

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Металорізальні верстати та інструмент
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз та розробка ефективної конструкції збірної черв'ячної фрези

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-210м

Спеціальності 133 Галузеве Машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та інструменти

Мізерний А.О.

(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, Машинобудівний
 Кафедра Металорізальні верстати та інструмент
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (код і найменування)
 Звітня програма (спеціалізація) Металорізальні верстати та системи
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Фролов М. В.
 «20» 12 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Мізерного Андріє Александровича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкту (роботи) Аналіз та розробка ефективної конструкції збірної герб'ячної фрези

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



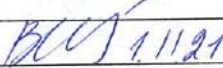



Затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» листопада 2021 року № 401

Строк подання студентом проєкту (роботи) 20.12.2021

Вихідні дані до проєкту (роботи) Збірна герб'ячна фреза Ø120

- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз конструкції збірних герб'ячних фрез, 2. Вплив геометричних параметрів герб'ячних фрез та режимів різання на стійкість, 3. Види затупування герб'ячних фрез, 4. Моделювання конструкції корпусу збірної герб'ячної фрези з поворотним консолем, 5. Оцінка праці та безпека у надзвичайних ситуаціях
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-4	Фролов М.В., доцент		
Охороона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Шмирко В.І.		
Кормокохостроєль	Матвеевко А.С., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Пр
1	Аналіз конструкцій збірних герметичних фрез	18.10.21	
2	Вплив геометричних параметрів герметичних фрез та режимів різання на стійкість	01.11.21	
3	Види затуповання герметичних фрез	15.11.21	
4	Моделювання конструкції корпусу збірної герметичної фрези з поверхневими покриттями	30.11.21	
5	Охороона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	20.12.21	

Студент(ка)


(підпис)

Мізерніста А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Фролов М.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Робота містить: 79 с., 4 табл., 33 рис., 45 джерел

Об'єктом дослідження є збірні черв'ячні фрези з поворотними зубчастими рейками.

Метою магістерської роботи є проведення аналізу конструкцій збірних черв'ячних фрез з поворотними рейками. Забезпечити підвищення продуктивності та стійкості інструменту за рахунок збільшення задніх кутів до 15-18 °.

Виконано моделювання фрези з раціональними за стійкістю передніми кутами. Досліджено методи введення передніх кутів, щоб це не позначилось на точності фрез у процесі їх переточування. При проектуванні таких фрез визначено вибір параметрів, що забезпечать мінімальні похибки при обробці зубчастих коліс, спричинені переточуванням інструменту.

Визначено графічним методом форму паза фрези.

У програмному середовищі Компас виконано розрахунок параметрів фрези та її 3 D модель.

а
приймав
виконане
авдання

Приміт

А.О.
(пали)

В.
(пали)

ABSTRACT

The work contains: 79 pages, 4 tables, 33 figures , 45 sources

The object of the study are prefabricated worm cutters with rotary toothed rails.

The purpose of the master's thesis is to analyze the design of prefabricated worm cutters with swivel rails. Ensure increased productivity and stability of the tool by increasing the rear angles to 15-18 °.

The modeling of the cutter with rational stability of the front corners is performed. Methods of introduction of front corners are investigated that it did not affect accuracy of mills in the course of their regrinding. When designing such cutters, a choice of parameters was determined that will ensure minimal errors in the processing of gears caused by tool grinding.

The shape of the cutter groove is determined graphically.

In the Compass software environment, the calculation of the mill parameters and its 3D model are performed.

Зміст

РЕФЕРАТ	4
ABSTRACT	5
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗБІРНИХ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ	9
1.1 Особливості зубофрезерування черв'ячними фрезами	9
1.2 Порівняння цільних та збірних черв'ячних фрез	11
1.3 Інформаційний аналіз збірних черв'ячних фрез	16
2 ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ ТА РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА СТІЙКІСТЬ	24
2.1 Дослідження впливу сили різання на міцність і стійкість інструменту	31
Висновки	36
3 ВИДИ ЗАТИЛУВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ	38
3.1 Аналіз видів затилування черв'ячних фрез	38
3.2 Розрахунок зміни заднього кута при переточці	49
4 МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ ЗБІРНОЇ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ З ПОВОРОТНИМИ НОЖАМИ	53
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
5.1 Аналіз потенційних небезпек	57
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	59
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	60
5.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	64
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки	64
5.4.2 Порядок планування, організації, проведення і забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення	67
ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

ВСТУП

Зубчасті колеса застосовуються в машинобудуванні для передачі крутного моменту або перетворення обертального руху в різних механізмах.

Виготовити зубчасті колеса можна в одиничному виробництві, за допомогою дискової фрези, довбача, рейки, а в масовому виробництві за допомогою методу черв'ячного зубофрезерування.

Зубчасті передачі є невід'ємною частиною сучасних машин, яким в найближчому майбутньому не буде альтернативи.

Основним методом нарізування зубчастих коліс є фрезерування модульними зубцями. Операції зубофрезерування визначають ефективність всього технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс.

Таким чином, їхня продуктивність надає найбільший вплив на загальний час виготовлення цих деталей. Фрези є одними з найскладніших і найдорожчих різальних інструментів, які також вимагають значних витрат для підтримки їх у робочому стані: вартість фрезерування становить до 60 % вартості обробки зубчастих коліс, причому майже половина цих витрат припадає на фрези.

Крім того, точність виготовлення зубчастих коліс та якість роботи зубчастих передач залежать від точності, що досягається при фрезеруванні. Сучасні черв'ячні фрези дуже дорогі через підвищені вимоги до властивостей матеріалу інструменту та складності конструкції. Їх вартість додатково збільшується за рахунок нанесення покриттів та оснащення твердосплавними пластинами.

Широке поширення зубофрезерування та його важливість для інженерії призвели до того, що моделюванню цього процесу приділяється підвищена увага з метою оптимізації різання, збільшенню продуктивності процесу, максимізація зносостійкості черв'ячних фрез і мінімізація вартості різального інструменту, зменшуючи коливання та вібрації в пружній системі зуборізного

верстата, забезпечує необхідну точність обробки, покращуючи схему різання та конструкцію черв'ячних фрез та інше.

Задача магістерської роботи розглянути та проаналізувати конструкції збірних черв'ячних фрез з поворотними ножами. Дослідити методи затилування фрез, щоб забезпечити оптимальне значення заднього кута (18°), та дослідити його значення при переточках. Розробити конструкцію з оптимальною геометрією різальної частини.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗБІРНИХ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ

1.1 Особливості зубофрезерування черв'ячними фрезами

Зубонарізання черв'ячною фрезою – це процес виробництва зубчастих коліс, при якому зубці формуються за рахунок серії проходів за допомогою черв'ячної фрези. Заготівля зубчастого колеса та черв'ячна фреза обертаються безперервно доти, доки всі зубці не будуть нарізані. Зубонарізання черв'ячною фрезою можливе лише при обробці зовнішніх зубів.

Зуборізання черв'ячною фрезою має такі переваги:

- Скорочення загальних витрат на виробництво одного зубчастого колеса в порівнянні з інструментами зі швидкорізальної сталі;
- Високі швидкості різання;
- Збільшення стійкості інструменту, скорочення часу простою обладнання;
- Легка зміна пластин з високою повторюваністю позиціонування;
- Відсутність додаткових витрат на переточування та відновлення покриття.

Призначення черв'ячних фрез:

- Чорнова, напівчистова та чистова обробка;
- Профілі зубів DIN 3972-2;
- Діапазон модулів: 3-10;
- Зубофрезерні верстати, багатоцільові верстати, 5-координатні верстати.

Існують різні види зубофрезерування.

Так, зустрічне фрезерування (рис. 1.2 а) відбувається при переміщенні супорта зверху вниз, при цьому зуб фрези на початку різання знімає тонку стружку[1]. Горизонтальна складова зусилля різання діє на фрезу в напрямку

від її осі та віджимає супорт від напрямних стійки, що знижує жорсткість та стійкість фрези; при цьому зусилля подачі та різання спрямовані у різні сторони, що сприяє рівномірній подачі фрези через усунення зазорів у механізмі подачі. Недоліком зустрічного фрезерування є утрудненість початкового етапу врізування фрези.

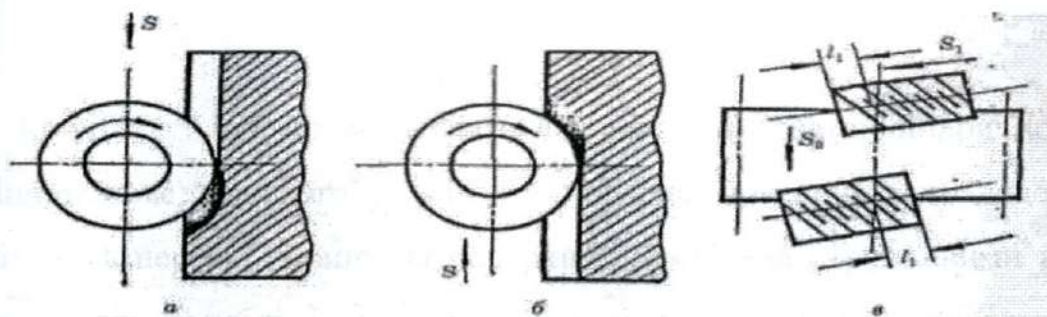


Рисунок 1.1 - Схема зубофрезерування: а – зустрічне; б – попутне; в - діагональне

Попутне фрезерування (рис. 1.2 б) здійснюється при переміщенні супорта знизу вгору, причому зуб фрези на початок різання знімає товсту стружку.[1] Горизонтальна складова зусилля різання діє на фрезу в напрямку осі і притискає супорт до напрямних, що підвищує жорсткість і стійкість[2]. При цьому зусилля подачі та різання спрямовані в один бік, що призводить до нерівномірної подачі та вібрацій внаслідок наявності зазорів у гвинтовій парі механізму та подачі. Попутне фрезерування в порівнянні з зустрічним має більш сприятливі умови різання, що дозволяє підвищити швидкість різання, стійкість фрези та чистоту обробки. Однак для попутного фрезерування потрібен пристрій, що усуває проміжки в гвинтовій парі механізму подачі.


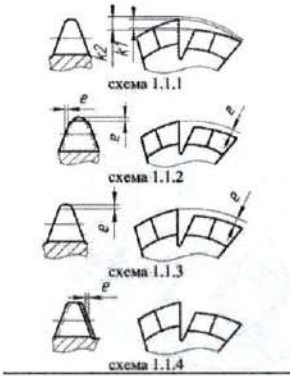
Діагональне фрезерування (рис. 1.1, в) застосовується з метою підвищення стійкості фрез за рахунок їхнього осьового змішування в процесі обробки [1]. Для цього виду фрезерування характерне застосування черв'ячних фрез збільшеної довжини. Діагональне фрезерування може застосовуватися як під час зустрічного, так і попутного напрямів подачі.

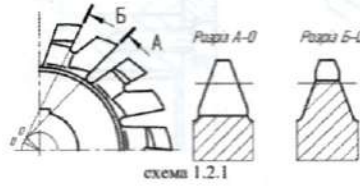
Фрезерування радіальним врізанням використовується для підвищення продуктивності нарізання.[3] Воно особливо ефективне при нарізуванні вузьких коліс.

1.2 Порівняння цільних та збірних черв'ячних фрез

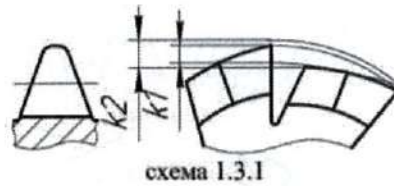
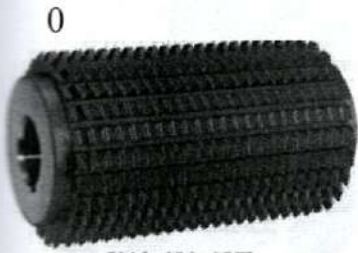
Конструктивно черв'ячна фреза виконана у вигляді циліндричного тіла, на зовнішній поверхні якого розміщена гвинтова поверхня з трапецеїдальними прорізами в перерізі. Гвинтова поверхня, пересічена стружковими канавками, утворює різальні зубці. Для утворення задніх кутів на різальних кромках зубців, виконують затилування по вершинній і бічним різальним кромкам, або гостро заточують [4],[5],[6]. Класифікація черв'ячних фрез представлена у табл. 1.1

Таблиця 1.1 — Класифікація черв'ячних фрез

Черв'ячна фреза	Конструктивна схема різальної частини
1 Суцільнометалеві черв'ячні модульні фрези 1.1 Для обробки зубчастих коліс твердістю HB 200...250	
	
1.2 З поділимим профілем, для попередньої обробки зубчастих коліс твердістю HB 200...250	

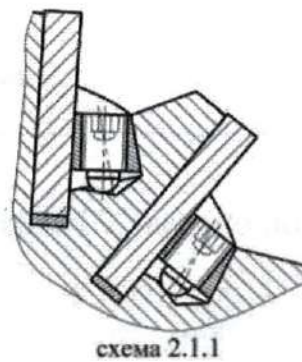
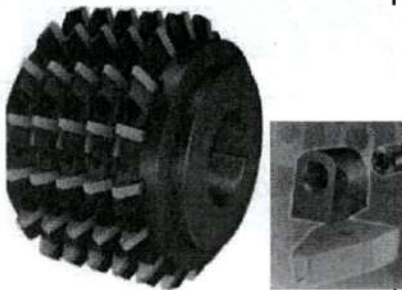


1.3 Для обробки зубчастих коліс твердістю НВ 200...300



2 Збірні черв'ячні фрези

2.1 Зі вставними зубцями, для попередньої обробки зубчастих коліс
твердістю НВ 200...300



2.2 Зі вставними рейками, для попередньої обробки зубчастих коліс
твердістю НВ 200...300

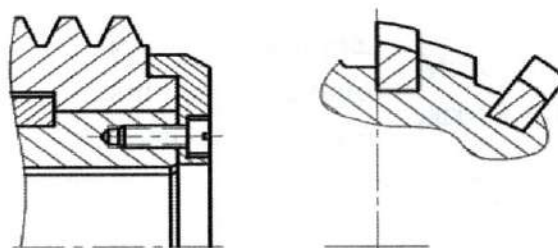
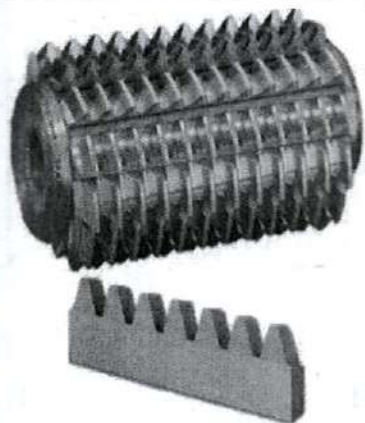


схема 2.2.1

2.3 З вставними сегментами, які оснащені універсальними різальними сегментами, для попередньої обробки зубчастих колі твердістю НВ 200...300



схема 2.3.1

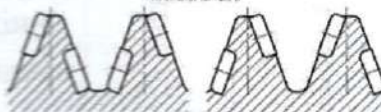
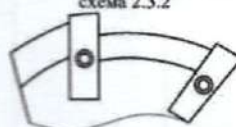


схема 2.3.2



2.3.3 З поворотними рейками

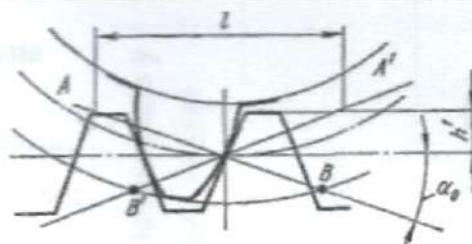
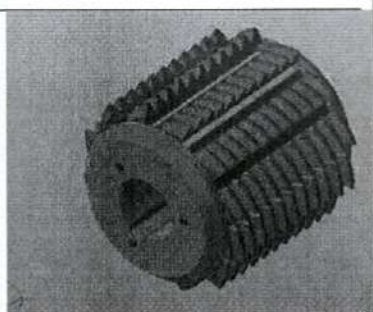


схема 2.3.3

Порівняльні показники схем по табл. 1.1 зведено до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Порівняльні показники черв'ячних фрез

Схема (згідно табл. 1.1)	Порівняльні показники							
	Геометрія різальної частини			Схема різання	Форма задньої грані	Матеріал різальної частини	Матеріал заготовки	Точність обробки по DIN 3962
	γ	α	β					
1.1.1	0-15	10-12	2-4 - 3-8	Профільна	Загилована	Швидкорізальні сталі	Сталь HB 200	Попередня обробка: 9...10 кв.; кінцева обробка: 8...9 кв.
1.1.2				Прогресивна				Попередня обробка: 9...10 кв.
1.1.3				Вершинно навантажена				
1.1.4				3 поперемінно навантаженими РК				
1.2.1				3 поділим профілем початкового контур				
1.3.1				Гострозаточена/ Загилована у технологічному корпусі	Тверді сплави	Сталь HB 200...300 -HRC 25-30	Попередня обробка: 9...11 кв.; кінцева обробка: 8...9 кв.	
2.1.1								Профільна
2.2.1								3 поперемінно навантаженими РК
2.3.1								3 поперемінно навантаженими РК та поділим профілем
2.3.2								
2.3.3								

Як видно з табл. 1.1, черв'ячні фрези бувають збірними та цільними. Цільні твердосплавні фрези виготовляються в діапазоні модулів 1–3,5 мм. Цільні черв'ячні фрези призначені для обробки зубчастих коліс шляхом обкатки. Процес утворення профілю зубів колеса аналогічний процесу зачеплення колеса з черв'яком, фреза, крім обертального руху, має поступальний

рух уздовж осі заготовки, що обертається навколо осі. Профіль зуба колеса утворюється шляхом послідовного різання металу кожним зубом фрези. Для повідомлення черв'яку ріжучих властивостей на ньому прорізають поздовжні гвинтові стружкові канавки, рівномірно розташовані по колу, а для забезпечення задніх кутів та збереження профілю зуба фрези при переточуванні, на зубцях фрези затилуванням утворюється задня поверхня. Таким чином ріжуча кромка зуба фрези є лінією перетину гвинтових поверхонь: основного черв'яка, стружкової канавки і затилованої поверхні. Ці особливості утворення профілю черв'ячних фрез необхідно враховувати при їх конструюванні, виготовленні та експлуатації.

Черв'ячні зуборізні фрези, що працюють методом обкатки, набули широкого поширення через такі свої переваги:

- висока точність обробки зубчастих коліс (до 6 ступеня точності);
- універсальність (одною і тією ж фрезою обробляються колеса з різним числом зубів);
- висока продуктивність (безперервність процесу).

З таблиці 1.2 видно що у цільних черв'ячних фрез передній кут дорівнює 0° для всіх оброблюваних матеріалів і за всіх видів та умов обробки. Задній кут на вершині зазвичай приймається рівним $10-12^\circ$, це забезпечує отримання мінімально необхідних задніх кутів на бокових сторонах профілю зуба близько $3-4^\circ$. Така геометрія не забезпечує високої стійкості. Черв'ячні фрези (табл.1.1) можуть бути окремими пластинками та вставними рейками. Конструктивною особливістю збірних фрез із вставними рейками є великий негативний передній кут, що становить 15° .

Черв'ячні збірні фрези з поворотними рейками використовуються в масовому виробництві зубчастих коліс. Особливістю цих фрез є те, що шліфування профілю зубів рейки здійснюється у спеціальних технологічних корпусах на різьбошліфувальних верстатах без затилування. У зв'язку з цим відпадає необхідність у потиличних верстатах, забезпечується висока точність профілю по всій довжині зубів і кроку гвинтової лінії, що збільшує кількість

можливих переточок, та стає можливим збільшення задніх кутів до 18° по вершині і боковим сторонам зубів. Досвід експлуатації фрез цієї конструкції показує, що, порівняно з затилованими фрезами, кількість допустимих переточок збірних фрез збільшується в 2,5 рази, а продуктивність обробки - на 25%.

У країнах Західної Європи та США збірні черв'ячні фрези становлять понад 80% від загальної кількості черв'ячних фрез. Номенклатура збірних черв'ячних фрез середніх та великих модулів, що відрізняються один від одного методом кріплення та базування зубчастих рейок, дуже велика. При цьому прагнуть розробляти такі конструкції, які забезпечували б високу точність і продуктивність зубонарізання, підвищували термін служби інструменту і зменшували витрату швидкорізальної сталі.

Основними виробниками черв'ячних фрез із поворотними рейками в діапазоні модулів 1-14 мм є фірми Klingelnberg, Fette, Saazor (Німеччина), Samputensile (Італія), Deltal (Франція).

Збірні черв'ячні фрези всіх конструкцій більш трудомісткі у виготовленні, ніж цільні, їх вартість висока. Тому питання технічної та економічної доцільності їх застосування необхідно пов'язувати з конкретною умовою технологічної операції зуборізання.

1.3 Інформаційний аналіз збірних черв'ячних фрез

Особливості конструкцій збірних черв'ячних фрез. Для економії швидкорізальної сталі доцільно черв'ячні фрези виготовляти збірними зі вставними ножами; особливо доцільним є виготовлення таких фрез для циліндричних зубчастих коліс великого модуля. Черв'ячні фрези для циліндричних зубчастих коліс, починаючи з модуля 10 і вище, як правило, слід виготовляти лише збірними. Причиною виготовлення великих фрез збірними є

також труднощі отримання великих якісних поковок зі швидкорізальної сталі. Зазвичай поковки великого розміру зі швидкорізальної сталі мають дефекти (раковини, тріщини і т. д.) і що особливо важливо - високий бал карбідної неоднорідності. Збірні черв'ячні фрези дозволяють успішно вирішувати питання покращення геометрії та створення оптимальних схем зрізання припуску.

Вітчизняний та зарубіжний досвід показує значне підвищення ефективності операції зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс при використанні збірних черв'ячних фрез з поворотними зубчастими рейками. Це фрези з одним корпусом при вихідній точності класу А, до кінця експлуатації знижують свою точність до класу В.[8]

Роздивимось конструкцію багатосекційні черв'якові фрези німецької фірми "Klingelnberg" (рис. 1.3).

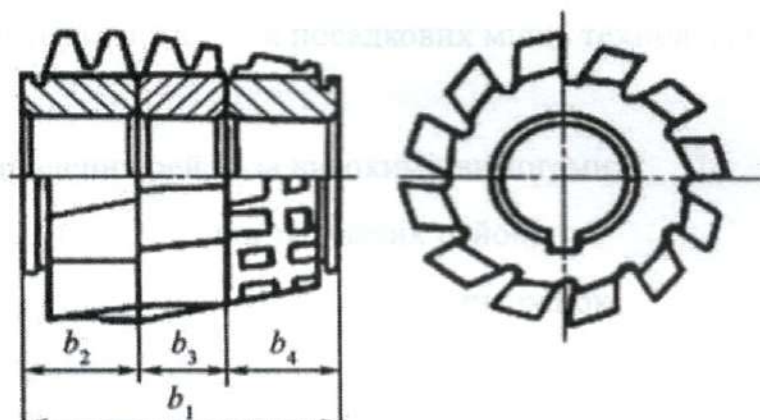


Рисунок 1.3 - Схема багатосекційної збірної черв'ячної фрези фірми Клінгельнберг

На оправці розташовуються три або чотири секції, що мають форму одно- або півторавиткової черв'ячної фрези. Особливостями даної конструкції є те що дві (або три) перші секції (b_3 та b_4) мають по висоті неповний профіль зубів, а остання b_2 – повний. Отже, за допомогою висотної корекції є можливість використовувати фрези зменшеної довжини. Гвинтові стружкові канавки кожної секції мають різний напрямок, а кутовий зсув секцій один до одного забезпечує більшу, ніж у стандартних фрез, кількість зубів, що одночасно беруть участь у

роботі. Завдяки чому підвищується плавність роботи фрези. Для рівномірного розподілу навантаження між зубами в конструкції багатосекційних фрез використовують міжсекційні кільця ширина яких дорівнює осьовому кроку фрези.

Кожна багатосекційна фреза застосовується для нарізування коліс з певним числом зубів і вважається фрезою певної установки.

Далі роздивимось найпоширенішу конструкцію збірних черв'ячних фрез з поворотними рейками фірми «Сампутенсілі» (Італія). Дані фрези виготовляють у діапазоні модулів 0,5–12 мм нормальної та збільшеної довжини з різним числом зубів ($Z_0 = 12-17$), вони можуть бути одно- та багатозахідними класів точності А та В, відповідають технічним вимогам ГОСТ 9324-80 або DIN 3968 (стандарт Німеччини).

Особливістю цих фрез є:

- точність виготовлення посадкових місць технологічного та робочого корпусів;
- виготовлення рейок за високими вимогами;
- взаємне центрування зубчастих рейок;
- надійність та стабільність кріплення рейок.

Відмінною рисою черв'ячних фрез фірми «Сампутенсілі» (рис. 1.4) є наявність у корпусі 1 паза трапецієподібної форми під зубчасті рейки 2. Корпус можна використовувати як робочий, якщо бічні сторони паза зміщені з осі корпусу, коли передня поверхня збігається з осьовою площиною, а при повороті рейок на 180° - корпус можна використовувати в якості технологічного. З торців зубчасті рейки кріпляться кришками 3, які, у свою чергу, закріплюються гвинтами 4. Недоліком конструкції є її мала жорсткість через вільне розташування зубчастих рейок в корпусі та кріплення їх тільки з торців.

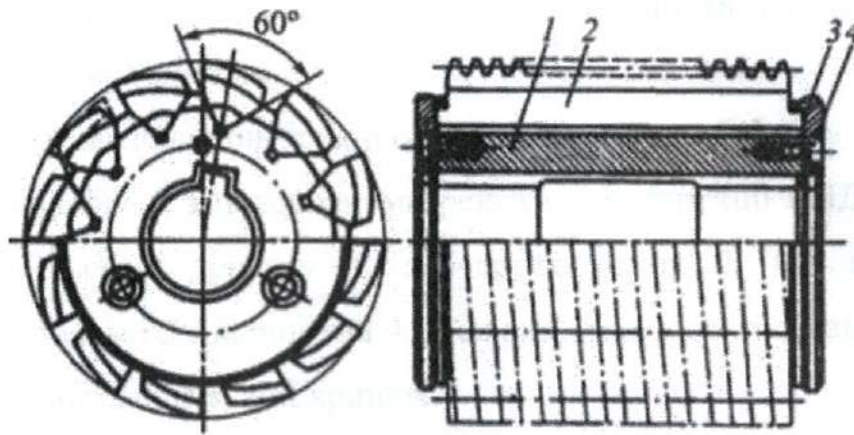


Рисунок 1.4 - Збірна черв'ячна фреза з поворотними рейками фірми «Сампутенсілі»

Збірні черв'ячні фрези фірм «Клінгельнберг» та «Заацор» (Німеччина) (рис. 1.5) конструктивно майже не відрізняються. Характерною особливістю є прямокутна форма паза корпусу 1 і підстави зубчастих рейок 2. Зубчасті рейки встановлюються в корпусі глухій посадці, взаємно регулюються в осьовому напрямку та остаточно фіксуються кришками 3.

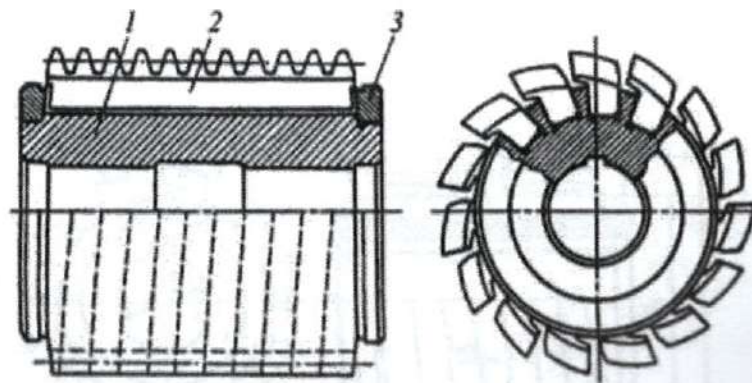


Рисунок 1.5 - Збірна черв'ячна фреза з поворотними рейками фірм «Клінгельнберг» та «Заацор»

Попередня та остаточна обробка профілю зубчастих рейок у фрез даного типу проводиться у технологічних корпусах зі зміщенням паза на розмір вибраного заднього кута по вершині зубів. Фрези цієї конструкції відрізняються

високою жорсткістю, але складністю в виготовленні та збірці та вимагають високу культуру виробництва.

Далі представлена конструкція вітчизняного виробництва (рис. 1.6). Це збірна черв'ячна фреза з поворотними рейками конструкції ВНДІ інструменту. Фреза складається з корпусу 1, зубчастих рейок 2, що закріплюються радіальними клинами 3 і кришками 4. Можливо також застосування кріпильних гвинтів для додаткової фіксації кришок.

Форма паза корпусу – нерівнобічна трапеція, оскільки задня опорна стінка паза розташована по відношенню до передньої стінки під кутом $5-6^\circ$ для встановлення радіального клину. Застосування радіального клину дозволяє більше надійно центрувати рейку на її підставі та забезпечувати швидке складання-розбирання конструкції, що є великою перевагою, так як в у процесі виготовлення фрези потрібно часто проводити її перебирання.

Обробка профілю рейок проводиться в технологічному пристосуванні, а складання їх у корпусі – за допомогою спеціального пристрою, який забезпечуватиме точне взаємне центрування.

Питання конструювання та розрахунку черв'ячних фрез з поворотними рейками вирішено на прикладі фрез конструкції ВНДІ інструменту.

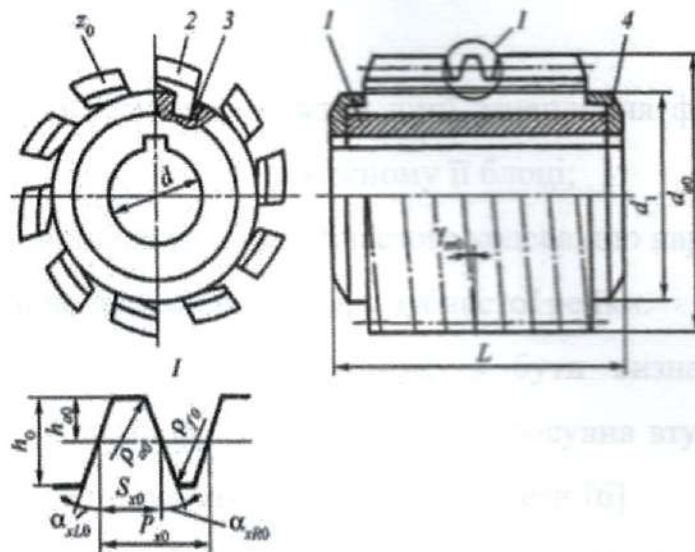


Рисунок 1.6 - Збірна черв'ячна фреза з поворотними рейками конструкції ВНДІ інструменту

Збірна конічна черв'ячна фреза для нарізування зубчастих коліс (рис. 1.7), містить два блоки 1 і 2 з ділильними конусами, зверненими вершинами назустріч один до одного та співвісні до осі обертання фрези, і розташовані на них ріжучі зуби з кроком уздовж утворюють лінії ділильних конусів, які рівні ділильному кроку нарізаного зубчастого колеса, а профіль зубів кожного блоку відповідає вихідному контуру зубчастої рейки.

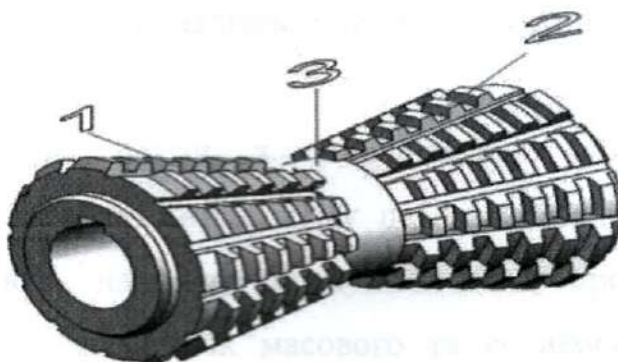


Рисунок 1.7 - Збірна конічна черв'ячна фреза

Половина кута ділильного конуса фрези φ_k вибрано відповідно до співвідношення:

$$\arctg\left(\frac{L}{dt_1}\right) \leq \varphi_k \leq \alpha_n \quad (1.1)$$

де L – проекція активної ділянки лінії зачеплення фрези та зубчастого колеса на початкову пряму фрези на кожному її блоці;

dt_1 – діаметр ділильного кола зубчастого колеса, що нарізається;

α_n - кут профілю вихідного контуру зубчастої рейки.

Значення параметрів L та dt_1 можуть бути визначені за відомими залежностями. Між блоками фрези встановлена просувна втулка 3 довжиною S , змінюючи яку можна здійснювати пересування фрези.[6]

При роботі черв'ячної фрези на її вхідній частині (на блоці 1 або 2) здійснюється попереднє (чорнове) зубофрезерування із залишенням припуску на бокових сторонах зубів під остаточне (чистове) зубофрезерування, яке

здійснюється на вихідній частині фрези (на блоці 2 або 1). Необхідна величина припуску на остаточне зубофрезерування, що здійснюється на вихідній частині фрези, забезпечується відповідним усуненням блоку фрези на її вхідній частині. Пересування фрези вздовж утворюючих ліній ділільних конусів для підвищення періоду її стійкості здійснюється заміною приставної втулки 3 на іншу із зміненою довжиною S.

Розглянувши найпопулярніші конструкції збірних черв'ячних фрез з поворотними рейками, проаналізувавши конструктивні особливості кожної, можемо підвести підсумок.

Збірні черв'ячні фрези з поворотними зубчастими рейками є найпрогресивнішим інструментом, тому що через ряд своїх конструктивних переваг забезпечують найвищу продуктивність обробки зубчастих коліс зубофрезеруванням в умовах їх масового та великосерійного виробництва. Визначальним параметром для застосування черв'ячних фрез певної конструкції є похибки обробки, пов'язані зі своїми експлуатацією. Найбільший вплив на ці похибки мають геометричні (кут профілю, передні та задні кути тощо) та конструктивні (число зубів, число заходів тощо) параметри черв'ячних фрез. Похибки переточування можна знизити за рахунок геометрії зуба фрези, але позбутися їх цілком неможливо. Вони існують навіть у тому випадку, якщо основні параметри черв'ячної фрези підбрані та виконані ідеально. Основною особливістю черв'ячних фрез даного типу є обробка профілю зубчастих рейок не на потиличних, а на різьбошліфувальних верстатах. При цьому, рейки встановлюються в технологічне положення у робочих або технологічних корпусах, вершинні поверхні зубів розташовуються на циліндричній поверхні, а бічні на гвинтовій. Таким чином, обробка профілю отримала назву "технологічний черв'як". Подібна установка зубчастих рейок дозволяє обробляти їх профіль на всій довжині зуба з високою продуктивністю та точністю. Після обробки профілю технологічному положенні зубчасті рейки розгортаються на 180° або повертаються на необхідний кут у пазах робочого

корпусу, створюючи при цьому необхідні задні кути по вершині зуба, і закріплюються різними засобами.[3]

Черв'ячні фрези з поворотними рейками порівняно із звичайними забезпечують:

- збільшення числа допустимих переточок у 2–2,5 рази,
- підвищення продуктивності обробки на 30-40% за рахунок кращого якості металу,
- покращеної геометрії (великі задні кути),
- високої якості оброблених поверхонь зубів.

Найбільшого поширення розглянуті фрези набули в автомобільній вітчизняній промисловості та за кордоном.

Гострозаточені черв'ячні фрези застосовуються лише у випадку, якщо потрібно обробити зубчасті колеса із бронзи, поліамідної смоли та подібних матеріалів. Застосування цих фрез доцільне завдяки способу заточки "нагостро" біля поверхонь зубів заточування. Щоб покращити умови різання бічними кромками, є можливість збільшувати кути бічним ріжучим кромкам. Це підвищує стійкість фрези.

2 ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ ТА РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА СТІЙКІСТЬ

Використання черв'ячних фрез з оптимальним значенням передніх та задніх кутів сприяє підвищенню стійкості інструменту при зубообробці. Величини передніх кутів у черв'ячних затілених фрез зазвичай варіюються 0-5 градусів, задні кути - 10-12 градусів. Але значення невеликих передніх кутів не може забезпечити високу стійкість фрез. Тому збільшення величини передніх кутів до 15-18 градусів здатне значно підвищити стійкість інструменту.[9]

Розглянемо експеримент як режими різання та зміна геометричних параметрів впливають на стійкість інструменту (знос фрези).

Оскільки вздовж витка знос по задніх поверхнях зубів черв'ячної фрези не рівномірний (рис.2.1), оцінити збільшення стійкості фрези при зміні задніх кутів і параметрів корекції зубів доцільно на прикладі розгляду збільшення стійкості зуба, що найбільш зношується. Таким чином, доцільно моделювати процес різання одного (N-го) із зубів черв'ячної фрези, що піддається найбільшому зносу.



Рисунок 2.1 - Гістограма зносу зубів по задній поверхні

Отже розглянемо таку модель процесу зубофрезерування. В якості ріжучого інструменту у моделі використовується дискова однозуба фасонна фреза (рис. 2.2), профіль зуба та геометричні параметри якої відповідають профілю зуба та геометричним параметрам черв'ячної фрези. Як заготівля використовується циліндр із попередньо нарізаними поздовжніми канавками, що імітують западину зубчастого колеса, що залишається після роботи попереднього (N – 1)

зуба.

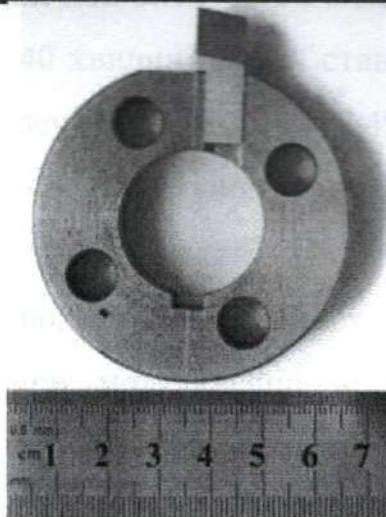
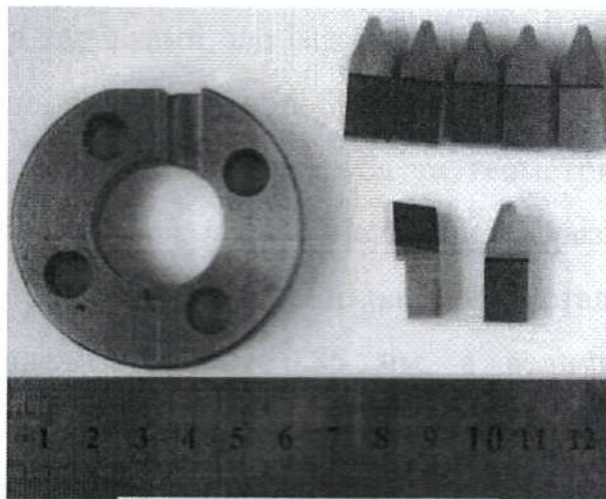


Рисунок 2.2 - Фреза — модель

Модель була перевірена на адекватність.[10] Для цього на першій стадії фрезою стандартної конструкції було здійснено зубофрезерування пакету заготовель зі сталі 45 у режимі згідно з існуючими нормативами, виходячи з фактичної стійкості 240 хвилин (швидкість різання –35 м/хв, подача – 2мм/об). Після цього виміряли знос по задніх поверхнях зубів, і встановили, який зуб піддався найбільшому зносу (зуб №19 від початку витка, знос 0,94 мм за критерієм зношування 1 мм, див. рис.2.1). На другій стадії був виготовлений циліндр з продольними канавками, що імітують канавку, що залишається після роботи зуба. Третя стадія полягала у обробці підготовленого циліндра дисковою однозубою фасонною фрезою, профіль зуба та геометричні параметри якої відповідають аналогічним параметрам черв'ячної фрези. Режими різання відповідали режимам при зубофрезеруванні на першій стадії. Після 240 хвилин роботи знос зуба моделі становив 0,85 мм, а величини, яка відповідає максимальному зносу зуба черв'ячної фрези (0,94 мм) було досягнуто після 265 хвилин роботи. Різниця у величині зносу зуба моделі в порівнянні зі зносом зуба черв'ячної фрези після 240 хвилин роботи становила 9,6%, а за стійкістю до моменту досягнення зносу 0,94 мм – 10,4%, що дозволяє вважати запропоновану модель адекватною до реального процесу.

Перша серія експериментів полягає у фрезеруванні фрезою-моделлю з зубами запропонованого профілю, що відрізняються геометрією ріжучого клина (рис.2.4). Режими різання при моделюванні призначається відповідно до режимів при зубофрезеруванні. При цьому вимірюється час, протягом якого знос по задній поверхні зубів досягав тієї критичної величини, що і в експерименті, здійсненому на етапі перевірки моделі на адекватність. За результатами цієї серії експериментів встановлені геометричні параметри, що забезпечують найбільшу стійкість інструменту.

Результати експериментальних досліджень такі: середня стійкість зубів з заднім кутом на вершинній кромці 15° склала 850 хвилин, що у 3,54 рази вище стійкості зуба стандартної черв'ячної фрези між переточуваннями при тих же режимах різання; стійкість зуба із заднім кутом на вершинній кромці 18° – 930

хвилин (у 3,86 рази вище стійкості стандартної фрези); із заднім кутом на вершинній кромці 20° – 890 хвилин (у 3,71 рази вище стійкості стандартної фрези).

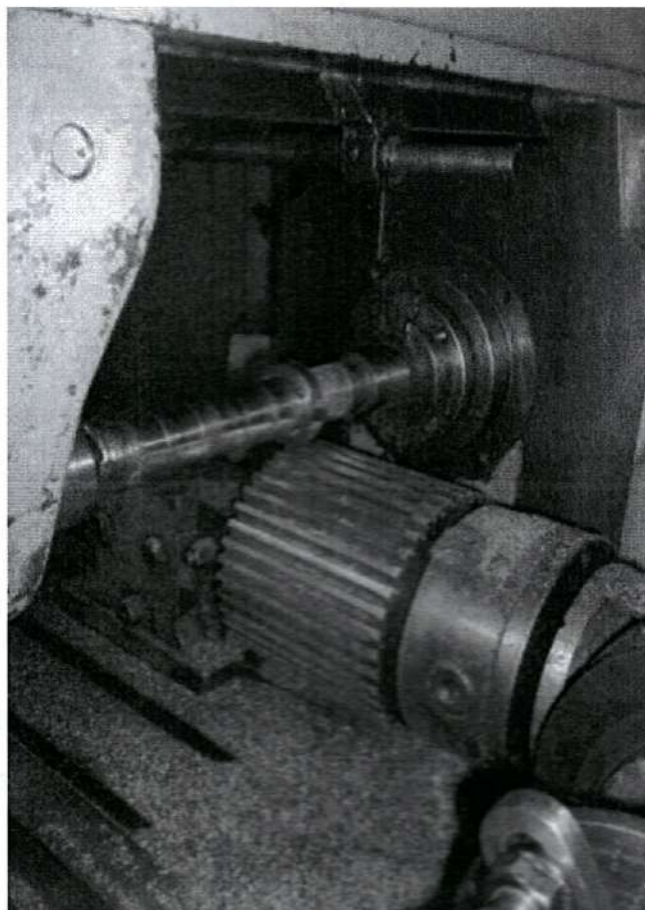


Рисунок 2.3 - Експериментальне налагодження

Друга серія експериментів, проведена як повний факторний експеримент 2^2 . Задній кут на вершинній кромці зубів при цьому призначений рівним 18° , тому як він забезпечив найбільшу стійкість за наслідками першої серії експериментів.

Математична обробка отриманих результатів дозволила встановити залежність стійкості пропонованих черв'ячних фрез від режимів різання (швидкості різання та подачі на оборот столу) у вигляді моделі:

$$T = 15520693.753 * v^{-2.5456} * S^{-0.9574} \quad (2.1)$$

Таблиця 2.1 - Режими різання та отримані результати у другій серії експериментів

V, м/мин	S, мм/об. ст.	T, мин
60 (1)	3 (1)	165
		160
		155
60 (1)	2 (-1)	240
		230
		250
35 (-1)	3 (1)	640
		655
		630
35 (-1)	2 (-1)	915
		945
		930

На рис. 2.4 отримана залежність представлена графічно. На підставі отриманої залежності стійкості від швидкості різання та подачі на оборот столу можуть бути розроблені рекомендації за призначенням економічно доцільних відповідних режимів різання на зубофрезерні операції з використанням в якості ріжучого інструменту пропонованих непереточуваних черв'ячних фрез з прогресивною схемою різання. (2.2)

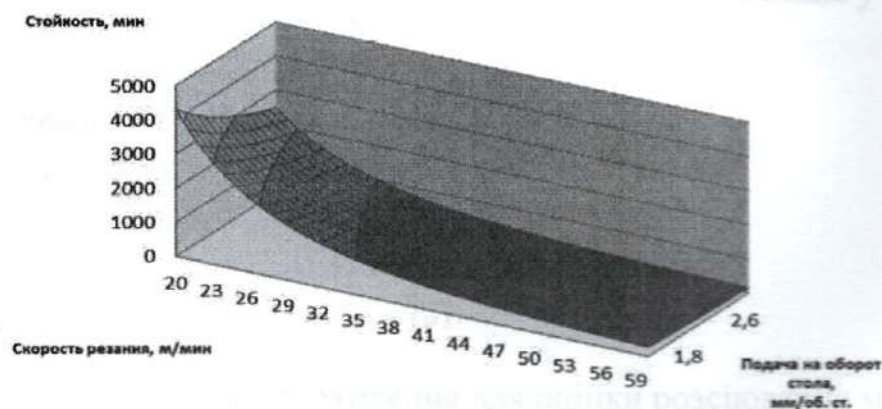


Рисунок 2.4 - Залежність стійкості непереточуваних черв'ячних фрез від режимів різання.

Отже можемо зробити висновок що стійкість зуба із заднім кутом на вершинній кромці 18° є найвищою, тому ці параметри є оптимальними для черв'ячних фрез.

На основі даних, наведених в табл.2.1 можна побудувати також повний факторний експеримент 2^2 з визначенням статистичної значущості факторів та їх взаємодії. План та результати експерименту наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - План та результати ПФЕ 2^2

N	X_0	V	S	X_1X_2	T	Дисперсія	Коеф. Вар.
		X_1	X_2		Y	S^2	V
1	+1	+1	+1	+1	60	25	0.15
2	+1	+1	-1	-1	240	100	0.41
3	+1	-1	+1	-1	641	158	0.24
4	+1	-1	-1	+1	930	225	0.24

За результатами досліджень вихідною моделлю обрано поліном першого ступеню розширений ефектом взаємодії:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 \quad (2.2)$$

Для кожного досліді і за результатами паралельних дослідів j визначається:

Середнє значення стійкості:

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \quad (2.3)$$

Дисперсія та стандартне відхилення для оцінки розсіювання між паралельними дослідями:

$$S_i^2 = \frac{1}{f} \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2, \quad (2.4)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{f} \sum_{i=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2} \quad (2.5)$$

Де f – кількість ступенів свободи, що визначається як $f = n - 1$.

Коефіцієнт варіації для аналізу стабільності та ступіню змінності отриманих результатів

$$V_i = \frac{S_i}{\bar{Y}_i} \quad (2.6)$$

За результатами розрахунків, наведених в табл 2.2, отримані результати є стабільними.

Для того, щоб визначити чи в однакових умовах проводяться експерименти, за критерієм Кокрена оцінюється однорідність дисперсій, визначених за рівнянням:

$$G = \frac{\max \{S_i^2\}}{\sum_{i=1}^N (S_i^2)} = \frac{225}{508,33} = 0,44 \leq G_{0,05,4,2} = 0,768 \quad (2.7)$$

Оскільки отримане значення критерію Кокрена менше за критичне для рівня значущості $q = 0.05$, $N = 4$ та ступенів свободи $f=2$ – дисперсії однорідні.

Загальна дисперсія:

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} = \frac{508,33}{4} = 127,08 \quad (2.8)$$

Значення коефіцієнтів рівняння регресії визначаються за формулою:

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ri} Y_i \quad (2.9)$$

Тут r – індекс коефіцієнта рівняння регресії.

Таким чином, за розрахунками отримуємо модель:

$$Y = 492,92 - 292,92X_1 - 92,08X_2 + 52,08X_1X_2$$

Визначимо статистичну значущість факторів, яка оцінюється через статистичну значущість відповідних коефіцієнтів регресії. Для цього розрахуємо дисперсію та довірчий інтервал коефіцієнтів рівняння регресії. Дисперсія коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_j\} = S_e^2 \cdot \frac{1}{m} = 127,08 \frac{1}{4} = 31,77 \quad (2.10)$$

Де m – кількість коефіцієнтів рівняння регресії. В нашому випадку – $m = 4$

Довірчий інтервал коефіцієнта:

$$\Delta b_l = \pm t_{0,9} \cdot S\{b_j\} = 1,63 \cdot 31,77 = 52,03 \quad (2.11)$$

Де $t_{0,9}$ – критерій Стюдента для довірчої імовірності 0,9.

Виходячи з визначеного за рівнянням (2.10) довірчого інтервалу, статистично незначущими є ті фактори для яких:

$$b_r \leq \Delta b_r \quad (2.12)$$

Таким чином, найбільший вплив на стійкість має швидкість різання, менший – подача. Всі фактори є статистично значущими.

2.1 Дослідження впливу сили різання на міцність і стійкість інструменту

Важливим моментом при проектуванні збірних черв'чних фрез є вибір оптимальної сили різання. Стійкість зуба зуба залежить не тільки ві режиму різання а ще й від прикладеної сили.

Використовуючи експериментальні дані, розглянемо дослідження процесу зубофрезерування збірними черв'ячними фрезами. За допомогою комп'ютерного моделювання динамічних навантажень, спрогнозуємо зношування різальних поверхонь зубів, визначимо раціональний режим зубообробки збірними черв'ячними фрезами. Дослідження виконані на фізичних та комп'ютерних імітаційних моделях.

На рис. 2.5 відображено зміну складових сили різання.

Як інструмент використана експериментальна збірна черв'ячна фреза з такими параметрами: $d_a = 90$ мм, $\alpha \gamma = 5$ а, $m = 2,5$ мм. Фреза нарізає одиничну шпандину зубчастого колеса зі сталі 3сп (ГОСТ 380-2005) з числом зубів $z = 112$ на режимі різання $S_0 = 1$ мм / об, $V = 30$ м / хв. У процесі зубонарізання черв'ячна фреза і колесо обертаються навколо осей, а рух подачі вздовж осі колеса здійснюється переміщенням супорта верстата.

Сили різання: P_x - спрямована перпендикулярно осі фрези в протилежний бік від напрямку вектора швидкості різання, і P_z - горизонтальна сила, спрямована паралельно міжосьового перпендикуляру від заготовки до фрези.

Графіки отримані роботою цифрового самописця – осцилографа, підсилювача, АЦП, динамометра. Результати будуть використані для комп'ютерного моделювання.

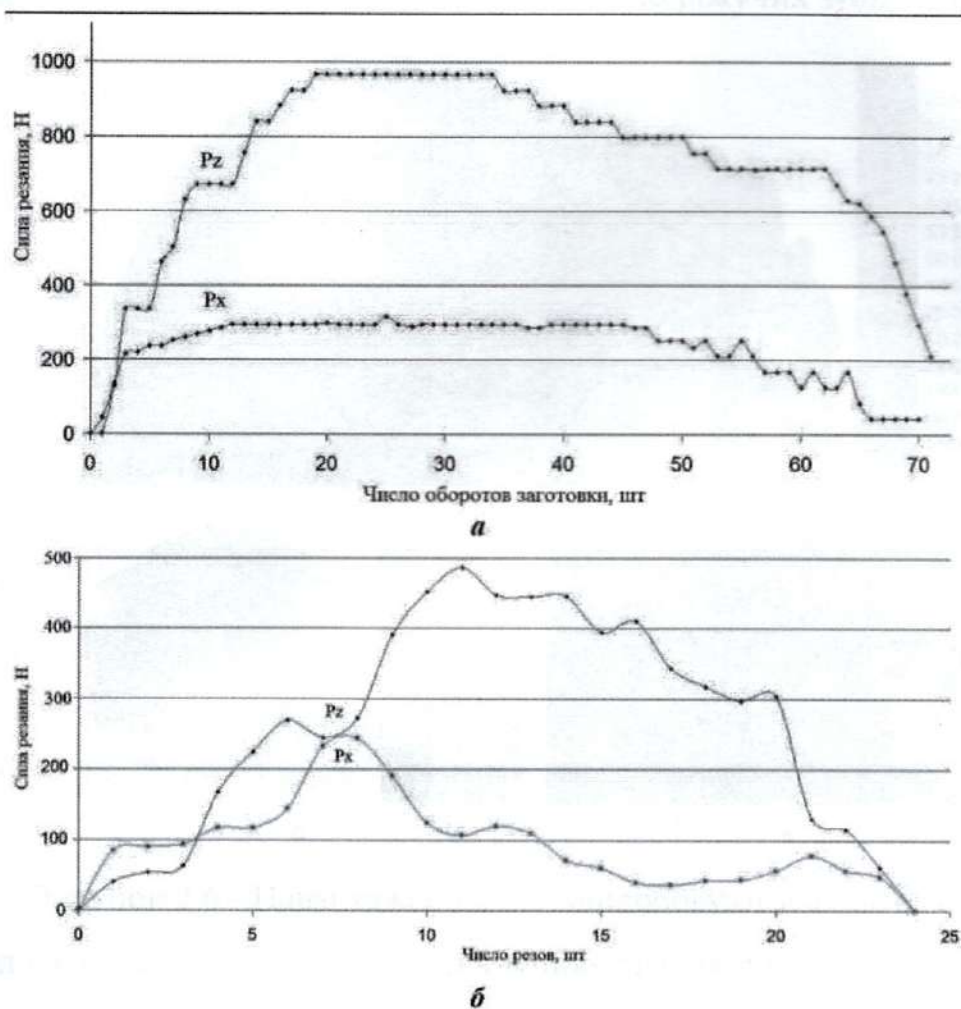


Рисунок 2.5 - Сила різання при зубофрезеруванні: а – загальний вигляд сигналу складових сили різання P_x та P_z ; б – зміна складових сили різання під час обробки одиничної западини зубчастого колеса за один оберт заготовки.

На основі 3D-моделі експериментальної збірної черв'ячної фрези та загальномашинобудівних нормативів режимів різання, на яких експериментально випробовувався інструмент, проведено комп'ютерне прогнозування поведінки інструменту та його ріжучих властивостей. Збільшуючи навантаження при обертанні інструменту на різних частотах перевірено міцність інструменту та зубчастих рейок. Максимальна частота обертання, яку витримав інструмент, не втративши цілісність конструкції,

становила 221,3 Гц, що відповідає швидкості різання 3700 м/хв. Руїнування відбуваються в місцях переходів основи рейок до ріжучих зубів (рис.2.6).

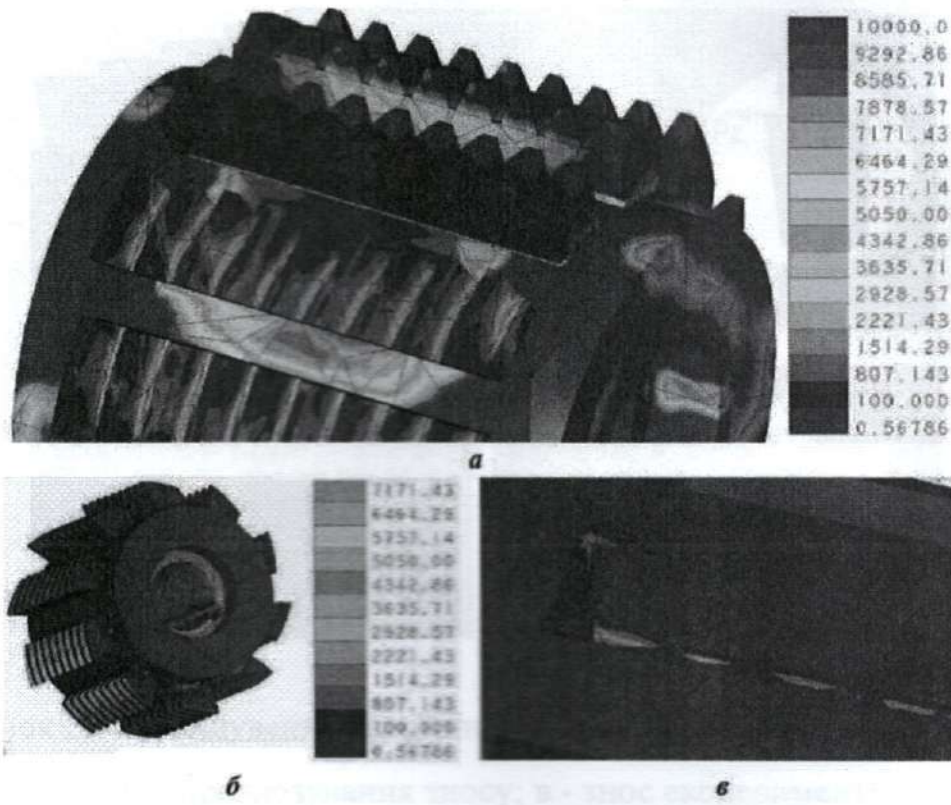


Рисунок 2.6 - Навантаження, що випробовуються інструментом: а - розподіл навантажень при динамічних випробуваннях; б - розподіл навантажень під час перевірки зубчастих рейок на міцність; в - розподіл навантажень під час перевірки на міцність закріплення рейок.

Для визначення зносостійкості, величини та характеру зносу збірної черв'ячної фрези необхідно нарізати значну кількість зубчастих коліс, що не завжди є зручним через велику витрату металу, тимчасові та фінансові витрати на виготовлення заготовок зубчастих коліс та проведення досліджень. на основі експериментальних даних про навантаження на ріжучі зуби за один оберт фрези отримана модель, що дозволяє визначити характер і величину зносу задніх поверхонь черв'ячної фрези на різних режимах різання та умовах обробки. Для черв'ячних фрез величина зносу регламентується ГОСТ 9324-80 і має перевищувати 0,3 мм для модулів $m = 1 - 10$ мм.

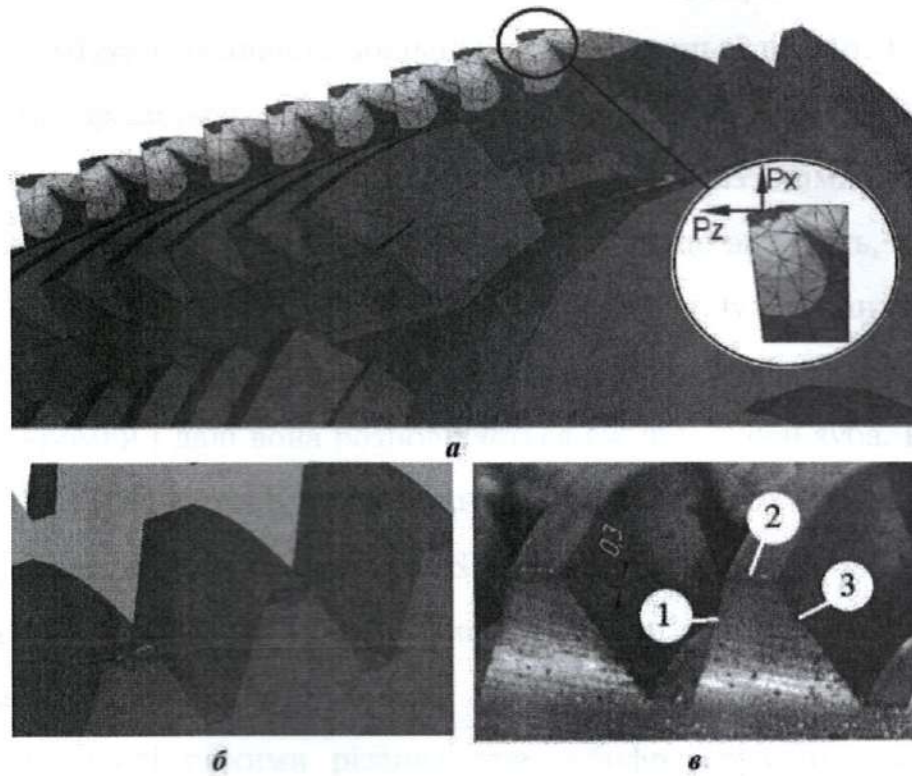


Рисунок 2.7 - Зношування черв'ячної фрези: а – розподіл навантажень на ріжучі елементи; б – прогнозування зносу; в - знос експериментальної фрези при зносі 0,3 мм: 1 - ріжуча кромка, що виходить; 2 - вершинна ріжуча кромка; 3 - вхідна ріжуча кромка.

Розрізняють чотири види зношування: адгезійне; дифузійне; окисне; абразивне (характерне для інструментів зі швидкорізальної сталі, знос відбувається в результаті тертя стружки про передню та задню поверхні в зоні різання). Зношування зубів черв'ячної фрези при нарізанні зубчастого колеса залежить від конструкторських, технологічних параметрів і різний для різних зубів, що пов'язано з різною тривалістю їх різання і навантаженням. Схема роботи черв'ячної фрези особлива тим, що у роботі одночасно беруть участь кілька ріжучих поверхонь зуба. Кожен зуб черв'ячної фрези зрізає певний прошарок, тому що у процесі роботи зубці завантажені нерівномірно. Довжина і товщина шару, що зрізається, різні у всіх ріжучих кромках. Завантаження зубів фрези та товщина шару, що зрізається кожним зубом фрези, підвищується зі збільшенням відстані від полюса зачеплення. Зуби, що попередньо зрізають

метал із западини, навантажені значно більше центральних і тому їх завантаження лімітує можливість збільшення поздовжньої подачі. Найбільший переріз шару, що зрізається, припадає на вершину ріжучої кромки. Бічні ріжучі кромки завантажені також неоднаково: більший переріз знімає кромка, що виходить. Інтенсивно зношується задня поверхня зуба, що виходить, незважаючи на те, що товщина зрізу мала. Аналіз розподілу навантажень, що випробовуються, показав, що максимальне навантаження сприймає вершинна і західна ріжучі кромки і далі вона розподіляється аж до основи зуба. Результати, що підтверджують проведені дослідження, подано на рис. 2.7. Моделювання виконане у програмному комплексі Creo Simulate.

Проведені дослідження дозволили оптимізувати конструкцію розробленої експериментальної черв'ячної фрези; рекомендувати як раціональні, і максимально можливі режими різання при зубофрезеруванні; прогнозувати величину зносу на основі даних про силу різання та використані режими різання, що є актуальним при використанні зубофрезерних верстатів з ЧПУ.

Висновки

Для проектування збірної черв'ячної фрези стає питання вибору оптимальних геометричних параметрів.

Отже задній кут потрібен щоб зменшити тертя задньої поверхні на заготовлю та забезпечити безперешкодне переміщення різця по оброблюваній поверхні.

Вплив величини заднього кута на умови різання обумовлено тим, що на ріжучу кромку з боку заготовлі діє нормальна сила пружного відновлення поверхні різання та сила тертя. При збільшенні заднього кута зменшується кут загострення і цим знижується міцність леза, зростає шорсткість обробленої поверхні, погіршується тепловідведення в тіло різця. При зменшенні заднього кута збільшується тертя, що призводить до збільшення сил різання, збільшується знос різця, зростає тепловиділення на контакті, хоч і

покращуються умови тепловіддачі, зростає товщина пластично деформованого шару на обробленій поверхні. За таких суперечливих умов повинен існувати оптимум для величини заднього кута залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, матеріалу різального леза і параметрів зрізаного шару. Досліди показують, що оптимальне значення заднього кута визначаються товщиною зрізу.

Для отримання позитивних задніх кутів у багатьох ріжучих інструментів необхідно особливим чином виконати обробку задньої поверхні - затилування, що забезпечує при переточуванні по передній поверхні, сталість профілю зуба та величини заднього кута в радіальному перерізі.

Затилування виконується за допомогою спеціальних верстатків, а також збіжним, зворотнім та іншим затилуванням. Необхідно вибрати таку швидкість затилування, при якій кут α між дотичною і радіальною лінією буде постійним. Це має невзначні відхилення від цього значення, що викликає зміну кута затилування. Здатися постійним і задній кут на вершині зуба [12].

Величина заднього кута α залежить від співвідношення (рис. 3.1):

$$\alpha = \arctan \frac{r}{f} = \frac{\pi}{2} - \beta \quad (3.1)$$

3 ВИДИ ЗАТИЛУВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ

3.1 Аналіз видів затилування черв'ячних фрез

Головною особливістю затіланих зубів є те, що в результаті заточування передньої поверхні, яка лежить в осьовій площині фрези, профіль виробу зберігається до майже повного зносу фрези.[11] Для досягнення такого ефекту зуб фрези затилується (обточується) за певною кривою. Слід зазначити, що затилування має ряд переваг у порівнянні з заточуванням фрез: воно допускає більшу кількість переточок, а також збільшує простір для розміщення стружки. Для затилування необхідно вибрати таку криву, яка забезпечує сталість профілю виробу, у якої кут μ між дотичною і радіусом-вектором зберігає постійне значення або має незначні відхилення від цього значення. Відповідно, повинен зберігатися постійним і задній кут на вершині зуба[12], тоді буде справедливе співвідношення (рис. 3.1):

$$\mu + \alpha_v = \frac{\pi}{2} \quad (3.1)$$

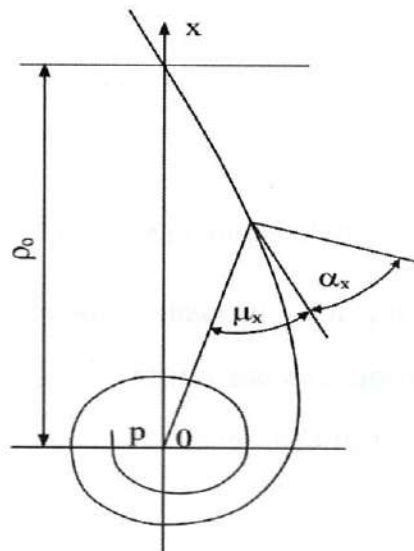


Рисунок 3.1 — Логарифмічна спіраль

На прикладі логарифмічної спіралі для довільної точки x відомо:

$$\operatorname{tg} \mu x = \frac{\rho}{\rho' \varphi} \quad (3.2)$$

Використовуючи її полярне рівняння для точки x :

$$\rho x = \rho_0 e^{n \varphi x} \quad (3.3)$$

обчислимо ρ' і $\operatorname{tg} \mu x$ враховуючи, що $n = \text{const}$:

$$\rho' \varphi = n \rho_0 e^{n \varphi x}, \operatorname{tg} \mu x = \frac{1}{n} \quad (3.4)$$

Зі співвідношень (3.1) і (3.4) отримаємо для відповідного заднього кута μ_{xk} (рис. 3.2):

$$\operatorname{tg} \alpha x = c \operatorname{tg} \mu x = n \quad (3.5)$$

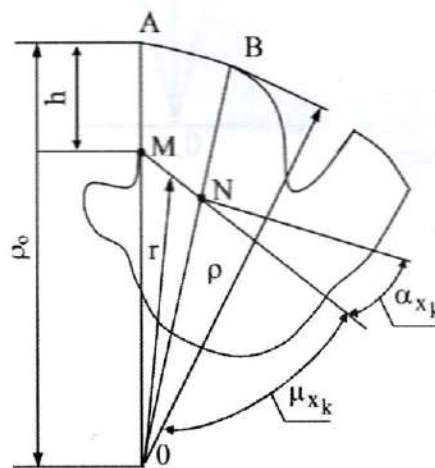


Рисунок 3.2 — Задній кут на конхонді на логарифмічній спіралі

З формул (3.4) та (3.5) випливає, що логарифмічна спіраль підходить для затилування фрези. У процесі різання висота профілю зуба фрези залишається постійною [13], тому що зберігається сталість форми потиличного різця, рис. 3.3.

Сам факт затилування визначається величиною K , рис. 3.3:

$$K = \rho M - \rho N = \rho_0 (e^{n \delta}) - (e^{n \delta}) \quad (3.6)$$

де 2δ центральний кут, що відповідає кутовому кроку, тоді маємо:

$$2\delta = \frac{2\pi}{z} \quad (3.7)$$

$$\text{або } \delta = \frac{\pi}{z} \quad (3.8)$$

де Z - число зубів фрези.

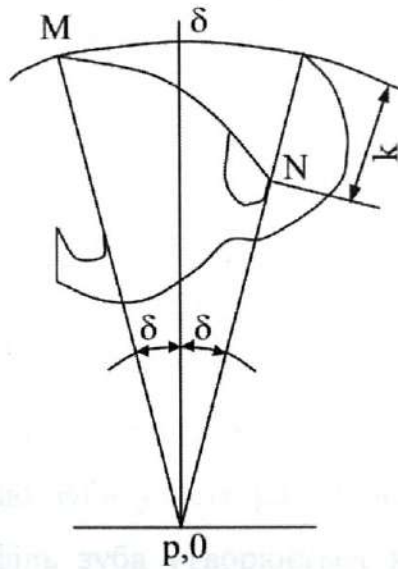


Рисунок 3.3 — Величина затилування

Зрештою після низки перетворень виразу (3.6) отримаємо:

$$K = \frac{\pi \rho_0}{z} * \operatorname{tg} \alpha \varepsilon \quad (3.9)$$

Враховуючи, що $\rho_0 = D\phi$ - діаметр фрези, маємо:

$$K = \frac{\pi D\phi}{z} \operatorname{tg} \alpha \varepsilon \quad (3.10)$$

Слід зазначити, що співвідношення (3.10) підходить для опису затилування і по спіралі Архімеда.

Відомо, що для більшості фрез справедливі такі обмеження:

$$Z_{\min} = 6, \alpha_{\min} = 15^\circ = \frac{\pi}{12} \quad (3.11)$$

де Z_{min}, α_{min} – відповідно мінімальна кількість зубів фрези і мінімальна величина її заднього кута.

Фрези, що затиловані по спіралі Архімеда, поряд з очевидними перевагами, мають серйозну ваду: не дозволяють сильно збільшувати головний задній кут α , через що зменшуються бічні задні кути. З цієї причини збільшується знос бічних кромки, знижується стійкість фрези, зростає шорсткість поверхні, що обробляється, знижується продуктивність через необхідність роботи на знижених режимах.

Цих недоліків позбавлені фрези, затиловані по прямій лінії [14]. Процес затилювання по прямій лінії здійснюється при рівномірному обертанні фрези та рівномірним нерівномірним прямолінійним переміщенням потиличного різця. При цьому по прямій буде оформлений зуб на зовнішньому діаметрі фрези, а інші ділянки профілю з $r < R$ обточуються за деякими увігнутими кривими.

Так як висота профілю зуба у всіх радіальних перерізах повинна бути постійною, то бічний профіль зуба утворюється кривими, що є конхоїдами прямої, описаними з полюса O (рис. 3.4).

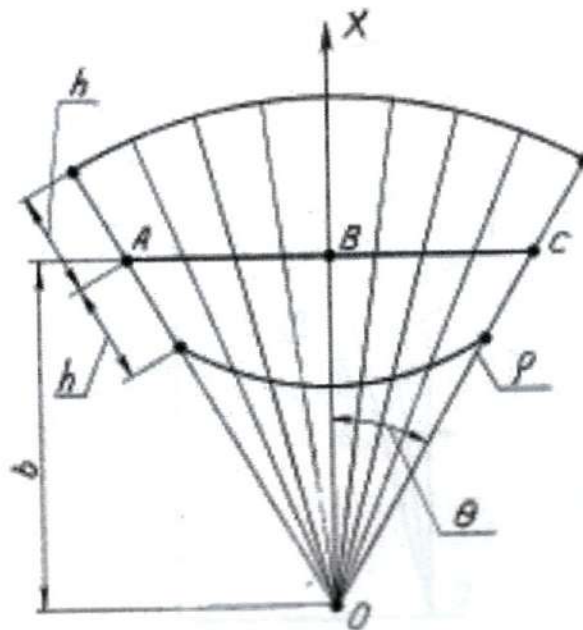


Рисунок 3.4 - Пряма як крива затилювання

Рівняння прямої лінії AC в полярних координатах визначається з трикутника OBC :

$$\rho = \frac{b}{\cos\theta} \quad (3.12)$$

де ρ - радіус-вектор точки C ;

b - відстань від полюса до прямої AC ;

θ - полярний кут.

Якщо від прямої AB вгору і вниз відкласти висоту зуба h (на кожному промені з полюса O), то вийдуть відповідно випукла та увігнута гілки конхоїди.

Рівняння конхоїди прямої має вигляд.

$$\rho = \frac{b}{\cos\theta} \mp h \quad (3.13)$$

Нехай зуб фрези розташовується в системі координат так, щоб головна лінія поверхня AB була перпендикулярна до осі OX (рис. 3.5).

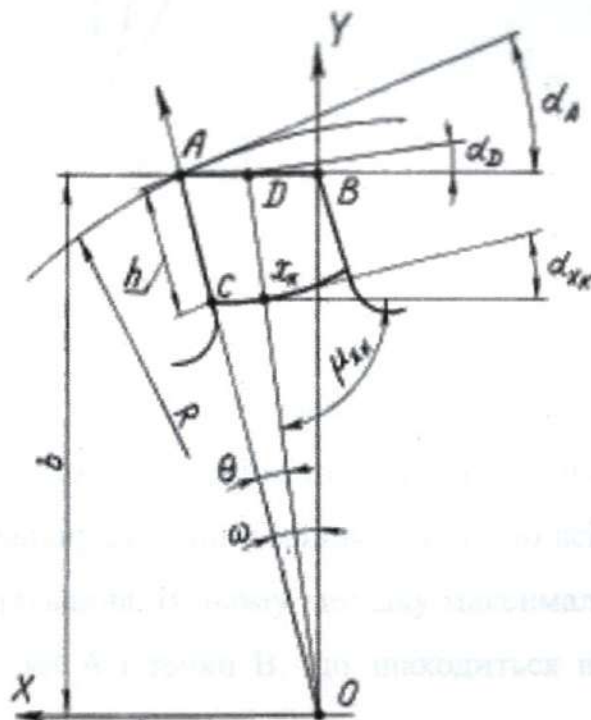


Рисунок 3.5 - Задній кут при затилуванні по прямій

У точці А задній кут α_A має максимальне значення, а при переточуваннях (наприклад, площина OD) зменшується ($\alpha_D < \alpha_A$) і в точці В теоретично дорівнює 0. Практично зуб сточується на кут $\Theta < \omega$, тому в точці В кут α не дорівнює 0 і має деяке мінімальне значення; цю величину можна задати і по ній знайти центральний кут зуба ω .

Якщо задній кут найнижчої точки конхоїди С вийде занадто великим, треба змінити α на вершині зуба або зменшити висоту профілю h .

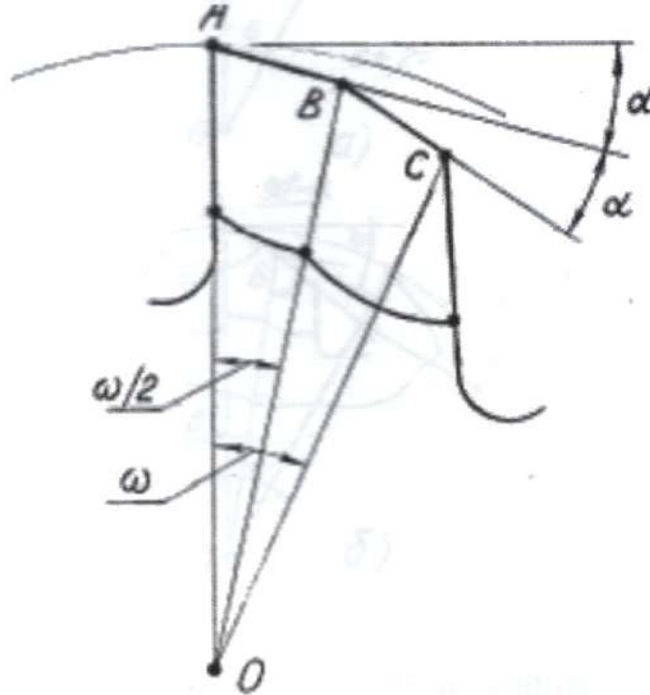


Рисунок 3.6 - Зуб фасонної фрези з подвійним затилуванням

Внаслідок цієї обставини фрези, затиловані по прямій, мають малу висоту зуба і відповідно більшу кількість зубів. Щоб уникнути великої кількості зубів у фрези та забезпечити мінімальну величину заднього кута по всій вершині зуба, застосовують подвійне затилування. В цьому випадку максимальний задній кут береться для початкової точки А і точки В, що знаходиться на середині зуба $\Theta = \omega/2$ (рис. 3.7).

Звідси

$$\operatorname{ctg} \alpha_k = \frac{b}{\cos \theta + h} \operatorname{ctg} \theta \cos \theta \quad (3.14)$$

Якщо задатися кутом $\alpha_{\text{зк}}$, можна визначити допустиму висоту профілю h .

Зазвичай $h = (0.2/0.3) R$.

Для подвійного затилування формула аналогічна (рис. 3.7, б):

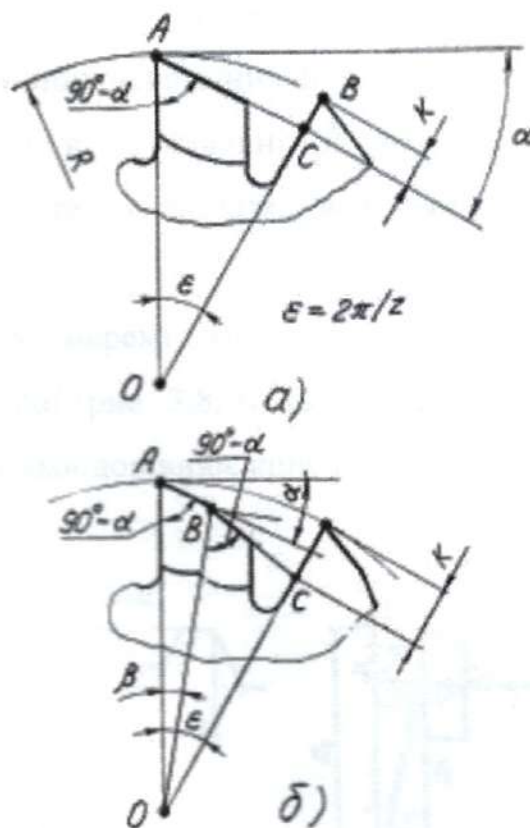


Рисунок 3.7 - Розмір затилування: а - одинарне; б – подвійне

В результаті перетворень і розв'язків рівнянь отримаємо:

$$K = R \left[1 - \frac{\cos^2 \alpha}{\cos(\epsilon - \alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)} \right] \quad (3.15)$$

Аналіз розглянутих вище кривих затилування показує, що задні кути не залишаються постійними для усіх точок профілю, а міняються залежно від віддаленості до центра фрези; окрім цього ці кути змінюються і при переточуваннях фрези. Логарифмічна спіраль, хоча і забезпечує постійність заднього кута по верхній частині зуба, на інших ділянках профілю дає змінний задній кут і не має переваги в порівнянні із спіраллю Архімеда.

Непостійність заднього кута у верхній частині зуба, затилованого по спіралі Архімеда, на роботу фрези практично ніякого впливу не робить. Окрім цього, задні кути в різних точках профілю (на конхоїді) у Архімедівській спіралі змінюються більше рівномірно, ніж у логарифмічній спіралі.

При затилуванні збірних черв'ячних фрез більш доцільним є застосування способу «по колу», що в порівнянні зі звичайним способом є більш продуктивним процесом, та не вимагає для свого здійснення спеціальних потиличних верстатів.

В цьому випадку окремі гребінки збірної фрези (рис. 3.8, а) встановлюються в пристрої (рис. 3.8, б) та їх задні поверхні обробляються по гвинтовій поверхні, крок якої дорівнює кроку різьби вихідного черв'яка.

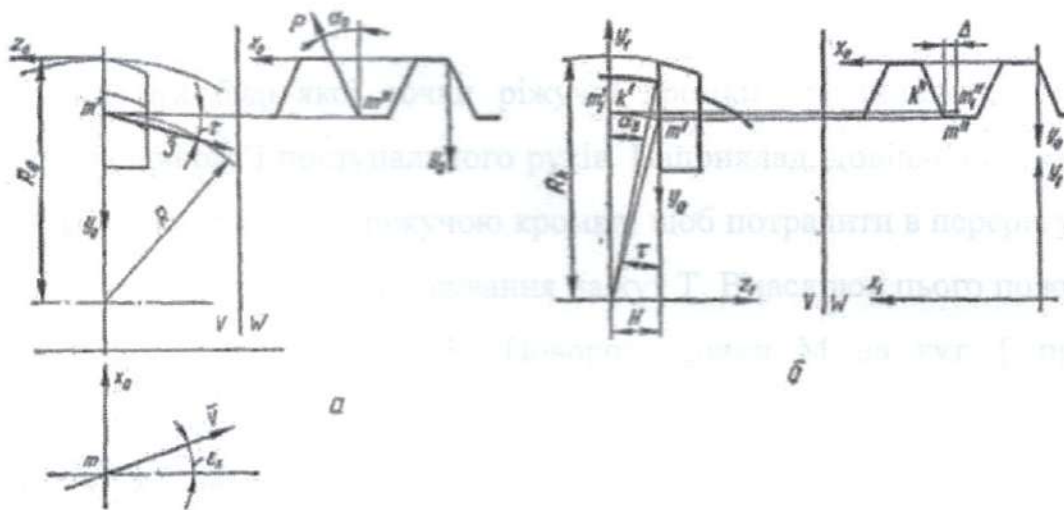


Рисунок 3.8 - Схема затилування черв'ячних фрез «по колу»

Пристосування нагадує корпус фрези зі зміщеними для встановлення гребінок пазами (рис. 3.8, а).

Величина зміщення:

$$H = R_k * \sin \alpha_v \quad (3.16)$$

де α_v - задній кут на вершині зуба фрези при його вимірюванні у торцевому перерізі.

Зазвичай радіус пристосування R_k дорівнює R_e .

Щоб обробити в пристрої гвинтову задню поверхню зубів, необхідно знати її профіль, тобто знайти лінію перетину задньої поверхні з площиною, що проходить через вісь пристосування.

Розглянемо черв'ячну збірну фрезу із плоскою передньою поверхнею, у якій передній кут $\gamma=0$. Вважатимемо, що в системі x_0y_0 задані координати точок \bar{M} ріжучої кромки. Виберемо систему координат $x_1y_1z_1$, пов'язану з пристроєм, прийнявши за вісь x_1 , вісь пристосування. У площині $z_1 = H$, відповідної передньої площини зубів, зображуємо в системі x_0y_0 задану ріжучу кромку. Якщо змусити ріжучу кромку здійснювати гвинтовий рух, вісь якого співпадатиме з віссю пристосування з параметром p , рівним параметру гвинтової поверхні вихідного черв'яка фрези, вона опише гвинтову задню поверхню. Лінію перетину цієї поверхні з осьовою площиною x_1y_1 і будемо її визначати.

Гвинтовий рух будь-якої точки ріжучої кромки представлимо як сукупність обертального і поступального рухів. Наприклад, довільна точка M в системі x_0y_0 (її проєкції t' і t'') ріжучою кромки, щоб потрапити в переріз y_1x_1 , має повернутися навколо осі пристосування на кут τ . Внаслідок цього повороту точка M займе положення точки K . Повороту точки M на кут τ при її гвинтовому руху буде відповідати поступове переміщення вздовж осі гвинтового руху x_1 на величину $\Delta = p * \tau$. В результаті цього поступального переміщення точка M ріжучої кромки положення, що відповідає точці K перейде в положення, позначене точкою M_1 . Точка M_1 і буде точкою профілю задньої поверхні зуба фрези. Координати точки M_1 у системі x_1y_1 дорівнюватимуть:

$$\begin{aligned} z_1 &= 0, \\ x_1 &= x_0 - p * \tau \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$y_1 = \frac{Rk \sin \alpha B}{\sin \tau} \quad (3.18)$$

де τ - кут повороту довільної точки M від ріжучої кромки до перерізу xy визначається з виразу:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{Rk \sin \alpha_B}{rk \cos \alpha_B - y_0} \quad (3.19)$$

Аналогічно для визначення точки M знаходяться координати інших точок, сукупність яких і буде профілем задньої поверхні зуба черв'ячної фрези, затилуваної по колу.

Визначимо при затилуванні черв'ячних фрез по колу величини статичних кутів α_N при їх вимірі в нормальному перерізі до ріжучої кромки. За статичну поверхню різання приймемо поверхню вихідного черв'яка. Тоді вектор статичної швидкості різання V у системі $x_0y_0z_0$ може бути записаний таким чином:

$$\bar{V} = i \operatorname{tg} \epsilon x - \bar{k} \quad (3.20)$$

де ϵx - кут підйому різьбб черв'яка в досліджуваній точці ріжучої кромки.

Вектор P , що йде по ріжучій кромці, буде:

$$\bar{p} = i \operatorname{tg} \alpha_0 - \bar{j} \quad (3.21)$$

Вектор $\bar{3}$, що стосується задньої поверхні в досліджуваній точці кромки і розташований у перерізі, перпендикулярному осі фрези, буде дорівнювати:

$$\bar{3} = \bar{j} \operatorname{tg} \tau - \bar{k} \quad (3.22)$$

Тоді вектор N_3 нормалі до задньої поверхні в досліджуваній точці може бути визначений за співвідношенням:

$$\bar{N} = [\bar{p} * \bar{3}] = \begin{bmatrix} i & j & k \\ \operatorname{tg} \alpha_0 - 1 & 0 & 0 \\ 0 & \operatorname{tg} \tau - 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Далі отримуємо:

$$\bar{N}_{cm} = \bar{V} * \bar{p} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ \operatorname{tg} \epsilon x & 0 & 0 \\ \operatorname{tg} \alpha_0 - 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Звідси:

$$\bar{N}_{cm} = -\bar{i} - \bar{j}tg\alpha_0 - \bar{k}tg\epsilon \quad (3.25)$$

За визначенням кут між векторами N_3 та N_{CT} буде статичним заднім кутом α_N при його вимірюванні у нормальному до ріжучої кромки перерізі. Його величина може бути визначена за формулою:

$$tg\alpha_N = \frac{|N_3 * \bar{N}_{cm}|}{N_3 * \bar{N}_{cm}} \quad (3.26)$$

Підставляючи замість N_3 та N_{CT} їх координати, після перетворень отримаємо:

$$tg\alpha_N = \frac{tg\tau \sin\alpha_0 - tg\epsilon \cos\alpha_0}{1 + tg\epsilon \sin\alpha_0 \cos\alpha_0 tg\tau} \quad (3.27)$$

Застосування збірних фрез, затіланих по колу, дозволяє приймати збільшені задні кути на вершині зуба до $15 - 18^\circ$ [15]. Це призводить до відповідного збільшення задніх кутів α_N та на бічних кромках, що сприятливо відбивається на працездатності фрез. Крім того, ці фрези мають збільшену кількість переточок.

Підведемо підсумки аналізу.

Збірні фрези, що затіловані по колу, знайшли застосування в машинобудуванні при обробці деталей з фасонними профілями і, зокрема, зубчастих коліс та шліцевих валів. У порівнянні з монолітними затіланими фрезами вони мають ряд переваг:

- відсутність технологічних обмежень для отримання оптимальних за стійкістю задніх кутів, що підвищує стійкість фрез;
- збільшення кількості перетікань фрез, оскільки профіль зубів збірних фрез виходить шліфувальним по всій його довжині;
- суттєва економія дорогої швидкорізальної сталі, оскільки вона використовується тільки для рейки;

- рейки збірних фрез краще проковуються і швидше прогриваються при загартуванні, ніж монолітні фрези, що перешкоджає зростанню зерна, обезуглерожування і підвищує їх зносостійкість;
- немає перешкод для виготовлення збірних зуборізних фрез великих модулів, тоді як зуборізні фрези великих модулів монолітної конструкції виготовити не можна через неможливість отримання якісної заготовки швидкорізальної сталі великих розмірів.

Однак збірні фрези більш трудомісткі у виготовленні, ніж монолітні, так як для зменшення похибок зборки потрібно більш точне виконання розмірів і геометричної форми поверхонь базування рейок і корпусу фрези.

Крім похибок складання, у збірних затилованих фрез, як і у монолітних затилованих зі шліфованим профілем, через перетікання зуба виникають похибки, які необхідно враховувати, особливо при обробці точних профілів.

3.2 Розрахунок зміни заднього кута при переточці

Важливою відмінністю в експлуатації фрез з поворотними ножами є змінність величини головного заднього кута α при переточках.

Нижче наведений спрощений розрахунок затилювання по колу.

(3.29)

на рисунку 3.9):

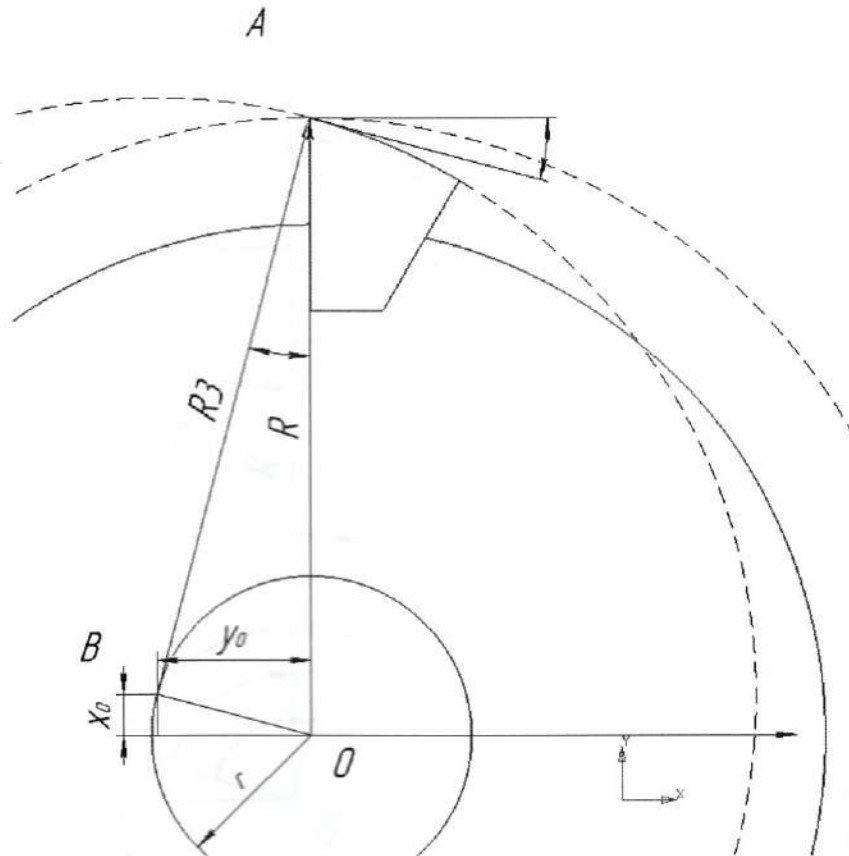


Рисунок 3.9 – Схема розрахунку затилувального кола
Радіус затилованої поверхні визначається за формулою:

$$R_3 = R \cos \alpha \quad (3.28)$$

де R_3 – радіус затилованої поверхні,

R – радіус фрези

Радіус допоміжного кола:

$$r_0 = R \sin \alpha \quad (3.29)$$

де r_0 – радіус допоміжного кола

Координати центра затилувального кола (точка B на рисунку 3.9):

$$x_0 = r_0 \cos \alpha \quad (3.30)$$

$$y_0 = r_0 \sin \alpha \quad (3.31)$$

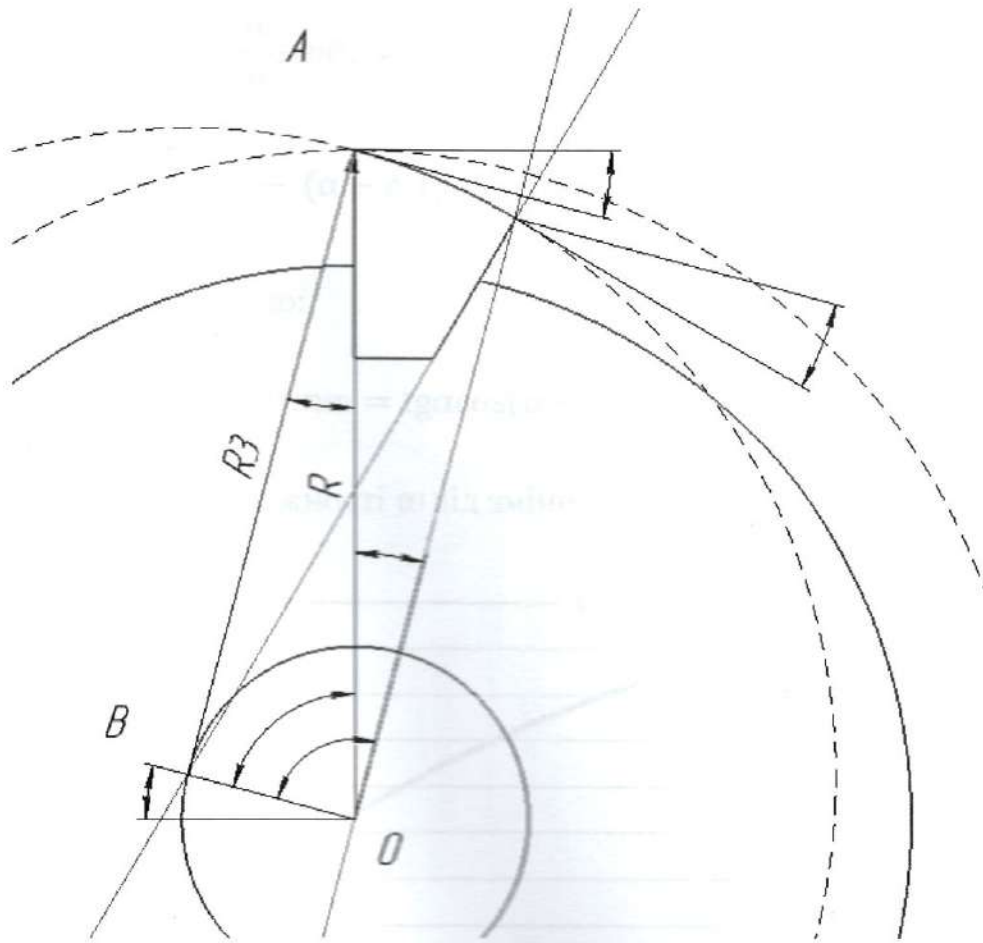


Рисунок 3.10 – Схема розрахунку зміни головного заднього кута

Знаходимо кут β_i :

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} - \alpha \quad (3.30)$$

$$\beta_i = \varepsilon + \delta_i \quad (3.31)$$

Знаходимо рівність:

$$\frac{R_3}{\sin \beta_i} = \frac{r_0}{\sin \alpha_i} \quad (3.32)$$

З формули 3.32:

$$\sin \alpha_i = \frac{r_0}{R_3} \sin \beta_i \quad (3.33)$$

Проводимо розрахунки:

$$\frac{R \sin \alpha}{R \cos \alpha} \sin \beta_i = \operatorname{tg} \alpha \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha + \delta_i \right) \quad (3.34)$$

$$\operatorname{tg} \alpha \sin \left(\frac{\pi}{2} - (\alpha - \delta_i) \right) = \operatorname{tg} \alpha \cos (\alpha - \delta_i) \quad (3.35)$$

Отже, отримуємо, що:

$$\sin \alpha_i = \operatorname{tg} \alpha \cos (\alpha - \delta_i) \quad (3.36)$$

Зробимо графік залежності α_i від зміни δ_i :

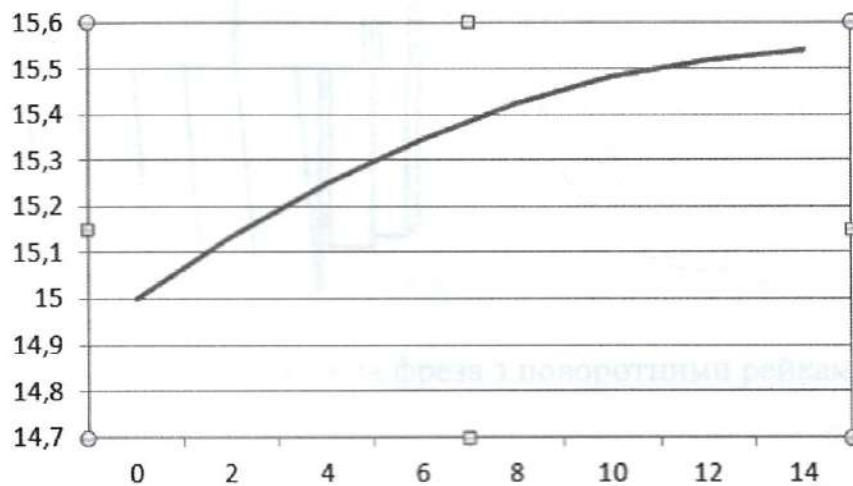


Рисунок 3.11 – залежність α_i від δ_i

Згідно графіку α_i лише зростає, що позитивно впливає на стійкість інструмента.

Висновки

Оглянувши різні види затилування черв'ячних фрез можемо сказати, що затилування по колу є одним з кращих способів затилування. А його зростаючий задній кут позитивно впливає на стійкість інструмента.

4 МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ ЗБІРНОЇ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ З ПОВОРОТНИМИ НОЖАМИ

На рис. 4.1 показана збірна затилована по колу черв'ячна фреза конструкції ВНДІ.

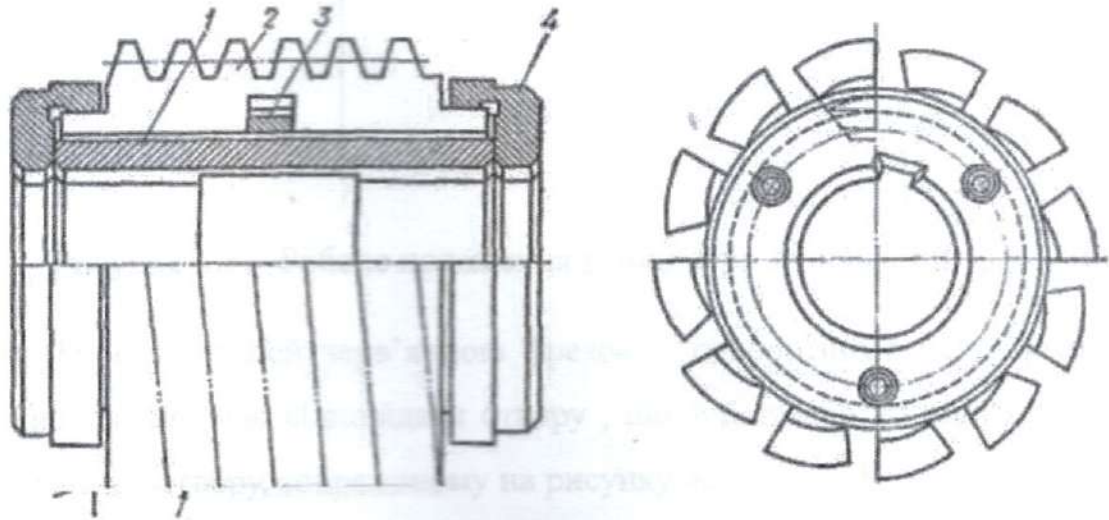


Рисунок 4.1 - Збірна черв'ячна фреза з поворотними рейками ВНДІ

Вона складається з корпусу 1, комплекту зубчастих гребінок 2, двох центруючих кільцевих шпонок 3 і кріпильних кілець 4. Рейки мають кутову форму та виступи на торцях, на які з натягом 0,06-0,08 мм одягаються кріпильні кільця. Пази в корпусі виконані так, що він при повороті рейок на 180° від їхнього робочого положення є технологічним пристосуванням, в якому остаточно шліфуються гребінки за профілем на різьбо- або черв'ячно-шліфувальних верстатах. Це значно спрощує цю операцію. Така конструкція забезпечує в 2 рази більшу можливу кількість переточок у порівнянні зі стандартними фрезами, має збільшений до 18° задній кут на вершині зубів.

Отже дану конструкцію і оберемо за аналог для розробки моделі пазу збірної черв'ячної фрези з поворотними ножами.

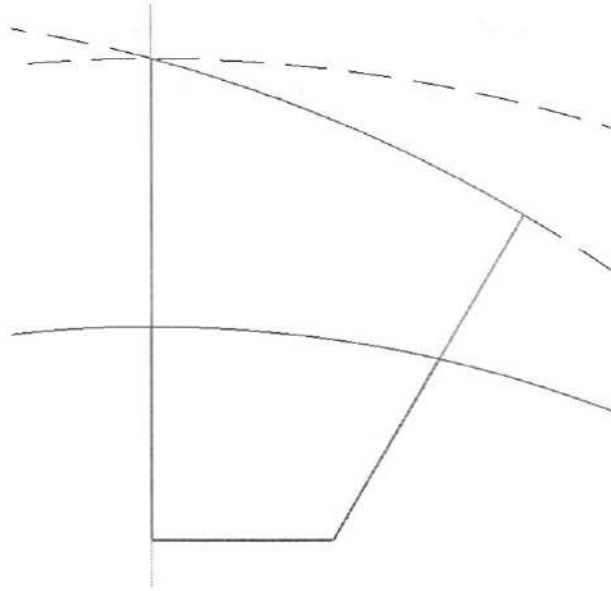


Рисунок 4.2 – Робоче положення рейки черв'ячної фрези

При обробці деталей черв'ячною фрезою з поворотними рейками паз в робочому положенні має відповідати отвору , що зображено на рисунку 4.2, а при затилуванні – отвору, зображеному на рисунку 4.3.

Пропонується об'єднати ці отвори і змодельовати конструктивний паз для встановлення рейки в робочому положенні та в положенні для обробки.

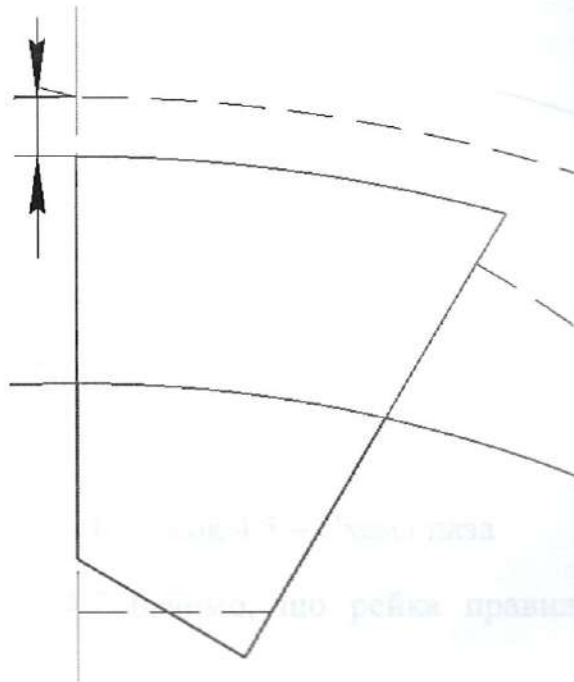


Рисунок 4.3 – Положення рейки черв'ячної фрези при затилуванні

При встановленні рейки діаметр фрези зменшується, як показано на рисунку 4.3, але через те, що зменшення відбувається на 2-3% - суттєвих змін в точності затилування не відбувається.

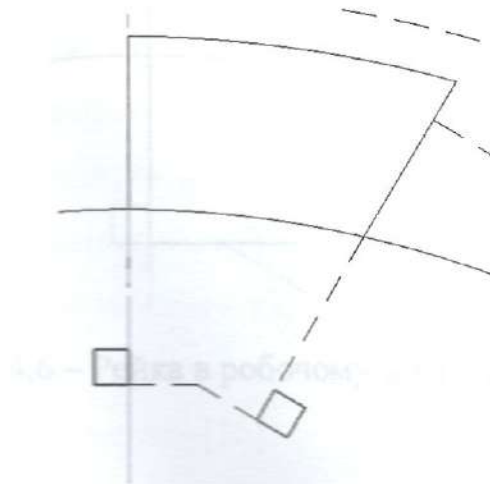


Рисунок 4.4 – Конструкційні канавки

Для нівелювання впливу радіусу інструмента пропонується внести в конструкцію паза канавки, як показано на рисунку 4.4

Отримуємо схему паза, показану на рисунку 4.5.

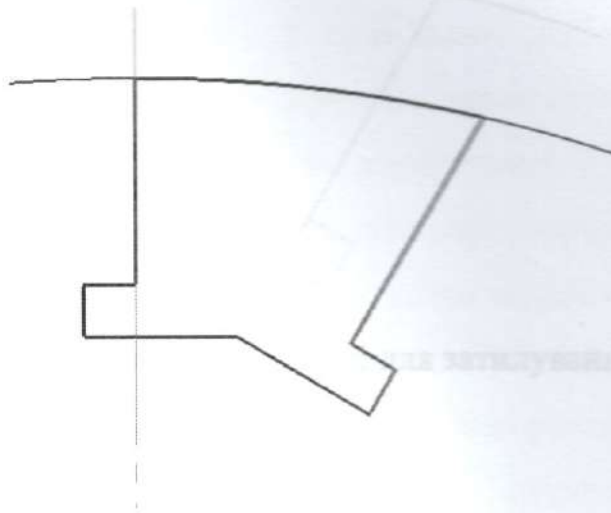
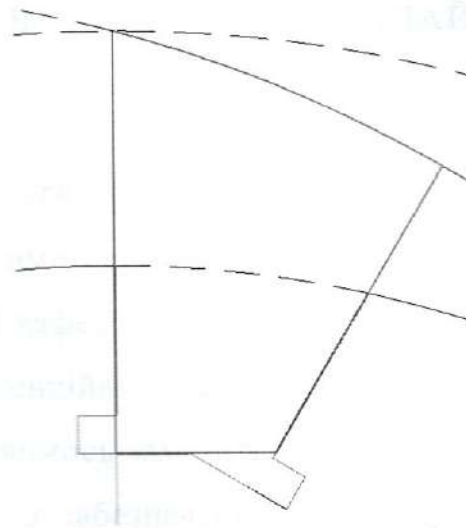
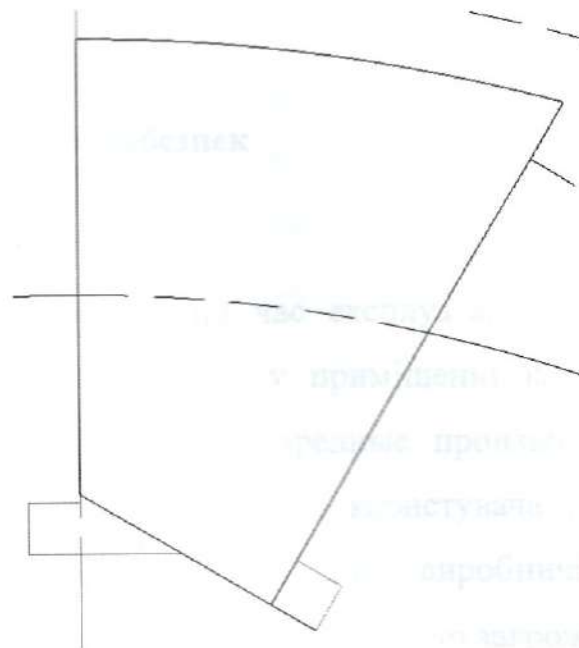


Рисунок 4.5 – Схема паза

На рисунках 4.6 та 4.7 бачимо, що рейка правильно стоїть в обох положеннях.



4.6 – Рейка в робочому положенні



4.7 – Рейка в положенні для затилювання робочої зони

Висновок

Конструкція данного пазу є простою у використанні, а також не допускає похибки базування, тож рекомендується для використання у виробництві.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема магістерської роботи – «Аналіз конструкції збірної черв'ячної фрези з поворотними рейками», передбачає проведення розрахунків та досліджень у приміщенні кафедри, на персональних комп'ютерах (далі – ПК), тому нижче розглянемо потенційні небезпеки та заходи по їх забезпеченню в період роботи за ПК, роздивимось заходи з виробничої санітарії, гігієни праці, пожежної безпеки та заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях, у відповідності з методичними вказівками до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» [16].

5.1 Аналіз потенційних небезпек

На основі аналізу безпеки під час експлуатації існуючих приладів і обладнання та умов праці персоналу у приміщенні кафедри з ПК, згідно ГОСТ12.0.003-74* «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [17]. Працюючи з ПК на користувача у тій чи іншій мірі можуть впливати наступні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- фізичні небезпеки які можуть потенційно загрожувати здоров'ю:
 - підвищений вміст позитивних аероіонів у повітрі робочої зони;
 - зменшений вміст негативних аероіонів через використання синтетичних шімерних матеріалів може призвести до поганого самопочуття, стомлюваності;
 - підвищений рівень статичної електрики та при порушених умовах або режимів експлуатації обладнання, може привести до його замикання через тіло людини, і привести до електро травм різного ступеню важкості;
 - розладнання зорових органів, через незадовільні ергономічні характеристики моніторів або через сенсорні перегазки;

- підвищений рівень низькоенергетичного (м'якого) рентгенівського іонізуючого випромінювання; підвищені рівні ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання може призвести до роздратованості або навіть депресивних станів.

- тривале статичне напруження м'язів через вимушене тривале сидіння у одній і тій самій позі.

- Хімічні потенційні небезпеки:

- виникають через широке застосування полімерних та синтетичних матеріалів для обробки інтер'єру, при виготовленні меблів, килимових виробів, волоючих елементів систем електроживлення. Технологія виробництва ПК передбачає застосування покриттів з урахуванням лаків, фарб, пластиків. При роботі ПК нагріваються, що сприяє збільшенню концентрації повітря таких шкідливих речовин як формальдегід, фенол, поліхлоровані біфеніли, аміак, двоокис вуглецю, озон, хлористий вініл. Ці речовини здатні згубно впливати на здоров'я людей, що регулярно контактують з ними, призводячи до дистрофічних захворювань верхніх дихальних шляхів.

- Психофізіологічні потенційні небезпеки:

- зумовлені незадовільними умовами зорового сприйняття зображення, неузгодженістю параметрів інформаційних технологій з психофізіологічними можливостями людини, необхідністю постійного спостереження за інформаційними символами, швидкого аналізу інформації, що динамічно змінюється, прийняття на його основі адекватних рішень та реалізації відповідних коригувальних впливів. До основних нервово-психічних перевантажень відносяться підвищені зорові напруження; розумові та нервово-емоційні навантаження; тривала концентрація уваги; монотонність праці (одноманітність трудового процесу, повторюваність операцій, відсутність можливості перемикання уваги або зміни виду роботи);

- санітарно-гігієнічні потенційні небезпеки:

-незадовільні метеорологічні умови повітряного середовища кафедри, наприклад запиленість приміщення, можуть призвести до алергічних реакцій;

- погано освітлена робоча зона, може призвести до проблем із зором;
- підвищений рівень шуму, через роботу ПК, може призвести до перенапружень і дратівливості.

- біологічні небезпеки:

через підвищений вміст у повітрі патогенних мікроорганізмів, особливо в приміщенні з великою кількістю працюючих за недостатньої вентиляції, в період епідемій, можуть призвести до погіршення стану здоров'я.

- Потенційні небезпеки при порушенні правил пожежної безпеки:

- Виникнення короткого замикання через несправність електрообладнання, і як слідство пожежі.

- Потенційні небезпеки що пов'язані з надзвичайними ситуаціями:

- Відсутність протипожежного обладнання, або відсутність запасного виходу можуть призвести до жертв.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для виключення можливого ураження електричним струмом персоналу, організовано:

- проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [18].

- Електроживлення електрообладнання приміщення кафедри з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «Правил улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ»), електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 відповідно до вимог «ПУЕ» встановлено величину опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення

не вище 4 Ом.

Обладнання та організація робочих місць користувачів ПК забезпечують відповідність конструкцій всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності відповідно до директиви ЄС 90/270 ЄЕС [19] та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [20] та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [21]. Приміщення оснащено аптечками першої медичної допомоги. Обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження.

У кафедрі встановлені монітори, які відповідають безпечним умовам роботи для осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та / або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів;
- екрани, можуть легко та вільно повертатися і нахилитися відповідно до потреби працівника.

Режим праці організовано відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [20].

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення кафедри розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та

небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. За № 472/25249 [22], ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [39] і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [21].

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного виробничого середовища використовуємо ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [23] та ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [24].

- В проекті передбачено: устрій системи водяного опалення приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [25].

- Для теплого періоду року, передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентиляції відповідно ДСТУ Б А.3.2-12:2009 «ССБП Системи вентиляційні. Загальні вимоги» для забезпечення необхідного повітрообміну.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [26] забезпечена оптимальна освітленість робочої зони. ПК встановлені ближче до вікон. Використовується система загального рівномірного освітлення. Віконні прорізи кафедри мають жалюзі.

Рівень шуму на робочих місцях організовано згідно до ДСН 3.3.6-037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [27].

Щоб знизити рівень шуму в приміщенні кафедри передбачено:

- розташовано штучні поглиначі звуку.

Під час дослідницької роботи у кафедрі з ПК значення характеристик вібрації на робочих місцях не перевищують допустимі відповідно до ДСН 3.3.6-039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» [28].

Напруженість електромагнітного поля згідно ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів» [29], ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [30] і ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [31] на відстані 0,5 м навколо робочої зони (ПК) по електричній складовій та магнітній складовій, а також величина електростатичного потенціалу не перевищують допустимих значень.

Потужність дози рентгенівського випромінювання згідно ДГН 6.6.1-65.001-98 (НРБУ-97) «Норми радіаційної безпеки України» [32], ДГН 6.6.1-65.061-2000 (НРБУ-97/Д-2000) «Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення» [33] і ОСПУ-2005 «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» [34] на відстані 5 см від екрану та інших поверхонь ПК не перевищує 100 мкР/год., а інтенсивність ультрафіолетового випромінювання на відстані 0,3 м від екрану не перевищує в діапазоні довжин хвиль 400-320 нм – 2 Вт/м², 320-280 нм – 0,002 Вт/м²; а в діапазоні 280-200 нм – ультрафіолетове випромінювання відсутнє відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [35].

Для забезпечення безпечної роботи з ПК у кафедрі встановлені монітори з захистом по методу замкнутого металевого екрана.

Робоче місце має обладнане підставкою для ніг шириною 300 мм, глибиною 400 мм, що регулюється за висотою в межах до 150 мм і за кутом нахилу опорної поверхні підставки до 20 град. Підставка має рифлену поверхню і бортик по передньому краю висотою 10 мм.

Конструкція робочого місця з ПК забезпечує підтримання оптимальної робочої пози.

Висота робочої поверхні робочого столу регулюється в межах 680...800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні

досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина – 800...1000 мм).

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [35] площа приміщення на одне комп'ютеризоване робоче місце становить 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 .

Покриття підлоги матове з коефіцієнтом відбиття 0,3-0,5. Поверхня підлоги рівна, неслизька, та має антистатичні властивості.

Отже, визначимо що приміщення кафедри відповідає вимогам що до розміщення комп'ютерів, визначимо, яку кількість комп'ютеризованих робочих місць можна обладнати і як їх розташувати відповідно до встановлених норм та правил з охорони праці. Якщо розміри приміщення: довжина $a = 14 \text{ м}$, ширина $b = 9 \text{ м}$, висота $h = 4 \text{ м}$.

Відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» [36] приміщення кафедри розташовано на третьому поверсі виробничого корпусу.

Згідно до НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» [58] приміщення відповідає категорії «Д» знижено-пожежо небезпечна.

Бачимо що приміщення повністю відповідає вимогам. Тепер можемо визначити кількість комп'ютерів, оскільки площа кафедри складає 126 м^2 , ми розмістимо 21 робоче місце з ПК.

Об'єм приміщення кафедри становить 504 м^3 , а об'єм, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце - $V_{\text{р.м.}} = 25 \text{ м}^3$. Отже нормативу задовольняє.

Планування та розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні виконано із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщені на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;

- відстань між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць не менше 1 м.

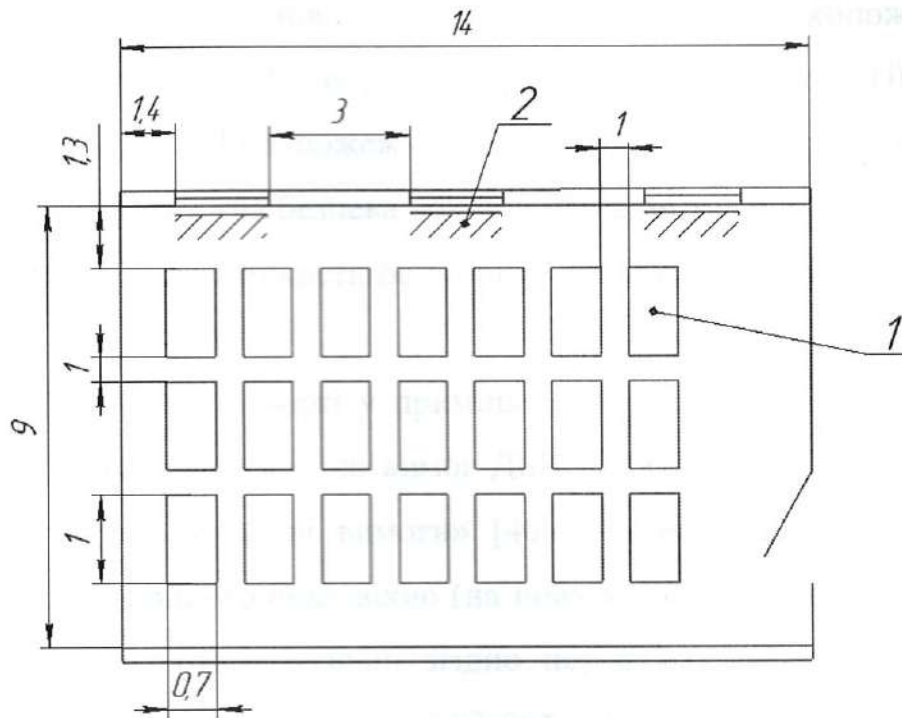


Рисунок 5.1 - План аудиторії з комп'ютеризованими робочими місцями: 1 - комп'ютеризоване робоче місце з ВДТ; 2 - сонцезахисні жалюзі.

5.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

В приміщенні кафедри є тверді горючі речовини і матеріали: оргтехніка, меблі, підлога, стіни, віконні та дверні рами, папір.

Згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [37] у приміщенні з ПК можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [38] та класу Е

(горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В); аудиторія за вибухопожежною і пожежною безпекою відноситься до приміщень категорії В, тому що у даному приміщенні містяться матеріали, здатні при взаємодії з киснем повітря тільки горіти.

Та відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» [39], оскільки аудиторія обладнана ПК то воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги» [40] воно має II ступінь вогнестійкості, бо в приміщенні є тверді горючі речовини і матеріали.

У разі виникнення пожежі у приміщенні кафедри обладнаному ПК для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [40] передбачені виходи, по обидві сторони аудиторії, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Двері відкриваються назовні згідно нормативу, висота виходу 2,2, а ширина 1,2 м. Згідно п. 2.29 СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» [40], відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [41], в приміщенні обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й оповіщення сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Обладнання, силові та освітленні мережі аудиторії обладнаної ПК відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПА ОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [42], та мають ступінь захисту ізоляції обладнання IP44 яка відповідає класу пожежанебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні кафедри обладнаному ПК передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Оскільки приміщення що обладнане ПК з ВДТ має площу 126 м², тому згідно вимогам розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників»[39], «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників»[39], зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники у кількості 7 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Призначений для гасіння невеликих початкових вогнищ загоряння різних речовин і матеріалів, а також для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В, за винятком речовин, горіння яких відбувається без доступу повітря. Вогнегасник використовується при температурі навколишнього повітря від -25°C до 50°C. На кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення кафедри з ПК, передбачено чотири переносних порошкових вогнегасника. Робота порошкового вогнегасника з збудованим газовим (газогенеруючим) джерелом тиску заснована на витісненні вогнегасного складу під дією надмірного тиску, що створюється робочим газом (вуглекислий газ, азот).

Рекомендуються для гасіння електроустановок з напругою до 1000В. Порошковими вогнегасниками рекомендується обладнати легкові та вантажні автомобілі, сільськогосподарську техніку, протипожежні щити на хімічних об'єктах, в гаражах, майстернях, офісах, готелях і квартирах. Обладає компактними розмірами і може бути зручно розміщений у будь-якому місці приміщення, також його можна прикріпити на стіну за допомогою додаткового кріплення, яке Ви можете додатково придбати в нашій компанії. Вимагає перезарядки з періодичністю не менше одного разу на два роки. Порошкові

вогнегасники, які встановлені на дорожньо-транспортних засобах або які зазнали під час експлуатації дію несприятливих кліматичних і (або) механічних факторів, повинні перезаряджатися не менше одного разу на рік. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [43] створені здорові і безпечні умови праці. А також передбачені для приміщення кафедри з ПК заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечують безпечні та комфортні умови праці персоналу.

5.4.2 Порядок планування, організації, проведення і забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення

Проведення евакуації здійснюється відповідно до статті 32 Кодексу Цивільного захисту в Україні [44].

Планування, організація та проведення евакуації населення безпосередньо покладаються на евакуаційні органи, постійно діючі органи управління, спеціально уповноважені на вирішення завдань у галузі цивільної оборони, захисту населення та територій від НС.

Екстрена (невідкладна) евакуація населення із зон НС здійснюється так:

- оповіщення, збирання, облік та посадка населення на транспорт за місцем перебування (за місцем проживання або роботи);
- розподіл населення за транспортними засобами, формування колон та супровід їх за маршрутами евакуації;
- здійснення контролю за перебігом евакуації та інформування вищих органів;

- Організація та підтримання громадського порядку в зоні їх відповідальності.

На зовнішньому кордоні зони НС розміщуються ППЕ. ППЕ розташовані поблизу великих міських магістралей (проспектів).

До складу ППЕ може входити:

- Ланка зв'язку;
- Пост регулювання;
- Відділення забезпечення руху;
- Медичний пост.

ППЕ повинні забезпечувати санітарну обробку та відправлення населення до місць розміщення у безпечних районах. При необхідності на ППЕ проводиться обмін або спеціальна обробка забрудненого (зараженого) одягу та взуття. Також на ППЕ здійснюється пересадка населення з транспорту, який працював у зоні НС, на "чисті" транспортні засоби, які здійснюватимуть перевезення на незабрудненій (незараженій) території.

З метою забезпечення організованості та порядку серед населення, що евакуюється, в умовах проведення випереджувальної (завчасної) евакуації призначаються:

- під час перевезення автомобільним транспортом – старші автомобільних колон;
- з організацією руху пішим порядком – начальники маршрутів евакуації.

Для організації руху піших колон рішеннями евакуаційних комісій міста з-поміж керівників структурних підрозділів, з-поміж своїх працівників призначаються начальники маршрутів евакуації.

При введенні на території міста режиму функціонування міської ланки регіональної підсистеми єдиної державної системи попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій "Підвищена готовність" або "Надзвичайна ситуація", з

метою успішного проведення евакуації населення керівники всіх рівнів, комісії, постійно діючі органи управління організують в т. ч. заздалегідь, до виникнення НС) комплекс наступних заходів:

- обмеження доступу людей і транспортних засобів на територію, де існує загроза виникнення НС або виникла НС;
- визначення порядку розбронювання резервів матеріальних ресурсів, що у зоні НС, крім державного матеріального резерва;
- визначення порядку використання транспортних засобів, засобів зв'язку та оповіщення, а також іншого майна;
- призупинення діяльності організації, що опинилася в зоні НС, якщо є загроза безпеці життєдіяльності працівників цієї організації та інших громадян, які перебувають на її території;
- здійснення заходів, зумовлених можливим розвитком НС, які не обмежують права і свободи людини та громадянина та спрямовані на захист населення та територій від НС, створення необхідних умов для попередження та ліквідації.

Планування евакуації населення

Планування евакуації здійснюють комісії за участю постійно діючих органів управління, а також об'єктів економіки.

Плани евакуації оформляються у вигляді розділів планів дій щодо запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій у мирний час.

Плануванню евакуації передують вивчення евакуаційними органами, постійно діючими органами управління керівних та нормативних документів, директивних вказівок, збирання та підготовка необхідних вихідних даних, вибір районів розміщення населення, що евакуюється.

У текстовій частині розроблюваних планів евакуації міста та об'єктів, розташованих у зонах можливих НС природного та техногенного характеру, зазначаються:

- порядок приведення евакуаційних комісій у готовність;
 - Порядок оповіщення населення про початок евакуації;
 - чисельність еваконаселення;
 - райони розміщення еваконаселення;
 - Терміни виконання евакуаційних заходів;
 - маршрути вивезення (виводу) населення;
 - порядок розгортання СЕП, їхня пропускна спроможність, закріплені за ними об'єкти економіки;
 - порядок вивезення населення транспортом із зон НС природного та техногенного характеру;
 - пункти посадки населення на транспорт, пункти висадки у безпечних районах;
 - організація забезпечення громадського порядку та регулювання дорожнього руху на маршрутах евакуації;
 - організація комплексної розвідки (інженерної, радіаційної, хімічної та біологічної);
 - організація захисту населення у місцях збору та на маршрутах евакуації;
 - порядок розміщення еваконаселення у безпечних місцях та його першочергового життєзабезпечення;
 - санітарно-протиепідемічні та лікувально-евакуаційні заходи;
 - Порядок управління евакуацією населення;
 - Організація інформування населення під час евакуації.
- До текстової частини плану відпрацьовуються додатки на картах, як схем, графіків, розрахунків:
- Розрахунок населення, що підлягає евакуації;

- розподіл підприємств, організацій та установ з СЕП, пунктів посадки та місць розміщення у безпечних районах;
- потреба та можливості транспорту, його розподіл за евакуаційними та маршрутами для вивезення населення;
- дислокація СЕП, вихідних пунктів евакуації пішим порядком, станцій (пунктів, пристаней) посадки та висадки населення;
- склад евакуаційних органів та терміни їх приведення в готовність;
- схема оповіщення керівників підприємств, установ, організацій та населення про початок евакуації;
- Організація зв'язку;
- схема розміщення евакуйованого населення у безпечних місцях, пунктах тимчасового розміщення (ПВР).

Місця розміщення евакуйованого населення наносяться на схему міста, на якій відображаються:

- прогнозовані межі зон дії факторів джерела НС, що вражають;
- маршрути евакуації населення, кількість транспорту кожному маршруті, чисельність виводиться населення, проміжні пункти евакуації;
- маршрути вивезення населення, що прибуває з евакуації, від пунктів висадки та ППЕ до місць розміщення;
- організація управління та зв'язку під час евакуації.

У текстовій частині планів евакуації об'єктів економіки, розміщених у зоні можливих НС, зазначається:

- порядок оповіщення робітників, службовців та членів їх сімей про початок евакуації та їх інструктування;
- чисельність робітників, службовців та членів їхніх сімей, що підлягають евакуації;

- маршрути вивезення евакуйованих, ППЕ, пункти посадки та висадки;
- пункти розміщення евакуйованих у безпечних місцях;
- СЕП, за яким закріплений або який розгортає об'єкт економіки, час розгортання СЕП та прибуття на нього робітників та службовців об'єкта, а також членів їхніх сімей;
- начальники піших колон, старші автомобільних колон та інші посадові особи, відповідальні за посадку та перевезення персоналу;
- організація управління та зв'язку під час евакуації.

Планування евакуаційних заходів може здійснюватися у взаємодії з органами військового командування з питань:

- виділення сил та засобів для цілей інженерного забезпечення евакуації, протирадіаційного та протихімічного захисту населення;
- організації вивезення (виведення) військовослужбовців та членів їхніх сімей із зон НС, їх розміщення та першочергового життєзабезпечення у безпечних місцях.

Місця розміщення повинні відповідати таким основним вимогам:

- Забезпечувати безпеку населення від вражаючих факторів джерела НС;
- забезпечувати необхідні умови для відпочинку та життя людей;
- відповідати санітарно-епідеміологічним вимогам.

Для короткочасного розміщення евакуйованого населення використовуються ПВР, за необхідності додатково можна використовувати службово-побутові приміщення, клуби, пансіонати, лікувально-оздоровчі заклади, туристичні бази, будинки відпочинку, санаторії (за погодженням).

Влітку можливе короткочасне розміщення людей у наметах.

ВИСНОВКИ

Для забезпечення високої продуктивності обробки зубчатих колес використовують збірні черв'ячні фрези з поворотними зубчастими рейками. Вони є найпрогресивнішим інструментом в цій сфері.

Найбільше застосовуються розглянуті фрези в автомобільній та тракторній промисловості.

На точність таких фрез впливають як їх геометричні параметри, так і параметри установки рейок у технологічних корпусах при їх шліфуванні за необхідним профілем.

У даній магістерській роботі є проведено аналіз конструкцій збірних черв'ячних фрез з поворотними рейками. Розглянуто декілька експериментів з черв'ячними фрезами на предмет дослідження впливу сил різання на міцність і стійкість інструменту. Розглянуто експеримент як режими різання та зміна геометричних на впливають стійкість інструменту (знос фрези). Експериментально доведено що збільшення задніх кутів до 18° забезпечує високу стійкість фрези.

Проведено дослідження різних методів затилування фрез. Обрано простий та ефективний метод затилування "по колу".

У програмному середовищі Компас проведено розрахунки збірної черв'ячної фрези. Графічним методом визначена форма паза в корпусі для встановлення рейки.

Визначено, що задній кут при переточках майже не змінюється, що сприятливо для стійкості.

Змодульовано робочий паз для встановлення рейки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баев А.К., Деркач Ю.А. Погрешности фасонного фрезерования, вызываемые переточкой фрезы со шлифованным профилем, и способы их устранения // Автоматизация и механизация техно-логических процессов в авиационной промышленности: Темат. сб. науч. трудов. Выпуск 1. - Харьков, 1978. - С. 44-54.
2. Гончаров А.М. Повышение точности профилирования червячных фрез с оптимальными передними углами. - Резание и инструмент. Харьков. 1990. №43. с.64-68.
3. Жиганов, В. И. Совершенствование технологической системы металлорежущих станков / В. И. Жиганов, Ю. А. Сахно, Е. Ю. Сахно. - Ульяновск: УГСХА, 2009. - 180 с. 9. Гидравлический следящий привод / под ред. В. А. Лещенко. - М.: Машиностроение, 1968. - 564 с.
4. Резание материалов. Режущий инструмент // Схиртладзе А.Г., Гречишников В.А., Чемборисов Н.А., Григорьев С.Н., Савин И.А. // Учебник 1-е изд. - Сер. 60 Бакалавр. Прикладной курс. М.Юрайт, 2016 365с.
5. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: справочник в 2 т. Т. 2/А. Д. Локтев [и др.]. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.
6. Ординарцев И.А. и др. Справочник инструментальщика/Под общей редакцией И.А. Ординарцева.-Л.: Машиностроение. 1987. -846с.
7. Кинематика червячного зубофрезерования / В.Н. Скрябин, А.П. Тимофеев, Н.Д. Феофилов, Е.С. Янов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Вып.
8. Савин, И. А. Вопросы выбора материала режущей части инструмента при проектировании обработки резанием/И. А. Савин// Современная техника и технологии. 2015. -№ -С. 67-70
9. Емельянов, Д.В., Савин, И.А., Фасхутдинов, А.И. Совершенствование процессов формирования винтовых канавок

цилиндрических и конических концевых фрез со сферическим торцем. Курск: Университетская книга. 2016г. 212с.

10. Савин И.А., Гавариев Р.В. Особенности проектирования технологической оснастки для получения отливок сплавов цветных металлов//Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2012. Т. 4. № 2. С. 41

11. Могилевец В.Д., Савин И.А. Применение лазерных технологий очистки, наплавки, термообработки ковочных штампов// Компетентность. М., 2016. № 5 (136). С. 43-55

12. Сахно, Ю. А. Гидравлика, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: учебное пособие / Ю. А. Сахно, В. И. Жиганов, В. П. Иванов, Е. Ю. Сахно. – Ульяновск: УГСХА, 2004. – 155 с.

13. Эрнст, В. Гидропривод и его промышленное применение / В. Эрнст. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 215 с.

14. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.; под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1987. – 846 с.

15. Иноземцев, Г. Г. Червячные фрезы с рациональными геометрическими и конструктивными параметрами / Г. Г. Иноземцев. – Саратов: Изд. Саратовского университета, 1961. – 224 с.

16. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у магістерських роботах студентів / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 32 с.

17. ГОСТ12.0.003-74* «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [электронный ресурс] – режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200224>.

18. Типового 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. : Держнагляд охорони праці України, 2005. – Режим доступу:
<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно-правовий акт
 охорони праці) Правила улаштування електроустановок» (ПУЕ) Наказ від
 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок
 [електронний ресурс] – режим доступу: nline.budstandart.com/ua/catalog/

19. Імплементатії Директиви Ради 90/270/ЄЕС від 29 травня 1990 року
 про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями
 (п'ята рамкова Директива в значенні частини першої статті 16 Директиви
 89/391/ЄЕС) (Офіційний вісник ЄС L 156, 21.06.1990, с. 14). Режим доступу:
<https://dsp.gov.ua/978/>

20. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними
 дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний
 ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12- 10. – К. : МОЗ України,
 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні
 правила та норми).

21. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час
 роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. –
 На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 / МЮУ 25.04.2018 р. за № 508/31960
<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18/conv>.

22. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та
 небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості
 трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. За № 472/25249 [електронний ресурс]
 – режим доступу: Про затвердження Державних саніт... | від 08.04.2014 № 248
 (rada.gov.ua)

23. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих
 приміщень» [електронний ресурс] – режим доступу: <https://zakon.isu.net.ua>

24. ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарногигиенические
 требования к воздуху рабочей зоны» та ДБН В.2.5- 67:2013 «Опалення,
 вентиляція та кондиціонування» [електронний ресурс] – режим доступу:

<https://zakon.isu.net.ua>

25. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст] : ДБН В.2.5-67:2013. – На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 149 с. – (Державні будівельні норми України)

26. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [електронний ресурс] – режим доступу: <https://zakon.isu.net.ua> Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України)

27. ГОСТ 14254-96. Ступені захисту, що забезпечуються оболонками на заміну ГОСТ 14254-80 [електронний ресурс] — режим доступу: ГОСТ 14254-96. Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (budstandart.com)

28. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. – (Державні санітарні норми)

29. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. – (Державні санітарні норми)

30. ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів» [електронний ресурс] – режим доступу ДСанПіН 3.3.6.096-2002. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів (40943) (dnaop.com)

31. ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [електронний ресурс] – режим доступу ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту

населення від впливу електромагнітних випромінювань. Скачать безплатно, без реєстрації. (dbn.co.ua)

32. ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [електронний ресурс] – режим доступу ГОСТ 12.1.045-84, скачать ГОСТ 12.1.045-84 (gostexpert.ru)

33. ДГН 6.6.1-6.5.001-98 (НРБУ-97) «Норми радіаційної безпеки України» [електронний ресурс] – режим доступу Про введення в дію Державних гігі... | від 01.12.1997 № 62 (rada.gov.ua)

34. ДГН 6.6.1-6.5.061- 2000 (НРБУ-97/Д-2000) «Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення» [електронний ресурс] – режим доступу Про введення в дію Державних гігі... | від 01.12.1997 № 62 (rada.gov.ua)

35. ОСПУ-2005 «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» [електронний ресурс] – режим доступу Про затвердження державних саніта... | від 02.02.2005 № 54 (rada.gov.ua)

36. НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» [електронний ресурс] – режим доступу НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охраны труда при эксплуатации ..., скачать безплатно - СОТ Запорозьє (sop.zp.ua)

37. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [електронний ресурс] – режим доступу 1759__1.1-36_2016_.pdf (dbn.co.ua)

38. ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [електронний ресурс] – режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v.2.5-56_2014_-_zmina_1.pdf

39. «Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [електронний ресурс] – режим доступу: Про затвердження Правил експлуата... | від 15.01.2018 № 25 (rada.gov.ua)

40. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [електронний ресурс] – режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759/

41. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст] : ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)

42. Системи протипожежного захисту [Текст] : ДБН В.2.5- 56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 191 с. – (Державні будівельні норми);

43. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [електронний ресурс] – режим доступу: Про затвердження "Правил будови ... | від 21.06.2001 № 272 (rada.gov.ua)

44. НПАОП 0.00-7.11-12 «Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [електронний ресурс] – режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/>

45. Кодекс Цивільного захисту в Україні [електронний ресурс] – режим доступу: Кодекс цивільного захисту Ук... | від 02.10.2012 № 5403-VI (rada.gov.ua)