

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Машинобудування, транспорту і зварювання

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 / Нікіта СОБЧЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник  / Антон СКОРКІН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент  / Вікторія КНЯЗЄВА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК

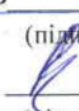
(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Олег ПОДОЛЯК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА

(підпис)

(ім'я та прізвище)


Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк

“ 12 ” 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Нікіті СОБЧЕНКУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10.2024 р.

2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи 5 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Зразки металопрокату для подальшої обробки, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Експериментальне дослідження процесу термофрикційного різання традиційної пилою. Аналіз процесу та експериментальне дослідження термофрикційного різання гарячого трубопрокату модифікованою пилою. Дослідження мікропрофілю обробленої поверхні після хонінгування з попереднім наводжуванням. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Ірина ХОТЧЕНКО			

7. Дата видачі завдання « 12 » 10 20 24 р.

Керівник  Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання  Нікіта СОБЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел		
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи		
4.	Підготовка аналітичної частини		
5.	Підготовка теоретичної частини		
6.	Розробка дослідницької частини		
7.	Розробка методичного розділу		
8.	Підготовка графічного матеріалу		
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника		
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів		
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.		
12.	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Нікіта СОБЧЕНКО
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль 
(підпис) (ім'я, прізвище)

Олег ПОДОЛЯК

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)
Введено в дію:
наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків

(назва роботи)

студента

СОБЧЕНКО Нікіта Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Скоркін Антон Олегович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 2,75,

Коефіцієнт Подібності 2: 1,74 ,

Сигнал „Тривога!": – немає; – є, кількість разів у тексті _____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 20% – оригінальна робота,

від ___% до ___% – задовільно оригінальна робота,

від ___% до ___% – умовно оригінальна робота,

більше ___% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

оригінальна,

задовільно оригінальна,

умовно оригінальна,

неоригінальна.

Висновок:

робота може бути допущена до захисту,

необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор

А

(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

27.11.24

(дата)

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 Актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі	8
2 Стан питання та завдання дослідження.	16
3. Експериментальне дослідження процесу термофрикційного різання традиційної пилою	8
4 Аналіз процесу та експериментальне дослідження термофрикційного різання гарячого трубопрокату модифікованою пилою	43
5 Модернізація пилки високошвидкісного різання з збільшеними подачами гарячого металопрокату	53
Розділ 6 Розробка дидактичного проєкту факультативного заняття на тему «вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей» для фахівців машинобудівної галузі	63
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків”

РЕФЕРАТ

Робота містить 78с., 46 рис., 28 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей.

У другому розділі виконано огляд досліджень та публікацій з підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків.

У третьому розділі викладено експериментальне дослідження процесу термофрикційного різання традиційної пилою.

У четвертому розділі виконано аналіз процесу та експериментальне дослідження термофрикційного різання гарячого трубопрокату модифікованою пилою.

У п'ятому розділі виконана модернізація пилки високошвидкісного різання з збільшеними подачами гарячого металопрокату.

Запропонована методика може бути покладена в основу інноваційних технологій під час навчання для отримання кваліфікованих фахівців машинобудівної галузі.

Ключові слова: професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, високошвидкісне різання, металопрокат, сталь, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic "Training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of the process of high-speed cutting of hot rolled metal by redistributing heat flows"

ABSTRACT

The work contains 78 pages, 46 figures, 28 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of the process of high-speed cutting of hot rolled metal by redistributing heat flows.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to improve the process of honing large-sized hydraulic and pneumatic cylinders made of low-carbon steels.

The second section reviews research and publications on increasing the efficiency of the process of high-speed cutting of hot rolled metal by redistributing heat flows.

The third section presents an experimental study of the process of thermofriction cutting with a traditional saw.

The fourth section analyzes the process and conducts an experimental study of thermofriction cutting of hot rolled pipe with a modified saw.

The fifth section modernizes a high-speed cutting saw with increased feeds of hot rolled metal.

The proposed methodology can be used as the basis for innovative technologies during training to obtain qualified specialists in the mechanical engineering industry.

Keywords: vocational training, mechanical engineering industry, specialist, high-speed cutting, metal rolling, steel, practical training methodology.

ВСТУП

Одним із актуальних завдань машинобудування є підтримка високих темпів розвитку галузі. У сучасних умовах удосконалення механічної обробки матеріалів є необхідною умовою для забезпечення необхідної якості виробів. Створення високоефективних імпортозамінних технологій та інструменту набуває особливої важливості останнім часом.

Наразі різання гарячого металопрокату дисковими пилками є невід'ємною складовою технологічного процесу на металургійних та трубопрокатних підприємствах України та за кордоном.

Простота, дешевизна та висока продуктивність процесів високошвидкісного різання дисковими пилками дозволяють забезпечувати необхідний такт випуску продукції, є основними перевагами та обумовлюють широке поширення цього методу різання гарячого металопрокату.

Найважливішими показниками ефективності процесу різання є стійкість пильного диска та якість торця металопрокату. Наявність задирок на торцях металопрокату та завальцювання отвору труби призводить до значного збільшення технологічних витрат при подальшій обробці.

Спроби вирішення проблеми застосуванням керамічних дисків у нашій країні та варіювання режимами різання за кордоном не призвели до бажаних результатів.

На сьогоднішній день не існує єдиної теорії, що описує високошвидкісне різання (100...120 м/с) гарячого металу при температурах 1100...1200°C, невідомий характер протікання процесу різання.

У роботі розглядається процес високошвидкісного різання гарячого металопрокату з метою вдосконалення технологічного процесу шляхом перерозподілу теплових потоків за рахунок зміни геометрії ріжучого зуба, що дозволяє забезпечити якість торцевих поверхонь, збільшення стійкості пильного диска та коефіцієнта використання металу, особливо в умовах сучасного автоматизованого виробництва.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Використання інформаційних технологій, поява нових форм навчання, пов'язаних з комп'ютерними засобами вимагає від системи освіти підготовки фахівців, здатних реалізовувати не тільки багаж знань і умінь, отриманий у процесі навчання, а й оперативно опановувати нові технології вже в процесі професійної діяльності. Отже, природним імперативом виховання членів нового інформаційного суспільства є установка на оволодіння методологією інженерно-наукового пошуку та самостійного здобуття нового знання.

В даний час актуальною стає підготовка висококваліфікованих фахівців, які мають комплекс компетенцій, що дозволяють здійснювати професійну діяльність з використанням інформаційних технологій. Особливо гостро ця проблема стоїть під час підготовки фахівців машинобудівного профілю, оскільки сучасні виробничі структури переведено на комп'ютерне обслуговування. Впровадження систем автоматизованого проектування у наукове, виробниче та освітнє середовища корінним чином змінює процес проектування. На кафедрі інженерної графіки Самарського державного технічного університету протягом кількох років проводиться робота з автоматизації процесу навчання. Зокрема, під час навчання студентів машинобудівного профілю комп'ютерна графіка застосовується вітчизняна система тривимірного твердотілого моделювання «КОМПАС-3D». Ця робота передувала вивченням та узагальненням досвіду вітчизняної та зарубіжної вищої технічної школи з використання різних систем автоматизованого проектування для підготовки фахівців-машинобудівників, а також дослідженнями зі створення технології формування інженерно-графічних компетенцій у комп'ютеризованому навчальному середовищі.

Існуюча система підготовки інженерів-машинобудівників не вирішує повною мірою проблеми їхньої готовності до професійної діяльності в умовах

сучасного виробництва, недостатньо враховуються індивідуально-освітні запити особистості, потреби в розвитку творчих здібностей, відсутня орієнтація формування у студентів інженерно-графічних компетенцій. Дослідження показали, що виникла гостра необхідність у створення технології формування інженерно-графічних компетенцій інженерів машинобудівників у комп'ютеризованому навчальному середовищі.

Було висунуто гіпотезу, згідно з якою навчальний процес формування інженернографічних компетенцій буде ефективним та стійким при виконанні наступних умов:

- визначення комплексу професійних компетенцій, що зумовлюють кваліфікаційну спрямованість інженера-машинобудівника;
- створення компетентнісної моделі підготовки інженера-машинобудівника у комп'ютеризованому середовищі;
- розробка та реалізація компетентнісної технології навчання студентів машинобудівного профілю з використанням комп'ютерних засобів на основі дослідницького та діяльнісно-творчого підходів;
- управління професійно орієнтованою навчальною діяльністю студентів у рамках послідовно та інтенсивно реалізованого циклу занять (лекція; лабораторна робота; самостійна позааудиторна робота; консультації; тестування; корекція; діагностика), взаємопов'язаних з тематики, часу, процесу;
- моделювання професійно значущих ситуацій за допомогою інтенсивних та нових інформаційних технологій, активної взаємодії суб'єктів навчання та їх особистого участі у цілепокладанні, виборі змісту, методів та засобів навчання, контролю за процесом та результатом компетентнісно-орієнтованої навчальної діяльності.

Сформульована мета та гіпотеза дозволили визначити завдання дослідження, спрямовані на уточнення визначення «інженерно-графічна компетенція», визначення комплексу інженерно-графічних компетенцій, проведення аналітичного огляду психолого-педагогічної та науково-методичної

літератури з проблеми; розробку компетентнісної моделі підготовки спеціаліста та технології навчання студентів у комп'ютеризованому середовищі.

На основі проведеного аналізу літератури виявлено неоднозначні підходи до визначення поняття «компетенція». У цій роботі ми розумітимемо під компетенцією можливість встановлювати зв'язок між знанням і ситуацією чи здатність знайти, виявити спосіб (знання чи дію), придатний на вирішення конкретної проблеми. Щодо підготовці фахівців машинобудівного профілю було уточнено такі компетенції, як ключові, соціальна, комунікативна, соціально-інформаційна, когнітивна та спеціальна. При цьому ключові (міжкультурні та міжгалузеві знання, вміння та здібності) компетенції були поєднані з напрямом підготовки фахівців.

У процесі дослідження було визначено, що для підготовки спеціалістів машинобудівного профілю найбільш важливим є наступні інженерно-графічні компетенції.

Когнітивні:

- знання теоретичних положень курсу нарисної геометрії;
- знання нормативних документів (державних стандартів, ЄСКД), необхідних для
 - виконання та читання технічних креслень, складання конструкторської та технічної документації виробництва;
 - знання принципів роботи з інтерфейсом САПР;
 - знання основ 3D-моделювання;
 - знання основ 2D-проектування;
 - знання правил постановки комп'ютерного експерименту

Операційні:

- вміння проводити аналіз конфігурації деталей та складання та планування способів їх створення;

- вміння моделювати та редагувати віртуальні образи різних машинобудівних виробів;
- вміння створювати та оформляти асоціативні креслення об'єктів, що моделюються;
- вміння використовувати засоби забезпечення «гнучкості» та «варіативності» проєктованих
- моделей;
- вміння використовувати відомості та дані, що зберігаються в електронних бібліотеках та довідкових системах;
- вміння організовувати комп'ютерний експеримент у групі та самостійно.

Креативні:

- аналітичні можливості;
- здатність логічного мислення;
- здатність площинного мислення;
- здатність просторового мислення;
- творчі здібності;
- здатність системного мислення

Набір когнітивних компетенцій визначено виходячи з того, що сьогодні студенти не повинні тільки вміти читати та виконувати креслення, схеми та текстові конструкторські документи, а й Розбиратися в тому, які технічні та технологічні фактори впливають на деталі машин і механізмів, що конструюються. Адже саме від цих факторів залежать формо- і розміроутворення тих об'єктів, які слід створювати у вигляді комп'ютерного моделювання, але в виробництві належить задокументувати задля її втілення в матеріалі.

Знайомлячи студентів з інформаційними технологіями в галузі проєктно-конструкторської роботи необхідно вчити їх не лише правилам читання та виконання креслень відповідно зі стандартами, а й показати методологію створення конструкторської документації, пов'язаної із спеціальними областями

знань.

Операційні компетенції пов'язані безпосередньо з роботою над ескізами, моделями та кресленнями, конструкторською та технологічною документацією, що створюються в процесі моделювання геометричних образів машинобудівних виробів. Надзвичайно важливим у підготовці фахівців є формування у студентів креативних компетенцій, які передбачають неординарний, творчий підхід до інженернографічної діяльності. Особливу роль при формуванні креативних компетенцій відіграють дослідно-пошуковий та діяльнісно-творчий підходи, які дозволяють у повній мірою вирішити завдання створення умов для творчої діяльності на заняттях з комп'ютерної графіки.

На основі виявленого комплексу інженерно-графічних компетенцій потрібно було визначити зміст та послідовність реалізації відповідної технології навчання, яка має базуватися на впровадженні комп'ютерних засобів навчання. Зміст освітнього процесу визначається цілями дослідження та використанням нетрадиційного підходу до послідовності викладу навчального матеріалу, що передбачає початкове вивчення можливостей об'ємного моделювання та створення асоціативних креслень на базі розроблених моделей. Це з тим, що сучасні комп'ютерні технології дозволяють розпочинати проектно-конструкторську діяльність із створення об'ємних геометричних образів. Перехід до 3D-моделювання на початкових етапах навчання дає можливість студентам застосувати та перевірити теоретичні знання про властивості графічних моделей простору, отримані в курсі накреслювальної геометрії та інженерної графіки, на власному досвіді процесі лабораторних занять за комп'ютерною графікою. Ця діяльність сприяє подальшому інтенсивному розвитку просторового уявлення та уяви студентів, їх конструктивно-геометричному мисленню, здібностей до аналізу та синтезу просторових форм та відносин, тобто тих якостей, які є невід'ємною частиною інженерно-графічних компетенцій, що формуються.

Послідовність реалізації технології навчання пов'язана зі створенням навчально-методичного комплексу за курсом комп'ютерної графіки, що включає

в себе програмні розробки, лекційний курс, методичні вказівки до лабораторних занять та завдань для самостійної роботи, творчі завдання та контролюючі тести.

Базою наукового дослідження став факультет машинобудування та автомобільного транспорту Самарського державного технічного університету, де за комп'ютерною графікою читається лекційний курс та проводяться лабораторні заняття. Експеримент проходив протягом п'яти років (2001-2006 навчальні роки).

У процесі підготовки фахівців машинобудівного профілю використовували різні засоби навчання, спрямовані на формування системного уявлення про професійну діяльність інженера. Наприклад, на вступному занятті за комп'ютерною графікою студентам демонструється мультимедійний фільм про основні етапи роботи інженера-конструктора в автоматизованій системі «КОМПАС-3D». Наочний показ конкретних операцій та дій щодо створення ескізів, деталей, документів знімає психологічний бар'єр,

що виникає у деяких студентів на початкових етапах освоєння комп'ютерних технологій, дозволяє переконатися в доступності інтерфейсу, у зручності діалогового режиму системи, що демонструється. Яскравість та ефектність фільму викликає живий інтерес, підвищує мотивацію до вивчення цієї програми. Завдяки сценарію фільму, що дозволяє простежити послідовність створення машинобудівного виробу, студенти знайомляться з перспективними технологіями сучасного проектування, якими вони мають опанувати в процесі навчання. Це надалі передбачає формування інженерно-графічних компетенцій під час роботи з комп'ютером та засобами машинної графіки.

Для формування операційних компетенцій важливим було створення циклу лабораторних занять за комп'ютерною графікою, а також розробка методичних вказівок щодо виконання проектно-конструкторських завдань з урахуванням можливостей «гнучкого» та «варіативного» моделювання. Такі завдання опосередковано дозволяють розвивати й креативні компетенції: аналітичні здібності, логічне мислення, площинна та просторова уява, творчі здібності, технологічне та технічне мислення, системність мислення та сприйняття.

Особливістю навчання на основі моделювання об'ємних форм є те, що спочатку у учнів формуються просторові образи у процесі виконання завдань на моделювання машинобудівних деталей різної конфігурації, та був з їхньої основи створюються асоціативні креслення. Виконання подібних завдань дозволяє реалізовувати навички просторової уяви, отримані в курсі накреслювальної геометрії, у конкретній діяльності з формування геометрії майбутнього виробу, а створені на базі розробленої моделі асоціативні креслення забезпечують перевірку ступеня сформованості просторового мислення. При виявленні недостатньо високої якості компетенцій, що формуються, студентам надається можливість виконати додаткові завдання на виявлення асоціативних зв'язків між об'ємним чином та їх плоско-графічними ортогональними та центральними проекціями.

Підготовка фахівця не тільки передбачає реалізацію певних навчальних дій, а й враховує очікуваний результат, відображений у моделі підготовки інженера машинобудівника. Головними складовими цих результатів є сформовані інженерно-графічні компетенції, що визначають специфіку навчання та особистісний компонент.

Модель підготовки інженера-машинобудівника побудована на основі формування представлених вище трьох інженерно-графічних компетенцій. Когнітивні компетенції у студентів виробляються під час здійснення ними структурування навчального матеріалу (навчальні посібники, допомога викладача, середовище САПР), а також у процесі навчальної діяльності (лекції, лабораторні заняття, позааудиторна самостійна робота). Операційні компетенції розвиваються у процесі виконання власних навчальних проєктів, практичної діяльності та консультацій (індивідуальна творча діяльність, обмін досвідом із однокурсниками, консультації педагога). Креативні компетенції формуються в результаті участі студентів у різноманітній науковій та дослідній діяльності (контрольні роботи, олімпіади, навчальна) науково-дослідницька діяльність, конкурсні завдання тощо). Важливим елементом моделі є здійснення контролю

за процесом формування інженерно-графічних компетенцій: самооцінка, порівняльний аналіз своєї діяльності, порівняння з роботами однокурсників, оцінка викладача. Стан та рівень сформованості компетенцій визначаються внаслідок проведення тестування (когнітивні компетенції), виконання практичних та творчих завдань (операційні компетенції), участі студентів у науковій та дослідній діяльності (креативні компетенції). Все це враховується протягом навчального року та заноситься у відповідні карти успіху студентів.

Для виявлення ефективності розробленої технології навчання фахівців машинобудівного профілю у комп'ютеризованому середовищі було проведено експериментальну роботу. Експеримент, в основі якого лежала перевірка сформованості у студентів інженерно-графічних компетенцій, проходив у два етапи.

На етапі констатуючого експерименту в групах проведено роботу з визначення рівнів когнітивних інженерно-графічних компетенцій студентів на основі запропонованих тестів, куди увійшли питання щодо правил побудови креслень, теоретичних основ накреслювальної геометрії, принципи роботи з інтерфейсом САПР та ін. Операційні компетенції визначалися під час виконання студентами практичних графічних завдань, а виявлення креативних компетенцій студентам пропонувалося виконати ряд творчих завдань. Нами було запропоновано п'ять рівнів сформованості компетенцій: репродуктивний, продуктивний, пошуково-дослідницький, науково-дослідний та креативний.

Обсяг навчального часу, що відводиться для вивчення технічних відомостей на першому курсі навчання, недостатній для того, щоб навчити студентів складати конструкторську документацію, що повністю відповідає вимогам виробництва. Для цього потрібні також знання ряду загальноінженерних та спеціальних дисциплін. Але без набуття початкових навичок комп'ютерного моделювання неможливо реалізувати підготовку студентів до подальшої практичної діяльності у галузі технічної творчості.

Обробка отриманих експериментальних даних показала, що лише 46%

студентів знають графічні програми і лише 39% уміють виконувати нескладні графічні побудови.

З творчими завданнями успішно впоралися 48% студентів. Результати першого етапу експерименту дозволили визначити рівні сформованості інженерно-графічних компетенцій та розкрити їхню характеристику.

Експериментальна робота передбачала впровадження у навчальний процес технології формування інженерно-графічних компетенцій спеціалістів машинобудівного профілю. На початковому етапі студенти знайомляться із загальноприйнятою системою знань з досліджуваного предмету, що їм пропонується освоїти. У процесі практичного освоєння у студентів формується власна система сприйняття. Аналізуючи та зіставляючи її з вихідною, студентська група створює власну модернізовану систему знань з предмета, що вивчається.

Неоціненну послугу для вправ у творчих пошуках надає можливість використання технології багатоваріантного конструювання у системах автоматизованого проектування. Існує безліч методів формування конструкторської документації у середовищі графічних систем. Один з них дозволяє швидко створити деталь потрібної геометрії та досягти результату, необхідного саме зараз, інший за допомогою спеціальних прийомів, таких як введення змінних та виразів, використання параметричних зв'язків та обмежень, дозволяє створити гнучку модель, яку легко видозмінювати для створення різноманітних деталей даного класу в дуже широких межах, звівши до мінімуму кількість додаткових операцій редагування.

У процесі навчальної діяльності зі створення параметричних моделей студентами здійснюється аналітична розумова діяльність, вони самостійно вирішують поставлене завдання чи проводять експеримент. Цей вид навчальної діяльності дає можливість опанувати вміння інтелектуального проникнення в ті процеси, які вивчаються в лабораторному практикумі, формують дослідницький інтерес та розвивають творчий підхід до науки та техніки.

Інше важливе завдання курсу комп'ютерної графіки полягає у забезпеченні співвідношення засвоюваного теоретичного матеріалу з розвитком у студентів творчого технічного мислення та просторового уявлення. Під технічним мисленням розуміється вміння використовувати комплекс політехнічних знань для з'ясування сутності технічних систем і швидкої орієнтації у всіх технічних питаннях. Розвиненим просторовим уявленням вважається здатність людини відтворювати просторові властивості об'єктів у різній графічній формі, у разі - з допомогою коштів комп'ютерної графіки. Просторове уявлення – необхідний елемент пізнання та всієї практичної діяльності майбутніх інженерів-машинобудівників. У зв'язку з цим завданням лабораторних занять стає застосування теоретичних знань на практиці, поглиблення та уточнення знань, отримуваних на лекціях та при самостійній роботі; формування інтелектуальних умінь та навичок розрахунків, планування, аналізу та узагальнень, пізнання існуючої техніки (деталей, машин, механізмів); вироблення навичок моделювання та модернізації.

Ще однією важливою складовою професійної компетенції майбутнього фахівця є його здатність донести свої ідеї до оточуючих. Вона формується у процесі освоєння інженерно-графічної граматики, тобто. правил побудови креслень та креслярсько-конструкторської документації. На лабораторних практикумах створенню асоціативних креслень деталей, складання та специфікацій приділяється особлива увага, що сприяє залученню студентів до культури машинобудівного виробництва, засвоєння правил та форм оформлення інженерних ідей та розробок.

Використання автоматизованих навчальних систем у навчальному процесі дозволяє перетворювати на візуальні об'єкти образи, які є суб'єктивними феноменами, що виникають у результаті предметно-практичної, сенсорно-перцептивної та розумової діяльності студентів. Завдяки локалізації образу у зовнішньому тривимірному просторі з'являється можливість регулювання виконавчих дій, що здійснюються у зовнішньому плані. Отже, з педагогічного

погляду віртуальні образи можна як функціональні інструменти регулювання пізнавальної діяльності студентів.

Ця унікальна властивість автоматизованих навчальних систем дозволяє організувати навчальний процес таким чином, щоб співвідношення аудиторної та позааудиторної самостійної роботи було на користь останньої. В аудиторіях студенти, використовуючи докладні методичні описи та допомогу викладача, отримують перші навички роботи з автоматизованою системою проектування деталей машин. Здійснювана далі самостійна позааудиторна робота дає можливість персоніфікувати навчальну діяльність. Внаслідок персоніфікації з'являється можливість проектування студентом своєї освітньої траєкторії на основі навчального плану з конкретної спеціальності із встановленням свого темпу роботи.

Необхідно відзначити, що навчання в комп'ютерному середовищі – це не лише процес отримання нової інформації та освоєння нових способів навчальної діяльності, а й інтелектуальний розвиток, опанування нових способів мислення, виховання мобільності в умовах інформаційного суспільства, присвоєння цінностей культури інформаційного суспільства. Якщо в недавньому минулому в освіті ставилося завдання розвитку логічного та алгоритмічного мислення, то тепер обмеженість цього завдання стала очевидною: комп'ютер стає інструментом у розвитку образного, вербального, інтуїтивного мислення та творчої діяльності.

Комп'ютерні інструменти мають спільну властивість – вони перетворюють віртуальні об'єкти у графічну, текстову, цифрову чи якусь іншу форму. Працюючи з віртуальним об'єктом, студент подумки реалізує зв'язок образу та реального об'єкта, якому цей образ відповідає. Це дуже складна уявна дія, тим більше що комп'ютер може створювати образи таких об'єктів, які насправді немає. Розуміння цього дуже важливо, оскільки саме в таких ситуаціях виникає небезпека відриву від реальності та відходу у віртуальний світ, небезпека, про яку попереджають психологи та про яку зобов'язаний пам'ятати викладач.

Студент має бути методично готовий до самостійної діяльності в комп'ютерному середовищі: йому необхідно навчитися виділяти об'єкти із середовища, розуміти, як формується інформаційна модель – образ реального об'єкта, уявляти, якими можливостями володіє комп'ютер перетворення віртуального об'єкта і як пов'язати результати перетворень із реальним об'єктом. Необхідність формування такого досвіду визначає зміст навчального матеріалу, зв'язок теорії з практикою, лекційного курсу з лабораторними заняттями, що безпосередньо має враховуватися під час здійснення навчальної діяльності з підготовки інженерів-машинобудівників.

Необхідно відзначити суттєву особливість навчання студентів машинобудівного профілю в комп'ютеризованому середовищі. При використанні пакетів комп'ютерних програм у якості «викладача», що має місце у різних тренажерах та тренінгах, освітній процес міжособистісного відношення «викладач – навчається» замінюється автоматичними системами навчання. Сертифіковані пакети комп'ютерних програм орієнтовані на те, щоб довести рівень виконання учнів певних операцій до автоматизму. У разі навчання навчальній дисципліні домагаються не автоматизму, а творчого засвоєння матеріалу, й у процесі роль викладача особливо важлива, оскільки ніякий автомат його замінить.

Після впровадження розробленої технології навчання на основі використання комп'ютеризованого середовища (проведення курсу лекцій, практичних занять, олімпіад, науково-дослідної роботи зі студентами) необхідно було перевірити його ефективність шляхом здійснення формуючого експерименту. Рівні сформованості когнітивних компетенцій визначалися за модернізованими тестами, які порівняно з початковими були доопрацьовані та розширені у зв'язку з вивченим у курсі комп'ютерної графіки матеріалом.

Рівень сформованості операційних компетенцій визначався з урахуванням проведення залікової роботи, яка включала моделювання деталей складальної одиниці після безпосереднього попереднього виконання площинних ескізів з

натури в курсі інженерної графіки. Рівні сформованості креативних компетенцій оцінювали за результатами модернізації складальних вузлів в автоматизованій системі. Цей вид діяльності студенти здійснювали з урахуванням параметричних зв'язків, обмежень, а також за рахунок введення рівнянь та змінних з метою редагування окремих деталей та вузлів.

В результаті проведеного експерименту було виявлено, що рівень когнітивної компетенції студентів експериментальної групи становив 73%, операційної компетенції – 96%, креативної компетенції – 89%. Порівняльний аналіз констатуючого та формуючого експериментів показав, що розроблена та впроваджена у навчальний процес технологія формування інженерно-графічних компетенцій студентів машинобудівного профілю в комп'ютеризованому навчальному середовищі ефективна і може використовуватися в технічних вищих навчальних закладах при підготовці інженерів машинобудівного профілю.

Висновки до розділу 1

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглядається актуальна проблема підготовки спеціалістів машинобудівного профілю в комп'ютеризованому середовищі. Показано, що у зв'язку із впровадженням у навчальний процес інформаційних технологій необхідним є формування інженерно-графічних компетенцій у студентів технічних вишів із використанням комп'ютерних засобів навчання. Представлено комплекс інженерно-графічних компетенцій, необхідних спеціалісту машинобудівного профілю, на формування яких розроблено технологію навчання, що враховує дослідно-пошуковий та діяльнісно-творчий підходи.

2. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз промислових способів різання труб за допомогою термофрикційного та високошвидкісного різання зі збільшеними подачами гарячого металопрокату.

Процес різання металевої заготовки диском, що обертається зі швидкістю 100 мм. 120 м/с, називається процесом термофрикційного різання, при якому постійно бере участь вся поверхня тертя заготовки і незначна частина (менше 5 ... 10%) поверхні тертя диска, що безперервно оновлюється (Рисунок 2.1) [30, 214].

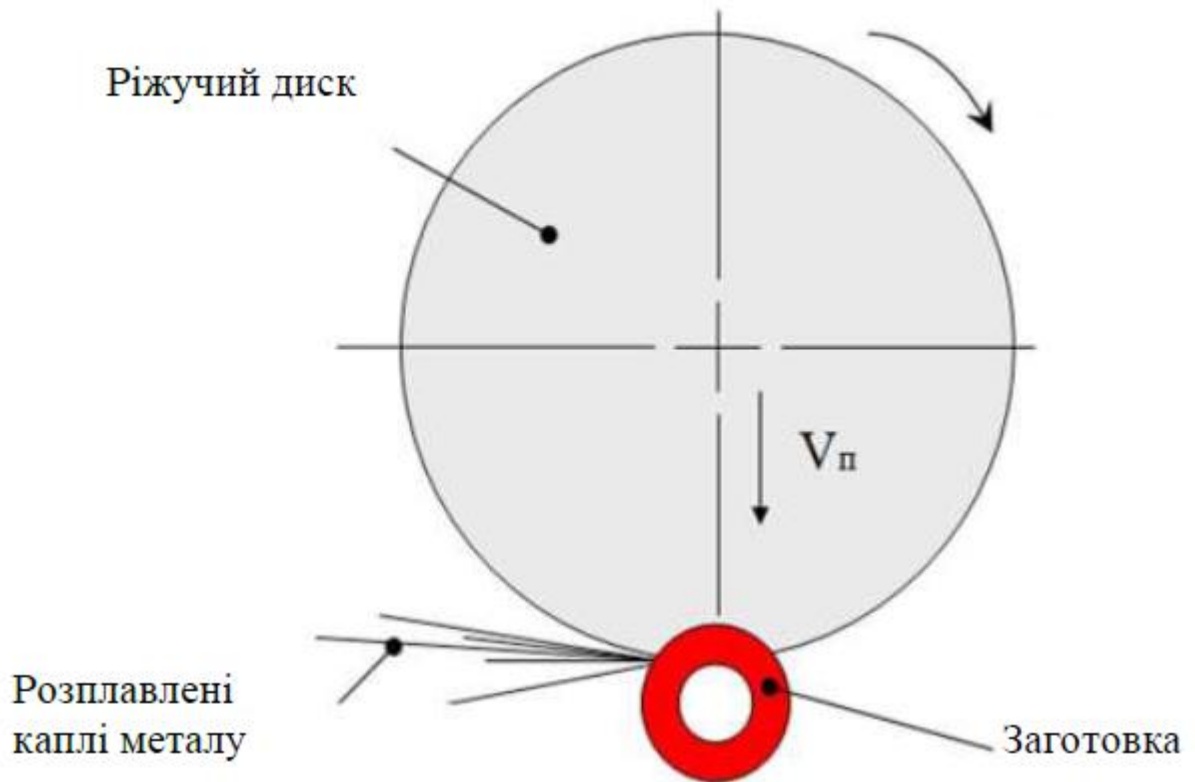


Рисунок 2.1 – Схема термофрикційного різання заготовки: V_r – швидкість різання, V_p – швидкість подачі.

На малюнку 1.1 представлено схему термофрикційного різання заготовки. Ріжучий диск, що має вертикальну подачу V_p , обертається зі швидкістю V_r . При контакті із трубою диск розігріває контактний шар металу. В результаті,

що виділяється теплота акумулюється в невеликому обсязі заготовки, в той час як диск, що постійно охолоджується, нагрівається незначно [49, 98, 99, 112, 119, 138, 213, 325]. В результаті контакту з диском за кілька сотих часток секунди температура контактного шару заготовки наближається до температури плавлення металу, поверхневий шар заготовки розміцнюється, мікронерівності диска, що обертається, впроваджуються в поверхню заготовки і здійснюють мікрорізання [247].

Відірвані від диска під дією відцентрової сили найбільші краплі розплавленого металу викидаються із зони різання у вигляді пучка іскор (Рисунок 2.1). У зоні контакту інструменту і оброблюваного матеріалу відбувається адгезійне схоплювання металу з утворенням містків зварювання [54, 235].. мікронерівності, Що Утворюються, здійснюють мікрорізання матеріалу [91, 92, 94, 142]. Виявлені в ході проведених досліджень шари модифікованого контактного шару на вершині зуба пили вимагають більш детального дослідження даних процесів у зоні контактної взаємодії інструменту та матеріалу, що обробляється.

Враховуючи, що процес тертя є невід'ємною частиною процесу термофрикційного різання, положення та термінологія теорії тертя є справедливими для нього. Так, диск та заготівля – пара тертя. Диск – контртіло, а заготівля – зразок. Існує суворий та об'єктивний критерій Пекле – Pe , за яким виділяють процеси ударного тертя, що визначається за формулою [9]:

$$Pe = \frac{V \times li}{\omega} > 8,$$

де V – швидкість ковзання;

li - Довжина одиничної плями контакту;

ω – коефіцієнт температуропровідності.

Ця умова для ненасиченої плями контакту металевих поверхонь задовольняється за $V > 10$ м/с. Аналогічна умова $Pe > 10$ застосовується в

теплофізиці різання для визначення джерел тепла, що швидко рухаються [231].

Теоретично тертя вирішується завдання досягнення високої стійкості зразка. У разі термофрикційного різання, навпаки, забезпечується висока стійкість диска – контртіла – принципово важлива задача [46].

При виготовленні дисків для термофрикційного процесу різання використовуються звичайні конструкційні сталі (сталь 50, 50Г, 65Г і т.п.), чим досягається економія дефіцитних інструментальних сталей і сплавів. Це, безсумнівно, одна із перевагою даного методу різання. Геометрично диски розрізняють: із гладкими зовнішніми циліндричними поверхнями, з накаткою чи насічкою, із зубами [46]. Диски із зубами мають підвищену продуктивність, оскільки до термофрикційної обробки додається процес стружкоутворення і здійснюється подача в зону різання додаткового кисню [96, 185, 186, 253, 262]. Їх недоліком є необхідність постійного переточування зубів. З метою зменшення бічного тертя диска про торець заготовки, що розрізається, диск з кінців підсередини на 0,5...1 мм. Зазвичай диски охолоджуються повітрям, але у разі тривалого різання рекомендується застосовувати охолодження технічною рідиною далі ТЖ [51, 135].

Друга перевага даного способу різання – гранична простота конструкції відрізного верстата, що досягається за рахунок відсутності передавальних механізмів між електродвигуном та шпинделем верстата. Високі швидкості досягаються використанням природних високих обертів трифазних валу асинхронних двигунів.

Термофрикційними пилками розрізають заготовки зі сталі та чавуну різного профілю та твердості. Особливий ефект досягається при розрізанні важкообробних матеріалів: загартованих, легованих, корозійностійких і жароміцних сплавів [37, 82, 108, 158, 160, 186, 254].

Термофрикційне різання застосовується для холодного та гарячого сортового металопрокату малих, середніх та великих розмірів, відрізки литників та прибутків у виливків.

Розглянувши основні переваги методу, слід зазначити таке. Зарубіжні автори виділяють один вагомий недолік, властивий даному методу різання - утворення великих задирок на торцях заготовлі, що розрізається [312].

Серед пилок, що використовуються в процесі термофрикційного різання, можна виділити розглянуті нижче види конструкцій.

Маятникові пили. У конструкцію такої пили входить плита, маятник, на який кріпиться пиляльний диск, та притиск (Рисунок 2.2). Диск приводиться у обертання електричним чи пневматичним двигуном. Швидкість різання складає 50...60 м/с.

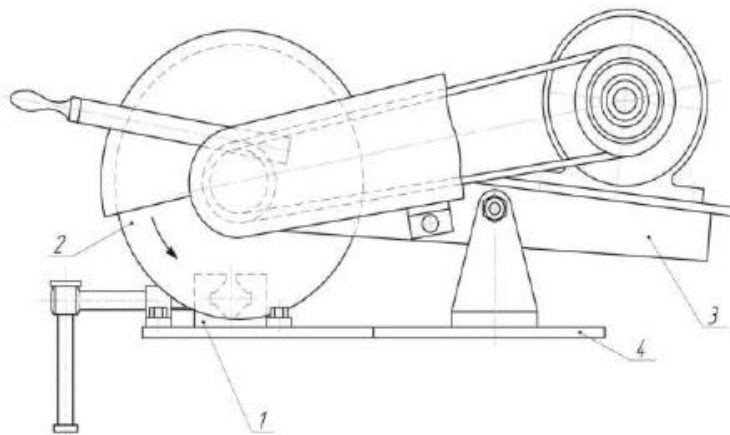


Рисунок 2.2 – Маятникова дискова пила:

1 – притиск; 2 – пиляльний диск; 3 – маятник; 4 – плита.

Серед недоліків пилок даної конструкції можна виділити наступні: значні зусилля при різанні, обмеження ширини матеріалу, що розпилюється, низька продуктивність.

Санлазкові пилки знайшли широке поширення у прокатних цехах [83, 188]. Привід диска в таких конструкціях (Рисунок 2.3) розташований на нерухомій рамі з направляючими (санками), бічне биття виключено за рахунок жорсткості напрямних станини та самих санок.

Закріплений на двоопорному валу пиляльний диск рухається електродвигуном. Забезпечено інтенсивне підведення води в зону різання з метою охолодження. Диск з приводом встановлений на санках 1, що

переміщуються направляючими в станині 2 за допомогою зубчастої передачі від електродвигуна 3. Швидкість подачі регулюється автоматично в залежності від навантаження на диск при різанні.

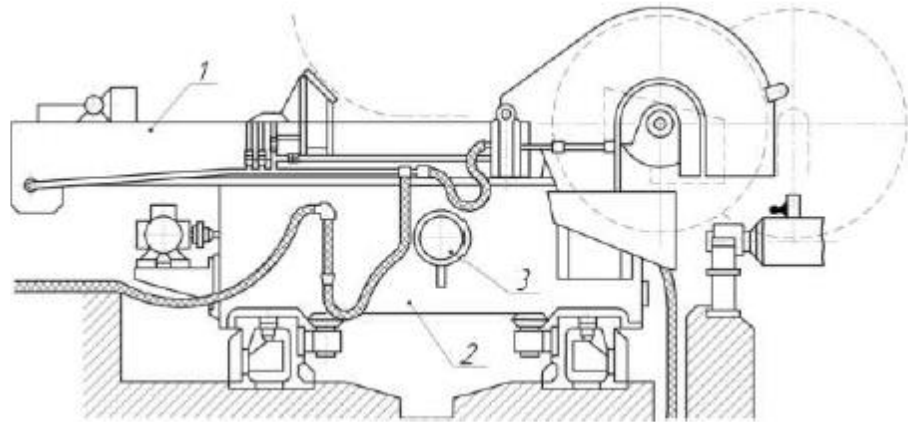


Рисунок 2.3 – Дискава салазкова пилка

Завершуючи аналіз існуючих методів термофрикційного різання гарячого металопрокату, слід виділити цей метод як найбільш ефективний та продуктивний [21, 219, 220]. Однак, до основних недоліків термофрикційного різання слід віднести утворення великих задирок на торцях заготовок, малу стійкість пиляльних дисків, складність розрізання тонкостінних виробів [12], шум, створюваний диском у процесі роботи.

1.1 Загальна характеристика процесу термофрикційного різання

Простота технологічної операції, дешевизна різального диска та висока продуктивність процесу різання визначили широке поширення цього методу на металургійних та трубопрокатних підприємствах. Термофрикційне різання особливо ефективно при замкнутих профілях металопрокату, коли високопродуктивні методи різання (рубка на ножицях, холодна ломка, у штампах) неприйнятні через зминання металопрокату [12].

Ріжучий диск, як правило, виготовлений зі сталі 65Г, 50ХФА, 50ХГФА, обертаючись зі швидкістю 100...120 м/с і не сильно зношуючись, може різати загартовану сталь, титанові сплави [71]. Метал перед диском плавиться і викидається з прорізу ріжучих зубів [74]. При термофрикційному різанні розрізаються заготовки з чавуну та сталі будь-якої твердості та різного профілю.

Різання кольорових металів супроводжується засолюванням різальної частини пилок, а сталевих заготовок перерізом 120...150 мм² - заїданням пилки та її підвищеним зносом [12].

Аналіз існуючих матеріалів [94, 89, 93, 91, 142, 186, 245, 247], що висвітлюють проблеми термофрикційного різання, показав недостатню ступінь вивченості протікання процесу різання гарячого металопрокату. Так, практично всі існуючі джерела розглядають процес різання холодного металу суцільними дисками тертя або його поверхневу обробку.

Показано, що в перший момент часу відбувається, розігрів оброблюваного металу до температур, близьких до температури плавлення, що супроводжується зниженням коефіцієнта тертя і втратою властивостей міцності оброблюваного матеріалу. Потім відбувається просування інструменту по поверхні заготовлі та повторення циклу обробки.

На рисунках 1.4 та 1.5 представлені фотографії секторів традиційних пилок, що застосовуються на виробництві.



Рисунок 2.4 – Фотографія сектора традиційної пилки з високим зубом

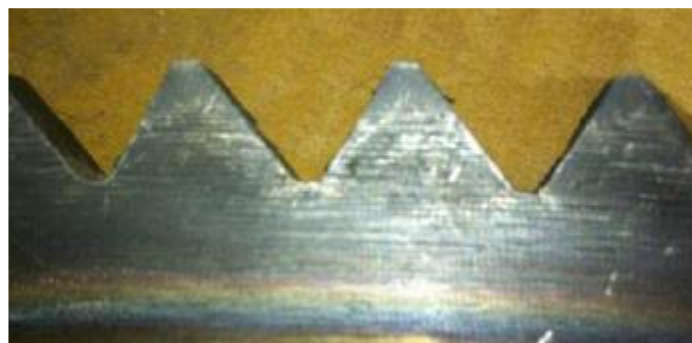


Рисунок 2.5 – Фотографія сектора традиційної пилки з низьким зубом

Досліджувані диски пилок, відрізняються підвищеною товщиною 8...10 мм (рекомендується 5 мм) [13, 324]. Це пояснюється підвищеними подачами – для збереження жорсткості збільшують товщину диска. Підвищені подачі регламентуються тактом випуску труб, готова труба формується кожні 30 с.

Ріжучі диски виготовляють із сталей із $\sigma_{\text{в}} = 700$ МПа, таких як сталь 65Г, 50ХГФА. Найбільш поширені диски діаметрами 950, 1350, 1560, 2000 мм. Товщина диска залежить від діаметра. Для діаметра 900 мм рекомендується товщина 9 мм [72, 89, 174].

Технічні дані відрізної пилки відповідають рекомендаціям технічної літератури [257]. Досліджувані моменти техпроцесу не регламентуються технічними даними допоміжних вузлів.

На малюнку 1.6 представлено зображення зазначеного характерного зношування зубів традиційної пилки – пластичної деформації, у результаті якого майданчик контакту окремого зуба збільшується у кілька разів, зуби втрачають до 30...40% від початкової висоти профілю, необхідна заміна пильного диска [12].



Рисунок 2.6 – Фотографія сектора традиційної пилки з характерним зносом зубів

Однак, говорячи про розв'язання задачі звільнення від задирок за допомогою збільшення подачі, не треба забувати, що це тягне за собою збільшення потужності приводного двигуна пили і модернізацію приводного механізму, що не завжди технологічно можливо і економічно виправдано [144, 179]. Це показує, що збільшення подачі не дозволяє вирішити задачу позбавлення задирок без урахування жорсткості системи та інших параметрів.

Одним з основних факторів, що є причиною формування задирок, є значне нагрівання металу труби в ході її формування. За даними дослідження, труба нагрівається до 1150... 1175 °С. Ця температура лежить у межах зони гарячого деформування металів [111] і є необхідною для процесу пресування труби, що і визначає високу пластичність металу та формування задирок [199].

Знизити температуру труб неможливо через технологічний процес, тому виключити утворення задирок повністю неможливо. Таким чином, стоїть завдання їх мінімізації за габаритними розмірами, товщиною по периферії торця, що забезпечить можливість їх механічного видалення на наступних операціях і дозволить гарантувати відкриття внутрішньої порожнини труб малого діаметра.

У ході проведення експериментів були випробувані пилки термофрикційного різання з навареними ріжучими кромками у вигляді клину, що розширюється від периферії диска до центру на довжині зуба, що вже є, пили. Ці ріжучі кромки повинні підрізати коріння утворених задирок. Пила показала нормативну стійкість при відрізанні труби з маловуглецевої сталі. Задирок, що утворився, був зменшений у розмірах на 15...20%. Однак збереглося закриття внутрішнього отвору у труб малого діаметра. Такий варіант не вирішує поставлених завдань, тому потрібний інший підхід до модернізації пилки [12].

Іншим напрямом модернізації пилок термофрикційного різання, здатним призвести до вирішення поставленої проблеми, є зміна форми ріжучих кромок вже наявних зубів [30].

Для успішної реалізації такого підходу необхідно дослідити характер протікання процесу утворення задирок, зношування пил термофрикційного різання, створити математичні моделі, що описують досліджувані процеси [12]. Результатом зазначених досліджень стане створення математичних моделей для визначення геометричних параметрів зубів пилок для термофрикційного різання гарячого металопрокату, що забезпечують виконання вимог щодо якості торця та стійкості інструменту [74, 79, 154]. На основі виконаних розрахунків будуть виготовлені пилки для термофрикційного різання з новою геометрією різальної

частини.

1.2 Характеристика процесу високошвидкісного різання із збільшеними подачами гарячого металопрокату

Роторні пилки дуже ефективні при різанні гарячого металопрокату великого перерізу. Функціонування конструкції таких пилок засноване на принципі переміщення центру пильного диска по круговій траєкторії. Пильний диск встановлений на роторі електродвигуна приводу пильного диска, при повороті якого на 360° здійснюється робоча подача, різання металопрокату та повернення диска у вихідне положення. Обертання водила та пильного диска забезпечуються незалежними один від одного електродвигунами [44, 60, 120, 126].

Швидкість подачі в 50 ... 100 разів більше, ніж у салазкових пилок, за рахунок чого значно знижується час циклу, продуктивність роторних пилок відносно салазкових в рази вище.

Роторні пилки отримали широке використання на металургійних та трубопрокатних підприємствах через високу ефективність процесу різання, який характеризується високими продуктивністю та швидкістю подачі ріжучого диска на метал [310].

На сьогоднішній день існує чотири основні типорозміри зубів, що використовуються для різання гарячого металопрокату (Рисунок 2.7).

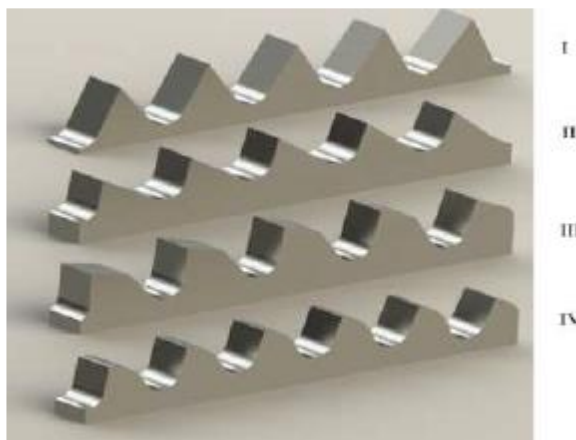


Рисунок 2.7 – Типорозміри зубів пилок для різання гарячого

металопрокату

Роторні пилки характеризуються високошвидкісним різанням зі збільшеними подачами, тому для різання металопрокату та труб застосовують III та IV типи зубів, які відрізняються високою міцністю та опірністю значним радіальним зусиллям. Типи зубів I і II застосовуються для різання в салазкових пилах, у яких, порівняно з роторними пилками, швидкість подачі значно нижча, і сили різання менше [12].

Проведений аналіз роботи роторних пилок високошвидкісного різання зі збільшеними подачами виявив наявність тріщин у западинах пильного диска (Рисунок 2.8) і на вершині зуба.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд западини зуба пили з тріщиною

Тріщини істотно впливають на стійкість пиляльних дисків. Тріщини у западинах зубів пилки обумовлені недоліками технологічного процесу виготовлення пилки. Розтягуючі напруження, пилки, що виникають при роботі, стають причиною зростання мікротріщин з утворенням магістральної тріщини. Це є найнегативнішим зносом пильного диска. Диск із виявленою тріщиною йде на переплавлення.

На вершині зубів спостерігається модифікований контактний шар з матеріалу, що обробляється (Рисунок 2.9).

У разі переривчастого різання, за високої адгезійної активності пари

«оброблюваний – інструментальний матеріал» причинами макроскопов може бути збільшені внаслідок налипання металу обсяги контактної (застійної) зони. Виникають при охолодженні на передній поверхні по межі модифікованого контактного шару розтягувальні напруги, внаслідок різних коефіцієнтів термічного розширення, оброблюваного та інструментального матеріалів, провокують утворення мікротріщин.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд модифікованого шару контакту на вершині зуба:

а – зверху; б – збоку.

Результатом циклічної зміни температури та значної різниці між її максимальними (під час роботи) та мінімальними (під час паузи) значеннями є термічні та фазові напруги в зубах, які, сумуючись з експлуатаційними від діючих навантажень, перевищують межу міцності з утворенням тріщин. Розгарна сітка, радіальні тріщини, змінені навантаженнями, твердість і структура, отримані за допомогою термообробки, змінюються [67, 110]. Спостерігається інтенсивне зношування.

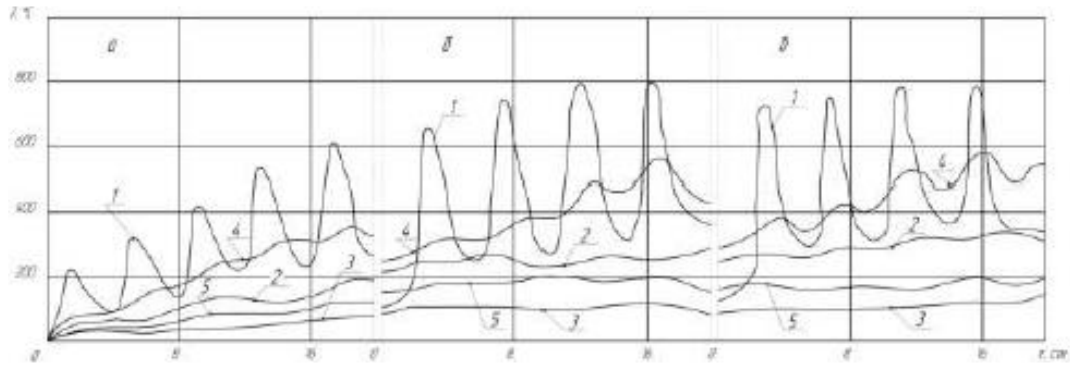


Рисунок 2.10 – Зміна температури по перерізу зубів диска пили на початку різку (а) і в період процесу, що встановився (б і в):

1 – на поверхні зуба; 2, 3 – на відстані відповідно 2 та 3 мм від поверхні зуба; 4, 5 – на відстані 1 та 2 мм від поверхні западини.

Аналіз раніше проведених досліджень із проблем високошвидкісного різання зі збільшеними подачами гарячого металопрокату виявив, що у доступних джерелах не розглядаються питання, пов'язані з якістю торцевої поверхні та стійкості пиляльних дисків [12].

На сьогоднішній день немає вирішення проблеми утворення великих задирок при термофрикційному та високошвидкісному різанні зі збільшеними подачами гарячого металопрокату та підвищення стійкості пиляльних дисків.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСА ТЕРМОФРИКЦІЙНОГО РІЗАННЯ ТРАДИЦІЙНОЇ ПИЛОЮ

3.1 Аналіз умов термофрикційного різання гарячого металопрокату

Експериментальне дослідження проводилося на сучасному технологічному обладнанні за умов автоматизованого виробництва.

Процес термофрикційного різання труб проводиться на пресі 2000 (рисунок 2.1). Як об'єкт дослідження використовувалися труби з вуглецевих та нержавіючих сталей. На малюнку 2.1 представлена фотографія лінії пресування труб із зусиллям преса 2000 тонн. Лінія виконана за горизонтальною схемою пресування труб, що дозволяє отримувати труби довжиною до 12 м [12].

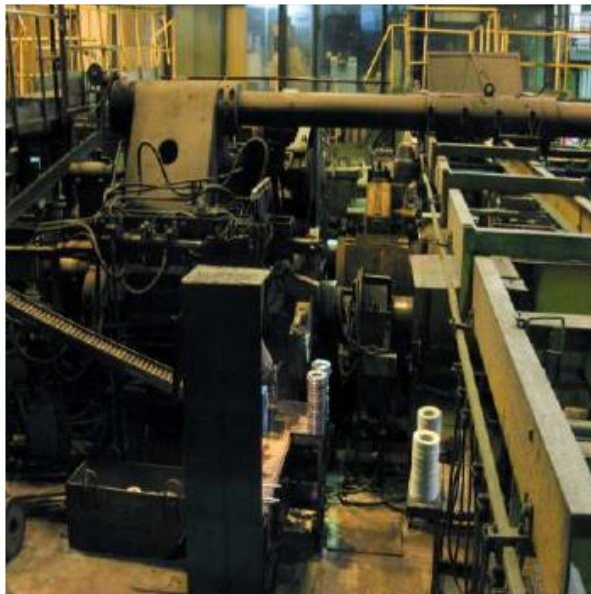


Рисунок 2.1 – Пресова лінія 2000

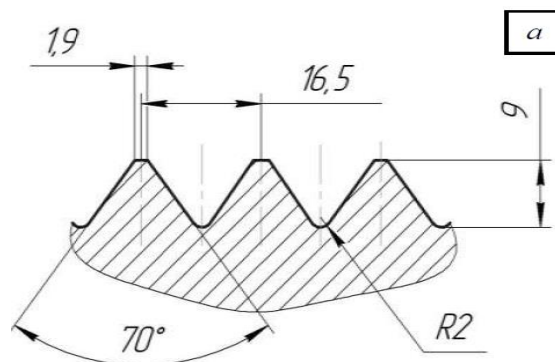
Процес термофрикційного різання досліджувався на пилках різного профілю. Пилки відрізняються величиною заднього майданчика, кутом профілю та висотою зуба. Геометричні характеристики пилок наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Основні геометричні характеристики пилок

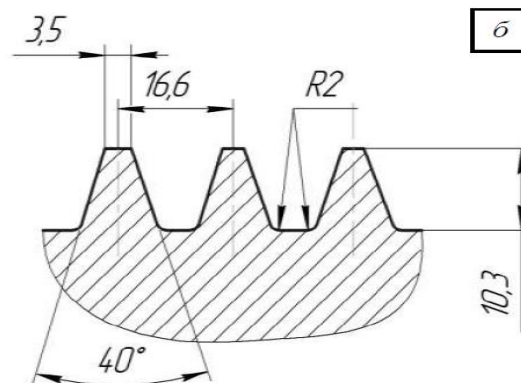
	Пили з високим зубом	Пили з низьким зубом
Діаметр пильного диска, мм	950	950
Висота зуба, мм	10,3	9
Товщина пильного диска, мм	8–9	8–9
Число зубців	189	181

Пилки з високим зубом мають більшу величину заднього майданчика – до 3,5 мм, та менший кут профілю – 40° . Пилки з низьким зубом мають величину заднього майданчика до 1,88 мм та більший кут профілю – 70° .

На малюнку 2.2 представлені профілі зубів традиційних пил термофрикційного різання, що застосовуються на пресовій лінії 2000



Профіль зуба в нормальному перетені



Профіль зуба в нормальному перетені

Рисунок 2.2 – Профіль зубців пили традиційної геометрії у нормальному перерізі:

а – пила з низьким зубом; б -пила з високим зубом.

Дослідження пилки традиційної геометрії показало наявність тріщин у западинах між зубами. Для запобігання руйнуванню диска пили від тріщин

запропоновано зміну геометрії западини: радіусна западина з радіусом R5 (Рисунок 2.3) замість плоскої з радіусом R2 [32].

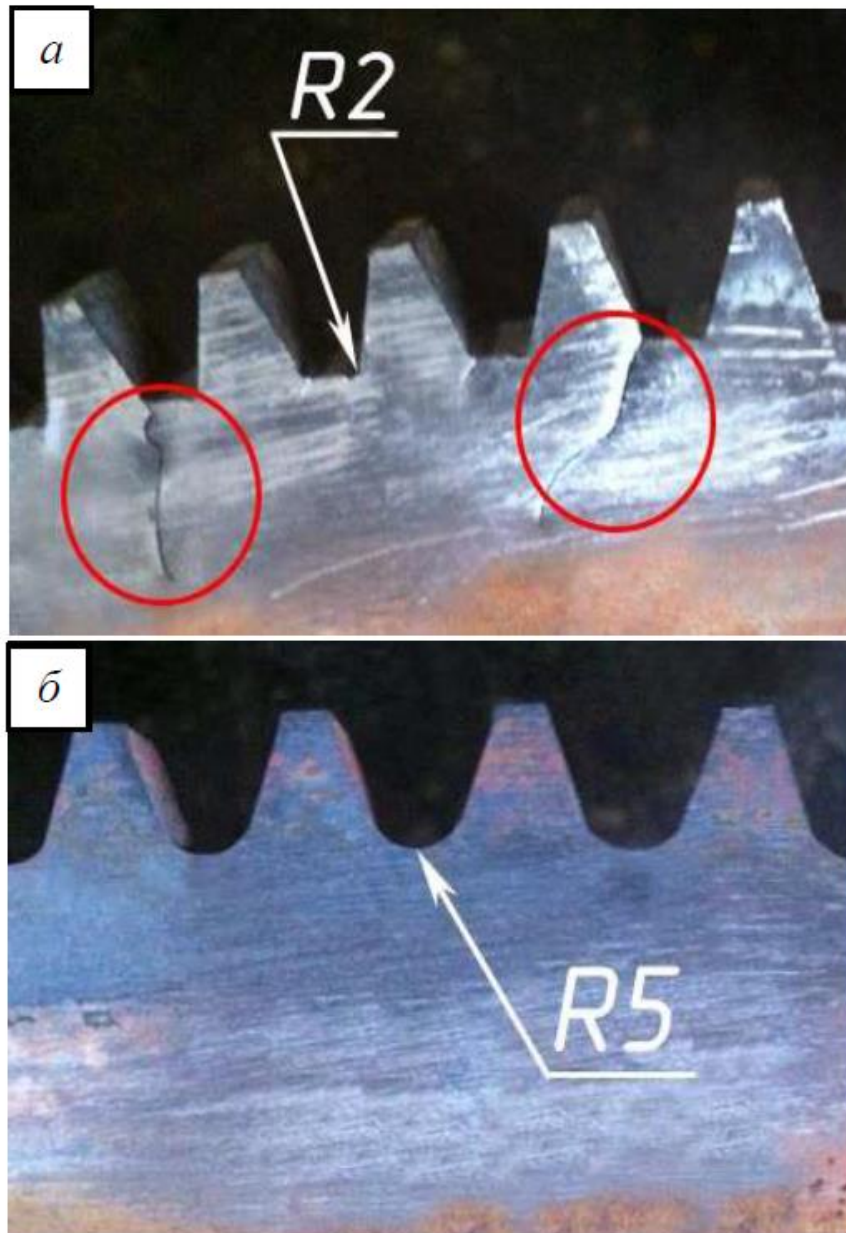


Рисунок 2.3 – Профіль западини зубів пилки традиційної геометрії:
а - пила з тріщиною у западині; б – пила із збільшеним радіусом без тріщин.

Для усунення задирок на торцях труб, що розрізаються, на першому етапі дослідження було запропоновано змінити геометрію зубів шляхом введення допоміжного кута в плані ϕ_1 . Формування нової геометрії забезпечувалося наварюванням додаткового матеріалу спецелектродами (ОЗМ - 400М).

Модернізована пилка (рисунок 2.4, а, б) з позитивним кутом у плані ϕ_1 показала незначне зменшення розмірів задирки на 15...20%, а з негативним кутом у плані ϕ_1 на 5...10% (Рисунок 2.4, в).

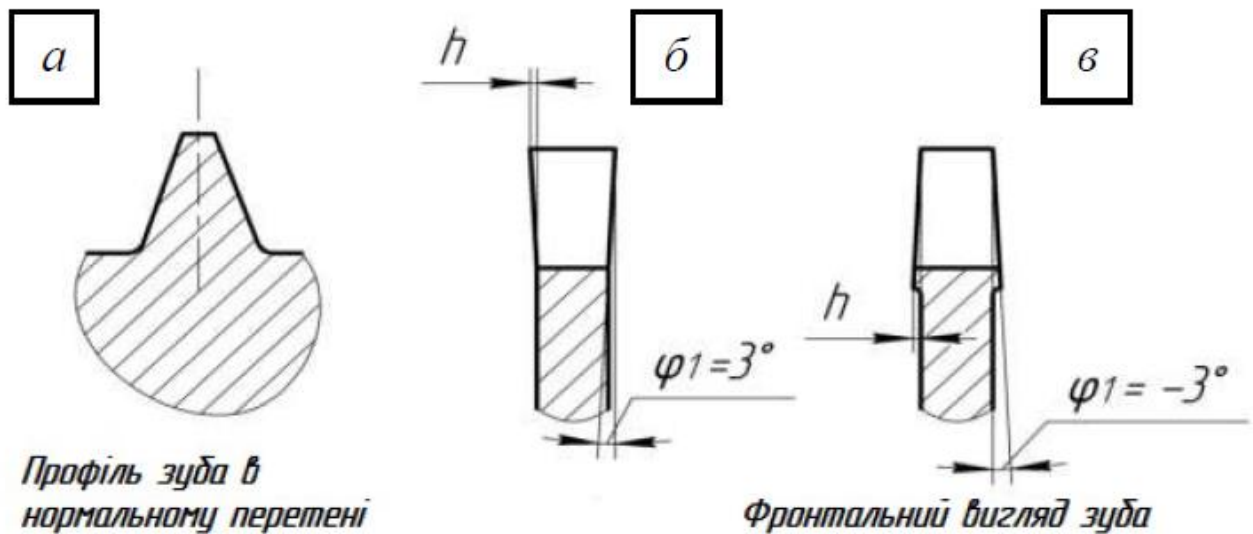


Рисунок 2.4 – Профіль зубців пилки традиційної геометрії:

а – у нормальному перерізі; б – пила з позитивним допоміжним кутом у плані? в – пила з негативним допоміжним кутом у плані ϕ_1

Проводились дослідження зони наплавлення (рисунок 2.5) задля забезпечення якості навареного зі спеелектродів (ОЗМ – 400М) леза. Отримані результати показали збільшення сили різання від наварених кромek до 90 Н.



Рисунок 2.5 – Зона наплавлення:

а - із формуванням дифузійної зони; б – без формування дифузійної зони.

Проведені дослідження підтвердили, що використання допоміжного кута в плані $\phi 1$ не забезпечує повного усунення задирки та поліпшення якості торця металопрокату.

Для аналізу динаміки процесу різання застосовується швидкісна відеозйомка [21].

Аналіз динаміки процесу термофрикційного різання трубопрокату проводився із застосуванням комплексу швидкісної відеозйомки VS-FAST (рис. 2.6), програмне забезпечення WinFastshell v1.6.



Рисунок 2.6 – Фотографія комплексу високошвидкісної зйомки VS-FAST

При наближенні пили до кінця верхньої стінки труби, що розрізається, розігрітої до температури, близької до температури плавлення, метал починає видавлюватися у внутрішню порожнину труби, утворюючи верхній задир. У труб малого діаметра з великою товщиною стінки метал видавлюється у внутрішню порожнину з бічних стінок.

Після проходження пилкою половини діаметра труби пластичний метал починає видавлюватися з боків від прорізуваного паза, утворюючи нижню задирку. До кінця процесу різання падає жорсткість системи, і основна труба, що не має жорсткого кріплення, відгинається, що призводить до того, що нижній задир залишається на її торці.

1.3 Металографічний аналіз зуба пили

Для визначення причин передчасного зношування проводилися металографічні дослідження зубів пили.

Мікроструктуру металу зубів досліджували після травлення 4%-м спиртовим розчином азотної кислоти (ніталем) при збільшеннях від 50 до 500 на матеріалознавчому агрегатному мікроскопі OLYMPUS BX61. Фіксування структури проводилося цифровою камерою DP-12 з подальшим обробленням електронного зображення пакетом програм AnalіSyS [189].

Дослідження мікротвердості визначали на мікротвердомір ПМТ-3 під навантаженням 1,0Н [41].

Як перший об'єкт металографічного дослідження використовувався сектор нової (не працювала) дискової пилки з високим зубом для термофрикційного різання трубопрокату. Зовнішній вигляд сектора з недеформованими зубами нової пили, що не працювала, показаний на малюнку 2.7 [12].

На малюнку 2.7 показаний макрошліф зуба нової традиційної пилки з високим зубом.

Металографічному дослідженню піддавалися такі ділянки зуба (рисунок 2.7): I – периферія зуба, II – основа зуба [12].

Структура матеріалу основи зуба пилки – сорбіт відпустки, представлена малюнку 2.8.

Матеріал основи зуба має нерівномірну структуру, що може бути обумовлено анізотропією властивостей заготівлі, що використовується під час виробництва диска пили. Нерівномірність властивостей у різних напрямках притаманна заготовкам, одержуваним гарячим деформуванням (прокаткою). Виміри мікротвердості на мікрошліфі представлені малюнку 2.9 [12].

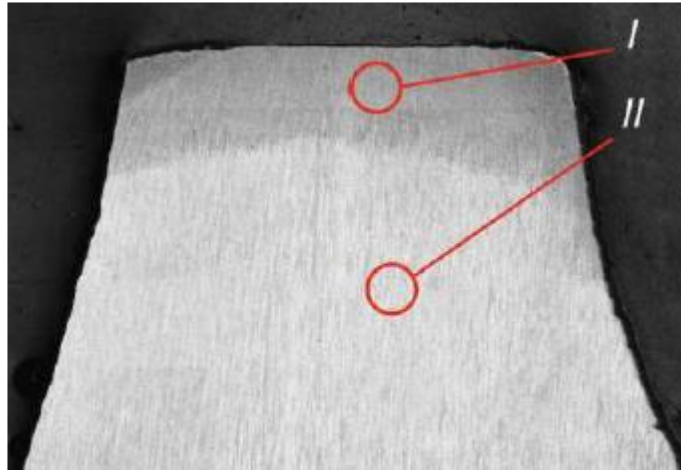


Рисунок 2.7 – Фотографія нової пилки з високим зубом;

I- периферія зуба; II – основа зуба.

Вимір мікротвердості ділянки II основи зуба на глибині близько 3 мм показало твердість від 2,5 до 2,0 ГПа.

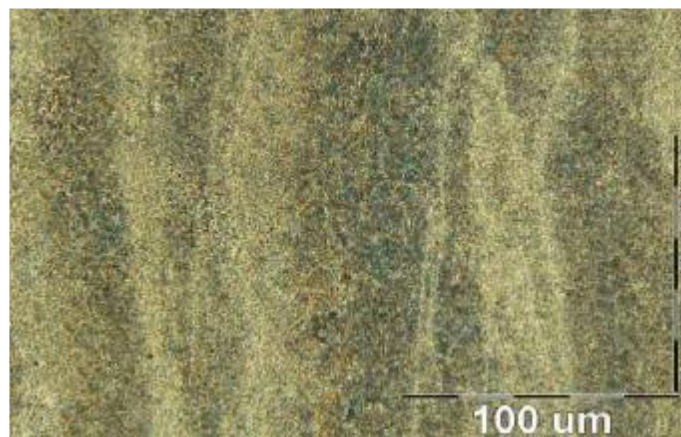


Рисунок 2.8 – Структура сорбіт відпустки біля основи зуба традиційної пили ($\times 500$)

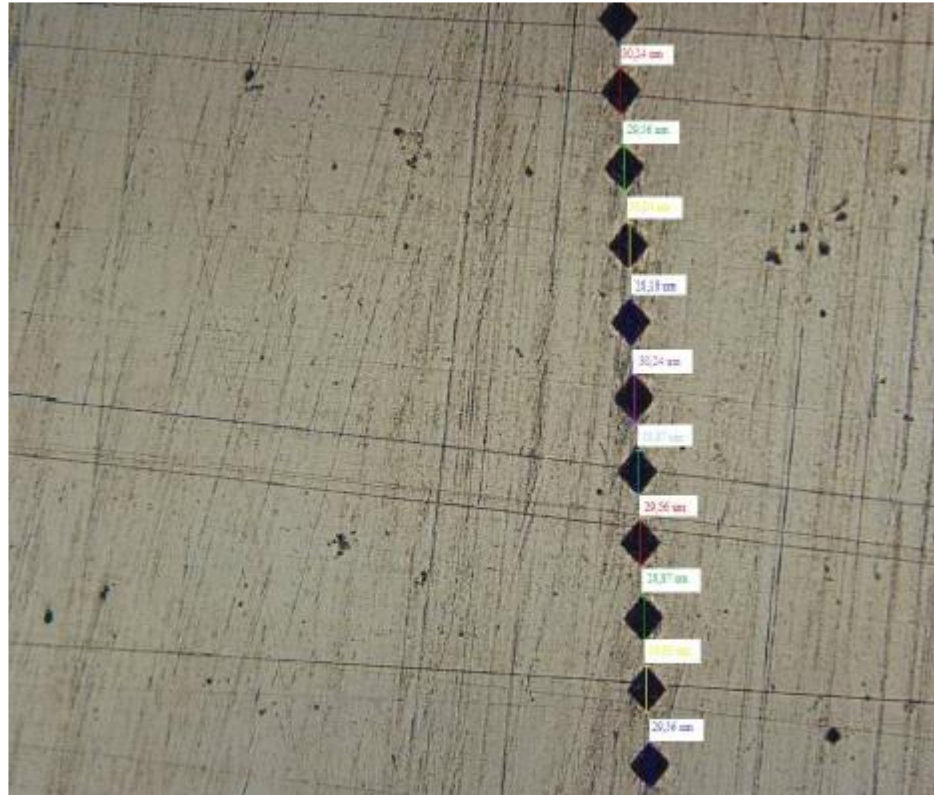


Рисунок 2.9 – Мікротвердість основи зуба традиційної пилки ($\times 100$)

На ділянці периферії зуба (рисунок 2.10) спостерігається інша структура – троосто-мартенсит із виділеннями карбідів (дрібні світлі включення). Ця ділянка зуба, прилегла до вершини, має більшу твердість, ніж ділянка основи зуба. Виміри мікротвердості на мікрошліфі представлені малюнку 2.11.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що вершина зуба пили піддавалася попередньої термообробки: загартування та низької відпустки на глибину до 1,5 мм. На малюнку 2.12 показано зміну мікротвердості ділянки I при вершині на глибині 800 – 1200 мкм із твердістю від 4,5 до 2,5 ГПа (від 45 до 24 HRCe) [12].

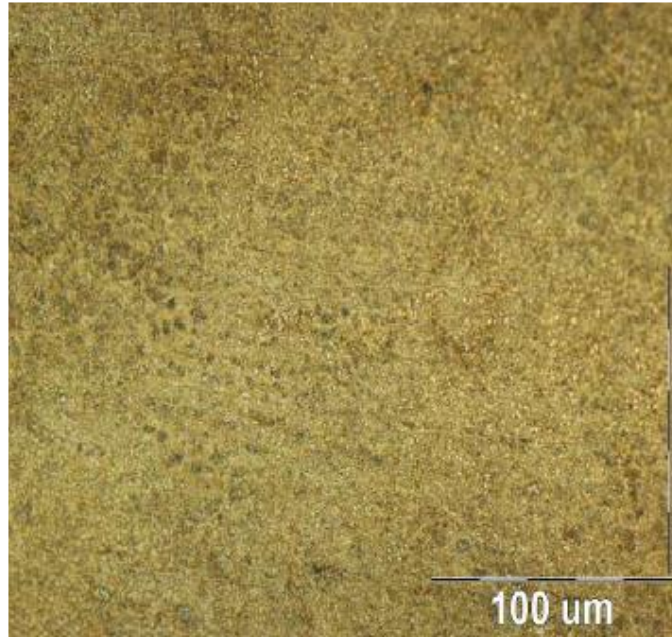


Рисунок 2.10 – Структура трооститів із виділеннями карбідів: ділянка периферії зуба традиційної пили (×500)

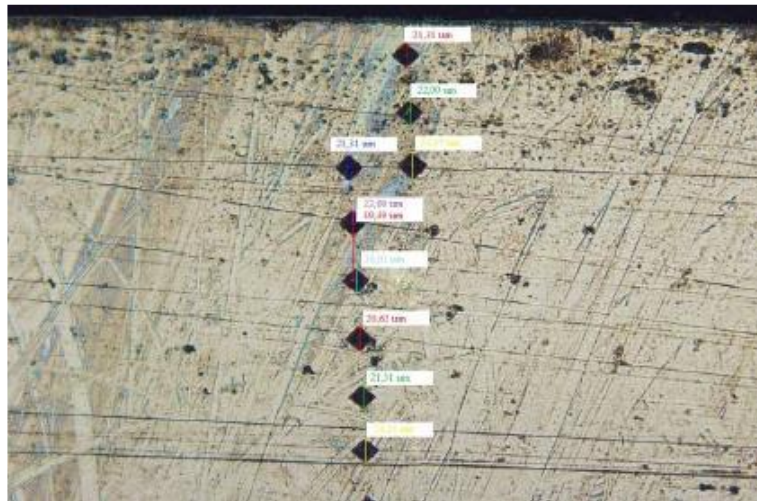


Рисунок 2.11 – Мікротвердість вершини зуба традиційної пилки (x100)

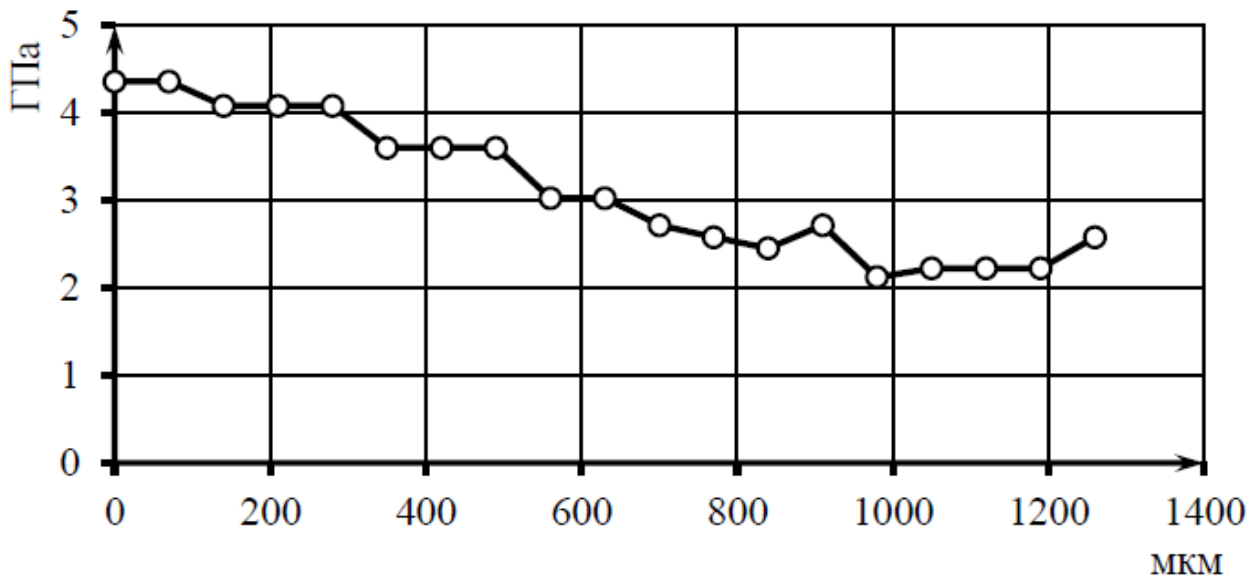


Рисунок 2.12 – Розподіл мікротвердості зуба традиційної пилки на периферії

При контакті зуба пили та гарячого трубопрокату відбувається передача тепла від нагрітої труби інструменту. Значне виділення тепла внаслідок тертя по задній поверхні зуба пили також призводить до нагрівання зуба пили [43, 100, 113, 296].

При різанні традиційної пилкою зуб піддається навантаженню, що веде до його деформації (рисунок 2.13) [12]. По бічних поверхнях зуба пилки спостерігається значне відтискання інструментального матеріалу, що призводить до зміни геометрії пилки. Це є причиною збільшення кількості тепла, що виділяється, і виникнення радіального биття, що, у свою чергу, призводить до збільшення вібрацій, нестабільності процесу різання.

Як другий об'єкт металографічного дослідження використовувався сектор дискової пилки з високим зубом і традиційною геометрією після відпрацювання 5500 різів, з характерним зносом зубів. Для дослідження було використано найбільш деформований зуб.

На малюнку 2.13 показаний макрошліф зуба традиційної пилки з високим зубом з характерним зношуванням. На макрошліфі помітні дві основні зони: периферія зуба з задирками, що утворилися, з обох боків і основа зуба.

Металографічному та електронографічному дослідженням піддавалися

такі ділянки зуба (рисунок 2.13): I – периферія зуба, II – зона переходу між деформованою та недеформованою частинами зуба, III – недеформована частина зуба, IV – зона задирка біля вершини зуба.

Структура матеріалу основи зуба пили представлена малюнку 2.14 – сорбіт відпустки, що свідчить у тому, що метал пили піддавався нормалізації: нагрівання вище критичної лінії та швидке охолодження [9].

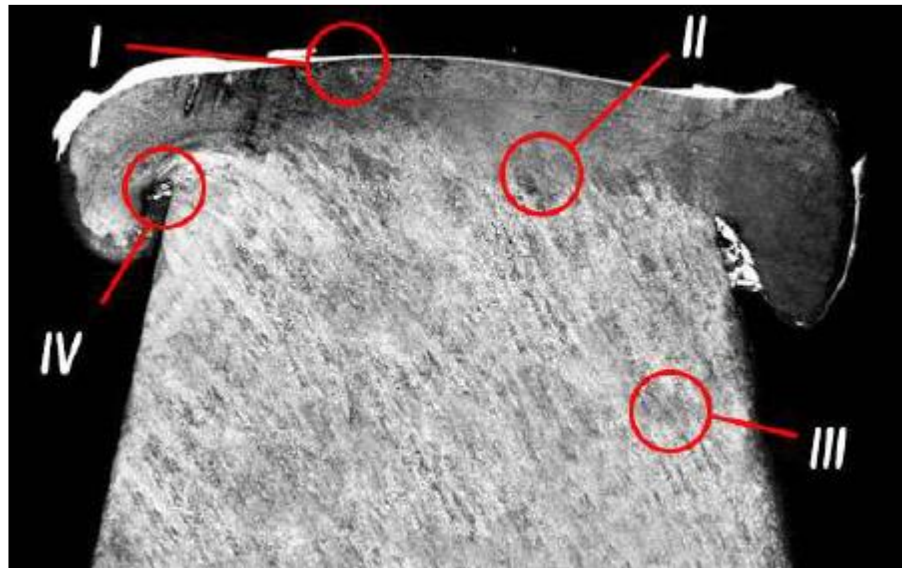


Рисунок 2.13 – Фотографія пилки з високим зубом, зони, піддані металографічному та електрографічному дослідженням ($\times 50$):

I – периферія зуба; II- зона переходу між периферією та основою зуба; III – основа зуба; IV – зона задирка біля вершини зуба.

З малюнка 2.15 видно, що сорбітна структура основи переходить у сорбітно-трооститну структуру в деформованій частині зуба за рахунок нагріву в цій галузі (рисунок 2.13, зона II).

На периферії зуба у зоні контакту задньої поверхні з гарячим металом труби спостерігаються тонкі шари модифікованого контактного шару [12].

Ці шари утворені внаслідок уривчастого характеру обробки. У зоні контакту заготовки та інструменту утворення граничного шару супроводжується інтенсивним стоком теплоти із заготовки в інструмент.

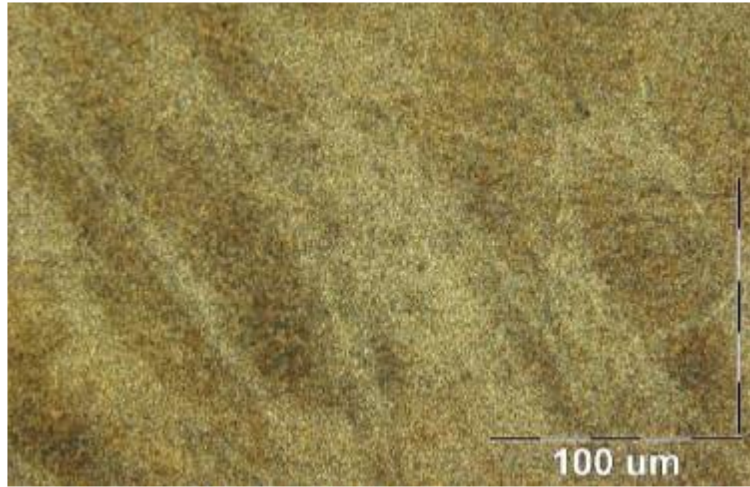


Рисунок 2.14 – Сорбітна структура сталі: недеформована ділянка зуба традиційної пилки ($\times 500$)

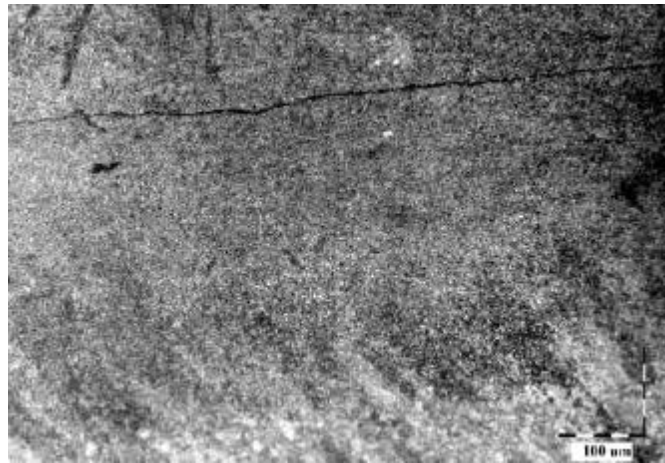


Рисунок 2.15 – Сорбітно-трооститна структура сталі: перехід до деформованої ділянки ($\times 250$)

Після виходу із зони різання зуб охолоджується і вже досить остиглим входить до зони різання. Відбувається швидке охолодження тонкого шару металу, що стикається з поверхнею інструменту. Цей тонкий шар інтенсивно зміцнюється, відривається від основної маси стружки і залишається поверхні інструменту [12].

Для уточнення структурних складових було проведено дослідження розподілу мікротвердості за перерізом модифікованого контактного шару та задирки у деформованій частині зуба пили. Місця вимірів мікротвердості та розміри відбитків вказані на малюнку 2.16 [12].

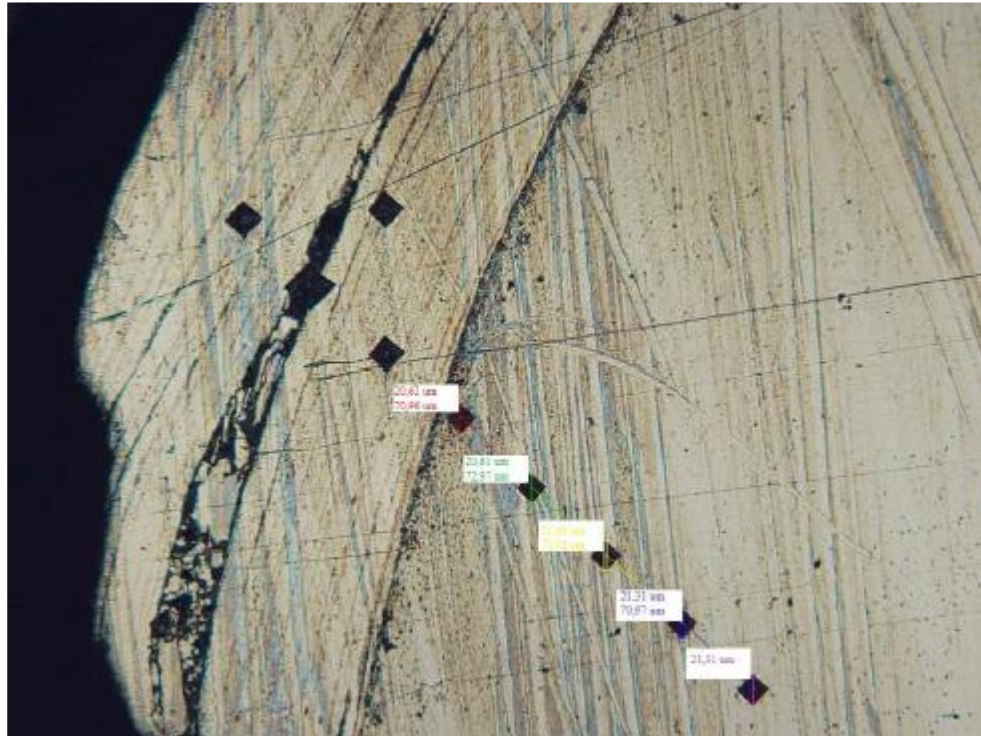


Рисунок 2.16 – Мікротвердість модифікованого контактного шару при вершині зуба пилки ($\times 250$)

На малюнку 2.17 показано мікроструктуру кореня задирки при вершині зуба пили. В результаті орієнтування неметалевих включень вздовж волокон у місці переходу деформованої області в задирок чітко виявляються лінії деформування металу, в місці переходу зуба в задирок видно зону, що слабо травиться.

З метою уточнення структурних складових у різних ділянках зуба пилки було проведено дослідження розподілу мікротвердості перетину на приладі ПМТ-3.

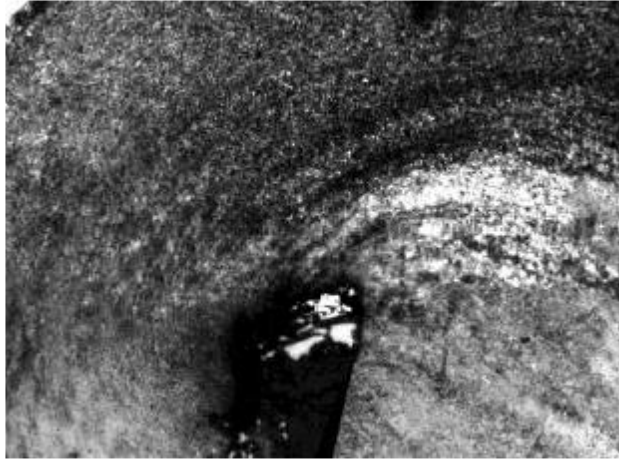


Рисунок 2.17 – Мікроструктура кореня задирки на вершині зуба пили
($\times 300$)

Розподіл мікротвердості на периферії зуба (зона I) представлено малюнки 2.18 і 2.19.

Дані, отримані під час оптичної металографії, були підтвержені результатами досвіду визначення мікротвердості.

Вершина зуба покрита модифікованим контактним шаром з оброблюваного матеріалу з невисокою твердістю 3,1 ГПа.

Виникнення мартенситу в цій зоні можливе лише у разі нагрівання в процесі різання вище за точку АС3, характерної для сталі 50ХГФА (788оС) [83]. Температура нагрівання в момент контакту зуба з металом, що розрізається, тут значно вище. Необхідна для утворення мартенситу висока швидкість охолодження забезпечується віддачею тепла холодний метал пили при виході зуба із зони різання.

У нижчих шарах твердість становила близько 4,5 гПа, що відповідає твердості троститу.

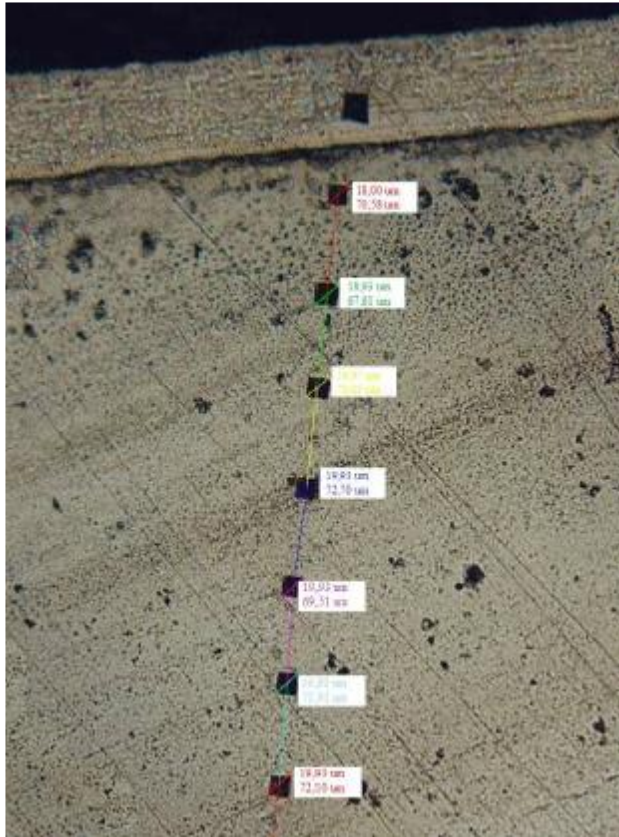


Рисунок 2.18 – Фотографія шліфу зношеного зуба пили з точками, вибраними для дослідження твердості зразка ($\times 100$)

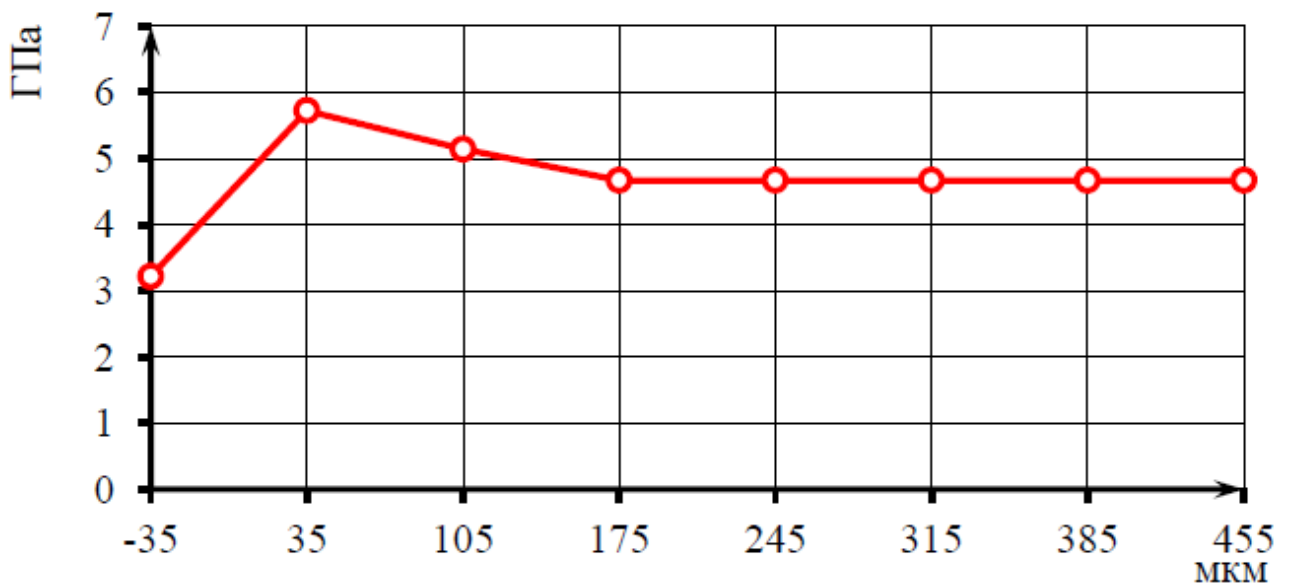


Рисунок 2.19 – Зміна мікротвердості дослідного зразка при вершині зуба (зона І)

Через відсутність жорсткого закріплення основної частини труби відбувається її прогин наприкінці процесу термофрикційного різання металопрокату. При цьому нижній задир гарантовано формується на торці

основної труби.

Відомо, що стійкість процесу термофрикційного різання визначається температурним режимом, при якому відбувається значне зниження механічних властивостей в обсязі металу припуски, що знімається, контактує з поверхнею інструменту. Встановлено, що для обробки сталей у зоні різання необхідно забезпечити за рахунок тепловиділення від тертя температуру 1000...1100 °С. При такій температурі забезпечуються умови перетворення шару, що зрізається, в «стружку» при порівняно невеликих значеннях сили різання і високої стійкості інструменту [12].

Однак у досліджуваному процесі труба вже має температуру 1150...1175 °С, тому необхідно змінити геометрію ріжучої частини таким чином, щоб виключити надмірне виділення тепла і перенаправити задирок, що утворюється, у бік прес залишку [12].

4. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОФРИКЦІЙНОГО РІЗАННЯ ГАРЯЧОГО ТРУБОПРОКАТУ МОДИФІКУВАНОЮ ПИЛОЮ

4.1 Математична модель теплового балансу термофрикційного різання гарячого трубопрокату пилкою з новою геометрією

Розрахунок теплових потоків та температур для пили зі зміненою геометрією ведеться за наведеною раніше методикою. Зменшення теплового потоку, що виділяється на майданчику тертя, призводить до зменшення нагріву зуба від тертя.

Основним фактором, що визначає нагрівання зуба пили, є контакт із трубою, нагрітою до високої температури.

Як при обробці пилкою з традиційною, так і зі зміненою геометрією, процес термофрикційного різання можна вважати самостабілізуючим, а температуру в зоні контакту постійної, близької до температури лінії солідуса і рівної температурі стабілізації $T_{ст}$ [39].

Деформація розігрітого металу в зоні різання викликає утворення великих за величиною задирок, що не видаляються механічним способом. Деформація зуба пилки призводить до значного відтискання інструментального матеріалу з бокових поверхонь і втрати геометрії ріжучого клина.

Для зменшення виділення тепла по задній грані необхідно створити ріжучий клин у зуба пилки за рахунок утворення позитивного заднього кута $> 0^\circ$.

Розмір майданчика контакту по задній поверхні інструменту залежить від заднього кута α . Зменшення тепла, що виділяється при терті, відбувається зі збільшенням кута α , оскільки площа контакту зменшується [12].

Мінімальний кут визначається технологічними можливостями потиличного верстата, і для вертикального заточувального верстата моделі 3692 становить $2...4^\circ$.

Максимальний кут визначається тепловою навантаженістю зуба пили. Зменшення контактного майданчика дозволить значно зменшити кількість тепла,

що виділяється по задній поверхні зубів пили, що значно підвищує якість торця труби і стійкість пильного диска. Однак створення кута призводить до зменшення об'єму тіла зуба пили в контактній зоні і основного нагріву в локальній зоні зуба при його вершині, що підвищує контактні деформації ріжучого клину.

Створення позитивного заднього кута дозволить вирішити проблему надмірного виділення тепла, проте неможливість закріплення основної частини труби вимагає додаткової модернізації процесу різання [12].

Розрахуємо тепловий баланс термофрикційного розрізання гарячої труби пилкою з кутом затилування $\alpha = 12^\circ$. Швидкість обертання пилки 102 м/с, межа тимчасового опору сталі 20 при температурі 1150...1175 °С дорівнює 40 МПа. Інтенсивність теплового потоку по задній грані від тертя при різанні $q_0 = 1300,7$ 106 Дж/м² с.

$$b = \frac{1}{1 + \frac{3\lambda_{mp} \sqrt{\omega_3 \cdot v \cdot \tau_k}}{4\lambda_3 \sqrt{l_3 \cdot \omega_{mp}}}} = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot 29 \cdot \sqrt{0,000010 \cdot 102 \cdot 0,0005}}{4 \cdot 20 \cdot \sqrt{0,0009 \cdot 0,0000069}}} = 0,107,$$

Розрахунок коефіцієнта балансу ведеться для наступних умов: коефіцієнти температуропровідності матеріалу пили (сталь 65Г) та труби (Сталь 20) $\omega_3 = 0,000010$ м²/с і $\omega_{tr} = 0,0000069$ м²/с, відповідно. Тривалість робочого ходу = 0,0005 с. Швидкість різання $v = 102$ м/с. Коефіцієнти теплопровідності матеріалу пили та труби $\lambda_3 = 20$ Вт/м·град і $\lambda_{tr} = 29$ Вт/м·град відповідно. Коефіцієнт балансу для нової пилки дорівнює 0,107. Кількість теплоти, що надходить у зуб нової пилки, значно менша через зменшення майданчика контакту l_3 по задній грані.

Про величину майданчика контакту можна судити зменшення потужності різання, оскільки потужність на диспергування і винесення стружки дуже мала. Основна частина потужності витрачається на тертя та розплавлення матеріалу труби. Потужність різання пропорційна майданчику контакту l_3 по задній грані і дорівнює для старої та нової пили 30 кВт та 21,2 кВт відповідно [12].

У зуб пили зі зміненою геометрією йде менше тепла в порівнянні з зубом пили з традиційною геометрією.

Визначимо підвищення температури поверхні зуба пили від контакту з гарячою трубою без тертя:

$$\Delta T = \frac{T_0}{1 + \frac{3\lambda_{mp}\sqrt{\omega_3 \cdot v \cdot \tau_k}}{2\lambda_3\sqrt{l_3 \cdot \omega_{mp}}}} = T_0 \cdot (1 - b) = 1430 \cdot (1 - 0,107) = 1276,9 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де b - Коефіцієнт балансу.

Термофрикційне різання гарячих труб пиляльним диском є уривчастим процесом.

Температура нагріву зуба пили за час одного циклу:

$$\begin{aligned} \Delta T_3 &= T_{3\Sigma} \cdot \frac{(\sqrt{\tau_d} - \sqrt{\tau_d - \tau_k})}{\sqrt{\tau_k}} = \\ &= \frac{1276,9 \cdot (\sqrt{0,0293} - \sqrt{0,0293 - 0,00044})}{\sqrt{0,00044}} = 78,7 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

З використанням програмного комплексу Deform3D створено модель нагрівання вершини зуба пили з новою геометрією (рисунок 3.1), яка демонструє незначне нагрівання вершини, що зумовлює високу стійкість інструменту.

Розрахунок температурного поля дозволив чисельно визначити площу S нагрівання зони, розігрітої до температури більше $800 \text{ } ^\circ\text{C}$, її розмір склав $0,18 \text{ мм}^2$, межі зони складають $0,6 \text{ мм}$ по горизонталі і $0,3 \text{ мм}$ по вертикалі, при тому, що площа розігріву до відповідної температури у зубі традиційної пилки становить понад $1,875 \text{ мм}^2$, тобто у 10 разів більше (Рисунок 3.2).

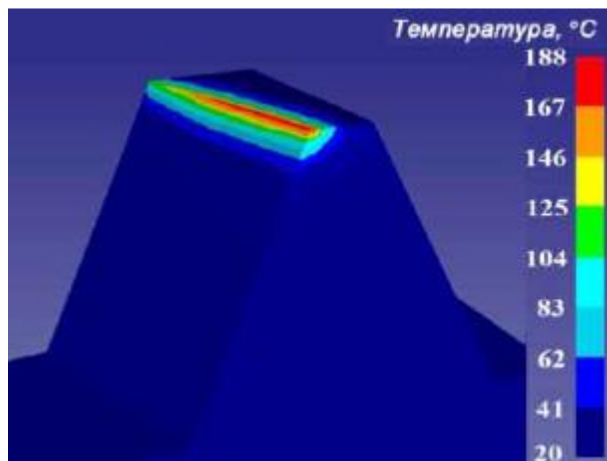


Рисунок 3.1 – Розподіл температури за висотою зуба

Аналіз розподілу температур по висоті зуба показує, що тепло розподіляється в тіло зуба, що надійшло за час робочого ходу, і до кінця холостого ходу поверхня контакту практично остигає.

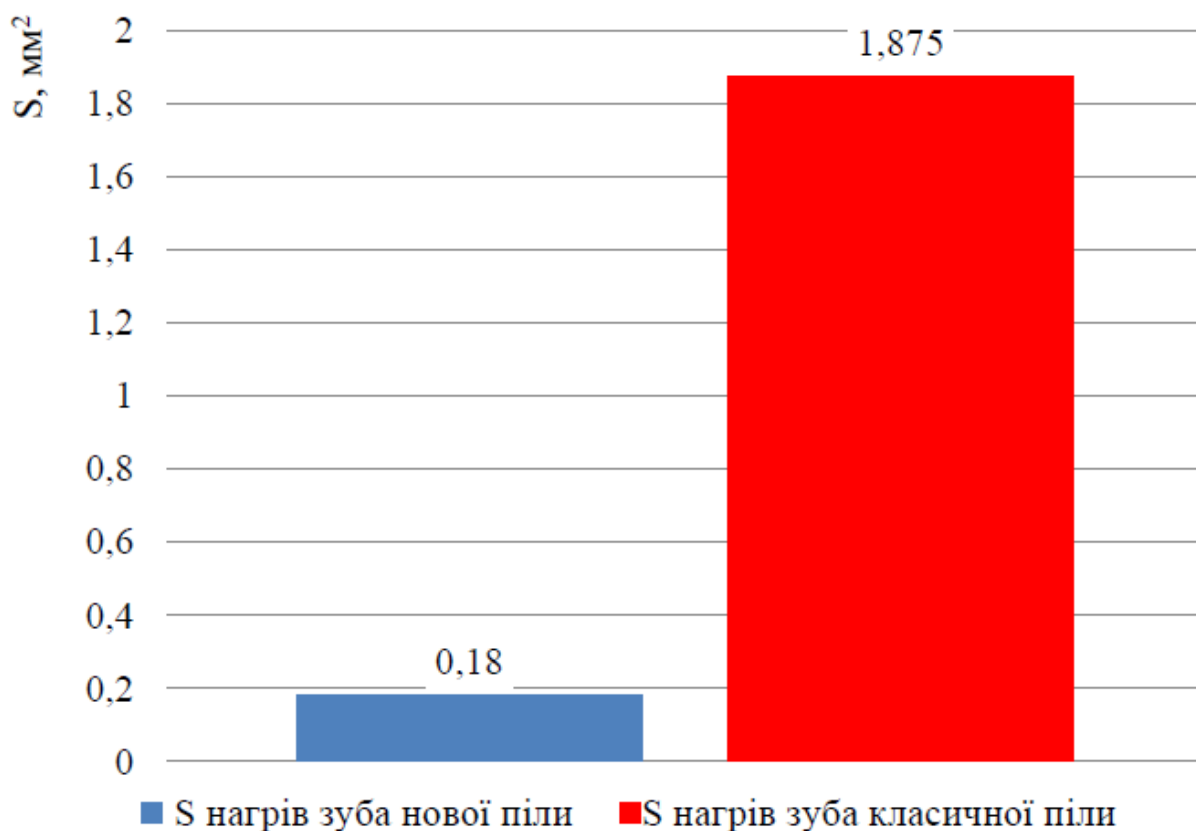


Рисунок 3.2 – Площа нагріву до температури понад $800\text{ }^\circ\text{C}$ для зуба нової та традиційної пили

3.2 Якість торця труби після термофрикційного різання пилкою з новою

геометрією

Після різання на основному торці залишається задирок зі зменшеними розмірами по периферії торця труби в 2...2,5 рази, зі зменшеною товщиною в 1,5...2 рази та зменшеним вильотом його від торцевої поверхні труби.

Не спостерігалось, як раніше, завальцювання отвору труби, що дуже важливо для здійснення технологічної операції обробки труби у ваннах, активних агресивних середовищах.

На рисунках 3.3, 3.4 видно, що на трубах з вуглецевих і нержавіючих сталей не спостерігається завальцювання (закриття) отвору, верхній та нижній задирок присутні, але мають значно менший розмір.



Рисунок 3.3 – Фотографія утвореного задирка при відрізку труби з вуглецевої сталі пилкою з новою геометрією



Рисунок 3.4 – Фотографія утвореного задирка при відрізку труби з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т пилкою з новою геометрією

На малюнку 3.5 представлено відсотковий вміст кількості дефектів на торцях труб із різного матеріалу. Закриття внутрішнього отвору не спостерігається, кількість труб з нижнім задирком зменшилася в 2,8 рази для труб із вуглецевої сталі.

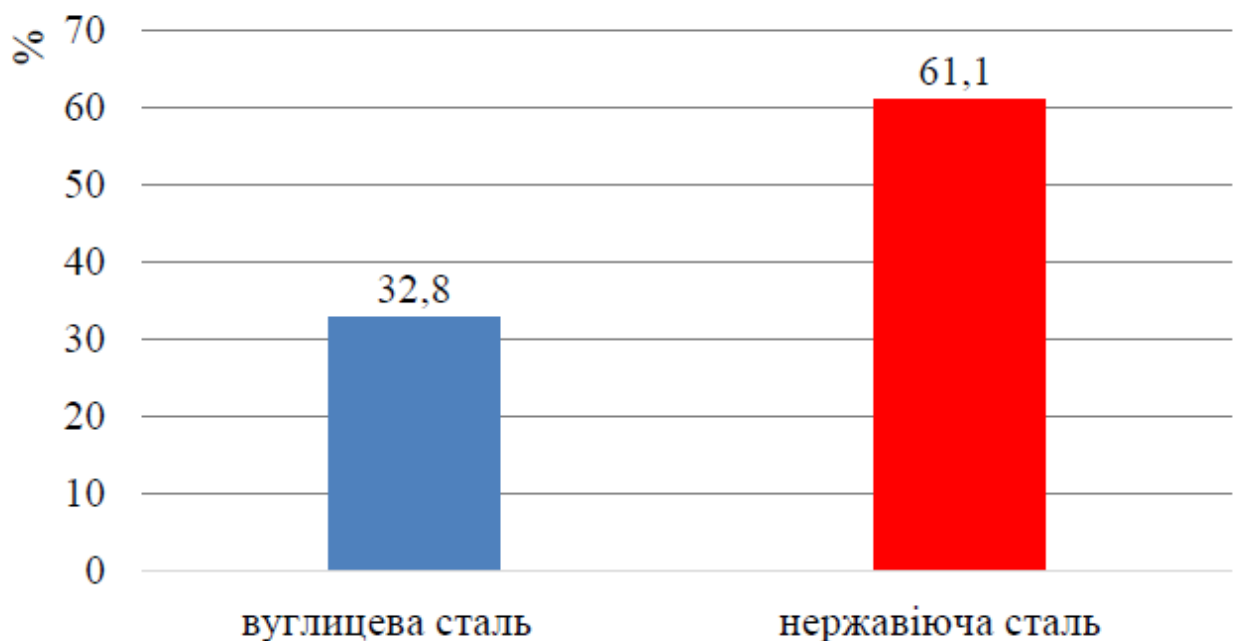


Рисунок 3.5 – Експериментальні значення процентного вмісту кількості дефектів (нижнього задирка) на торцях труб після термофрикційного різання пилкою з новою геометрією

Порівняльні результати розмірів нижнього задирка на торцях труб після

термофрикційного різання пилкою з новою геометрією та традиційною пилкою показані на рисунках 3.6 та 3.7.

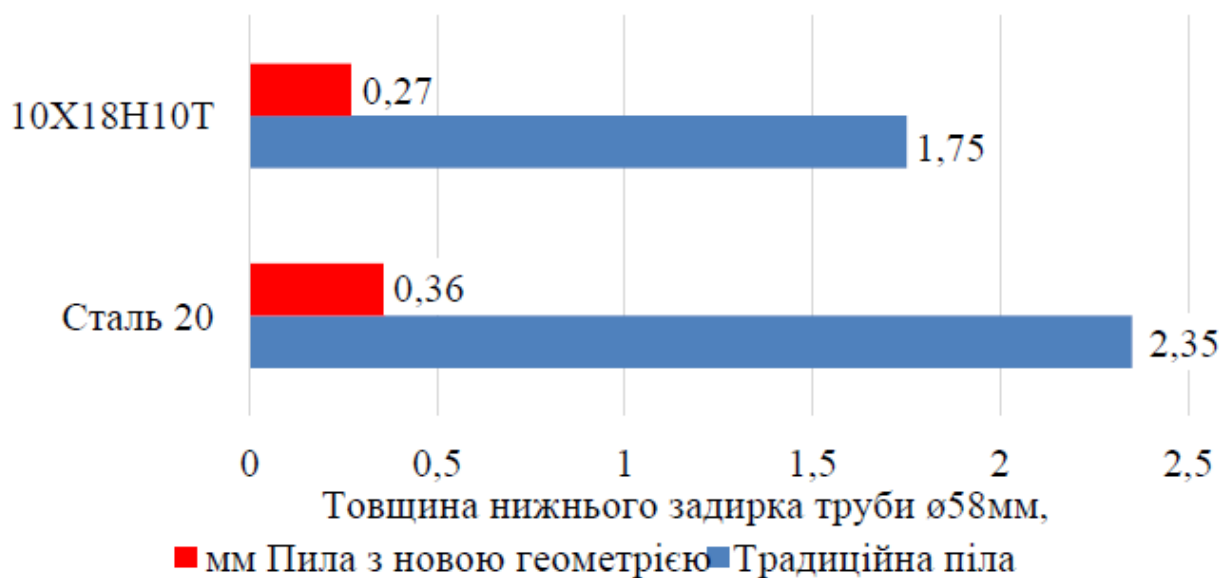


Рисунок 3.6 – Експериментальні значення товщини нижньої задирки труби Ø58мм, отримані після термофрикційного різання пилкою з новою та традиційною геометрією

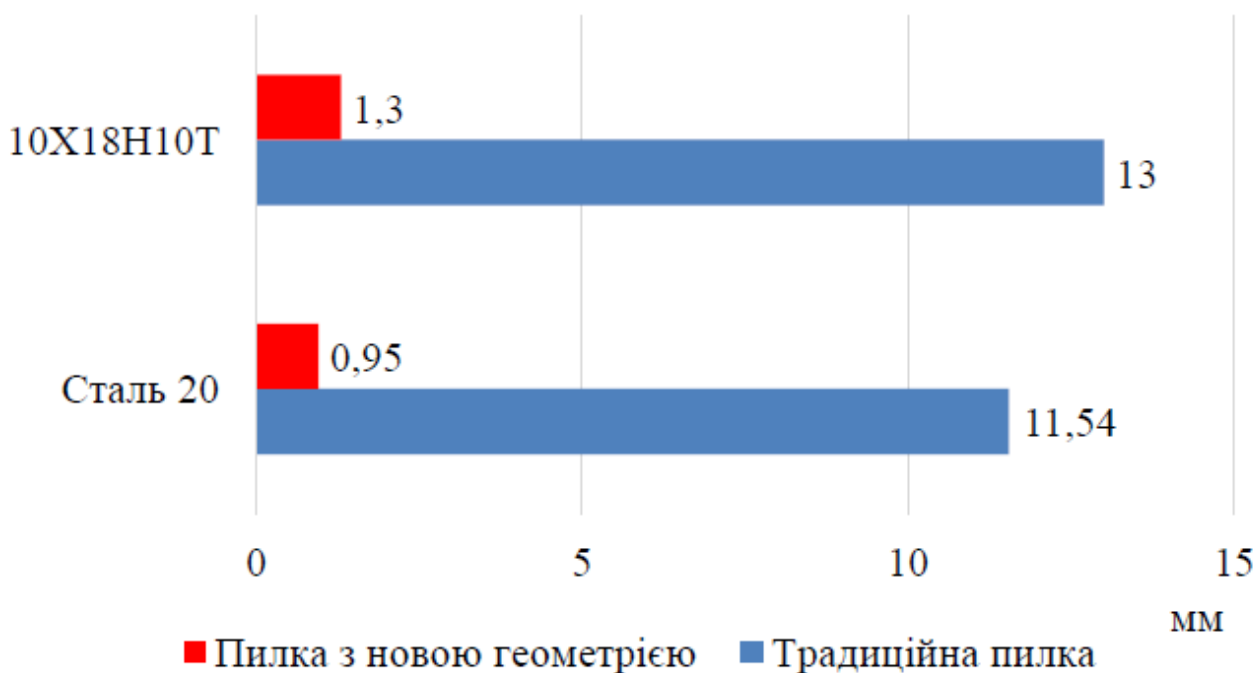


Рисунок 3.7 – Експериментальні значення довжини нижньої задирки труби Ø58мм отримані після термофрикційного різання пилкою з новою геометрією та

традиційною геометрією

Застосування пили зі зміненою геометрією знижує сили різання, що виникають, на 20% і деформацію труби на 70%, що призводить до зменшення задирок (рисунок 3.8 і 3.9).

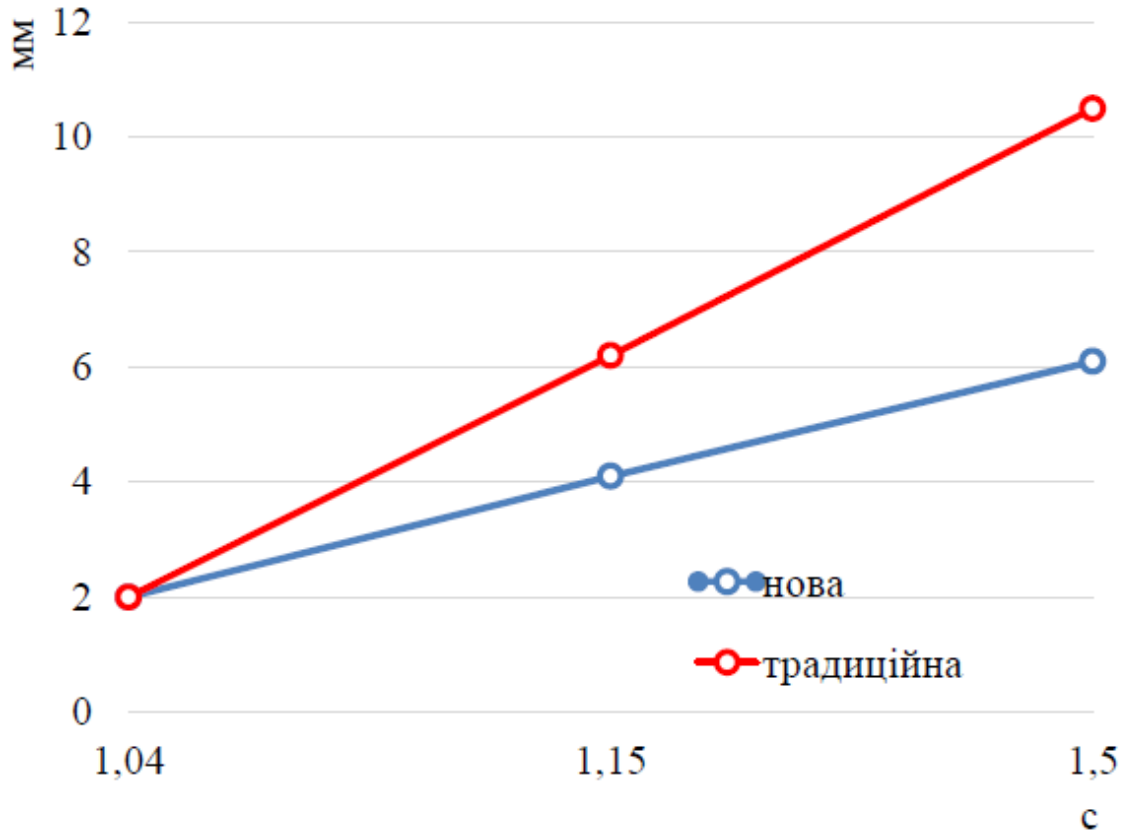


Рисунок 3.8— Експериментальні значення прогину труби, отримані після термофрикційного різання пилкою з новою та традиційною геометрією

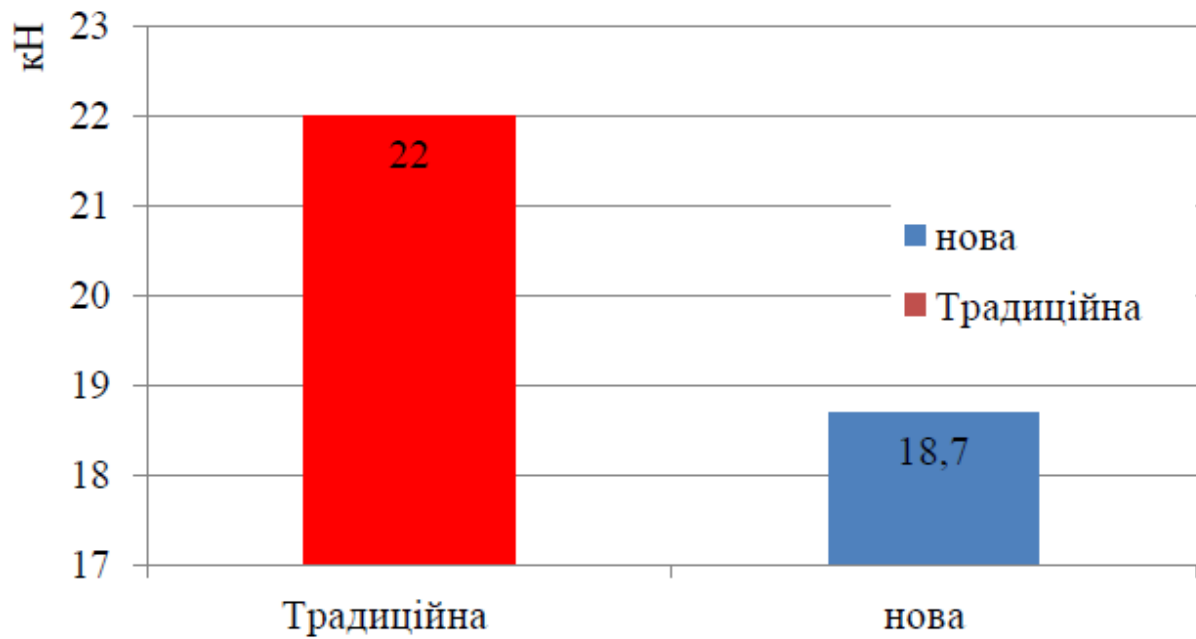


Рисунок 3.9 – Довжина нижнього задирка труби Ø106 мм, отримана після термофрикційного різання пилкою з новою та традиційною геометрією

5 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПИЛКИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РІЗАННЯ З ЗБІЛЬШЕНИМИ ПОДАЧАМИ ГАРЯЧОГО МЕТАЛОПРОКАТУ

5.1 Математична модель процесу високошвидкісного різання зі збільшеними подачами

При роботі пилкою з традиційною геометрією спостерігається зношування по передній і задній поверхнях, утворення тріщин як на вершині зуба, так і в западині зубів внаслідок великих навантажень при різанні.

Одним з факторів зносу ріжучого інструменту є геометричні параметри різального інструменту.

Метод кінцевих елементів (МКЕ) — чисельний метод розв'язання диференціальних рівнянь із приватними похідними, і навіть інтегральних рівнянь, що виникають під час вирішення завдань прикладної фізики. Метод широко використовується для вирішення завдань механіки твердого тіла, що деформується, теплообміну, гідродинаміки та електродинаміки [34, 221, 223].

Для підготовки вихідних даних для LS-DYNA використовувався препост-процесор LS-PREPOST. Моделювання проводилося з використанням Лагранжового підходу. Для спрощення завдання було розглянуто прямолінійний процес різання. Так як діаметр пильного диска 2500 мм, то великою помилкою не зробити траєкторію різання прямолінійною.

В якості матеріалу для заготівлі вибрано модель матеріалу MAT_ELASTIC_VISCOPLASTIC_THERMAL під номером 106. Це пружний в'язкопластичний матеріал з тепловим ефектом, що враховує вплив пластичної деформації, швидкості пластичної деформації і температури [69]. Скріншот карти моделі матеріалу представлено малюнку 4.2.

Розрахункова схема процесу різання наведена малюнку 4.1.

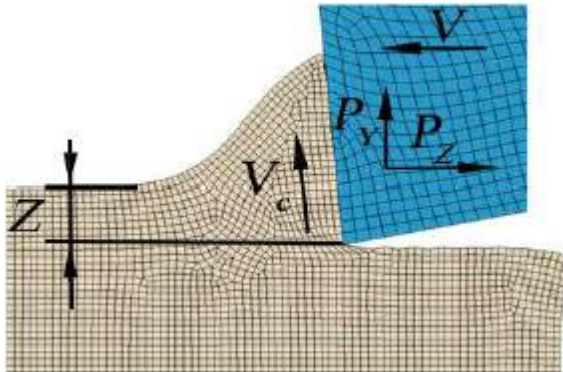


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема процесу різання:

V – швидкість переміщення інструменту, V_c – швидкість переміщення стружки;

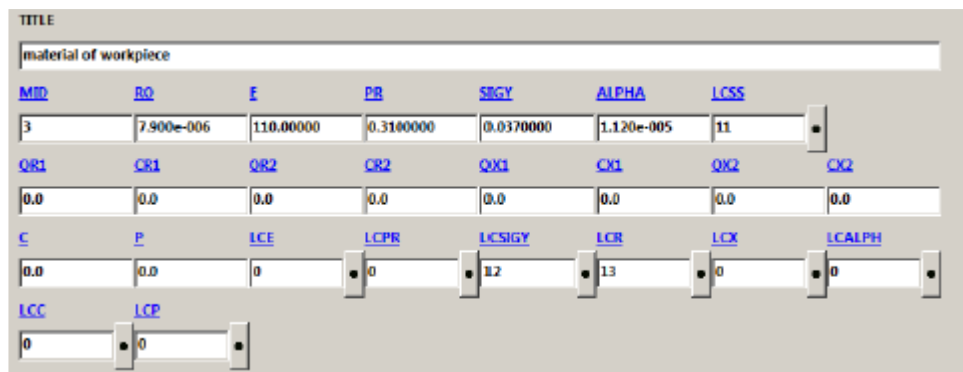


Рисунок 5.2 – Мапа моделі матеріалу

Фізичний критерій руйнування матеріалу [220]:

$$\bar{\varepsilon}^P \geq \bar{\varepsilon}_{\max}^P, \sqrt{\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij}} \geq \bar{\sigma}_{\max}, \sigma_1 \geq \sigma_{1\max}$$

Модель зміцнення матеріалу

$$\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon^P \cdot \theta) \cdot \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_P}{C} \right)^{1/k} \right]$$

Матеріалом інструменту є модель матеріалу MAT_ELASTIC під номером 001. Це пружний матеріал з можливістю оцінки напруженого стану інструмента. Скріншот карти моделі матеріалу представлений малюнку 4.3.

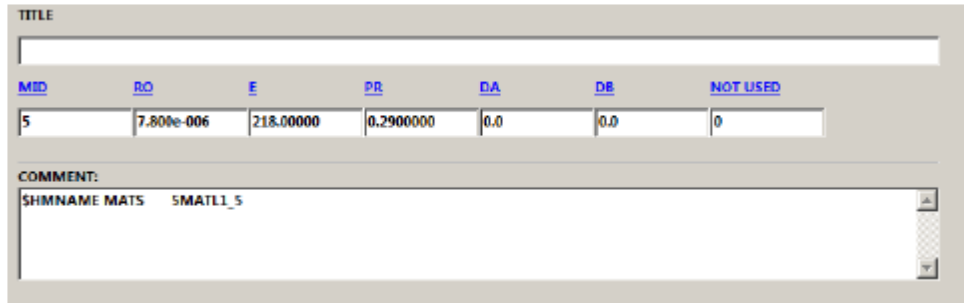


Рисунок 5.3 – Мапа моделі матеріалу MAT_ELASTIC:

MID – унікальний номер матеріалу; RO – щільність матеріалу, кг/мм³; E – модуль пружності ГПа; PR – коефіцієнт Пуассона.

Для завдання критерію руйнування використовується модель матеріалу MAT_ADD_EROSION під номером 000. Це матеріал, що дозволяє задавати руйнування за першою головною напругою, еквівалентною напруги, пластичної деформації та іншим критеріям. Скріншот карти моделі матеріалу представлений малюнку 4.4.

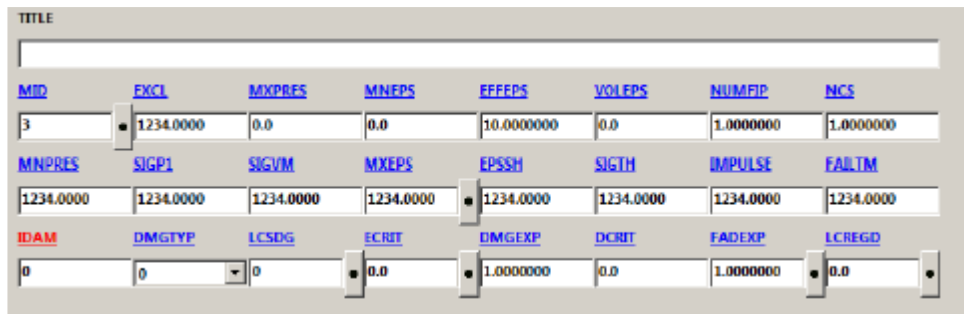


Рисунок 5.4 – Мапа моделі матеріалу MAT_ADD_EROSION:

MID – номер матеріалу, якого застосовується критерій руйнації; EXCL - значення, що ідентифікує винятки критерію; EFFEPS – критерій руйнування за еквівалентними деформаціями.

Для термомеханічного завдання використовується модель матеріалу MAT_THERMAL_ISOTROPIC за номером T01. Цей матеріал використовується для завдання теплофізичних властивостей матеріалу заготовки та інструменту. Скріншот карти моделі матеріалу представлений малюнку 4.5.

ID	TMID	TRO	TGRFC	TGMULT	TLAT	HLAT
1	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	HC	IC				
	485.00000	4.000e-005				

COMMENT:

Рисунок 5.5 – Мапа моделі матеріалу MAT_THERMAL_ISOTROPIC:

TMID – унікальний номер матеріалу; HC – теплоємність; TC – теплопровідність.

Контакт між інструментом та заготовлюю задається алгоритмом CONTACT_2D_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Під час вирішення термомеханічної задачі активується опція «THERMAL».

Складність процесів, що протікають при високошвидкісному різанні зі збільшеними подачами гарячого металопокату, вимагає застосування МКЕ, що дозволяє визначити геометричні параметри інструменту. Моделювання проводилося із застосуванням інструменту з різним γ значеннями переднього кута для визначення їх впливу на процес різання та характер напруженого стану зубів [3].

Однією з підстав для проведення представлених досліджень стало те, що в ході аналізу було встановлено, що для робіт з ударним навантаженням застосовують інструмент з негативним γ . Перевага такого інструменту полягає в тому, що удари сприймаються не ріжучою кромкою, а всією передньою поверхнею.

Незважаючи на те, що при збільшенні переднього кута γ сили різання та напруги в зоні стружкоутворення збільшуються, напруги у вершині зуба пили значно знижуються. Це є визначальним фактором для руйнування ріжучої кромки пилки.

У процесі сильного динамічного впливу зуба на метал заготовки

утворюється стружка, у якій виникають високі напруги.

На рисунках 4.6...4.9 показано послідовність утворення стружки. Під дією сили шар, що знаходиться перед передньою поверхнею інструменту, спочатку стискається, а потім, не відриваючись від основного металу, починає вичавлюватися по передній поверхні. Потім, після того, як сили різання перевищать сили зчеплення між частинками металу, стислий елемент стружки зсувається по площині зсуву, де діють максимальні дотичні напруги. Найбільші пластичні деформації спостерігаються у навколоконтактній зоні інструменту із заготівлю, що пояснюється остиганням металу у зоні контакту з холодною поверхнею інструменту [44].

З малюнка 4.10 випливає, що при збільшенні переднього кута інструменту збільшується кут зсуву, отже зменшується усадка стружки. Причому зі збільшенням товщини стружки зростає температура, що виникає в результаті тертя, так як при збільшенні товщини стружки зростають і сили різання.

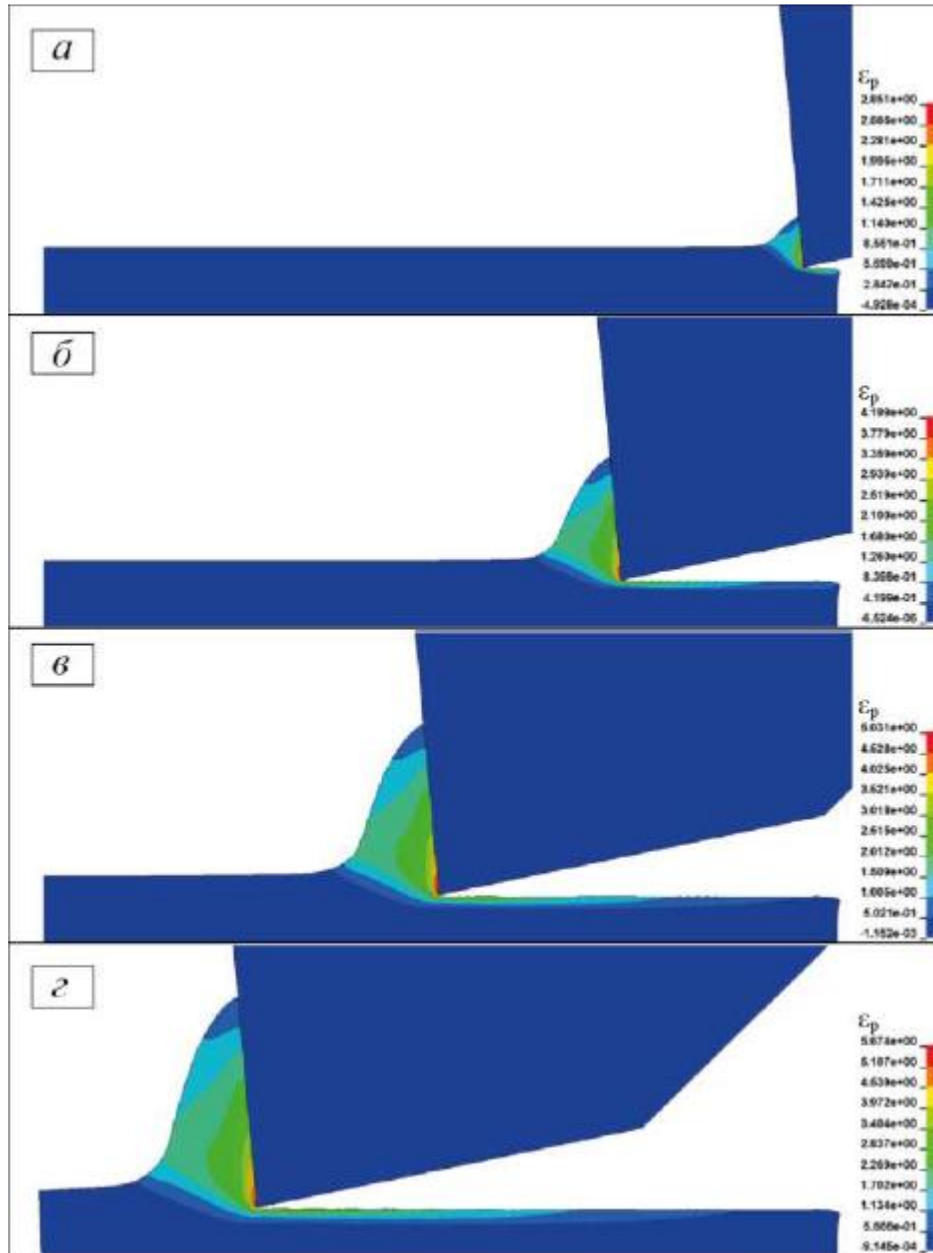


Рисунок 5.6 – Анімація процесу стружкоутворення ($\gamma = -5^\circ$, $\alpha = 15^\circ$):

а - час різання 0,02 мс; б - час різання 0,12 мс; в – час різання 0,22 мс; г - час різання 0,32 мс.

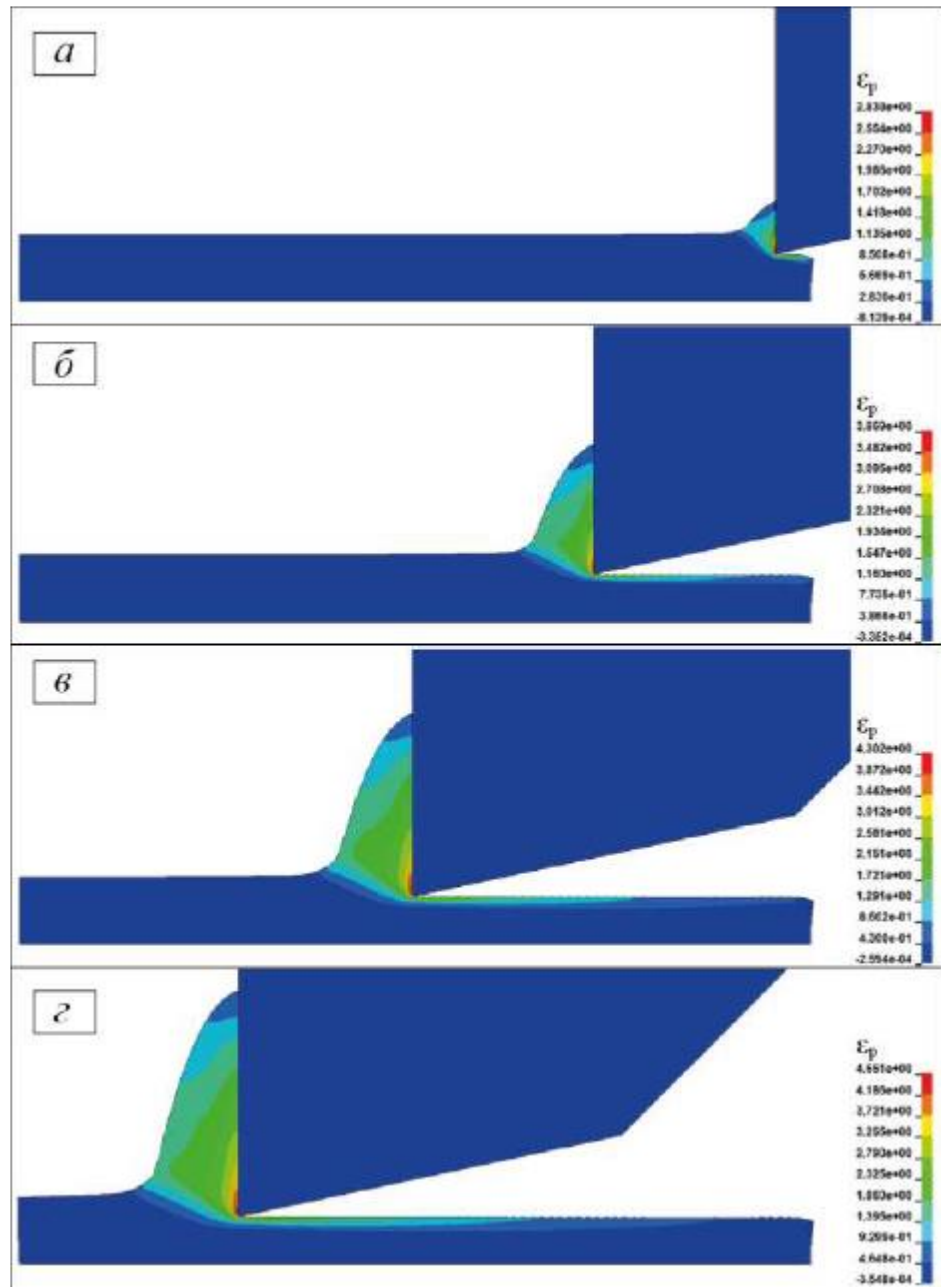


Рисунок 5.7 – Анімація процесу стружкоутворення ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 15^\circ$):
а-час різання 0,02 мс; б - час різання 0,12 мс; в – час різання 0,22 мс; г -
час різання 0,32 мс.

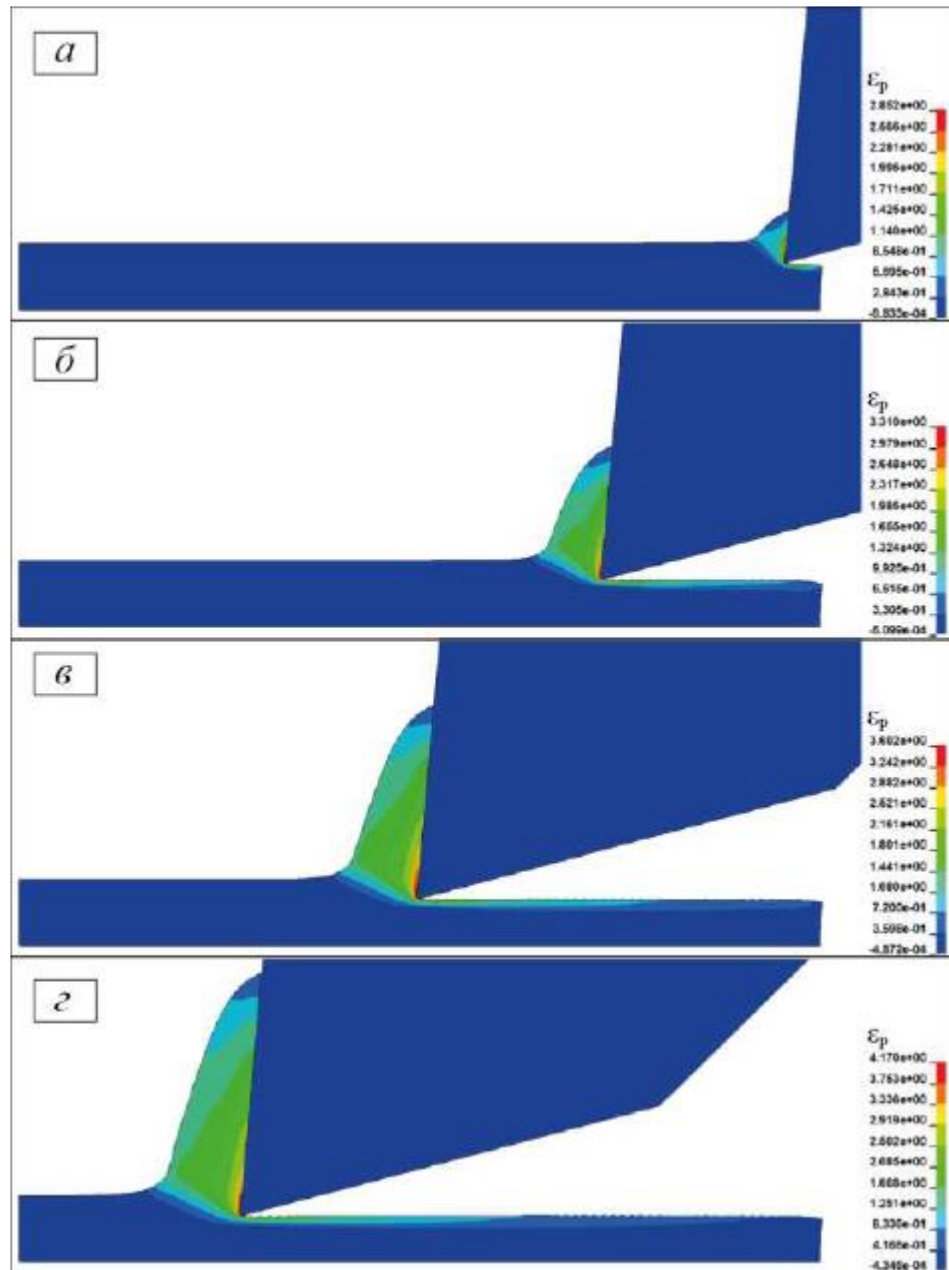


Рисунок 5.8 – Анімація процесу стружкоутворення ($\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 15^\circ$):
а - час різання 0,02 мс; б - час різання 0,12 мс; в – час різання 0,22 мс; г -
час різання 0,32 мс.

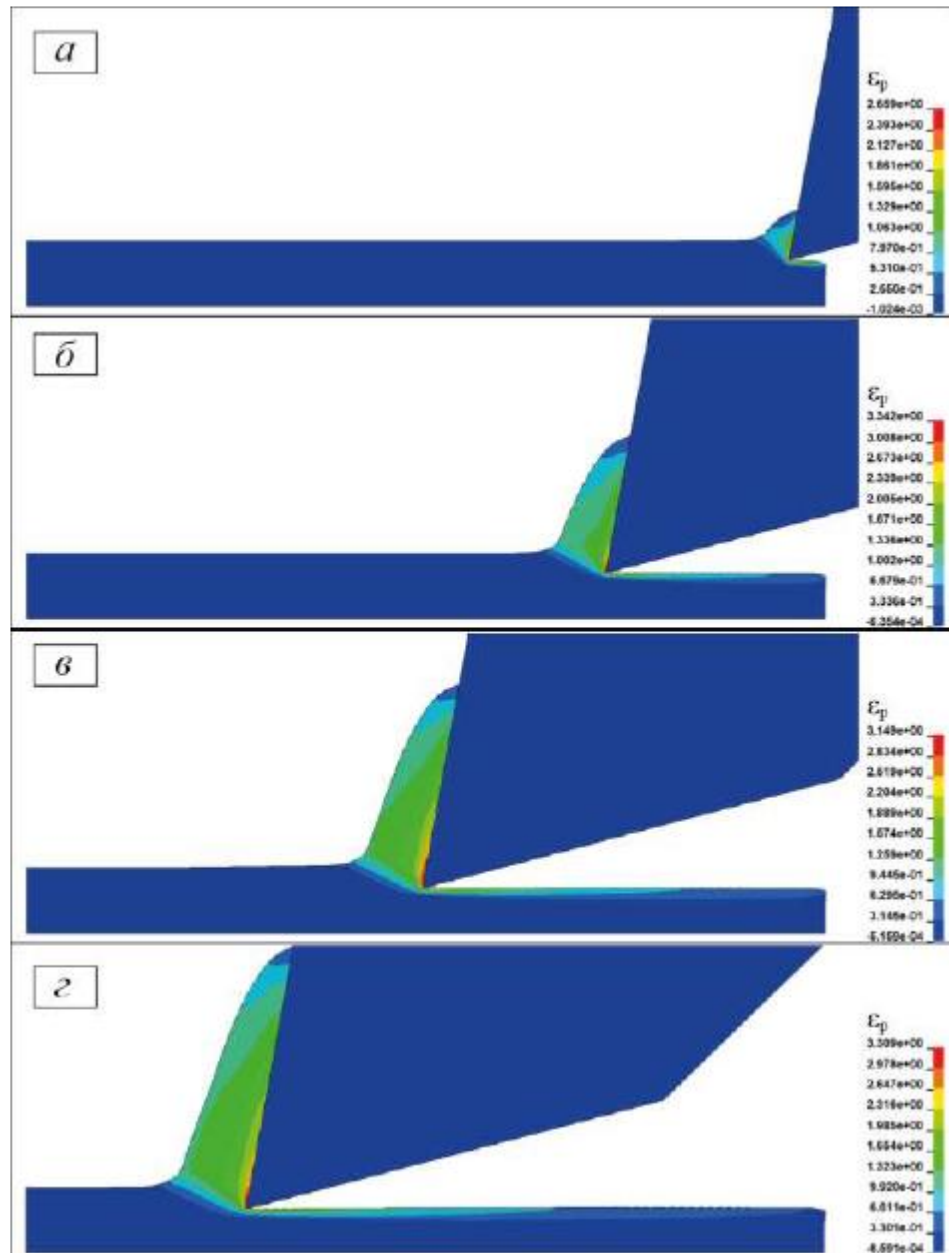


Рисунок 5.9 – Анімація процесу стружкоутворення ($\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 15^\circ$):

а - час різання 0,02 мс; б - час різання 0,12 мс; в – час різання 0,22 мс; г - час різання 0,32 мс.

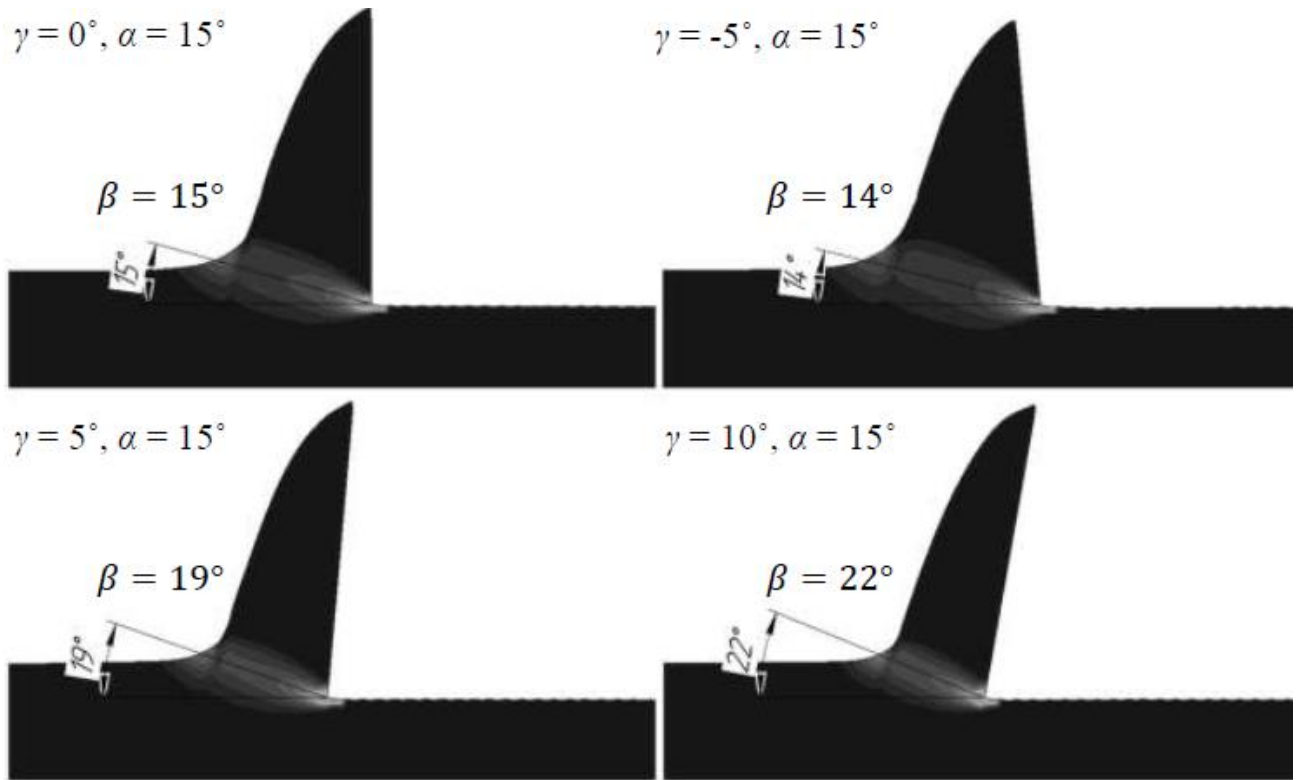


Рисунок 5.10 – Деформація у площині зсуву

Похибка значень пластичної деформації, одержаних при моделюванні та розрахованих аналітичним методом, не перевищує 8 %. Таким чином, використовуючи розроблену математичну модуль з великою ймовірністю, можна визначити пластичну деформацію в зоні різання.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РІЗАННЯ ГАРЯЧОГО МЕТАЛОПРОКАТУ ШЛЯХОМ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

6.1. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

В таблиці 6.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 6.1

Постановка цілей факультативного заняття

Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4
Сформувати вміння проводити аналіз поточний процес високошвидкісного різання гарячого металопрокату з виявленням факторів, що впливають на процеси утворення задирок на торцях та зношування зубів традиційної геометрії.	I-IV рівень	Базові знання з дисципліни «Теорія різання та ріжучий інструмент»	Сформовані вміння у здобувачів освіти щодо аналізу поточного процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату з виявленням факторів, що впливають на процеси утворення задирок на торцях та зношування зубів традиційної геометрії. Встановлена залежність якості оброблених торців гарячого

			металопрокату та
--	--	--	------------------

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
<p>Встановити залежність якості оброблених торців гарячого металопрокату та зношування інструменту від його геометричних параметрів та технологічних характеристик процесу різання. На основі виявлених закономірностей, що описують процеси тепловиділення та перерозподілу теплових потоків, створити математичні моделі для оптимізації геометричних параметрів інструменту та визначення раціональних умов обробки. Обґрунтувати достовірність використання створених математичних моделей та встановлених закономірностей для дискових пилок високошвидкісного різання в умовах</p>			<p>зношування інструменту від його геометричних параметрів та технологічних характеристик процесу різання. На основі виявлених закономірностей, що описують процеси тепловиділення та перерозподілу теплових потоків, створені математичні моделі для оптимізації геометричних параметрів інструменту та визначення раціональних умов обробки. Обґрунтована достовірність використання створених математичних моделей та встановлених закономірностей для дискових пилок високошвидкісного різання в умовах реального виробництва.</p>

реального виробництва.			
------------------------	--	--	--

6.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Баланюк Г. В. Підвищення точності та якості багаторізевого розточування ступінчастих отворів на основі дослідження динаміки технологічної системи : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Баланюк Ганна Василівна ; МОН України, Одеський нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2018. – 23 с. 713825 К 621.9

2. Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Барандич Катерина Сергіївна ; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". – Київ, 2018. – 22 с. К 128902 621.7

3. Батигін Ю. В. Устаткування для практичної реалізації індукційного нагрівання в сучасних технологіях машинобудування / Ю. В. Батигін, О. С. Сабокар, В. А. Стрельнікова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 4. – С. 70-74. – Бібліогр.: с. 73 (5 назв). Р/О126.

6.3. Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття

План викладення теми: «Підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків».

1. Процес високошвидкісного різання гарячого металопрокату з виявленням факторів, що впливають на процеси утворення задирок на торцях та зношування зубів пив традиційної геометрії.

2. Залежність якості оброблених торців гарячого металопрокату та зношування інструменту від його геометричних параметрів та технологічних

характеристик процесу різання.

3. Математичні моделі для оптимізації геометричних параметрів інструменту та визначення раціональних умов обробки.

4. Достовірність використання створених математичних моделей та встановлених закономірностей для дискових пилок високошвидкісного різання в умовах реального виробництва.

6.4. Аналіз базових умов навчання

В таблиці 6.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 6.2

Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
Загальні відомості про процес різання.	Дисципліна «Теорія різання та ріжучий інструмент»	Метод – комбіноване опитування Форма – фронтальна Засіб – контрольні питання. Приклад питань: 1. Особливості обробки зенкеруванням та розгортанням. 2. Типи протяжок, конструкція та геометричні параметри. 3. Різьбошліфування. 4. Схема різання та форма ріжучих кромek протяжок. 5. Призначення та конструктивні особливості розгортка. 6. Розрахунок та проектування	Нагадування основних моментів

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
		протязок. 7. Зенкери та зенковки. Призначення та конструкція. 8. Процес шліфування. Характерні особливості шліфування.	

1	2	3	4
		9. Конструкція та геометричні параметри спірального свердла. 10. Види шліфування. 11.Методика призначення найвигідніших режимів різання при свердління. 12. Абразивні інструменти, їх форма та призначення. 13.Швидкість різання при свердлінні та вплив на неї різних факторів. 14.Маркування шліфувальних кіл. 15. Типи свердел, особливості їх конструкцій. 16. Елементи режиму різання при шліфуванні. 17.Сила різання та потужність при свердлінні. Вплив різних факторів на силу різання та крутний момент. 18.Вибір режимів шліфування. 19.Особливості процесу різання при фрезеруванні. 20.Прогресивні методи абразивної обробки	

6.5. Проєктування мотиваційних технологій навчання

На рис. 6.2 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 6.3 – текст мотивації до нашого заняття

Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
<p>Вступна мотивація Прийом: віднесення</p>	<p>В даний час різання гарячого металопрокату дисковими пилками є невід'ємною складовою технологічних процесів на металургійних та трубопрокатних підприємствах України та за кордоном. Простота, дешевизна та висока продуктивність процесів високошвидкісного різання металопрокату дисковими пилками, що дозволяють забезпечувати необхідний виробництвом такт випуску продукції, є основними перевагами цих процесів та зумовлюють їх широке поширення.</p> <p>Найважливішими показниками ефективності високошвидкісного різання металопрокату є стійкість пильного диска та якість торця в місці відрізу. Наявність задирок на цьому торці, завальцювання внутрішньої поверхні труби призводять до значного збільшення технологічних витрат за подальшої обробці. Спроби вирішення цієї проблеми застосуванням керамічних дисків та варіювання режимами різання ні в нашій країні, ні за кордоном, не привели до бажаних результатів. На сьогоднішній день не існує поки що єдиної теорії, що описує закономірності високошвидкісного різання гарячого металу за температур 1100...1200°C та швидкостях 100...120 м/с, не досліджений повною мірою і характер протікання цього процесу, зокрема, його фізична сторона.</p> <p>В умовах сучасного автоматизованого виробництва успішне вирішенні цих завдань бачиться лише у зміні геометричних параметрів зубів дискових пил та встановлення ступеня їх впливу на процеси формування та перерозділення теплових потоків у зоні різання.</p>

6.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 6.4

Таблиця 6.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
I	Фронтальна	Лекція з елементами бесіди, ілюстрація, демонстрація	Презентаційні слайди з теми плакати, відеоматеріали з теми.
II	Фронтальна	Лекція-пояснення, демонстрація	
III	Фронтальна	Лекція-бесіда-диспут, ілюстрація	
IV	Фронтальна	Лекція-демонстрація	

6.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III, IV	Фронтальна	Вправи, самостійна робота	<p>Завдання 1: Опишіть характер протікання процесу різання, що визначається критерієм стружкоутворення.</p> 

Продовження табл. 6.5

1	2	3	4
			<p>Завдання 2: Опишіть дослідження пилки традиційної геометрії</p>  <p>Завдання 3: Опишіть, відповідно до рисунку, вершину зуба традиційної пили:</p> <p>а – деформація зуба; б - фрагмент енерго-дисперсійного аналізу.</p> 

6.8 Проектування контрольних дій з теми

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
IV рівень	Фронтальна форма	Закріплююча бесіда	Питання: 1. Опишіть характер протікання процесу різання, що визначається

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
			критерієм стружкоутворення.

1	2	3	4
			<p>2. Опишіть залежність якості торця заготовки, що відрізається, зношування інструменту від його геометричних параметрів та технологічних умов процесу різання гарячого металопрокату.</p> <p>3. Назвіть причини утворення задирок при різанні гарячого металопрокату, що полягають у значному збільшенні обсягу розігрітого металу в кінці процесу різання, падінні його межі плинності, низької жорсткості технологічної системи, що сприяє розтягуванню та розриву розігрітого металу з боку пресостатку.</p> <p>4. Побудуйте кінцево-елементну модель освіти задирки.</p> <p>5. Опишіть математичні моделі процесу утворення задирки та навантаження вершин зубів у програмному комплексі Deform-3D, що дозволяють визначити раціональні умови обробки та геометричні параметри інструменту.</p>

6.9 Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Сценарій заняття з теми заняття «Підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків»

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Вітання, фіксація відсутніх, перевірка зовнішньої обстановки в аудиторії. Вітання викладача. Студенти підтверджують присутності у момент переклички, налагоджуються на здійснення навчальної діяльності.
2	Повідомлення теми і мети заняття	Повідомлення теми заняття: «Підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків». Мета: сформувати вміння у здобувачів освіти щодо підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків.
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків». Текст для формування внутрішньої мотивації представлений в табл. 4.3.
4	Актуалізація базових знань	Проведення усного фронтального опитування. Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб –питання. Перелік контрольних питань представлений в таблиці 4.2.
5	Формування ООД	Викладач викладає новий навчальний використовуючи методи традиційні – пояснення, бесіда, демонстрація та інноваційні – лекція-дискусія з елементами мозкового штурму відповідно за планому заняття, який представлений у п. 4.3.

1	2	3
6	Формування ВД	Викладач проводить закріплення навчального матеріалу за допомогою методу – рішення задач, видаючи кожному студенту картики-завдання з вправами. Приклад вправ представлений в табл. 4.5.
7	Формування КД	Викладач проводить студентам контрольні питання, які представлені в таблиці 4.6.
8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття. Видає домашнє завдання: Написати реферат по темі.

Висновки до розділу 6

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було виконано розробку факультативного заняття з теми «Підвищення ефективності процесу високошвидкісного різання гарячого металопрокату шляхом перерозподілу теплових потоків» для фахівців в галузі машинобудування, а саме: сформульована дидактична мети практичного заняття, розроблений аналіз базових умов навчання, обраний тип мотивації та сформульований її текст, сформовані системи задач і завдань для вирішення і виконання на практичній роботі, розроблені способи формування орієнтовної основи діяльності та формування виконавчих дій, організація виконання завдань та рішення задач, контролю сформованих умінь та розроблений сценарій факультативного заняття.

ВИСНОВКИ

Основним результатом даної роботи є встановлення закономірностей тепловиділення та теплорозподілення в контактній зоні, розрахунку геометричних параметрів пилок для термофрикційного та високошвидкісного різання гарячого металопрокату зі збільшеними подачами. На основі комплексних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено проблему підвищення якості торцевої поверхні металопрокату після операції різання в гарячому стані.

Виявлено характер протікання процесу різання, що визначається критерієм стружкоутворення. Процес стружкоутворення змінюється пластичним відтиском зі збільшенням радіусу при вершині. Дослідження процесу на різних подачах з урахуванням радіусу закруглення ріжучої кромки зуба пили дозволяє підтвердити залежності утворення задирок і зношування пил традиційної геометрії. Експериментально підтверджено критерій переходу, що визначає критичну відносну глибину різання $m_{кр}$.