у	п
Сталь	циліндричні, кінцеві	68	0,86	0,74	-0,86
	кутові	39			
	торцеві (симетричне фрезерування), дискові, відрізні	82	0,95	0,8	-1,1
	торцеві (несиметричне фрезерування)	68	0,86	0,74	-0,86
Чавун	торцеві (несиметричне				

	фрезерування), циліндричні, кінцеві	48	0,83	0,65	-0,83
	торцеві (симетричне фрезерування), дискові, відрізнi	70	0,9	0,7	-1,14

Таблиця 1.5 - Поправочні коефіцієнти k_v і k_γ

$v, \text{ м / } \text{хв}$	50	75	100	125	150	175	200	250
k_v	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88
γ	+15	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20
k_γ	0,75	0,83	0,92	1,00	1,08	1,17	1,25	1,33

2 КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ І ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ ПРИ ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

2.1 Постановка завдання оптимізації як завдання визначення оптимальних умов різання. Оптимізація в умовах автоматизованого виробництва

На сучасному машинобудівному виробництві, де все більшу роль відіграють гнучкі автоматизовані засоби зберігання, обробки, транспортування і завантаження, перерозподіляється баланс часу, необхідний для перетворення заготовки в готову деталь. Якщо для універсального (неавтоматизованого) обладнання деталей знаходиться безпосередньо в обробці тільки 5% загального часу (решту часу зберігається на складі, біля верстата, контролюється, транспортується і т.д.), то в умовах функціонування гнучких виробничих систем (ГПС) деталь знаходиться на верстаті до 90% загального балансу часу, тобто продуктивність при цьому підвищується в 15-20 раз.

У зв'язку зі зростанням витрат на обладнання, збільшенням складності самих виробів, що виготовляються стає актуальною задача створення надійних адекватних моделей процесу різання на верстатах з ЧПУ, обробних центрах (ОЦ), ГПС і на основі цих моделей здійснення комплексної оптимізації режимів різання, параметрів ріжучого інструменту і умов механічної обробки.

Специфіка створюваної моделі процесу різання обумовлена характерними особливостями програмно-керованого устаткування. До них відносяться:

- збільшена жорсткість верстатів з ЧПК в порівнянні з універсальними;
- краще відведення теплоти із зони різання;
- об'єднання декількох стадій обробки (наприклад, чорнове і чистове точіння) без переустановлення;
- підвищені вимоги до стружколомання і видалення стружки із зони різання;

- наявність датчиків кутового положення шпинделя, за допомогою яких відбувається синхронізація обертання шпинделя і руху подачі;
- дискретний цикл використання одного і того ж інструмента (з проміжним зберіганням в інструментальному магазині);
- оперативне коректування режимів різання (особливо при системі "CNC-керування") і, як наслідок, швидке переналагодження на новий виріб;
- обробка одночасно с 4-5 сторін за рахунок повороту столу обробного центру;
- спрощення комплектів установчо-затискного оснащення (наприклад, осьова обробка без кондукторних втулок);
- наявність вбудованих систем адаптивного управління за принципом граничного регулювання і з оптимізацією.

Завдання оптимального управління процесом різання на програмно-керуючому обладнанні може бути розбита на два етапи:

- обґрунтування вибору значень параметрів режимів, які відповідають системі обмежень і забезпечують екстремальність критерію якості (ефективності) процесу. Це завдання отримало назву зовнішньої оптимізації;
- управління параметрами обробки з метою підтримки оптимального значення критерію якості в умовах впливу на процес впливів, що обурюють - завдання внутрішньої оптимізації.

При формуванні оптимізаційних моделей процесу різання на верстатах з ЧПК, ОЦ необхідно врахувати ряд вимог до виду і значенням як керованих параметрів, так і критеріїв якості. Це, перш за все, стосується показника стійкості та елементів режимів різання.

В [7-9] Вказується діапазон зміни періоду стійкості, всередині якого будь-яке значення T може вважатися оптимальним (T_0). Цей діапазон обмежений найбільшою (максимальною) продуктивністю, з одного боку (відповідна стійкість позначається $T_{н.п}$), і мінімальною собівартістю, з іншого (T_c):

$$T_0 = T_{н.п} + \alpha(T_C - T_{н.п}); \quad \alpha = (1...9,63)10^{-6}(C_{ст} - N_s),$$

$C_{ст}$ - вартість верстата.

Причому чим вище значення $C_{ст}$, тим ближче повинно бути T_0 до $T_{н.п}$. Економічна стійкість T_C зменшується зі збільшенням вартості верстата, а $T_{н.п}$ при цьому залишається незмінною. У табл. П.4 наведені значення $T_{н.п}$, характерні для різних моделей верстатів з ЧПК [10].

При призначенні режимів різання на ОЦ, що забезпечують мінімум собівартості, повинна виконуватися умова

$$\frac{T_{нор1}}{T_{э1}} + \frac{T_{нор2}}{T_{э2}} + \dots + \frac{T_{нори}}{T_{эi}} = 1, \quad (2.1)$$

Де $T_{нор1}$ - умовна економічна стійкість 1-го інструменту в умовах одноінструментальної обробки, яка приймається за нормативами [11];

$T_{Е1}$ - умовна економічна стійкість 1-го інструменту при багатоінструментальній обробці на ОЦ.

Невиконання умов (2.1) підвищує собівартість обробки через часту зміну інструменту при роботі з підвищеними швидкостями різання або збільшує основний час 1-го переходу t_{0i} при роботі з низькими швидкостями різання.

Ще одна вимога до діапазону оптимальних значень пов'язано із забезпеченням одночасного затуплення всіх інструментів налагодження, що дозволяє реалізувати зміну інструментального магазину ОЦ в цілому. Це нормування виражається наступним чином:

$$T_{э1} / t_{01} = T_{э2} / t_{02} = \dots = T_{эi} / t_{0i} = Q,$$

де Q - умовна економічна стійкість інструменту, шт.

Для верстатів з ЧПУ і ОЦ доцільно в ряді випадків збільшувати швидкість різання шляхом зниження періоду стійкості. Такому підвищенню сприяють вневерстатна заточка, доведення і налаштування інструменту з високою точністю, можливість автоматичної зміни частоти обертання за програмою і підвищена

жорсткість верстатної системи [12]. Так, для ОЦ рекомендується збільшення швидкості різання на 15-100%, що підвищує значення критерію продуктивності обробки [13].

У розрахунках оптимальних режимів різання (V , S , t) застосовують економічні (найчастіше технологічна собівартість C), техніко-економічні (точність, шорсткість та ін.) і енергетичні критерії (питома енергоємність і ін.).

Існує ряд випадків в досить вузьких діапазонах зміни керуючих параметрів, коли вибір критерію оптимальності не має принципового значення, так як він визначається межею допустимих значень оптимізуючих параметрів, тобто повністю залежить від технологічних обмежень.

Разом з тим слід зазначити, що при формуванні економічних і техніко-економічних параметрів виникають труднощі формалізованого опису процесу різання. Це в першу чергу відноситься до стійкосних моделей (стійкість входить складовою в критерії собівартості, продуктивності і ін.). Крім того, ці критерії, з одного боку, враховують чинники конкретного виробництва (тип, стан устаткування, яке застосовує, оснащення, типорозмір інструменту та ін.), А з іншого - безпосередньо не враховують точність, шорсткість обробленої поверхні і властивості поверхневого шару деталі.

Оптимізація за допомогою енергетичних критеріїв безпосередньо не залежить від економіки виробництва, але виявляє резерви продуктивності і якості обробки, які зумовлені фізичними особливостями взаємодії інструменту і матеріалу.

Як енергетичні критерії фізичної оптимізації використовуються:

- інтенсивність зносу ріжучого інструменту;
- температура різання, відповідна мінімуму зносу інструменту [3];
- питома енергоємність η_1 , що характеризує загальні витрати енергії стружкоутворення, наведені до одиниці об'єму повітря, що видаляється шару;
- прихована енергія деформування поверхневого шару деталі, яка використовується при оптимізації чистової обробки;
- з'єм металу за одиницю потужності.

До переваг енергетичних критеріїв відносяться [14]:

- можливість відображення фізико-механічного стану зони різання;
- універсальність в сенсі придатності для вирішення завдань в різних умовах виробництва;
- можливість зіставлення технологічних процесів, різних за своєю природою і, як наслідок, використання їх для структурної оптимізації;
- зведення задачі вибору оптимальних технологічних умов різання тільки до розрахунків за допомогою ЕОМ без проведення трудомістких експериментальних досліджень;
- можливість вести обробку з максимальним ККД.

Як відомо, різання клиноподібним інструментом надзвичайно неефективно в енергетичному відношенні - загальні витрати енергії в 8-10 разів більше і перевищують витрати на корисну роботу утворення нової поверхні. Так як надлишок енергії створює підвищену динамічну та теплову напруженість процесу різання, то умови виробництва, відповідні мінімуму енергоємності, підвищують динамічну стійкість процесу різання (за рахунок збільшення подачі, швидкості різання і переднього кута інструмента). Як наслідок цього знижується рівень вібрацій в верстатній системі і підвищується стійкість інструменту;

- збереження сталого монотонного характеру зміни значень η_1 і η_2 та їх статистичних характеристик при дії випадкових чинників. Це робить енергетичні критерії прийнятними в задачах статистичної оптимізації процесу різання, а також в системах адаптивного управління з оптимізацією. В таких же умовах спостерігається "плаваюча" залежність собівартості і продуктивності від швидкості різання і подачі та зміна їх екстремальних значень в досить широкому діапазоні.

2.2 Вибір критеріїв оптимальності і цільових функцій при розрахунку режимів різання.

При пошуку оптимальних режимів різання можуть бути використані найрізноманітніші критерії вибору рішень. Кожен з них відображає різні аспекти процесу різання: економічні, технічні, фізичні, інформаційні. Використання того чи іншого критерію залежить як від об'єктивно складається виробничої ситуації, так і від суб'єктивних поглядів (досвіду, інтуїції) інженерів, які приймають рішення.

Якщо потрібно оптимізувати один з показників якості проектного об'єкта при дотриманні обмежень на інші показники, то потрібно сформулювати один приватний критерій.

Завдання оптимізації при цьому зводиться до задачі максимізації (мінімізації) даного критерію з урахуванням заданих обмежень.

При наявності декількох критеріїв вибирають:

а) адитивний критерій, якщо істотне значення мають абсолютні значення критеріїв при обраному векторі параметрів X ;

б) мультиплікативний критерій, якщо істотну роль відіграє зміна абсолютних значень приватних критеріїв при варіації вектора X ;

в) максимінний (мінімаксний) критерій, якщо стоїть завдання досягнення рівності нормованих значень суперечливих (конфліктних) приватних критеріїв.

Найбільшого поширення в практиці розрахунку оптимальних режимів різання отримали критерії максимальної продуктивності і мінімальної собівартості.

Для умов обробки одним інструментом цільова функція, що зв'язує собівартість з режимами різання,

має вигляд:

$$C = a(t_0 + t_c \frac{t_p}{T}) + a' \frac{t_p}{T} ,$$

де C - частина технологічної собівартості, що залежить від режимів різання;
 a - собівартість верстата – хвилини;
 t_0 - основний час обробки;
 t_c - час зміни інструменту;
 t_p - дійсне час різання заготовки;
 T - стійкість інструменту;
 a' - вартість інструменту, наведена до одного періоду стійкості (залежить від виду інструменту).

Для напаяного інструменту:

$$a' = \frac{\text{вартість інструменту} + \text{витрати на переточування}}{\text{кількість переточок} + 1}$$

Для інструменту з багатограними непереточуваними пластинками:

$$a' = \frac{\text{вартість пластини}}{\text{число рижучих граней}} + \frac{\text{вартість державки}}{\text{число рижучих граней, які приходяться на одну державкку}}$$

При фрезеруванні змінна частина собівартості C , що залежить від режимів різання, записується у наступному вигляді:

$$C = A \cdot t_M + (A \cdot t_{CM} + A_{\Pi}) \cdot \frac{t_M}{T},$$

де A - вартість машинного часу, коп/хв;

A_{Π} - наведені витрати, зумовлені експлуатаційно-цією ріжучого інструменту, коп/хв;

t_M - машинний час, хв;

t_{CM} - час зміни інструменту, хв.

Продуктивність обробки зворотно пропорційна витраченому часу. Тому в якості цільової функції використовується частина штучно-калькуляційного часу, що залежить від режимів різання:

$$t'_{шт} = t_0 + t_c \frac{t_p}{T}.$$

При фрезеруванні t_0 визначається як:

$$t_0 = \frac{L}{S_M} i = \frac{l + l_1 + l_2}{S_z \cdot z \cdot n} i,$$

Де L - довжина шляху, що проходить інструментом у напрямку подачі, мм;

L - довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 - величина на врізання і перебігаючи інструменту, мм;

l_2 - додаткова довжина на взяття пробної стружки.

Залежно від розміру фрези l

$2 = 5 \dots 10$ мм;

S_M - подача фрези хвилинна, мм/хв;

i - число проходів.

Для оптимізації режимів різання нерідко використовується критерій максимального прибутку. Прибуток, отриманий в одиницю часу:

$$P_t = \frac{D_p - C_p}{t_{шт}},$$

де D_p - дохід, що припадає на одну деталь, без урахування вартості матеріалу;

C - собівартість обробки однієї деталі;

$t_{шт}$ - штучний час.

Прибуток, отриманий на одиницю витрачених коштів, дохід, що припадає на одну деталь, без урахування вартості:

$$P_c = \frac{D_p - C_p}{C_p + 3},$$

де 3 - додаткові витрати.

Слід зазначити, що в загальному випадку швидкість різання, відповідна максимальному прибутку за одиницю часу, буде відрізнятися від швидкостей різання, відповідних мінімальній собівартості та максимальній продуктивності.

2.3 Технічні обмеження режимів різання в задачі оптимізації

Рекомендації по вибору обмежень, цільової функції і критеріїв оптимальності при обробці різанням. Для таких критеріїв оптимізації слід приймати значення: штучна собівартість, штучний час, компроміс вартості і часу-мінімум; число (в штуках); частка прибутку-максимум [6].

Залежність для штучного часу повинна бути приведена до проходу в межах операції і до складових витрат часу, що залежать від режимів обробки. У допоміжному часу має бути враховано тільки час на зміну інструменту $\tau_{\text{смi}}$ і поворот ріжучої пластини $\tau_{\text{прп}}$. Час обслуговування і відпочинку ($\tau_{\text{обсл}} + \tau_{\text{отд}}$) можна не враховувати. Система обмежень для процесів різання приведена в табл. 2.1. Основний час $\tau_{\text{осн}}$, який визначається тільки для верстатів, відносять до довжини проходу з робочою подачею (може бути прийнята довжина заготовки).

Таблиця 2.1 – Технічні обмеження при точінні

Обмеження	Верстат	Затискні пристрої	Повні робочі режими	Заготовка
Геометричні	Робочий простір (максимальний, мінімальний діаметр заготовки, висота робочої зони, максимальна довжина обробки та інші)	Діапазони заборонених діаметрів, биття в патроні	Геометрія ріжучої частини, форма державки, токарний різець, токарна штанга	Розміри (гроздкість), геометричні похибки (макрота мікровідхилення форми)
За навантаженням (знос)	Потужність, крутний момент	Обмеження по частоті	Матеріал ріжучої	Матеріал, попередня

			обертання, обмеження по силі затиску токарного патрона, задньої бабки	частини, що ріже пластина, різцетримач	підготовка, оброблюваність
Міцність, деформація і пружність	Статична	Пружність (шпиндель, станина, супорт, задня бабка, механізм подачі)	Жорсткість закріплення	Прогин державки	Прогин заготовки (пружність заготовки)
	Динамічна	Аналітично поки	Коливання (поява вібрації) в системі СНІД		
	Термічна	не описано	Термічні деформації		

В якості технологічних складових собівартості повинні бути враховані вартість однієї години роботи верстата $C_{ст}$, годинна заробітна ставка, вартість інших витрат $C_{др}$ і вартість інструменту $C_{інстр}$.

Обмеження можуть бути утворені елементами системи СНІД, проявом характеристик (геометрії, кінематики, навантаження, зносу) або сукупністю змінних (силами різання, продуктивністю, періодом стійкості), причому не завжди можливо однозначне поділ їх.

Правильний розрахунок оптимальних режимів різання неможливий без врахування обмежень. Розглянемо нижче деякі типи обмежень, які найбільш широко використовуються в теорії та практиці машинобудування [6].

1. Кінематичні обмеження визначають максимально і мінімально можливі подачі і швидкості різання і характеризуються кінематичною структурою приводу головного руху і приводу подач.

2. Обмеження по максимальній потужності верстата. Для здійснення різання необхідно, щоб $N_p \geq N_{ст} \eta$,

$$N_p \frac{P_z V}{60 \cdot 1020} = \frac{k_{pz} C_{pz} V^{\alpha_1} S^{\alpha_2} t^{\alpha_3} \pi d n}{61200 \cdot 1000},$$

Де N_p - потужність різання;

$N_{\text{ст}}$ - потужність електродвигуна приводу головного руху;

η - ККД приводу головного руху. Для точіння, кВт:

n - частота обертання, об/хв.

3. Обмеження по максимальному крутному моменту. Для безаварійної роботи верстата необхідно, щоб $M_{\text{ст}} \geq M_p$;

де $M_{\text{ст}}$ - допустимий крутний момент на шпинделі, заданий виходячи з міцності найслабшої ланки коробки швидкостей; M_p крутний момент, викликаний силою різання:

$$M_p = \frac{P_z d}{2000}.$$

4. Обмеження по міцності найслабшої ланки механізму передачі верстата. Запишемо наступне рівняння:

$$P_{\text{доп.под.}} \geq P_x + f(P_z + P_y) = P_x + 0,1(P_z + P_y),$$

Де f - коефіцієнт тертя. Враховуючи, що $P_y \approx 0,4 P_z$, $P_x \approx 0,25 P_z$, отримуємо:
 $P_{\text{доп.под.}} \approx 0,39 P_z$.

Обмеження по міцності державки різця. Якщо розглядати різець як балку, навантажену на кінці зосередженими силами P_z і P_x , то умова її міцності можна представити у вигляді:

$$\frac{P_z L_B}{W_z \cdot 10^{-7}} + \frac{P_x L_B}{W_x \cdot 10^{-7}} \leq \sigma_u, \quad W_z = \frac{B H^2}{6}, \quad W_x = \frac{B^2 H}{6},$$

Де L_B - виліт державки різця, мм;

W - момент опору перерізу державки різця, мм³;

σ_i - допустима напруга на вигин для матеріалу державки, Па;

B, H - ширина і висота державки, мм.

5. Обмеження по міцності твердосплавної пластини. Сила різання при точінні різцем з твердосплавної пластиною обмежується її міцністю:

$$P_z \leq 34c^{1,35} t^{0,77} \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8},$$

де c - товщина пластини, мм;

φ - головний кут різця в плані, град.

6. Обмеження по жорсткості різального інструменту. Під дією сили різання інструмент пружно деформується, що впливає на точність обробки. Нехтуючи силами P_y і P_x , стрілу прогину f_p різця при точінні можна визначити за формулою:

$$\dot{\Gamma}_p = \frac{P_z L_B^3}{3EI} \leq \dot{\Gamma}_{p.доп.},$$

де E - модуль пружності матеріалу державки різця, Па;

I - полярний момент інерції перерізу державки різця (для прямокутного перерізу, для круглого $I = 0,05d^4$), мм⁴. Для чорнового точіння $\dot{\Gamma}_{p.доп.} = \frac{BH^3}{12} \approx 0,1$ мм, для чистового 0,05 ... 0,03 мм.

7. Обмеження по жорсткості оброблюваної деталі. Результируюча сила, що викликає прогин деталі, $P_{zy} = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} \approx 1,1P_z$

Максимальна стріла прогину деталі:

$$\dot{\Gamma}_d = \frac{P_{zy} \ell^3 \mu}{K_3 EI} \leq \dot{\Gamma}_{d.доп.}$$

де ℓ - довжина деталі;

K_3 - коефіцієнт, що залежить від способу закріплення деталі (при закріпленні деталі в центрах $K_3 = 100$, при закріпленні в патроні і задньому центрі $K_3 = 140$, при консольному закріпленні в патроні $K_3 = 2,4$);

μ - динамічний коефіцієнт, що дорівнює відношенню статичної жорсткості деталі до її динамічної жорсткості.

Значення динамічного коефіцієнта μ наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення динамічного коефіцієнта μ

Обробка в центрах			Обробка в патроні центрі		
чистова	напівчистова	чорнова	чистова	напівчистова	чорнова
1,2	1,38	1,39	1,16	1,30	1,31

Допустимі значення прогину деталі не повинні перевищувати 0,25 ... 0,5 допуску на розмір Td. Наближені значення цього показника: при чорновому точінні 0,2 ... 0,4 мм, при напівчистовому $\approx 0,1$ мм, при чистовому - 0,2Td.

8. Обмеження по шорсткості обробленої поверхні. Існують як теоретичні, так і експериментальні залежності для розрахунку параметрів шорсткості. Наведені в літературі рівняння представлені в додатку. У загальному випадку ці рівняння мають вигляд:

$$R_a(R_{\max}) = k_R v^{\beta_1} s^{\beta_2} t^{\beta_3}$$

Де K_R - постійна величина для заданої геометрії інструменту і характеристик оброблюваного і ріжучого матеріалів.

9. Обмеження по температурі різання. Для того щоб забезпечити необхідні характеристики поверхневого шару, часто необхідно накладати обмеження на максимальну температуру різання. Рівняння для розрахунку температури різання мають вигляд:

$$\theta = k_{\theta} v^{\gamma_1} s^{\gamma_2} t^{\gamma_3},$$

де K_{θ} - постійна величина.

Існують також теоретичні залежності для розрахунку температури різання θ , проте їх використання ускладнене внаслідок необхідності мати досить велику кількість характеристик оброблюваного і ріжучого матеріалів.

10. Обмеження по крутному моменту, допустимому затискним патроном. Для розрахунку зазначеного моменту використовуються теоретичні моделі для різних конструктивних виконань патрона. Слід пам'ятати, що сила затиску

зменшується приблизно на 10000 Н при збільшенні частоти обертання від нуля до 1500 об/хв. Вважається, що сила затиску при максимальній частоті обертання патрона не повинна бути менше однієї третини сили затиску в статичному стані.

$$M_{кр} = P \cdot 9550 / N \leq M_{кр \max}$$

Де P - це потужність двигуна в кіловатах (кВт)

N - оберти вала в хвилину.

11. Обмеження по мінімально допустимому відношенню товщини стружки до її ширині. При малих значеннях зазначеного співвідношення різко збільшується силове навантаження на різець, що призводить до підвищеного зносу інструменту.

$$S / t \geq k$$

12. Обмеження по частоті обертання шпинделя, пов'язане з появою вібрацій в системі верстат-приспособлення-інструмент-заготовка, аналітичних залежностей майже не має.

$$n = 1000V / \pi d \leq n_{\max}$$

Зазначені обмеження носять технічний характер. Крім них можуть бути враховані і планово-економічні обмеження. Наприклад, максимально допустимий основний час обробки, мінімально допустима стійкість інструменту і т.п.

Формування всієї системи обмежень є досить трудомістке завдання і тому в практичних випадках часто враховують тільки деякі з них. Ефективний облік всіх можливих обмежень можливий тільки в рамках автоматизованої системи розрахунку оптимальних режимів різання.

3 ПОСЛІДОВНІСТЬ ТА ПРОЦЕДУРА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Досліджуючи функцію собівартості рівняння можна привести до виду [6]

$$C = \frac{K_1}{VS} + \frac{K_2}{VST},$$

де K_1, K_2 - постійні величини

З того виразу видно, що для зменшення собівартості необхідно прагнути, з одного боку, до збільшення виразу $VS \rightarrow \max$, а з іншого - до збільшення стійкості інструменту $T \rightarrow \max$ або $V^m S^n \rightarrow \min$. Так як $m > 0$ і $n > 0$, то виникає певна суперечність при спробі задовольнити обидві вимоги одночасно. Внаслідок цього для спрощення пошуку оптимальних рішень необхідно виділити підмножина допустимих значень V і S , яке за своїми властивостями було б аналогічно безлічі Парето. Іншими словами, якщо в цій множині переходити від однієї точки (рішення) до іншої, то обов'язково один із зазначених раніше критеріїв покращиться, а інший - погіршиться.

Нехай задана область допустимих значень, що визначається нерівностями

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}, \quad S_{\min} \leq S \leq S_{\max}.$$

Побудуємо на цій множині лінії рівня функції $\phi_1 = VS$ і функції $\phi_2 = V^m S^n$ (рис. 3.1). Так як $m > n$, то лінії рівня функції ϕ_2 будуть "крутіше", ніж позбав рівня функції ϕ_1 .

Візьмемо довільну точку A (допустиме рішення). Якщо переміщатися уздовж лінії ϕ_2 вгору, то видно, що точка A' - найкраща з точок, що лежать на лінії ϕ_2 так як значення виразу VS в цій точці найбільше.

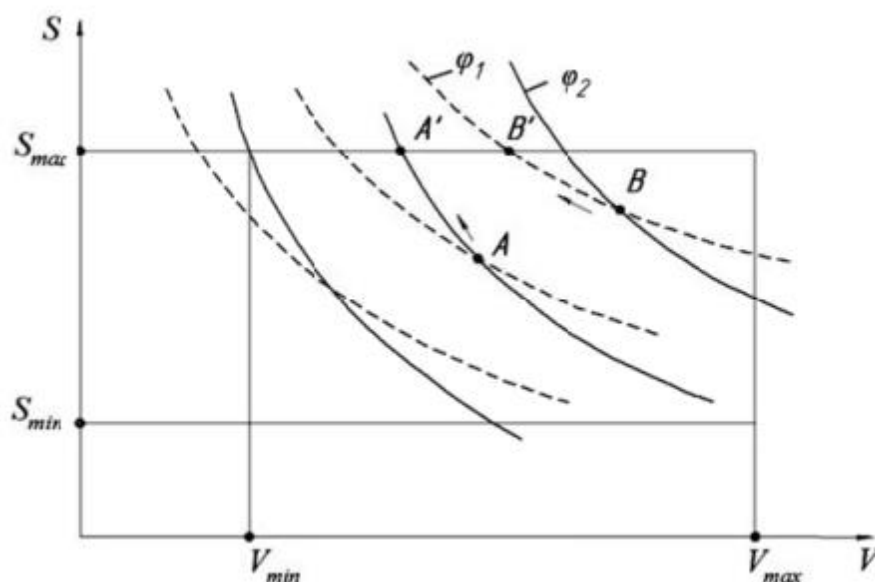


Рисунок 3.1 – Лінії рівня функцій φ_1 та φ_2

Візьмемо довільну точку В. Якщо переміщатися уздовж лінії φ_1 вгору, то видно, що точка В' - найкраща з точок, що лежать на лінії φ_1 , так як значення виразу $V^m S^n$ в цій точці найменше. Таким чином, можна стверджувати, що безліч псевдо точок лежать на лініях $S = S_{\max}$ та $V = V_{\min}$.

Якщо область допустимих значень обмежена замкнутою кривою довільної форми, то оптимальні рішення слід шукати на межі ОДЗ між максимально розкиданими точками дотику ліній φ_1 та φ_2 з вказаною межею (рис.3.2).

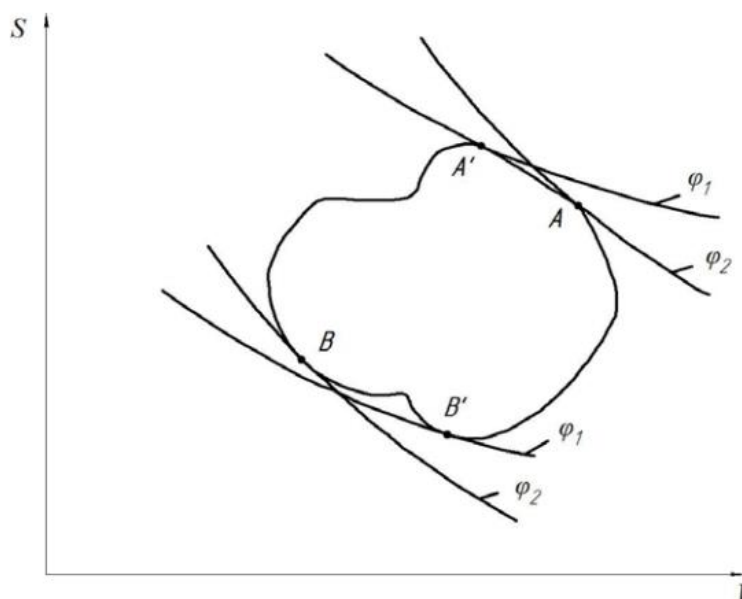


Рисунок 3.2 – Псевдопаретівська область значень при довільних обмеженнях

При переміщенні від В' до А шукана область на рис.3.2 знаходиться між точками В' і А. Нехай $t_0 =$ (де d - діаметр оброблюваної поверхні, l - довжина) і $t_p \frac{\pi dl}{1000VS} \approx t_0$. Тоді функцію C можна представити в наступному вигляді [6]:

$$C = \frac{a + bV^m S^n t^k}{VS}, \quad b = \frac{at_c + a'}{k_t C_t}, \quad k = \frac{\pi d l}{1000}.$$

З умови мінімуму собівартості можна записати $\frac{dC}{dV} = 0$ і $\frac{dC}{dS} = 0$

Вирішивши це рівняння отримаємо

$$\begin{cases} \frac{bV^m S^n t^k (m-1) - a}{V^2 S} = 0; & (3.1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{bV^m S^n t^k (n-1) - a}{VS^2} = 0. & (3.2) \end{cases}$$

Так як $m > n$, то зазначені рівняння не можуть бути справедливими одночасно, що означає відсутність єдиного рішення [6]. Для будь-якого значення подачі S швидкість різання, яка задовольнить рівнянню (3.1), буде менше швидкості розрахованої з рівняння (3.2). Графіки цих рівнянь показані на рис. 3.3.

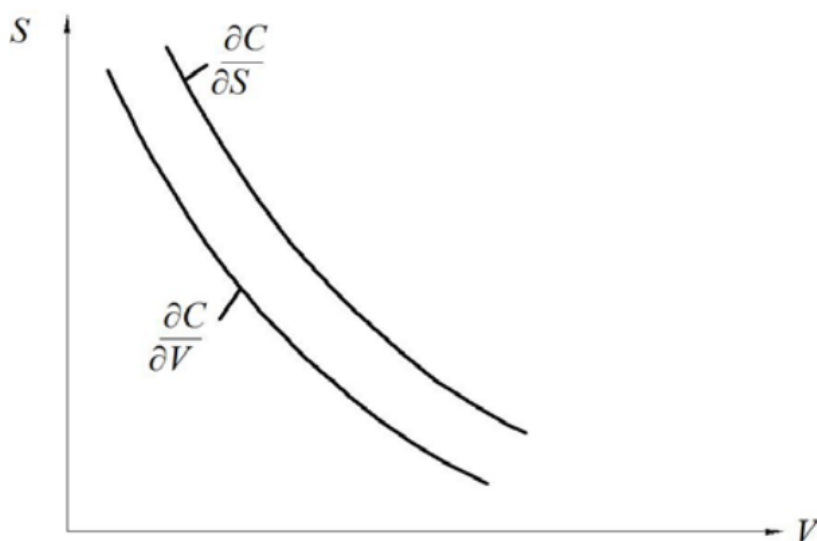


Рисунок 3.3 – Графіки залежностей $\frac{dC}{dV} = 0$ і $\frac{dC}{dS} = 0$

Процедура оптимізації

Процедура оптимізації режимів здійснюється в наступній послідовності:

1. Формування критерію ефективності - найменшої собівартості або максимальної продуктивності.
2. Призначення найбільшої глибини різання, можливої в даних умовах.
3. Вибір максимально можливої подачі з урахуванням технологічних і конструктивних обмежень для кожного інструмента окремо, а потім і для інструментального шпинделя.
4. Визначення швидкостей різання, що забезпечують найвигідніший період стійкості відповідний мінімальній собівартості обробки для всього комплекту інструменту.

На рис.3.4 наведена послідовність процедури визначення режимів різання.

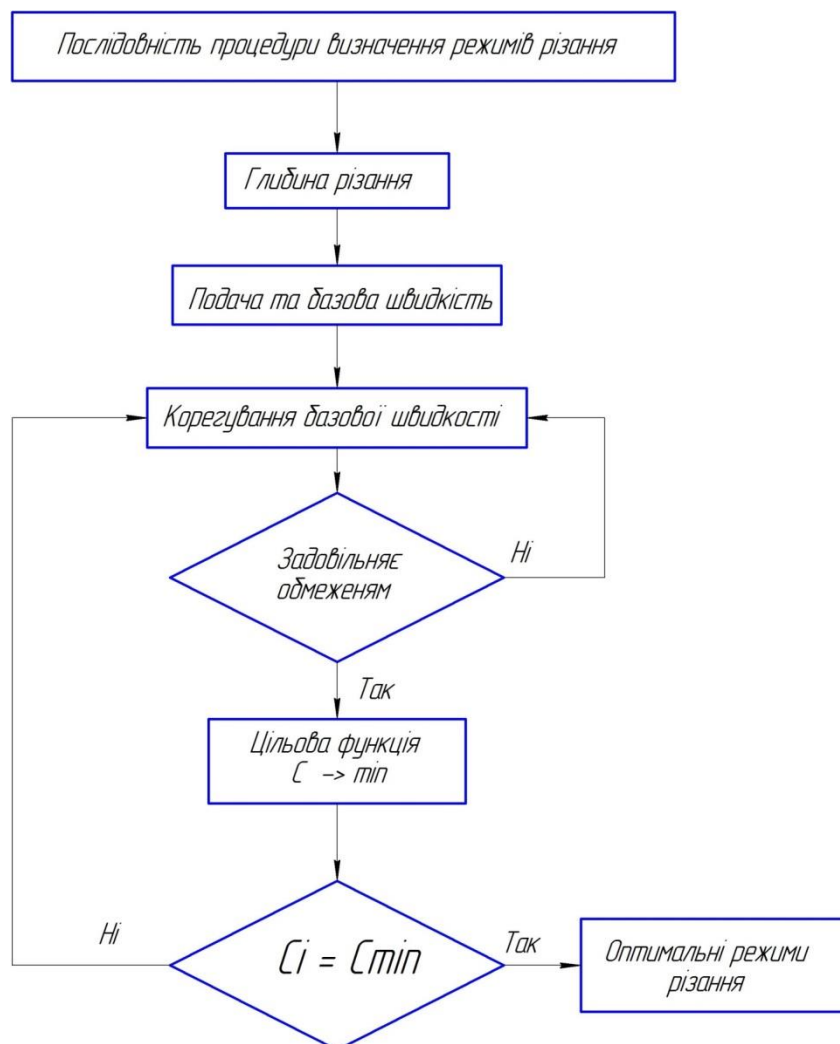


Рисунок 3.4 – Схема послідовності процедури визначення режимів різання

Роботи по оптимізації режимів різання орієнтовані на дослідження впливу змінних на процес різання з використанням емпіричних залежностей в задачах збільшення продуктивності і стійкості ріжучих інструментів, а також продуктивності верстатів при заданих вимогах до точності і шорсткості поверхонь деталей. Свого часу розробці емпіричних формул були присвячені роботи [15-16] та інших дослідників в області різання металів.

При виборі режимів різання на основі емпіричних формул також не представляється можливим виявити залежності між безліччю факторів, що впливають, таких як вібрація, охолодження МОРС, геометричні форми ріжучих пластин і т.д. У зв'язку з цим розрахунок режимів різання за емпіричними формулами був прийнятний і досить ефективний для обмеженої номенклатури металорізальних верстатів та обмеженої номенклатури матеріалів ріжучих інструментів і оброблюваних матеріалів.

У роботах по оптимізації режимів різання [17,18], використовуються поняття стійкості різального інструменту, при якій забезпечується максимальна продуктивність верстата $T_{\text{пр.мах}}$ (стійкість максимальної продуктивності) і стійкість різального інструменту, при якій забезпечується найменша собівартість $T_{\text{варт.мін}}$ (економічна стійкість). Для визначення значень $T_{\text{пр.мах}}$ і $T_{\text{варт.мін}}$ використовуються відомі формули продуктивності P як функції від штучного часу $t_{\text{шт}}$ і змінної частини собівартості $A_{\text{пер}}$. В результаті послідовних перетворень та подання цих рівнянь як функцій від періоду стійкості T визначаються значення $T_{\text{пр.мах}}$ і $T_{\text{варт.мін}}$ взяттям першої похідної цих рівнянь по T і прирівнювання її нулю. Аналіз отриманих результатів показує залежність оптимальної стійкості від величини μ - величини, зворотної показником відносної стійкості і часу на зміну інструменту. Причому стійкість найменшої собівартості завжди більше стійкості найбільшої продуктивності на величину приведених витрат на виготовлення і експлуатацію інструменту. Для обчисленої таким чином стійкості ріжучого інструменту можна підібрати безліч поєднань глибини різання t , подачі S і швидкості різання V .

Найвигідніший режим різання розглядається авторами [17,18] Як режим, що забезпечує найменшу собівартість обробки за умови задоволення всіх вимог до якості продукції та заданої продуктивності верстата. На підставі аналізу різних джерел [17,18] запропонована наступна послідовність процедури визначення режимів різання:

- 1) вибір різального інструменту;
- 2) встановлення глибини різання;
- 3) визначення подачі і значення швидкості різання V_0 , яка відповідає прийнятим критерієм оптимізації. У першому наближенні, відповідно до рекомендацій [3] вибираємо базову швидкість V_0 яка забезпечує стійкість 15 хвилин.
- 4) знайти комбінацію подачі і швидкості різання, які відповідають прийнятим критерієм оптимізації.

Базова швидкість коригується залежно від механічних характеристик оброблюваного матеріалу і стійкості інструменту за формулою:

$$V = V_0 \cdot K_{HB} \cdot K_T$$

Де V_0 - базова швидкість різання;

K_{HB} - коефіцієнт коригування швидкості в залежності від твердості оброблюваного матеріалу

K_T - коефіцієнт коригування швидкості від стійкості інструменту.

Для визначення коефіцієнта коригування швидкості різання для конструкційних сталей і чавунів в залежності від твердості при стійкості 15 хв. Була отримана наступна формула:

$$K_{HB} = 1 + 2.5 \cdot 10^{-5} (HB - 180)^2 - 0.0055 (HB - 180)$$

При цьому Базова швидкість задається для матеріалу з HB 180. Коефіцієнт коригування швидкості різання для нержавіючих сталей в залежності від твердості при стійкості 15 хв. Була отримана формула:

$$K_{HB} = 1 + 8.4 \cdot 10^{-6}(HB - 260)^2 - 0.0029(HB - 260)$$

При цьому Базова швидкість задається для матеріалу з HB 260

Для визначення коефіцієнту коригування швидкості від стійкості була отримана залежність:

$$K_T = 0.038\left(\frac{T}{15}\right)^2 - 0.29\left(\frac{T}{15}\right) + 1.27$$

Зіставлення експериментальних і теоретичних значень зазначених вище коефіцієнтів наведено на графіках рис. 3.5, 3.6, 3.7, які демонструють їх високу близькість. Коефіцієнт детермінації отриманих залежностей становить $R^2 = 0,99$.

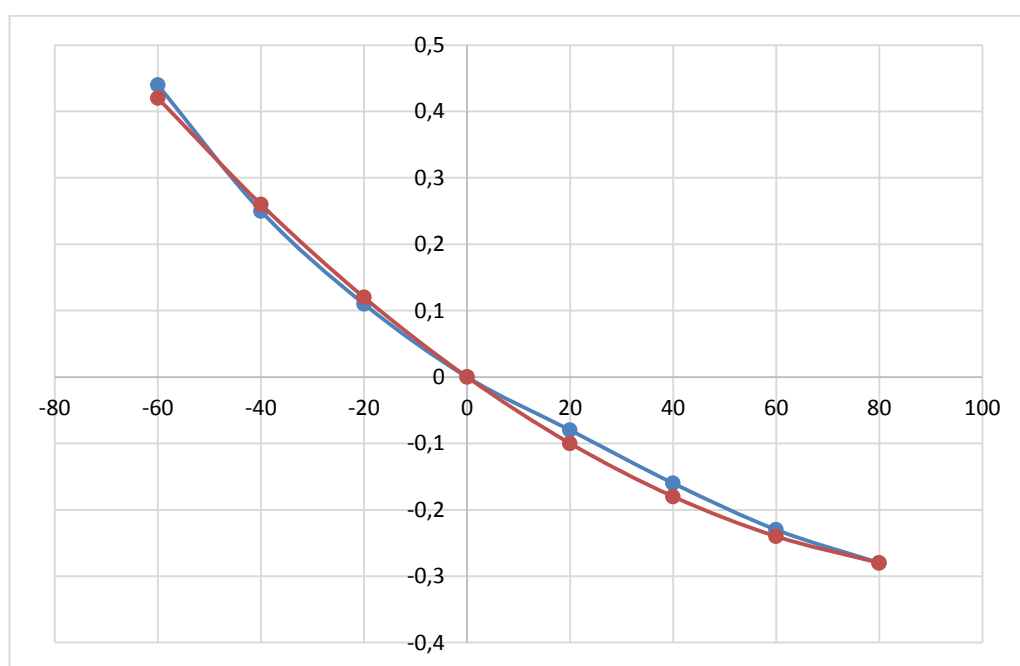


Рисунок 3.5 - Поправочний коефіцієнт на твердість для конструкційних сталей і чавунів

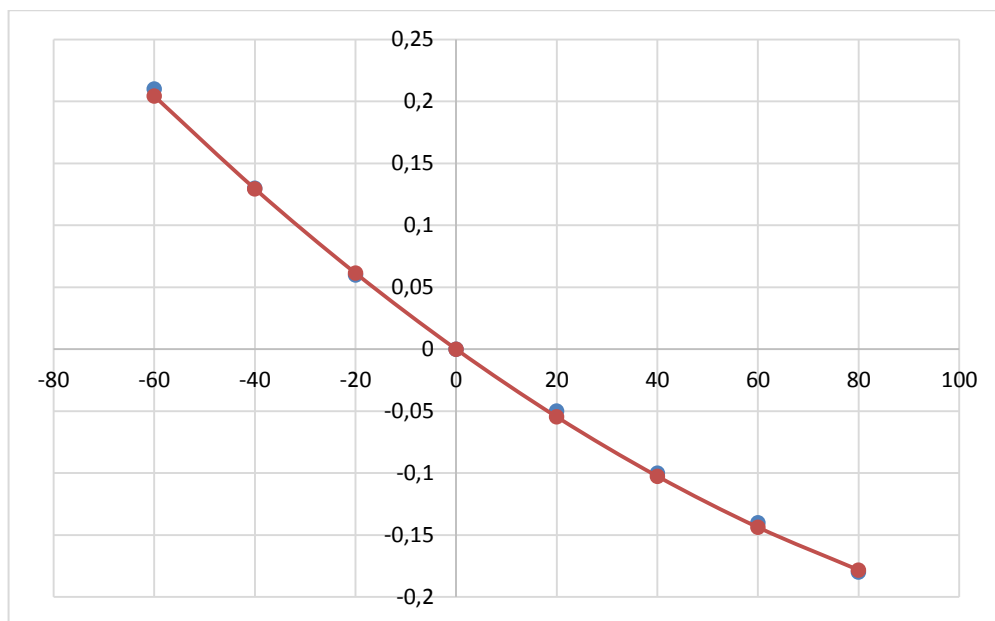


Рисунок 3.6 - Поправочний коефіцієнт на твердість для нержавіючої сталі

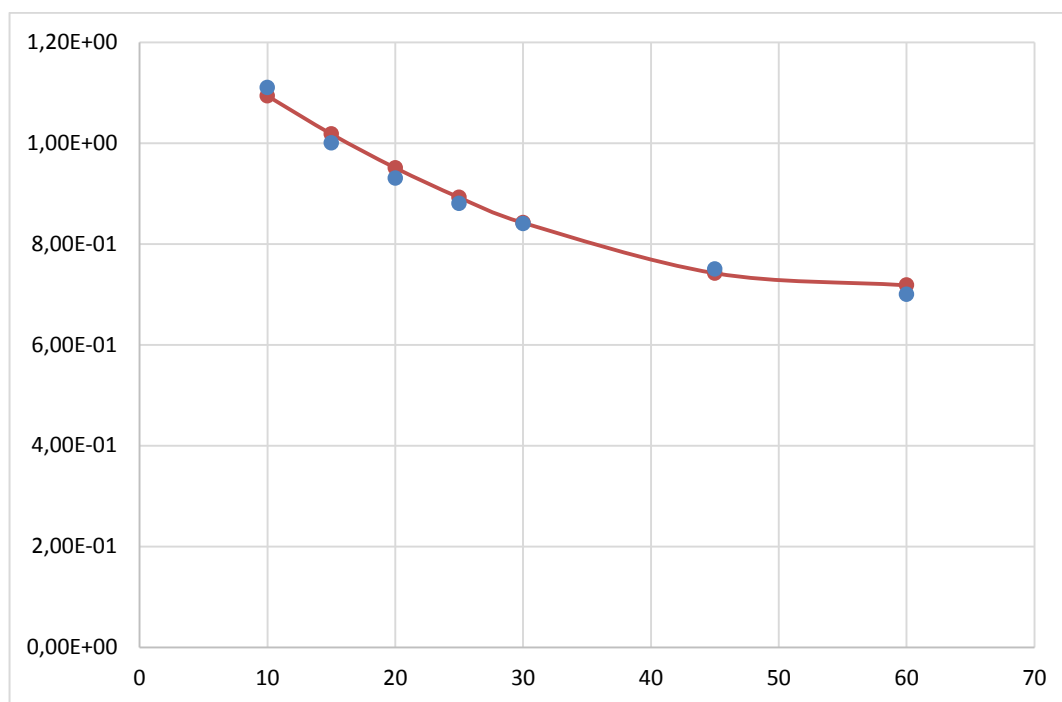


Рисунок 3.7 - Поправочний коефіцієнт на величину стійкості

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Тема дипломного проекту: «Визначення оптимальних режимів різання при високошвидкісному фрезеруванні нержавіючих сталей». передбачає проведення розрахунків у приміщенні (лабораторії) обладнаному персональними комп'ютерами (далі ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі ВДТ), тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщення (лабораторії) обладнаного візуальними дисплейними терміналами, у відповідності з методичними вказівками.

За природою дії на організм людини можна виділити наступні фактори: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні та пов'язані з порушеннях санітарно-гігієнічних умов, правил пожежної безпеки, проявів наслідків надзвичайних ситуацій. Кожній переліченій групі факторів притаманні певні види небезпеки, причини та її прояви, небажані наслідки в результаті негативного впливу на здоров'я людини.

Під час роботи над дипломним проектом можливі наступні фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- Порушення зорової активності від довгого перебування біля моніторів у разі недотримання правил роботи з комп'ютерної технікою;

Потенційні небезпеки біологічного характеру:

- Отруєння речовинами, що відділяються під час загорянь комп'ютерної техніки та іншого виду електроніки у разі недотримання правил електробезпеки та виходів зі строю електрообладнання.

Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру:

- роздратованість, різкість, неадекватні дії, нервово-емоційні навантаження під час роботи за комп'ютером пов'язані зі стресовими ситуаціями;

- нервово-психічне перевантаження під час роботи за комп'ютером, пов'язане з незадовільною організацією робочих місць у приміщенні для

дослідження, порушення раціоналізації їх розташування, порушення чи недостатнього врахування ергономічних вимог.

Потенційні небезпеки при порушенні санітарно-гігієнічних умов:

- захворювання дихальних шляхів під час перебування у приміщенні, у разі відсутності належно провітрювання приміщення чи відсутності ефективної загальної вентиляції, а також при відсутності витяжної системи для відводу потоку повітря, що створюється стендом;
- порушення зорової активності та поступове її погіршення під час перебування у приміщенні, пов'язане з неналежним рівнем освітленості у разі відсутності чи неправильного вибору загального штучного освітлення, а також за відсутності природного;
- зниження працездатності, втому, сонливість під час роботи за комп'ютером у разі порушення вимог до умов праці та відпочинку.

Потенційні небезпеки при порушенні правил пожежної безпеки:

Виникнення загорянь, пожежі чи її підсилення та поширення у приміщенні у зв'язку з несправністю електрообладнання, коротким замикання електрообладнання, порушеннях правил пожежогасіння, відсутністю чи неправильним вибором засобів пожежогасіння (вогнегасників тощо), неналежна ізоляція електропровідників.

Потенційні небезпеки, пов'язані з проявити наслідків надзвичайних ситуацій:

- травмуванню, загибель людини (людей) у разі неправильних чи неадекватних дій персоналу в умовах надзвичайної ситуації та під час ліквідації її наслідків, а також у зв'язку з невідповідністю персоналу поведінці під час питань надзвичайних ситуацій.

Розроблені заходи наведені у додатку А.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано застосування нержавіючих сталей у виробництві.
2. Показана перспективність високошвидкісного фрезерування при обробці нержавіючих сталей.
3. Систематизовані підходи, методики і рекомендації по вибору інструменту і оптимізації режимів різання при високошвидкісному фрезеруванні нержавіючих сталей.
4. Узагальнено та систематизовано критерії оптимізації, цільові функції і обмеження при призначенні режимів різання.
5. Запропоновано залежності для визначення коефіцієнта різання при високошвидкісному фрезеруванні і її коригування за матеріалом і стійкості.
6. Показані стратегія і алгоритм оптимізації режимів різання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нержавіюча сталь. Характеристики та галузь застосування [Електронний ресурс] // <https://minprom.biz/spravochnik/nerzhavijushhaja-stal-harakteristiki-i-oblast-primenenija/>.
2. Класифікація нержавіючих сталей [Електронний ресурс] // <https://www.mpstar.ru/info/spravochnik/klassifikaciya-stalej/>
3. Sandvik Coromant [Електронний ресурс] // <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
4. Болотов М.А. и др. Высокоскоростная и высокопроизводительная обработка (режимы, характеристика станков, инструмент). 2010.
5. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания: учеб. пособие/ С.И. Пестрецов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009 – 104 с.
6. Методы и процедуры оптимизации режимов резания: монография. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 260 с.
7. Корсаков В.С. Автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1978. – 269 с.
8. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки. - М.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
9. Судоплатов И.П. Обработка деталей на станках с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1976. – 131 с.
10. Якобс Г.Ю. Оптимизация резания/ Г.Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. А. Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 446 с.
12. Обработка металлов резанием: Справочник технолога/А.А. Панов, Аникин В.В., Бойм Н.Г. и др. - М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
13. Княжитский И.И. Расчет экономической эффективности скорости для обрабатывающих центров//Станки и инструмент. – 1973. - №9. – С.4-5.
14. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильность и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 296 с.
15. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение,
16. 1975. – 273 с. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания.– М.: Машиностроение, 1976. – 278

17. . Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент/ П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, М.И. Жигалко. – Минск: Выш. школа, 1975. – 528 с.
18. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режу-щий инструмент/ П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, М.И. Жигал-ко. – Минск: Выш. школа, 1981. – 560 с
19. Про охорону праці [Електронний ресурс] : закон України. – Чинний від 1992-10-14 : станом на 20.01.2018. – К. : ВР України, 1992. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).
20. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-4.12-05. – На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93 ; чинний від 2005-02-26. – К. : Держнаглядохоронпраці України, 2005. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).
21. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання/ Укл. В.І. Шмирко, О.В. Коробко, А.Є. Островська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 34 с.
22. 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

Заходи з охорони праці

А.1 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання потенційних небезпеки: фізичних, хімічних, біологічних психофізіологічного характеру, під час виконання диплому слід дотримуватись наступний вимог: НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги Стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок», ДСТУ 7239 : 2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація », ДБН В.2.2-28: 2010« Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення » та інші.

З метою постійного контролю й нагляду за станом охорони праці роботодавець створює систему управління охороною праці на підприємстві відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці» (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 [19].

Відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання и перевірки знань з питань охорони праці» передбачено проходження працівниками на підприємстві інструктажів, а також, один раз на три роки навчання з охорони праці, атестація та перевірка знань. З метою навчання працівників правильному та безпечного для себе и навколишнього середовища виконання своїх трудових обов'язків проводяться інструктажі: спеціалістами служби з охорони праці - вступний інструктаж у разі прийняття на роботу працівників; безпосередньо керівником робіт до початку роботи на робочому місці проводиться первинний інструктаж з урахуванням усіх специфічних особливостей, які властиві 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 [20].

Для забезпечення безпеки від ураження електрострумом слід враховувати, що електроживлення повітряно-дінамічного стенду та електронно-обчислювальних машин (далі ЕОМ), у тому числі й ПК, здійснюється від мережі змінного струму напругою 220-380 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», таке обладнання характеризується як електроустановки до 1000 В, тому, відповідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисних заземлення даного обладнання у будь-яку пору року не повинна перевищувати - 4 Ом.

Для даної лабораторії, в якій розміщені персональні комп'ютери з візуальним дисплейною терміналами (далі ПК з ВДТ), відповідно з вимогами директиви ЄС 90/270 ЕЕС визначені вимоги та ергономічні характеристики до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що будуть працювати з ПК:

- символи на екрані чіткі и добро розрізняються (на рівні сучасних моніторів);
- зображення позбавлене блимання (частота зміни кадрів повинна бути не менше 60 Гц);
- яскравість та/або контрастність легко регулюються (за допомоги додаткових клавiш на моніторі);
- екрани вільні від відблисків та відбиття (монітори з матовим дисплейною покриття);
- випромінювання зніжені до надзвичайно малих (сучасні монітори виготовляють з вбудованим фільтрами, також можна застосувати спеціальні фільтруючі окуляри від УФ-випромінювання).

А.2 Заходи з виробничої санітарії та гігієні праці

Заходи з виробничої санітарії та гігієні для приміщення, у якому встановлені комп'ютери та електрообладнання для його контролю (далі -

лабораторія) розроблено відповідно до вимог державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показником шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу », МІОУ 06.05.2014 р. за №472 / 25249 (далі - «Гігієнічна класифікація праці»).

Температурні показники повітря, що входять до мікрокліматичних умов приміщення, що не повинні виходити за межі 18-20° С в холодну пору року та 21-23° С в теплу пору року (незначні відхилення від оптимальної температури 20° С). Допустима відносна вологість Повітря - 40-60% (незначні відхилення від оптимальної вологості 75%). Тиск в лабораторії не повинен виходити за допустимі межі 550-950 мм.рт.ст., але лише при умові поступової його зміни. Оптимальна швидкість повітря в лабораторному приміщенні не повинна перевищувати 0,2-0,3 м/с.

Забезпечення таких параметрів буде не лише безпечним для здоров'я працівників, але й впливатиме на працездатність електрообладнання. У лабораторії передбачається оснащення системою водяного опалення (може бути централізована система всієї будівлі, до якого входитимуть дані приміщення), також для контролю мікрокліматичних умов може бути застосовано побутовий кондиціонер. Для запобігання різкої зміни тиску та швидкості повітря від роботи компресора стенду в лабораторії передбачається витяжна установка для відводу надлишково Повітря, яка може бути під'єднана до стенду.

Природне освітлення приміщення здійснюється за рахунок наявності вікна в лабораторному приміщенні. Штучне освітлення Здійснено системою загально рівномірного освітлення, норма освітленості якого на робочих поверхнях ставити 200-300 лк відповідно з ДБН В.2.5-28-2018 «Природне и штучне освітлення».

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівень шуму у робочих зонах не винен перевищувати 80 дБ. У разі перевищення регламентованості допустимого рівня шуму слід застосувати засоби індивідуального захисту, наприклад, беруші або шумозахисні навушники.

Для створення комфортних умов проведення роботи зроблено розрахунок загально рівномірного штучного освітлення у лабораторному приміщенні для випробувань повітряно-дінамічного стенду.

Розрахунок загально рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь виконується за методом світлового потоку (коефіцієнту використання) [21].

Вибір системи освітлення. Згідно з ДБН В.2.5.-28-2018 розряд зорових робіт в лабораторному приміщенні ($V_{ст}$).

Визначення рівня нормованої освітленості E_n . За кількісну характеристику освітленості у приміщенні береться найменша освітленість, яка для $V_{ст}$ розряду зорових робіт ставити лк. $E_n = 200$.

Вибір джерела світла. З економічної точки зору раціонально застосувати люмінесцентні лампи типу ЛБ. Люмінесцентні лампи білого кольору ЛБ мають спектральний склад (2500-2800) К.

Вибір типу світильника. У залежності від умов навколишнього середовища обирається тип світильників ЛСП. Відношення світлового потоку, що випромінюється світильником у нижню півсферу до повного світлового потоку для світильників загалом прямого світла 75%. Крива сили світла типу Д - косинусна. Ступень захисту світильника від пилу та волога IP64 згідно з ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) «Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (код IP)». Коефіцієнт світильника L/h - відношення відстані L між рядами або сусідніми світильниками у ряді до висоти h їхнього підвісу над робочий поверхні, [21].

$$L/h = 1,2$$

Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності (мінімального) освітлення. У залежності від виробничих умов (відсутність парів кислот та лугів, запиленість менше 1 мг/м^3) коефіцієнт запасу $k_z = 1,3$ [21]. Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості) $z = 1,1$ для люмінесцентних ламп низьких тиску.

Оцінка коефіцієнтів відбиття від поверхонь приміщення (від стелі $-\rho_c$; стін $-\rho_{ст}$; підлоги $-\rho_n$). У залежності від відділення пилу у процесі роботи Обираємо для світлого приміщення з мінімальним відділенням пилу:

$$\rho_c = 70\%$$

$$\rho_{ст} = 50\%$$

$$\rho_n = 30\%$$

Чисельного значення індексу приміщення. Значення індексу визначаються за рівнянням:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)}, \quad (A.1)$$

де A - довжина приміщення, м $A = 6$ (м);

B - ширина приміщення, м $B = 4$ (м);

h - висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Визначається на формулою 5.2:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]}, \quad (A.2)$$

де L_{max} - максимально допустима відстань между рядами світильників, м.

Відзначається Наступний чином:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p}, \quad (A.3)$$

де N_p - Кількість рядів світильників у приміщенні. Розраховується за Наступний формулою:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \times [L/h]}, \quad (A.4)$$

де H - висота приміщення, м $H = 3,5$ (м);

h_p - висота робочої поверхні над підлогою, м (як правило, висота умовної робочої поверхні м $h_p = 0,8$ [21]);

$$N_p = \frac{4}{(3,5 - 0,8) \times 1,2} = 2,$$

$$L_{max} = \frac{4}{2} = 2 \text{ м},$$

$$h = \frac{2}{1,2} = 1,7 \text{ м},$$

$$i = \frac{6 \times 4}{1,7 \times (6 + 4)} = 1,4$$

Висота звисання світильника від стелі:

$$h_z = H - h_p - h,$$

$$h_z = 3,5 - 0,8 - 1,7 = 1 \text{ м}$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η . Обирається в залежності від виду джерела світла, типу обраних світильників, коефіцієнтів відбиття поверхонь, $\eta = 51\%$ [21].

Визначення світлового потоку

Сумарний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \times S \times k_z \times z}{\eta}, \quad (\text{A.5})$$

де Φ_{Σ} - розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

E_n - нормоване значення освітленості, лк;

S - площа освітлюваної поверхні, м²;

k_z - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \times 24 \times 1,3 \times 1,1}{0,51} = 13459 \text{ лм}$$

Умовна загальна Кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = \frac{A \times B}{L_{max}^2}, \quad (\text{A.6})$$

$$N^* = \frac{6 \times 4}{2^2} = 6$$

Світловий потік умовно джерела світла:

$$\Phi_{\Sigma}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\Sigma}}, \quad (\text{A.7})$$

де N_{Σ} - загальна Кількість ламп у приміщенні:

$$N_{\lambda} = N^* \times n, \quad (\text{A.8})$$

де n - Кількість ламп в одному світильнику $n = 2$ (для типу ЛСП [21]).

$$N_{\lambda} = 6 \times 2 = 12,$$

$$\Phi_{\lambda}^* = \frac{13459}{12} = 1122 \text{ лм.}$$

За [21] обираємо люмінесцентну лампу 20ЛБ1200 з фактичність світловим потоком $\Phi_{\lambda} = 1200$ лм та потужністю 20 Вт.

Коефіцієнт співвідношення світлових потоків:

$$m = \frac{\Phi_{\lambda}^*}{\Phi_{\lambda}}, \quad (\text{A.9})$$

$$m = \frac{1122}{1200} = 0,94.$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \times m, \quad (\text{A.10})$$

$$N = 6 \times 0,94 \approx 6.$$

Фактична кількість світильників $N_{\Phi} = 6$, які будуть розташовані у два ряди по три світильники у кожному.

Загальна розрахункова освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\lambda} \times N_{\lambda} \times \eta}{S \times k_d \times z}, \quad (\text{A.11})$$

$$E_p = \frac{1200 \times 12 \times 0,51}{24 \times 1,3 \times 1,1} = 214 \text{ лк.}$$

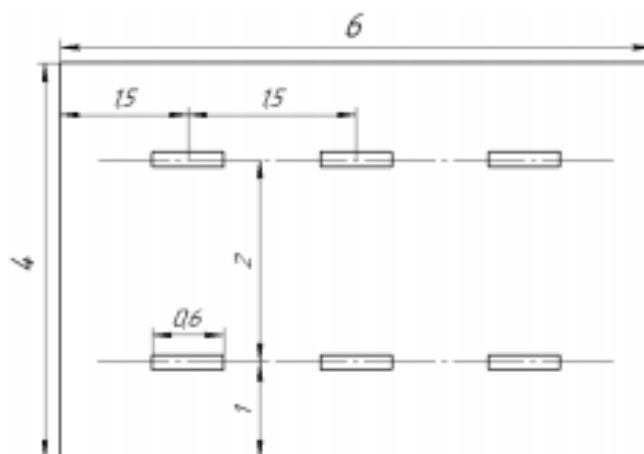
При правильному виборі типу та кількості ламп винна виконувати умова:

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \times E_n, \quad (\text{A.12})$$

$$E_p = 180 < 214 < 240 \text{ лк.}$$

Згідно з виконання умови (A.12) вибір виконано вірно.

Схема розташування світильників на плані приміщення (рис.A.1). У загальному рівномірному освітленні стандартні лампи, як правило, розташовують у вершинах квадратних, прямокутних або ромбічних полів.



Малюнок А.1 - Схема розміщення світильників у приміщенні

1.3 Заходи безпеки з питань надзвичайних ситуацій

Заходи з пожежної безпеки.

Під час виконання диплому в лабораторному приміщенні для запобігання потенційних небезпеки, що пов'язані з порушеннях правил пожежної безпеки, слід дотримуватись наступний вимог: ДСТУ EN 2 до: 2014 «Класифікація пожеж (EN 2: 1992; EN 2: 1992 / A1: 2004, IDT) », ДСТУ Б В.1.1-36 діє до: 2016« Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпеки», ДБН В.1.1-7 діє до: 2016« Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги », ДБН В.2.5-56 діє до: 2014« Системи протипожежний захисту »,« Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

Оскільки, дана лабораторія для стенду складається в основному з електрообладнання (блоки керування, ПК з ВДТ, лазерні датчики тощо), то відповідно до ДСТУ EN 2 до: 2014 у даного приміщення можлива пожежа класу А - горіння твердих речовини (за наявності паперових документів, пластмасових корпусів, дерев'яних меблів) та Е - горіння електроустановок, що перебувають під напругою. Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36 діє до: 2016 за вибухопожежною

та пожежною небезпекою лабораторне приміщення відноситься до категорії Д - негорючі речовини та матеріали у холодному стані (до таких матеріалів можна віднести дерев'яні меблі та пластикові корпуси електрообладнання). Відповідно до ДБН В.1.1-7 діє до: 2016 лабораторне приміщення відповідає II ступеню вогнестійкості. Відповідно до ДБН В.2.5-56 діє до: 2014 лабораторне приміщення оснащено засоби виявлення загорянь і пожеж: автоматичності сигналізаторами про пожежу та системою електричної пожежної сигналізації. Відповідно до «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» в приміщенні загальною площею 24м² повинен бути 1 вуглекислотний вогнегасник місткістю 5 л для гасіння невеликих початкових вогнище загорянь металевих виробів та горючих рідин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В.

Заходи з цивільного захисту.

Згідно з кодексом цивільного захисту України [22] силам й засобам цивільного захисту дано наступне визначення:

Сили цивільного захисту - аварійно-рятувальні формування, спеціалізовані служби та інші формування цивільного захисту, призначені для проведення аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт з ліквідації питань надзвичайних ситуацій.

Засоби цивільного захисту - протипожежна, аварійно-рятувальна та інша спеціальна техніка, обладнання, механізм, прилади, інструменти, вироби медичного призначення, лікарські засоби, засоби колективного та індивідуального захисту, які призначені та використовують під час виконання завдання цивільного захисту.

З Кодексу цивільного захисту України [22] про сили цивільного захисту у «Главі 5. З цивільного захисту» йдеться про наступне:

Стаття 22. Склад та основні завдання сил цивільного захисту

1) До сил цивільного захисту належать:

- оперативно-рятувальна служба цивільного захисту;
- аварійно-рятувальні служби;

- формування цивільного захисту;
- спеціалізовані служби цивільного захисту;
- пожежно-рятувальні підрозділи (частини);
- добровільні формування цивільного захисту.

2) Основними завдання сил цивільного захисту є:

- проведення робіт та вжиття заходів відносно запобігання питань у надзвичайних ситуаціях, захисту населення и територій від них;
- проведення аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт;
- гасіння пожеж;
- ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, сповільненості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіоактивного, хімічного забруднення та біологічного зараження, других небезпечних проявів;
- проведення піротехнічних робіт, пов'язаних із знешкодженням вибухонебезпечних предметів, що залишилися на території України після війни, сучасних боєприпасів та підривних засобів (крім вибухових пристроїв, що використовують у терористичних цілях), крім територій, які надані для розміщення й постійної діяльності військових частин, військових навчальних закладів, підприємств та організацій Збройних Сил України, других військових формувань;
- проведення вибухових робіт для запобігання виникнення питань надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків;
- проведення робіт відносно життєзабезпечення постраждалим;
- надання екстреної медичної допомоги постраждалим у районі надзвичайної ситуації й транспортування їх до закладів охорони здоров'я;
- здійснення перевезень матеріально-технічних засобів, призначення для проведення аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та надання гуманітарної допомоги постраждалим внаслідок таких ситуацій;

- надання допомоги іноземним державам відносно проведення аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;

- проведення аварійно-рятувальна обслуговування суб'єктів господарювання та окремих територій, на яких існує небезпека виникнення питань надзвичайних ситуацій.

3) С цивільного захисту можуть залучатися до проведення відновлювальних робіт.

Стаття 23. Аварійно-рятувальні служби

1) Аварійно-рятувальні служби поділяються на:

- Державні, регіональні, комунальні, об'єктові та громадські організацій;

- Спеціалізовані та неспеціалізовані;

- Професійні та непрофесійні.

2) Аварійно-рятувальні служби утворюються:

- Державним - центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, іншими центральними органами виконавчої влади;

- Регіональні - Радою міністрів Автономної Республіки Крим, місцевими державними адміністраціями в Автономній Республіці Крим, області, містах Києві та Севастополі відповідно;

- комунальні - органами місцевого самоврядування у місті, районі міста, селищі, селі;

- об'єктові - керівником суб'єкта господарювання, що експлуатує об'єкти підвищеної небезпеки;

- Громадська організацій - Громадською організацією відповідно до закону.

3) Державні, регіональні, комунальні аварійно-рятувальні служби и аварійно-рятувальні служби громадських організацій, створені на професійній основі, є юридичними особами.

4) Спеціалізовані професійні аварійно-рятувальні служби, діяльність яких пов'язана з організацією та проведенням гірничорятувальних робіт, є вогнізованими.

5) Непрофесійні об'єктові аварійно-рятувальні служби створюються з числа інженерно-технічних та других досвідчених працівників суб'єктів господарювання, які мають необхідні знання та навички у проведенні аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт та здатні за станом здоров'я виконувати роботу в екстремальних умовах.

6) Працівники аварійно-рятувальної служби поділяються на основних та допоміжних.

7) До основних працівників аварійно-рятувальної служби належать працівники, які організують й виконують аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи та забезпечують готовність аварійно-рятувальних служб до проведення таких робіт. Основні працівники професійної аварійно-рятувальної служби поділяються на керівних та рядових.

8) До допоміжних працівників професійної аварійно-рятувальної служби належать працівники, які забезпечують її повсякдення діяльність.

9) Особливим видом аварійно-рятувальних служб є служби медицини катастроф, які діють у складі центрів екстреної медичної допомоги та медицини катастроф системи екстреної медичної допомоги, що створюються органами влади Автономної Республіки Крим, областей, міст Києва та Севастополя відповідно до закону.

Типове положення про центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф затверджується Кабінетом Міністрів України.

10) Статут аварійно-рятувальної служби або положення про аварійно-рятувальну службу розробляється на підставі типового статуту (положення) аварійно-рятувальної служби та затверджується органом виконавчої влади, органом місцевого самоврядування, суб'єктом господарювання, які утворили таку службу.

11) Державні, комунальні аварійно-рятувальні служби та аварійно-рятувальні служби громадських організацій набуваються статусу юридичної особи з дня їх державної реєстрації у порядку, встановленому законом для державної реєстрації юридичних осіб. Статuti державних, комунальних аварійно-рятувальних служб та аварійно-рятувальних служб громадських організацій, які подаються державному реєстратору, мають бути погоджені з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

12) На аварійно-рятувальні служби покладається виконання таких завдання:

- аварійно-рятувальне обслуговування на договірній основі суб'єктів господарювання та окремих територій, на яких існує небезпека виникнення питань надзвичайних ситуацій;
- Подання місцевим Державним адміністраціям, органам місцевого самоврядування та суб'єктам господарювання пропозицій відносно поліпшення протинаварійного стану суб'єктів господарювання і територій та усунення виявлення порушення вимог відносно дотримання техногенної безпеки;
- невідкладне інформування керівників суб'єктів господарювання, які експлуатуються об'єкти підвищеної небезпеки, про виявлення порушення вимог пожежної та техногенної безпеки на таких суб'єктах господарювання;
- проведення аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт, з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- виконання робіт із запобігання виникнення та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій та відносно захисту від них населення і територій;
- захист навколишнього природного середовища та локалізація зони впливу шкідливих і небезпечних факторів, що виникають під час аварій та катастроф;

- забезпечення готовності своїх органів керування, сил й засобів до дій за призначення;
- пошук й рятування людей на уражених об'єктах й територіях, надання у можливості в межах невідкладної, у тому числі медичної, допомоги особам, які перебувають у небезпечних для життя й здоров'я стані, на місці події та під час евакуації до лікувальних закладів;
- ліквідація особливо небезпечних проявів питань надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, сповільненості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіаційного та бактеріального зараження, других небезпечних проявів;
- контроль за готовністю об'єктів й територій, що ними обслуговують, до проведення робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- доля у розробленні та погодженні планів локалізації й ліквідації аварій на об'єктах й територіях, що ними обслуговують;
- організація ремонту та технічного обслуговування аварійно-рятувальних засобів, розроблення та виробництво їх окремих зразків;
- доля у підготовці працівників підприємств, установ та організацій й населення до дій в умовах питань надзвичайних ситуацій.

13) Аварійно-рятувальні служби мають право на:

- Отримання від місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання інформації, необхідної для виконання покладених на службу завдання;
- безперешкодний доступ на об'єкти суб'єктів господарювання та їх територію для виконання аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт, з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- встановлення вимог відносно додержання заходів безпеки для всіх осіб, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації;
- проведення під час ліквідації Наслідків надзвичайних ситуацій документування, кіно - й відео зйомки, фотографування та звукозапису;

- тимчасове заборону або обмеження руху транспортних засобів и пішоходів біля та в межах зони надзвичайної ситуації.

14) Завдання і функції конкретних аварійно-рятувальних служб визначаються їх статутами чи положеннями, які погоджують з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, та затверджуються згідно з законодавством.

15) Матеріально-технічне та фінансове забезпечення діяльності аварійно-рятувальних служб здійснюється за рахунок коштів державного та місцевого бюджетів, підприємств, установ, організацій, що створюють аварійно-рятувальні служби, кошти від надання додаткових платних послуг, а також добровільних пожертвувань юридичних и фізичних осіб, других не заборонених законодавством джерел.

Стаття 24. Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту

1) Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту функціонує в системі центрального органу виконавчої влади, яка забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, й складається з органів управління, аварійно-рятувальних формування центрального підпорядкування, аварійно-рятувальних формування спеціального призначення, спеціальних авіаційних, морських та других формувань, державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин), навчальних центрів, формувань та підрозділів забезпечення.

2) Організація та порядок повсякденної діяльності оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та функціонування її під час виконання завдання за призначення визначаються положенням про оперативно-рятувальну службу цивільного захисту, що затверджується центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

3) Для аварійно-рятувальних формувань центрального підпорядкування оперативно-рятувальної служби цивільного захисту рішенням керівника

центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, встановлюються зони відповідальності відносно реагування у надзвичайні ситуації.

4) Критерії утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та перелік суб'єктів господарювання, де утворюються Такі підрозділи (частини), визначаються Кабінетом Міністрів України.

5) До повноважень оперативно-рятувальної служби цивільного захисту належить:

- аварійно-рятувальне обслуговування на договірній основі об'єктів підвищеної небезпеки та окремих територій, що перебувають у власності, володінні або користуванні суб'єктів господарювання, на яких існує небезпека виникнення питань надзвичайних ситуацій, перелік яких відзначається Кабінетом Міністрів України; {Пункт 1 частини п'ятої статті 24 в редакції Закону № 353-VII від 20.06.2013}

- Подання місцевим державним адміністраціям, органам місцевого самоврядування та суб'єктам господарювання пропозицій відносно поліпшення протипожежного стану об'єктів підвищеної небезпеки та окремих територій, що перебувають у власності, володінні або користуванні суб'єктів господарювання, та усунення виявлених порушень вимог відносно дотримання техногенної безпеки;

- невідкладне інформування керівників суб'єктів господарювання, що експлуатуються об'єкти підвищеної небезпеки, про виявлення порушень вимог техногенної безпеки;

- отримання від місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання інформації, необхідної для виконання покладених на службу завдань;

- безперешкодній доступ на об'єкти суб'єктів господарювання та їх територію для виконання аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт, з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, гасіння пожеж;
- право Вимагати від усіх осіб, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації, додержання встановлення заходів безпеки;
- проведення під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій документування, кіно - и відео зйомки, фотографування та звукозапису;
- доля у роботі комісії за з розслідування причин Виникнення питань надзвичайних ситуацій у суб'єктів господарювання и на територіях, що нею обслуговують;
- тимчасова заборона або обмеження руху транспортних засобів и пішоходів біля та в межах зони надзвичайної ситуації, місці гасіння пожежі, а також доступу громадян на окремі об'єкти й території;
- здійснення аварійно-рятувальна забезпечення туристичних груп та окремих туристів.

6) Повноваження Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та других професійних аварійно-рятувальних служб можуть бути обмежені на територіях та у суб'єктів господарювання, у яких відповідно до Закону України "Про державну таємницю" встановлені спеціальні перепускні та внутрішньо об'єктові режими.

7) для здійснення заходів з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій органи управління й формування оперативно-рятувальної служби цивільного захисту використовують спеціальні транспортні засоби. Перевага таких засобів у дорожньому русі, а також правила встановлення спеціальних світлових й звукових сигнальних пристроїв та нанесення кольорово-графічних позначень на них визначаються актами законодавства.

Стаття 25. Спеціалізовані служби цивільного захисту

1) Спеціалізовані служби цивільного захисту (енергетики, захисту сільськогосподарських тварин и рослин, інженерні, комунально-технічні, матеріального забезпечення, медичні, зв'язку и оповіщення, протипожежні,

торгівлі та харчування, технічні, транспортного забезпечення, охорони громадського порядку) утворюються для проведення спеціальних робіт и заходів з цивільного захисту та їх забезпечення, що потребують залучення фахівців певної спеціальності, техніки і майна спеціального призначення:

- об'єктові - на суб'єкті господарювання (шляхом формування з працівників суб'єкта господарювання ланок, команд, груп, що складають відповідні спеціалізовані служби цивільного захисту) - керівником суб'єкта господарювання;

- галузеві - у системі центрального органу виконавчої влади (шляхом зведення об'єктових підрозділів у відповідну галузеву спеціалізовану службу цивільного захисту) - центральним органом виконавчої влади. Перелік центральних органів виконавчої влади, в яких утворюються спеціалізовані служби цивільного захисту, відзначається положенням про єдину державну систему цивільного захисту;

- територіальні (шляхом об'єднання об'єктових підрозділів у відповідну територіальну спеціалізовану службу цивільного захисту місцевого рівня або об'єднання територіальних спеціалізованих служб цивільного захисту місцевого рівня у регіональну спеціалізовану службу цивільного захисту):

- в Автономній Республіці Крим - Радою міністрів Автономної Республіки Крим або іншим органом, визначеними відповідно до нормативно-правових актів Верховної Ради Автономної Республіки Крим;

- б) в області, містах Києві та Севастополі, районі - місцевою державною адміністрацією;

- в) у місті обласного значення - органом місцевого самоврядування.

2) Органом управління спеціалізованою службою цивільного захисту є:

- відповідний орган, визначених Верховною Радою Автономної Республіки Крим, місцевою державною адміністрацією, органом місцевого самоврядування;

- відповідний структурний Підрозділ центрального органу виконавчої влади.

3) Спеціалізовані служби цивільного захисту мають право на:

- Отримання від місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання інформації, необхідної для проведення робіт з цивільного захисту;

- безперешкодний доступ на об'єкти суб'єктів господарювання и їх територію для виконання аварійно-рятувальних та других невідкладних робіт, з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;

- встановлення вимог відносно додержання заходів безпеки для всіх осіб, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації.

4) Права й обов'язки працівників суб'єкта господарювання, що призначаються до складу спеціалізованих служб цивільного захисту, визначаються цим Кодексом та іншими законодавчими актами.

5) Порядок утворення та функціонування спеціалізованих служб цивільного захисту відзначається положенням про них, після затверджується Кабінетом Міністрів України.

Висновок. Проаналізувавши основні потенційні небезпеки, що можуть виникати, даною роботою зазначається, що своєчасне дотримання нормативно-правових актів дасть можливість зберегти здоров'я дослідників протягом робочої години та часу перебування в лабораторному приміщенні взагалі.