

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 створення динамічної
математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні
шліфувального кола в наслідок стирання
(тема кваліфікаційної роботи)


Виконав: студентка 5 курсу, групи ДІТ-
ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта
(Машинобудування)»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


 /Наталя ЯРОШЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)


Керівник  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  /Віктор ХОМЕНКО
(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) Наталії ЯРОШЕНКО


(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання
затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи 4 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Зразки деталей обробки на верстатах шліфувальної групи, шліфувальні кола, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Динамічна математична модель сили різання при шліфуванні. Дослідження впливу твердості кола і елементів режиму шліфування на силу різання з використанням розробленої динамічної математичної моделі, перевірка адекватності динамічної математичної моделі сили різання. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

6. Консультант:

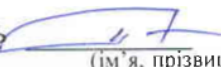
Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Микола ЛАЗАРЄВ			

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

Керівник  Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я, прізвище)Завдання прийняв до виконання  Наталя ЯРОШЕНКО
(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

 Наталя ЯРОШЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)Нормоконтроль  Олег ПОДОЛЯК
(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 створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання

(назва роботи)

студента

ЯРОШЕНКО Наталя Вадимівна

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Подоляк Олег Степанович

(прізвище, ім'я та по батькові)

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

Коефіцієнт Подібності 1: 0,78,

Коефіцієнт Подібності 2: 0,00,

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



(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

26.11.24

(дата)

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 Актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі	10
2 Аналіз стану питання.	15
3. Динамічна математична модель сили різання при шліфуванні	21
4 Дослідження впливу твердості кола І елементів режиму шліфування на силу різання з використанням розробленої динамічної математичної моделі	30
5. Перевірка адекватності динамічної математичної моделі сили різання	40
Розділ 6 Розробка дидактичного проєкту факультативного заняття на тему «створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання» для фахівців машинобудівної галузі	60
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “Підготовка фахівців машинобудівної галузі з створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання”

РЕФЕРАТ

Робота містить 76с., 48 рис., 29 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання.

У другому розділі виконано огляд досліджень та публікацій з створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання.

У третьому розділі викладено динамічну математичну модель сили різання при шліфуванні.

У четвертому розділі виконано дослідження впливу твердості кола І елементів режиму шліфування на силу різання з використанням розробленої динамічної математичної моделі.

У п'ятому розділі виконано перевірку адекватності динамічної математичної моделі сили різання.

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

Ключові слова: професійна підготовка, шліфувальне коло, робоча поверхня

Abstract of the master's qualification work on the topic "Training of specialists in the mechanical engineering industry to create a dynamic mathematical model of cutting force, which takes into account the wear of the working surface of the grinding wheel as a result of abrasion"

ABSTRACT

The work contains 76 pages, 48 figures, 29 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 create a dynamic mathematical model of cutting force, which takes into account the wear of the working surface of the grinding wheel as a result of abrasion.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to create a dynamic mathematical model of cutting force, which takes into account the wear of the working surface of the grinding wheel as a result of abrasion.

The second section reviews research and publications on the creation of a dynamic mathematical model of cutting force, which takes into account the wear of the working surface of the grinding wheel as a result of abrasion.

The third section presents a dynamic mathematical model of cutting force during grinding.

The fourth section studies the influence of the hardness of the wheel and the elements of the grinding mode on the cutting force using the developed dynamic mathematical model.

The fifth section checks the adequacy of the dynamic mathematical model of cutting force.

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

Keywords: professional training, grinding wheel, working surface

ВСТУП

Шліфування- Найпоширеніший метод остаточної обробки поверхонь деталей машин. Підвищення ефективності процесу шліфування із забезпеченням необхідних вимог до якості обробленої поверхні відноситься до пріоритетних напрямків розвитку абразивної обробки матеріалів.

Одним з основних факторів, що визначають ефективність процесу, є сила різання. Від неї залежать пружні деформації технологічної системи, температура в зоні різання та поверхневих шарах деталі, утворення припалів, зношування та стійкість шліфувального круга. Враховуючи такий значний вплив на показники процесу, вивченню особливостей формування сили різання при шліфуванні за різних умов приділяється велика увага.

На сьогоднішній день дослідження сили різання найефективніше можна здійснити за допомогою комп'ютерної техніки, на основі відповідних математичних моделей, у яких повинні бути відображені характеристики заготівлі, шліфувального кола та процесу обробки. Достовірність математичної моделі сили різання багато в чому визначатиме продуктивність шліфування, якість обробленої поверхні та ефективність процесу загалом.

Сила різання при шліфуванні безпосередньо пов'язана із зносом абразивних зерен на робочій поверхні (РП) шліфувального кола (ШК). Основними параметрами рельєфу РП ШК вважаються щільність розподілу зерен та радіус їх вершин. Вихідний рельєф РП ШК формується у процесі виправлення. Протягом періоду шліфування рельєф РП змінюється внаслідок зношування, що необхідно враховувати розробки динамічної моделі сили різання.

Вивчення сили різання при шліфуванні та розроблення її математичних моделей присвячені дослідження Н.І. Богомолова, Г.В. Бокучави, С. М. Братан, Д.І. Волкова, С.А. Воронова, В.А. Горєлова, А.А. Дияконова, А.В. Корольова, С.М. Корчака, А.А. Кошина, Т.М. Лоладзе, Г.Б. Лур'є, Є.М. Маслова, А.А. Маталіна, Ю.К. Новосьолова, В.А. Носенко, В.І. Островського, В.А. Полетаєва,

С.Г. Редько, О.М. Резнікова, Л.І. Філімонова, П.І. Ящерицина, Changsheng Guo, S. Malkin та інших.

Моделювання сили різання здійснюється у двох основних напрямках: створення емпіричних та розрахунково-експериментальних моделей.

Емпіричні моделі побудовані на основі апроксимації експериментальних даних. Область їх застосування здебільшого обмежується умовами експерименту. При використанні розрахунково-експериментального методу визначають силу різання, що діє на одну ріжучу кромку кола, знаходять число ріжучих кромок в межах зони контакту РП ШК і обчислюють силу різання як суму від кожної різальної кромки.

Для розробки динамічної математичної моделі сили різання при шліфуванні необхідно враховувати зміну розподілу вершин зерен на РП ШК, що відбувається в результаті різних видів зношування, кожен з яких різною мірою впливає на зміну початкового положення вершини зерна. Основними видами зношування РП ШК є виривання зерен із зв'язки кола, стирання та сколювання вершин зерен.

Метою роботи є створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос РП ШК внаслідок стирання та сколювання вершин зерен, виривання зерен із зв'язки кола.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- ✓ дослідити вплив різних видів зносу робочої поверхні шліфувального кола на силу різання;
- ✓ розробити динамічну математичну модель сили різання при
- ✓ провести експериментальні дослідження, оцінити адекватність динамічної математичної моделі сили різання;

Наукова новизна:

- ✓ розроблено динамічну математичну модель сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в результаті стирання та сколювання

вершин зерен, виривання зерен із зв'язування кола в процесі шліфування;

✓ розроблено алгоритм розрахунку складових сили різання пришліфування;

✓ на основі розробленої математичної моделі та експериментальних досліджень показано вплив видів зношування РП ШК в результаті стирання та сколювання вершин зерен, виривання зерен із зв'язування кола на особливості формування сили різання при шліфуванні колами різної твердості на різних режимах, встановлено характер розподілу сили різання в зоні шліфування.

Методи досліджень. Методологічною основою дослідження є основні положення теорії різання металів та лінійної алгебри. При перевірці адекватності моделі застосовані методи моделювання, що базуються на аналітичному та чисельному експерименті, а також на експериментальній перевірці результатів моделювання у лабораторних умовах.

Експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах з використанням сучасного обладнання та вимірювальної техніки.

Об'єкт дослідження: силарізація під час шліфування.

Предмет дослідження: вплив різних видів зношування РП ШК на силу різання під час шліфування.

РОЗДІЛ 1

АКТУЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Професійна підготовка інженерів-машинобудівників є складним і багатогранним процесом, який включає теоретичне навчання, практичні навички, інженерний аналіз та впровадження сучасних технологій. Вона орієнтована на створення компетентних фахівців, здатних розробляти, проєктувати, виготовляти та експлуатувати складні машини та механізми.

Основні елементи підготовки:

1. Теоретична підготовка (фундаментальні дисципліни: математика, фізика, хімія, основи програмування; технічні дисципліни: теорія механізмів і машин, інженерна графіка, матеріалознавство, гідравліка, термодинаміка; вивчення методів аналізу і розрахунку механізмів, розробка нових конструкцій).

2. Інженерний дизайн та моделювання (використання САПР (CAD): SolidWorks, AutoCAD, Inventor для проєктування деталей і механізмів; створення цифрових моделей, симуляцій роботи механізмів і розрахунок їх характеристик; застосування інженерних розрахунків (методи кінцевих елементів, динамічний аналіз)).

3. Практична підготовка (робота з сучасними верстатами, у тому числі ЧПК; навички роботи з інструментами для металообробки, зварювання, складання механізмів; виконання лабораторних робіт на основі реальних прикладів із виробничої діяльності).

4. Промислове стажування (проходження практики на машинобудівних підприємствах; ознайомлення з процесами виробництва, логістики та контролю якості; участь у розробці реальних технічних рішень).

5. Інновації та наукова робота (дослідження нових матеріалів, наприклад, композитів, легких сплавів; розробка екологічних і енергоефективних технологій

у машинобудуванні; участь у студентських конкурсах і проєктах).

Компетенції майбутнього інженера-машинобудівника:

- Технічні: Розробка креслень, знання принципів роботи машин, використання автоматизованих систем.
- Аналітичні: Розв'язання нестандартних задач, оптимізація процесів.
- Креативність: Генерація інноваційних ідей, створення нових механізмів.
- Менеджерські навички: Організація виробничого процесу, управління командою.

Інженери-машинобудівники є затребуваними у таких галузях, як:

- Автомобільна та авіаційна промисловість;
- Виробництво сільськогосподарської техніки;
- Робототехніка та автоматизація;
- Видобувна промисловість.

Перевага країни у технологічній сфері забезпечує їй пріоритетні позиції на світових ринках і одночасно збільшує її оборонний потенціал, дозволяючи компенсувати рівнем і якістю високих технологій, що диктуються економічними потребами необхідні кількісні скорочення. Володіння передовими технологіями є найважливішим фактором забезпечення національної безпеки та процвітання національної економіки будь-якої країни. Відстати у розвитку базових та критичних технологій, що становлять фундаментальну основу технологічної бази та забезпечують інноваційні прориви, отже, безнадійно відстати у загальнолюдському прогресі. Забезпечення наступності поколінь та сталого відтворення, кваліфікованих та компетентних інженерно-технічних кадрів нового покоління сьогодні входить до числа найважливіших стратегічних пріоритетів всім країнам світу. При цьому дедалі помітнішу роль кадрової політиці починає грати демографічний чинник: тоді як промислово розвинені країни

Заходу останніми роками здебільшого стурбовані виробленням різноманітних механізмів компенсації дефіциту фахівців, що поступово зростає, найбільш динамічні країни третього світу з зростаючим населенням розраховують повною мірою скористатися цим конкурентним перевагою.

XX століття разом із масовізацією інженерної освіти принесло руйнування його цілісності. Ліквідація ринкової економіки та зосередження високих технологій у деяких країнах виключно у великих державних підприємствах призвели до «відмирання» цілої низки інженерних компетенцій. Поділ вищої освіти, академічної науки та промисловості також не сприяло забезпеченню гідної якості інженерної освіти.

Довготривала тенденція до спеціалізації, зосередження високих технологій у великих корпораціях, перетворення вченого та інженера на масову професію мала місце й у країнах Заходу. Однак на рубежі XX-XXI ст., в останні десятиліття, знову відбулася зміна найважливіших трендів у цій галузі.

По-перше, збільшення значення інновацій в економіці та стрімкий розвиток базових технологій, постійне збільшення їх наукомісткості різко посилюють вимоги до базової освіти інженерів, якості їх інтелектуальних, волевих та організаційних здібностей.

По-друге, різке зростання ролі малих та середніх інноваційних компаній у сучасній високотехнологічній економіці підвищує вимоги до цілісності, універсальності та широті підготовки інженера, який знову виявляється одночасно у ролі вченого, технічного експерта та керівника підприємства, що розширює зону його відповідальності.

По-третє, якщо XX століття було віком створення системи масової, загальної освіти, коли кожне наступне покоління мало великий обсяг «формальних знань», отриманих через школу та вуз, то тепер ситуація суттєво змінилася. Нове покоління не стало більш освіченим, ніж попереднє (швидше навпаки), а сама система освіти повсюдно почала деградувати. У цьому плані

найстаріший і найпотужніший освітній інститут-сім'я-з її здатністю до цілісної освіти та передачі «неформальної знання» набуває виключно значення.

Відповідно, і інженерний тренінг в ЗВО, у малій фірмі, у формах додаткової освіти набуває цілісний особистісний характер.

Таким чином, «класична концепція» інженерної освіти, що розвивалася у XVIII–XIX ст. і досягла піку свого розвитку на початку XX ст., сьогодні знову стала актуальною. У багатьох розвинених країнах існує двоступінчаста система пред'явлення вимог до якості інженерної підготовки та визнання інженерних кваліфікацій. Перший ступінь – оцінка якості освітніх програм бакалаврів у галузі техніки та технологій через процедуру їх акредитації. Другий ступінь - визнання професійних кваліфікацій інженерів через їх сертифікацію та реєстрацію. Глобалізація, гіперконкуренція, стрімкий розвиток та ускладнення наукомістких технологій надають серйозний вплив змiну ролі інженера у суспільстві. Технологічні потреби глобальної економіки знань різко змінюють характер інженерної освіти, вимагаючи, щоб інженер володів набагато ширшим спектром ключових компетенцій, ніж вузькоспеціалізоване освоєння науково-технічних та інженерних дисциплін. Зростання усвідомлення важливості технологічних інновацій для конкурентоспроможності економіки та національної безпеки потребують нових пріоритетів для інженерної діяльності.

Тісна взаємодія та взаємопроникнення фундаментальних та прикладних досліджень, а також вплив кібер-інфраструктури, що дозволяють вирішувати комплексні завдання у нових галузях, вимагають нових парадигм інженерної діяльності Крім того, такі виклики, як зниження інтересу студентів до науково-технічної кар'єри, обмеження щодо імміграції та слабка диверсифікація інженерної діяльності всередині країни також ставлять питання адекватності традиційних підходів до інженерної діяльності.

Знову-таки, щодо інновацій то інноваційний процес є сукупністю окремих стадій — наукової розробки технічної ідеї, технології, доведення її до

промислового використання, отримання нового продукту, його комерціалізацію, причому ефективність процесу залежить від того, якою мірою всі стадії інтегровані в єдине ціле фінансування, кадрове забезпечення. Інноваційний процес — це процес створення, розповсюдження та застосування продуктів та технологій, які мають науково-технічною новизною та задовольняють нові суспільні потреби.

Інноваційні процеси мають розглядатися як процеси, що пронизують всю науково-технічну, виробничу, маркетингову діяльність виробників і, зрештою орієнтуватися задоволення кінцевих потреб, тобто. сьогодні особливо Важливого значення набули всі етапи, пов'язані з ринковою спрямованістю нововведень. Усі етапи інноваційного процесу передбачають свої методи організації праці, управління.

Аналіз ситуації, що склалася в галузі інноваційної діяльності показує, що нині низький попит сфери вітчизняного матеріального виробництва на науково-технічні досягнення та технології, слабо розвинений ринок науково-технічної продукції та супутня йому інфраструктура. Підприємства та організації, що займають інноваційною діяльністю, а також кредитно-фінансові установи, які фінансують ці підприємства, мало зацікавлені у проведенні цієї роботи.

Кінцевою метою формування інфраструктури має бути не просто створення на місцях умов для

найбільш ефективного здійснення науково-технічної та інноваційної діяльності, вона повинна сприяти подоланню спаду та створювати необхідні передумови для структурної перебудови виробництва, посилення конкурентоспроможності продукції та створення нових робочих місць.

Проблема створення інноваційної інфраструктури досить складна і вимагає спеціального опрацювання, в тому числі і на державному рівні, через розробку законопроекту про інноваційно-інвестиційну інфраструктуру, головним завданням якого має стати підготовка нормативно-правової основи під створення

науково-виробничої системи «наука-виробництво-ринок».

Активізація інноваційної діяльності вимагає, з одного боку, державного управління та координації дій суб'єктів інноваційного підприємництва, а з іншого – інтеграції всіх зацікавлених структур у реалізації нововведень, залучення інвестицій, створення умов, що сприяють інноваційному процесу та реалізації досягнень науки та техніки за умов ринкової економіки.

Децентралізація інвестиційного процесу, що відповідає економічним перетворенням (приватизацією державного сектора, розвитку приватного капіталу, виникненню венчурних фірм різної форми власності) буде призводити до різноманіття форм фінансування інноваційних проектів У зв'язку з цим набуває значення як вироблення чіткої стратегії структурної перебудови, її націленість на ефективне конкурентоспроможне виробництво, а й здатність використовувати весь арсенал інструментів прямого та непрямого регулювання припливу приватного та державного капіталу для фінансування інноваційної діяльності В умовах лібералізації економіки, коли соціальні замовлення на наукову продукцію ще не сформувалися, мабуть, виправдано значну державну підтримку науки з метою збереження вже існуючих найважливіших наукових заділів. Однак у міру поглиблення економічних реформ розвиток науки має все більшою мірою орієнтуватися на нове соціальне замовлення на її продукцію, нові пріоритети розвиненої економіки

Висновки до розділу 1

Таким чином, основним завданням в інноваційній та науково-технічній сфері є ліквідація застарілих та сприяння формуванню сучасних технологічних укладів в економіці країни.

Реалізація щодо стимулювання інноваційної діяльності в органічному поєднанні із системними соціально-економічними перетвореннями додала б

економічної реформи певну стратегічну спрямованість на її конкретне підпорядкування оновленню, подальшому розвитку та ефективнішому використанню науково-технічного потенціалу.

2. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

2.1 Існуючі підходи до опису характеристик робочої поверхні абразивного інструменту

Вивчення рельєфута розроблення математичних моделей РП ШК присвячено велику кількість досліджень [7, 11, 19, 20, 21, 35, 44, 48, 71, 85, 86, 91] та ін.

Кожне абразивне зерно при взаємодії з оброблюваним матеріалом розглядають як елементарну ріжучу кромку (вершину). Стохастичні геометричні параметри ріжучої кромки та випадковий характер розподілу зерен на РП ШК, що змінюються за період шліфування, багато в чому визначають складність моделювання сили різання.

До основних геометричних параметрів зерен шліфувальних порошків відносяться форма вершини зерна, передній кут γ і радіус закруглення ρ . Наприклад, розподіл кута γ вважається асиметричним і досить добре описується розподілом Релея. Середнє значення γ з максимальною ймовірністю наближається до -30° [89]. У роботах [99] та [100] для розподілу переднього кута рекомендують використовувати закони Вейбулла [99] або Стюдента [100]. Деякі статистичні параметри геометричних розмірів зерен наведено у таблиці 1.1 [52].

Таблиця 1.1 - Значення параметрів, що характеризують форму зерен

Автор	Кут при вершині, $^\circ$		Передній кут, $^\circ$		Коефіцієнт форми Кф	Радіус закруглення ρ , мм
	Середнє значення	Межі коливань	Середнє значення	Межі коливань		
Никифоров І.П.	94÷113	40÷169	-(47)÷57	-90÷+20	1,1÷3,0	-
Бакуль В.М.	-	40÷145	-	-	-	-
Лоладзе Т.М.,	80÷110	-	-(40)÷60	-	-	-
Лур'є Г.Б.	106÷110	-	-	-	1,7÷2,4	-
Маслов Є.М.	91,5÷110	40÷150	-	-	-	-
Оробинський В.М.	90	-	-45	-	-	-
Філімонов Л.М.	97÷111	-	-(45)÷55	-	-	0,0125
Зубарєв Ю.М.			-58	-		0,0132

Розподіл розмірів зерен може бути заданий за нормальним законом, який

більшості випадків використовується при моделюванні сили різання [105].

Досить часто, у процесі моделювання, складна геометрична форма абразивних зерен замінюється спрощеним еквівалентом. Наприклад, О.М. Резніков [68] розглядає модель зерна у вигляді еліпсоїда обертання з фіксованим значенням відношення меншої осі до більшої. Побудова моделі робочої поверхні проводиться щодо поверхні зв'язки, розподіл центрів зерен приймається рівноймовірним.

А.В. Корольов [36] форму зерна пропонує розглядати як реалізацію випадкової функції, що представляла сукупність синусоїд різних частот із випадковими амплітудами та фазами:

$$R(\varphi) = r + \sum_{k=2}^p (x_k \cdot \sin \omega_k \varphi + y_k \cdot \cos \omega_k \varphi), \quad (1.1)$$

де $R(\varphi)$ – поточний полярний радіус профілю зерна, що відповідає полярному куту φ ;

r – радіус середнього кола профілю, який визначається як середнє значення функції $R(\varphi)$;

x_k і y_k – випадкові некорельовані амплітуди, що відповідають k -й гармоніці, що мають попарно рівні дисперсії $D(x) = D(y) = D$;

$\omega_1, \dots, \omega_p$ – довільно вибрані частоти.

Перше доданок рівняння (1.1) розглядається автором як випадкова величина, що виражає розсіювання розмірів зерен, що мають форму ідеальної кулі. Друге доданок відбиває відхилення поверхні реальних зерен від правильної геометричної форми кулі. Залежно від глибини застосування форма абразивного зерна може бути представлена у вигляді кола радіусом r_0 (математичне очікування радіусів r партії зерен, що підкоряються нормальному закону розподілу), у вигляді еліпса з певним співвідношенням діагоналей або у вигляді виступу з висотою h_x і шириною b_x , образу певного радіусу на обробленій поверхні.

Загальний характер розподілу вершин зерен на робочій поверхні абразивного інструменту згідно з дослідженнями А.В.

Новосьолова[37] залежить від параметрів вихідного розподілу та від умов сколювання зерен у процесі правки (h_{ск.}; □_{ск.}). Рівень вершин зерен, що сколюлися, від середнього рівня зв'язки h_{ск.} відраховується від початкової частини кривої функції вихідного розподілу зерен. При h_{ск.}=0 сколювання зерен немає, та його розподіл буде відповідати вихідному.

Ввівши поняття різновисотності активних зерен H₀, автор пропонує визначати цю величину за формулою:

$$H_0 = \frac{h_0}{K \sqrt{F(h_{ск.})}} \quad (1.2)$$

Згідно з формулою(1.2) H₀ є величиною імовірнісною і залежить від відстані рівня сколювання активних зерен від вершин зерен h₀, що найбільш виступають, відповідних заданої ймовірності; функції розподілу F(h_{ск.}) і коефіцієнта K. Ввівши деякі припущення щодо визначення h₀ і K, автори перетворили формулу (1.2) на більш зручний для практичного використання вигляд і вивели вираз, що дозволяє визначити функцію розподілу вершин зерен на робочій поверхні інструменту:

$$z = 0,49 \cdot z_0 \left(\frac{h}{H_0} \right)^{2,8},$$

де z₀ - загальна кількість, що виступають над зв'язкою зерен.

А.К.Байкалов пропонує розглядати еквівалентну форму зерна у вигляді кулі певного радіусу, вважаючи всі зовнішні точки ріжучими [5]. Ріжуча куля, що має суцільну серцевину та кульовий пояс, що складається з ріжучих точок з нерівномірною щільністю по глибині, замінюється автором еквівалентною кулею постійного розміру. Визначення середнього розміру зерен проводиться за методикою, запропонованою в роботі для розрахунку частинок неправильної форми.

Описуючи модель абразивного інструменту, автор вводить «поняття абразивного простору», що є простір необмежених розмірів, в якому статично рівномірно із заданою густиною розподілені частинки з розмірами, що відповідають середньому розміру абразивних зерен. Число частинок в абразивному просторі прагне нескінченності; щільність частинок у будь-якій частині простору постійна; обсяг простору, що припадає на одну частинку, постійний; частинки у просторі нерухомі та зафіксовані середовищем, що ототожнюється з самим простором; властивості простору ізотропні.

При переході від ідеалізованої до реальної моделі інструменту, А.К. Байкалов поділяє абразивне простір на частини: 1) матрицю – статично нерухому систему жорстко пов'язаних частинок, залежить від способу виготовлення, що становить запас абразивного речовини; 2) прикордонний шар - динамічно рухлива і безперервно змінюється під впливом оброблюваного матеріалу або правлячого інструменту система абразивних частинок, місце якої безперервно зміщується всередину матриці.

На основі розробленої розрахунково-експериментальної моделі визначено закон зміни числа зерен за глибиною абразивного простору. У прикордонному шарі має місце параболічний закон наростання зерен до глибини, що дорівнює висоті прикордонного шару, та лінійний закон наростання числа зерен у матриці.

2.2 Аналіз підходів до опису зношування робочої поверхні шліфувального кола в процесі його експлуатації

2.2.1 Види зношування

Вихідний стан профілю робочої поверхні закладається під час виготовлення інструмента. У процесі правки та шліфування внаслідок зовнішніх впливів відбувається формування нового профілю, що відповідає даним умовам. Профіль кола, отриманий після редагування, змінюється в процесі шліфування внаслідок зношування [97].

Залежно та умовами взаємодії, як показано у роботі [60], можливі такі види зношування: стирання вершини зерна, що супроводжується відділенням субмікронних продуктів зносу; мікроруйнування вершини зерна з відділенням невеликих частинок (поверхневе фарбування); сколювання зерна з відділенням великих частинок, порівнянних із розміром зерна; виривання зерна із зв'язки. Зношування вершини зерна є випадковою подією. При розробці математичної моделі сили різання необхідно знати ймовірність протікання кожного виду зношування та його розмірну величину.

А.В. Корольовта Ю.К. Новосьолов [37] розглядають знос абразивного зерна, як зміна поточного радіусу округлення вершини, вихідна форма якого визначається параболоїдом обертання. Поточний радіус ρ_{zi} залежить від вихідного значення, умов контакту абразивного зерна з оброблюваним матеріалом, режиму різання та часу роботи інструменту Δt . Зі збільшенням Δt закономірно збільшується $\rho_{zi}(\Delta t)$, на вершині з'являється радіусна площадка зносу, спостерігається затуплення абразивного зерна. Затуплення зерна продовжується аж до його руйнування або виривання зі зв'язування кола. На основі виконаних досліджень авторами була отримана залежність для розрахунку радіусу заокруглення при вершині зерна:

$$\rho_{zi} = \frac{[\rho_{zi-1} - B(H-u)^{3/2}]^2}{\rho_{zi-1} - B(H-u)^{3/2} - \frac{3}{2}B\rho_{zi-1}\sqrt{H-u}},$$

Де

$$B = \frac{4h_0(v_k \pm v_n)\sqrt{D_e}}{3Hv_k},$$

де u - Відстань від умовної зовнішньої поверхні абразивного інструменту до вершини зерна;

H - Величина шару шорсткості поверхні;

h_0 - Відносний знос;

D_e - Еквівалентний діаметр;

$v_{доі} v_i$ – окружні швидкості кола та виробу відповідно.

У роботі [64] розглядається математична модель зносу абразивного інструменту від руйнування та фарбування ріжучих кромки, заснована на розрахунку дотичної складової сили різання. В основі моделі зносу ріжучої кромки абразивного зерна закладені параметри b_p (коефіцієнт, що враховує наповненість) та ν_p (коефіцієнт, що визначає форму одиничної нерівності). Механічне стирання та руйнування абразивного зерна обумовлено дією дотичних напруг зсуву в процесі шліфування з постійною окружною швидкістю v :

$$\tau_p = \frac{2 \cdot 1,23 HV (1 + \mu)}{b_p \pi (\nu_p + 1)} y^{1-\nu_p}, \quad (1.3)$$

де HV - твердість оброблюваної поверхні;

$$\mu = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_{\parallel}}{\sigma_{\perp}} + \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel}} \right);$$

y - Глибина впровадження зерна в оброблювану поверхню.

З формули (1.3) видно, що зі збільшенням твердості оброблюваного матеріалу, коефіцієнта тертя, зменшенні повноти абразивних зерен значення дотичних напруг зростає. Також вплив має форма ріжучої кромки та глибина впровадження y . Округліші зерна помітно зношуються при значних глибинах впровадження, що вказує на схильність їх до зносу сколюванням або фарбуванням. На гострі зерна впливають значні дотичні напруги при мінімальних глибинах застосування, що свідчить про схильність таких зерен до зносу стиранням чи сколюванням не більше глибини застосування, що впливає точність механічної обробки. Теоретично показується, що незалежно від виду зносу ріжуча кромка округляється, це призводить або до затуплення, або фарбування абразивного зерна. Таким чином, на думку авторів [64] оптимізація процесу шліфування з точки зору зношування ріжучої кромки полягає в досягненні її оптимальної округлості для здійснення процесу оновлення робочої поверхні абразивного інструменту з одночасним забезпеченням

достатньої ріжучої здатності.

Крім розробок теоретичних моделей багатодослідники займаються розробкою експериментальних способів дослідження зношування абразивних зерен. Так для дослідження змін мікрогеометрії абразивних зерен у процесі різання розроблено методику послідовного нанесення рисок на зразок.

2.3 Аналіз підходів до моделювання сили різання вершиною абразивного зерна

Моделювання процесу шліфування мікрорізанням одиничним абразивним зерном є найефективнішим методом дослідження експлуатаційних характеристик абразивного інструменту [14, 17]. Сила різання, що діє на одиничне абразивне зерно, визначає його міцність та зносостійкість, а також є основою визначення сумарної сили шліфування. Фізична взаємозв'язок сили різання одиничним абразивним зерном з основними параметрами процесу шліфування та, зокрема, напругою зсуву та стиснення, які залежать від міцності матеріалу заготівлі при реальних швидкостях деформації та температурах у зоні шліфування, було встановлено С.М. Корчаком [41]. Він одним із перших запропонував класифікувати сили, що викликають розподіл напруг наступним чином: P_z – дотична складова рівнодіючої сили різання P , що складається з суми двох сил – P_{zs} – дотичної сили від напруг пластичного зсуву (з урахуванням тертя стружки передню грань та нормальних напруг) та P_{ztr} – дотичної сили від тертя металу об задню грань; P_u – радіальна складова рівнодіючої сили різання P (або радіальна сила), яка виникає як реакція металу на інструмент внаслідок асиметричного розподілу зони напруг лінії контакту інструменту з металом. Цю складову автор також представляє як суму двох сил: P_{us} – від нормальної напруги та P_{utr} – від напруги, що діють по лінії ОВ і викликають тертя майданчика зерна про метал (Рисунок 1.1).

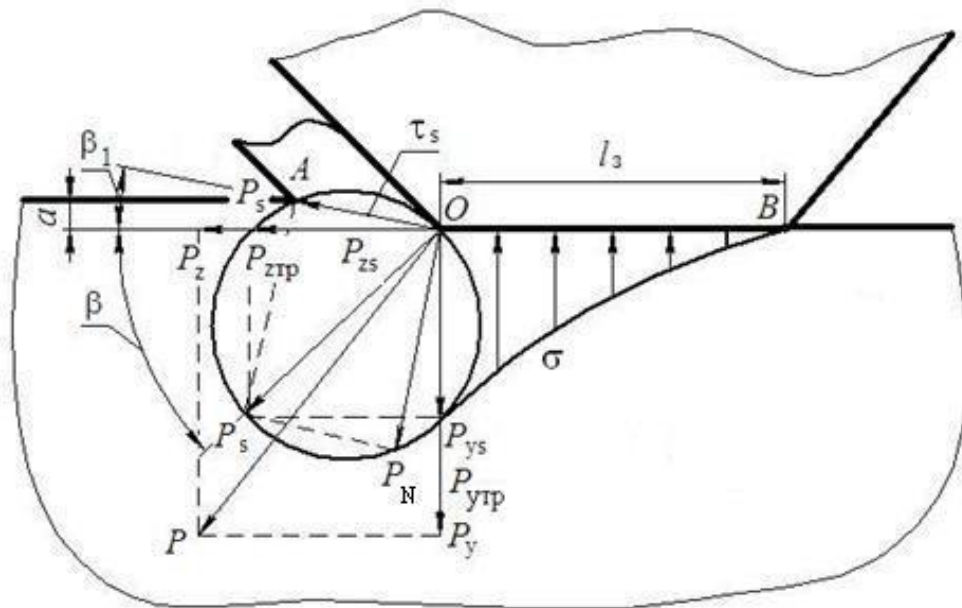


Рисунок 1.1 – Епюра напруг та складові зусиль різання під час роботи
 одиничного зерна шліфувального кола

3. ДИНАМІЧНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ

3.1. Основні засади розробки математичної моделі сили різання

Для розрахунку сили різання при шліфуванні розроблено динамічну математичну модель, яка враховує зміну рельєфу РП ШК внаслідок різних видів зношування залежно від часу обробки.

Шліфувальний круг - це пористий композиційний матеріал, що складається з зерен абразивного матеріалу, скріплених зв'язкою. Твердість зв'язки істотно менша за твердість абразивного матеріалу, тому припускаємо, що основну роботу різання виконують вершини абразивних зерен [55, 56, 60]. Рельєф робочої поверхні шліфувального кола, виходячи із зробленого припущення, визначається геометричними параметрами вершин зерен, їх числом та розподілом.

При побудові фізичної моделі плоского шліфування скористаємося положеннями, ухваленими для круглого шліфування [37, 38, 54, 55].

Зона контакту ШК і заготовки є область V , обмежену знизу умовною зовнішньою поверхнею шліфувального кола, зверху площиною COZ (Рисунок 2.1). За умовну зовнішню поверхню ШК приймаємо поверхню циліндра, що проходить через вершину зерна, що найбільш виступає. Вісь циліндра збігається з віссю обертання ШК. Площина COZ проведена через максимальний виступ нерівності оброблюваної поверхні заготовки.

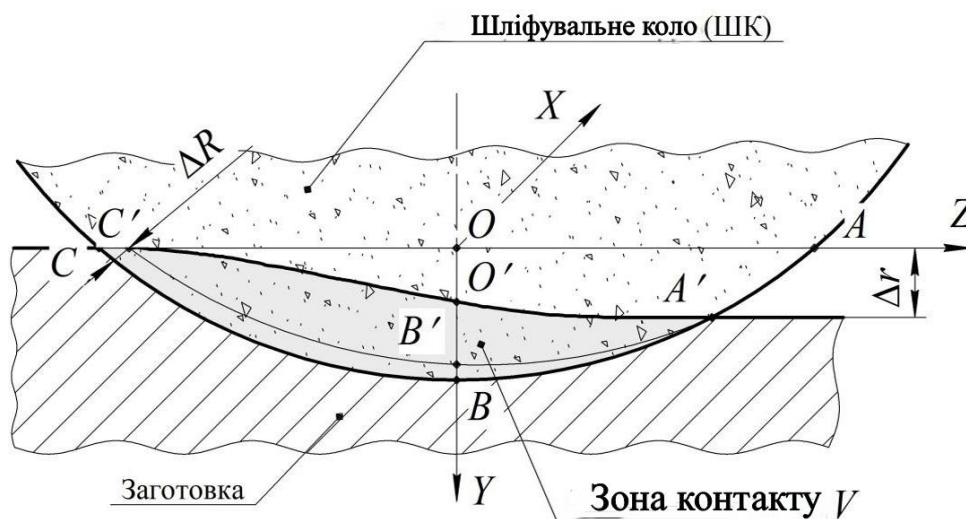


Рисунок 2.1 – Зона контакту деталі з колом при плоскому візному шліфуванні

Якби метал при шліфуванні не зрізався і абразивне коло не зношувався, то в площині, перпендикулярної осі кола, зона контакту мала б форму сегмента ABCA. Вершини найбільш віддалених зерен при обертанні кола вступали в контакт з оброблюваним матеріалом в точці A і виходили з зони контакту у точці C.

Так як процес мікрорізання супроводжується видаленням матеріалу у вигляді стружки, з поверхні заготовки знімається деякий шар матеріалу, завтовшки Δr .

За період проходження зони контакту абразивний інструмент зношується у точці C'.

З урахуванням радіального знімання металу Δr , верхня межа зони контакту якого змінюється по криволінійній дузі C'O'A', фактична зона контакту матиме форму криволінійного сегмента A'B'C'O'.

Величина радіального зносу кола за один його оборот R набагато менше знімання металу r . Наприклад, при плоскому шліфуванні зразка із загартованої сталі марки Сталь 45 (HRC 40...42) навколо $1200 \times 20 \times 76$ 25A F60 M 6 B 50 м/с 2 кл. ГОСТ Р 52781-2007 на режимі $v_k = 37$ м/с, $v_z = 12$ м/хв, $St = 0,01$ мм/хід з використанням в якості мастильно-охолоджувальної рідини 1% розчину

кальцинованої соди Na_2CO_3 , знос кола $\Delta R = 0,01$ мкм/об., що у тисячу разів менше середнього знімання металу ($\Delta r \approx 10$ мкм).

Оскільки $R \ll r$, допускаємо, що точки В і С збігаються відповідно з точками В' і С'. Тоді зона контакту абразивного інструменту з оброблюваною заготовкою буде обмежена криволінійним сегментом А'ВСО', контури якого знизу обмежені діаметром кола (дуга А'ВС), зверху - лінією СО'А', положення якої, як буде показано далі, визначається аналітично.

Для аналізу особливостей взаємодії заготівлі та шліфувального кола введемо поняття, що відносяться до зони контакту (Рисунок 2.2) [60].

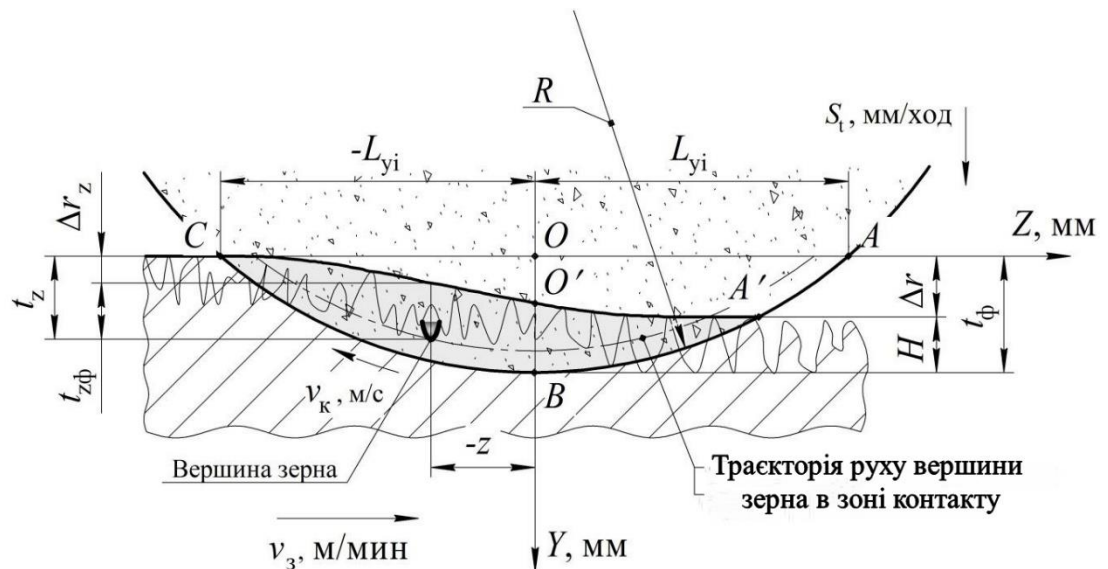


Рисунок 2.2 – Схема для пояснення основних понять, що належать до зони контакту

Умовна глибина різання вершини зерна t_z – це відстань між лінією виступів шорсткості оброблюваної поверхні та вершиною зерна в зоні контакту; t_z змінюється траєкторією руху вершини зерна. Наприклад, для вершини t_z , що найбільш виступає, змінюється від нуля в точці А до максимальної величини $t_{z\phi}$ в точці В. Далі умовна глибина різання зменшується до нуля в точці С.

Фактична глибина різання вершини зерна $t_{z\phi}$ в будь-якій точці по траєкторії руху в зоні контакту, що визначається координатою z , і завжди менше умовної t_z на величину віддаленого припуску матеріалу в точці зони контакту, що

розглядається Δr_z :

$$t_{z\phi} = t_z - \Delta r_z. \quad (2.1)$$

Фактична глибина шліфування t_ϕ відповідає максимальній глибині впровадження оброблюваний матеріал вершини зерна, найбільш віддаленого від центру обертання кола. Фактична глибина шліфування взаємопов'язана з радіальним зніманням металу Δr і величиною мікронерівностей, що залишаються після контакту поверхні з колом [38]:

$$t_\phi = H + \Delta r, \quad (2.2)$$

де H - шар, в якому розподілена шорсткість поверхні після торкання даної ділянки деталі з колом.

За характером формування рельєфу розділимо робочу поверхню у бік від умовної зовнішньої поверхні до центру шліфувального кола на радіальні шари (Рисунок 2.3 а). Відстань між шарами також приймемо рівним зносу кола за один оборот ΔR . Отримані шари об'єднаємо у три зони (Рисунок 2.3 б).

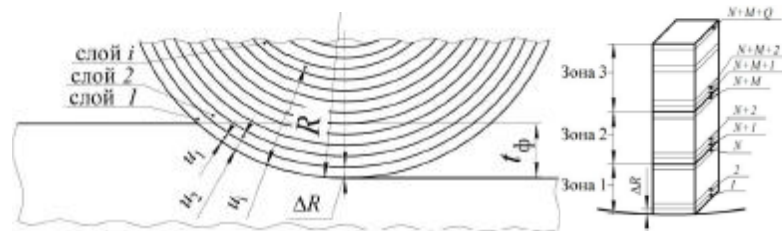


Рисунок 2.3 – Схема поділу РП ШК визначення щільності розподілу вершин зерен: u – відстань від умовної зовнішньої поверхні ШК до середини i -го шару

Формування рельєфу робочої поверхні кола відбувається у процесі зношування інструменту. Всі численні види зношування, в запропонованій моделі, об'єднані в три групи: виривання зерна зі зв'язки, сколювання та стирання вершини зерна [59].

У зоні контакту 1 зерна, що контактують з оброблюваним матеріалом, піддаються всім трьом видам зношування. У зоні 2 вершини зерен з оброблюваним матеріалом не контактують, отже, не піддаються жодним видам

зношування. Зміна щільності розподілу вершин в зоні 2 відбувається в результаті появи нових вершин, які до сколювання контактували з оброблюваним матеріалом в зоні 1. Верхня межа зони 2 обмежена рівнем, на який може переміститися в радіальному напрямку нова вершина зерна, що утворилася в результаті сколювання при контакті з оброблюваним матеріалом у зоні 1. У зоні 3 вершини зерен розподілені згідно з початковими умовами, отриманими після виправлення кола [63].

2.2. Алгоритм обчислення сили різання при шліфуванні

Динамічну математичну модель сили різання при шліфуванні можна подати як алгоритму (Рисунок 2.4).

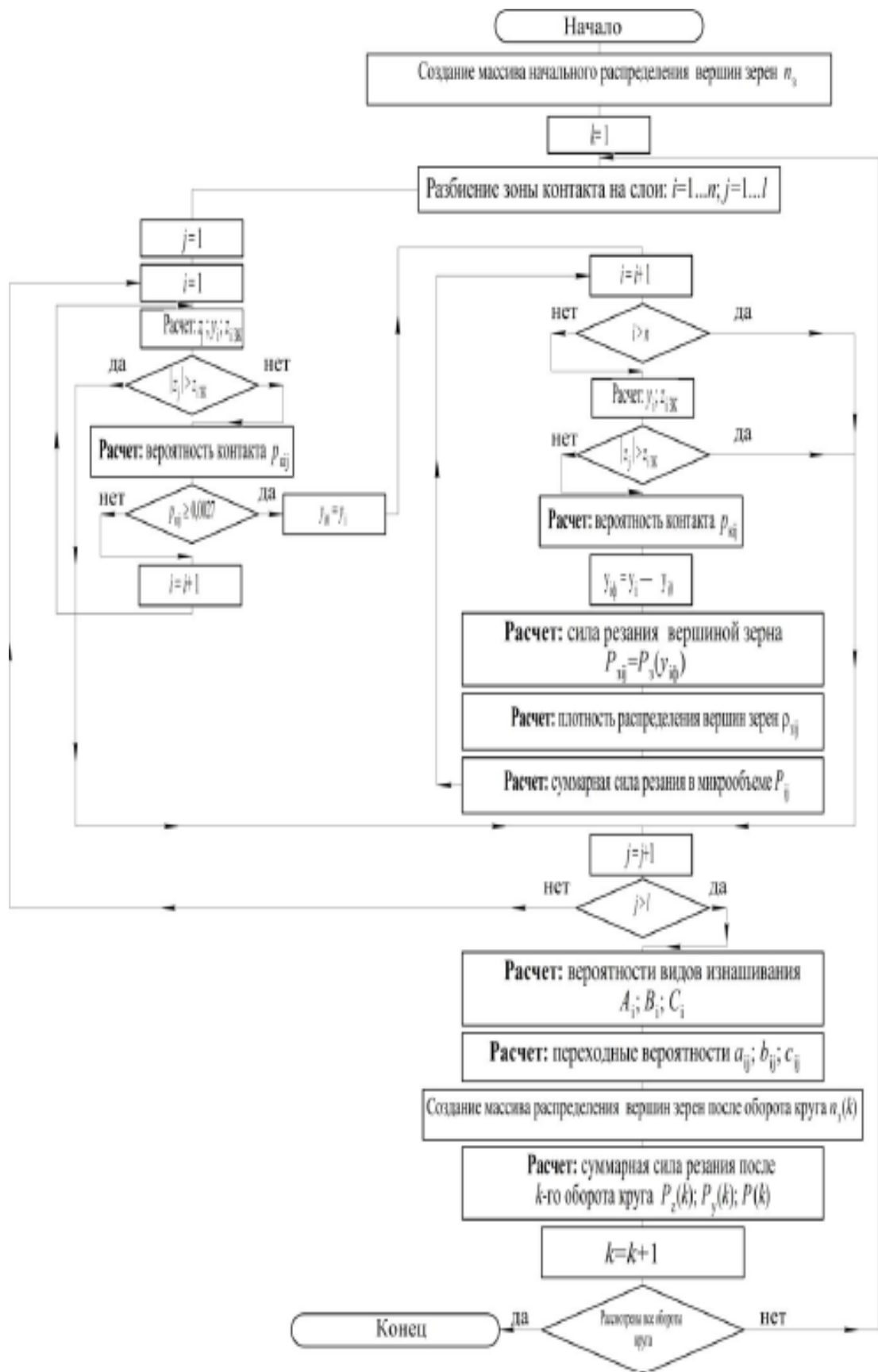


Рисунок 2.4 – Алгоритм обчислення сили різання під час шліфування

Розрахунок складається з циклів, кількість яких дорівнює кількості оборотів шліфувального кола за період обробки. Цикл розрахунку є наступною послідовністю дій

- розбиття зони контакту на шари
- створення масиву початкового розподілу вершин зерен
- розрахунок координат центру мікрооб'єму z_j, u_i
- розрахунок координати z_i ЗК, що визначає межу дуги контакту в i -му шарі;
- визначення приналежності розглянутого мікрооб'єму $\square V_i$ до зони контакту.
- визначення ймовірності контакту вершини зерна з оброблюваною поверхнею для мікрооб'єму r_{kj} , що розглядається;
- визначення координати u_i^0, u , у якій ймовірність контакту набуває значення $r_k = 0,0027$;
- розрахунок фактичної глибини різання вершини зерна, що знаходиться у аналізованому мікрооб'ємі u_i^f ;
- визначення дотичної, радіальної та рівнодіючої сил різання однією вершиною зерна, з урахуванням її розташування у зоні контакту;

2.3.

Для визначення сили різання важливо знати середнє число вершин зерен на одиниці площі шліфувального кола та їх розподіл за висотою робочої поверхні. Аналітичні залежності до розрахунку числа різучих кромek на одиниці робочої поверхні абразивного інструменту наводяться на роботах [1, 36, 49]. В основі обчислень лежить визначення середньої ймовірності числа зерен, що містяться в одиниці об'єму, за їх розмірами і структурою інструменту.

Виконаний у розділі 1 аналіз існуючих моделей різальних елементів абразивних зерен показав, що найбільш досконалою моделлю вершини зерна є

модель у вигляді параболоїда обертання. На думку авторів [36, 37, 90] прийнята модель більше відповідає експериментальним геометричним параметрам абразивних зерен, ніж інші моделі (конус, конус із заокругленою вершиною, конус із усіченою вершиною та ін.).

Кількість вершин зерен, що взаємодіють з оброблюваним матеріалом, визначається ймовірністю контакту рк значення, якою можна розрахувати за відомою моделлю:

$$p_k = \exp - \left(\int_{-L_y}^z \int_0^{t(z)-y} K_c b_y n_3 f(u) \frac{v_k \pm v_3}{v_3} du dz \right).$$

Для визначення сили різання одиничною вершиною абразивного зерна було взято модель, запропонована роботах [30, 78], оскільки вона враховує як силу зсуву, силу тертя з задньої поверхні зерна (як у більшості класичних робіт), а й додатково враховує інерційну силу стружки та радіус округлення вершини зерна [див. формули (1.8), (1.9)]. Розрахунок складових сили різання здійснюється з використанням вихідних даних, одержуваних експериментально. До них відносяться: дотичне напруження зсуву τ_s , кут зсуву β , передній кут γ , коефіцієнт зовнішнього тертя μ , коефіцієнт внутрішнього тертя μ_s . Ці дані стосовно конкретних умов шліфування дано в літературі [10, 30, 41, 49, 78].

Сила сколювання залежить від міцності абразивного зерна, сила виривання зерна із зв'язки – від міцності його закріплення у зв'язці.

Отримано наступні формули для визначення ймовірностей сколювання вершини зерна та виривання зерна із зв'язки кола [56]:

$$A_{ik} = p_i(\alpha) \left[1 - \frac{p_i(\alpha)p_i(\beta)}{p_i(\alpha) + p_i(\beta)} \right]; B_{ik} = p_i(\beta) \left[1 - \frac{p_i(\alpha)p_i(\beta)}{p_i(\alpha) + p_i(\beta)} \right],$$

де $p_i(\alpha)$ і $p_i(\beta)$ – ймовірності виривання зерен із зв'язки при нескінченній міцності абразивного матеріалу та сколювання вершин зерен при нескінченній міцності зв'язки, що визначаються в і-му шарі.

Ймовірність сколювання вершини зерна при нескінченній міцності зв'язки

$p(\beta)$ можна визначити за формулою

$$p(\beta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Q_c=P} e^{-\frac{(x-M(Q_c))^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Імовірність настання події ε , під якою розуміється зношування вершин зерен шліфувального кола в результаті виривання та сколювання під дією сили P_3 визначається за формулою

$$p(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_3=P} e^{-\frac{(x-M(P_3))^2}{2\sigma^2}} dx,$$

Подія ε можна як появу однієї з подій α чи β . Так як події α і β є несумісними та незалежними в сукупності, то ймовірність появи хоча б однієї з цих подій дорівнює різниці між одиницею та добутком ймовірностей протилежних подій. Після перетворень отримуємо таку формулу:

$$p(\alpha) = [p(\varepsilon) - p(\beta)]/[1 - p(\beta)].$$

Результати експериментальних досліджень показали, що щільність розподілу зносу сколюванням можна описати законом Вейбулла [62], параметри якого залежать від рівня, на якому відбулося сколювання зерна.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТВЕРДОСТІ КОЛА І ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ ШЛІФУВАННЯ НА СИЛУ РІЗАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

4.1. Дослідження впливу твердості шліфувального кола на силу різання

На основі розробленої математичної моделі, алгоритму та ПЗ досліджено вплив елементів твердості ШК на силу різання. Дослідження проводилося з прикладу плоского врізного шліфування периферією кола.

Вихідні дані для розрахунку:

- матеріал, що обробляється: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 42...45);
- Розміри заготовки, мм (ДхШхВ): 100х10х50;
- шліфувальні круги:
 - 1 200×20×76 25A F60 K 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;
 - 1 200×20×76 25A F60 M 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;
 - 1 200×20×76 25A F60 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;
- Режим різання: $v_k = 37$ м / с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,01$ мм/хід;
- кількість ходів столу – 50;
- Припуск на обробку $h = 0,5$ мм.

Розрахункова кількість обертів ШК, необхідне видалення з поверхні заготовлі шару металу товщиною $h = 0,5$ мм ~ 1500 об. Для вищезазначеного режиму обробки за один хід столу на довжині шліфування $l = 100$ мм коло здійснює близько 30 оборотів.

Твердість ШК впливає співвідношення ймовірностей видів зношування. Зі збільшенням твердості посилюється міцність утримання зерна зв'язкою, що призводить до зростання ймовірності стирання S і зниження ймовірності виривання A .

Ймовірність виду зношування визначається максимальним значенням сили різання вершиною зерна P_z у шарі. Якщо навантаження на вершини насіння при

шліфуванні навколо твердості К (Рисунок 3.1 а) не перевищує 5 Н, то основним видом зношування є стирання. Імовірності виривання зерна зі зв'язки А та сколювання вершини В у сумі не перевищують 0,02. Зі збільшенням навантаження ймовірність стирання починає істотно знижуватися, ймовірність виривання – зростати. При $P_z = 10$ Н, ймовірності А і С однакові та становлять близько 0,5. Імовірність сколювання мала і вбирається у 0,02. Для $P_z = 15$ Н ймовірність стирання зменшується до 0,02, виривання – зростає до 0,85. Імовірність сколювання, як і раніше, дуже незначна і становить близько 0,1. При $P_z=36$ Н ймовірність виривання порівнюється з ймовірністю сколювання ($\sim 0,5$). Імовірність стирання знижується настільки, що ця подія вважатимуться незначною.

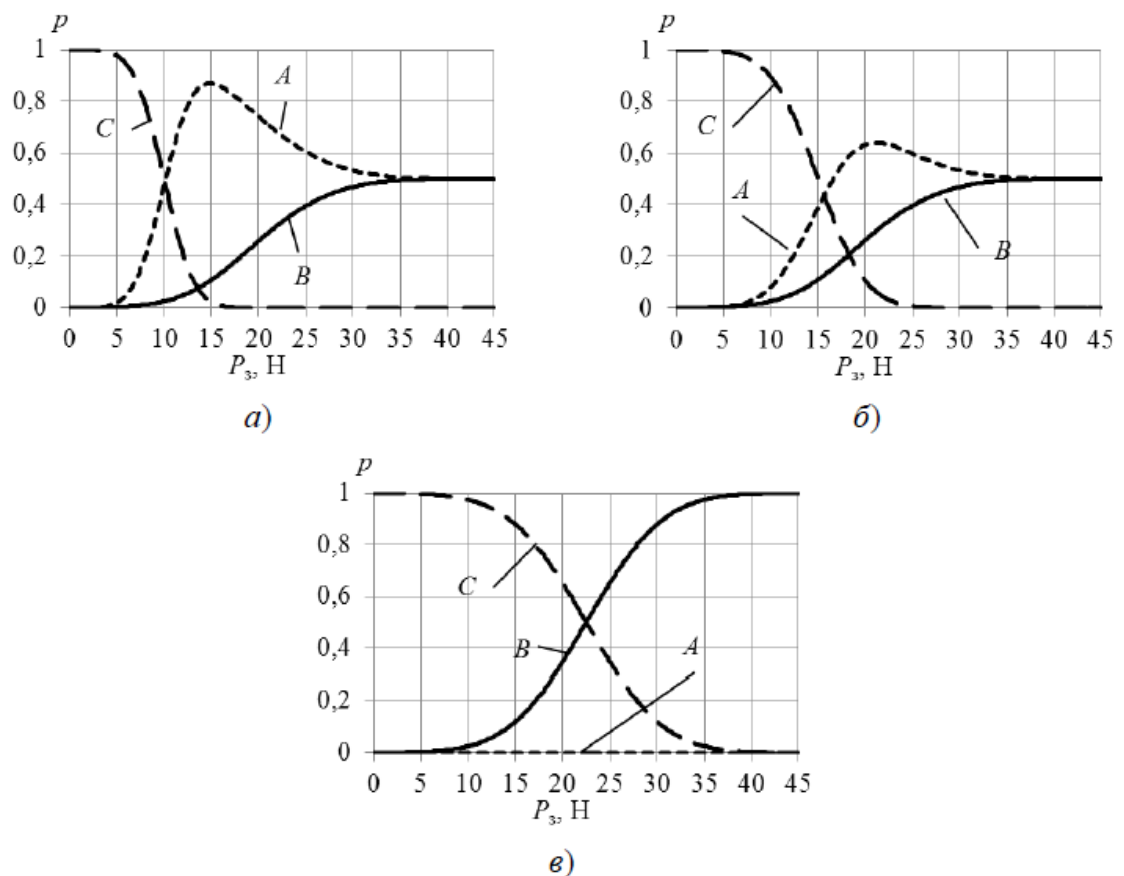


Рисунок 3.1 – Залежності ймовірностей зношування вириванням А, сколюванням В та стиранням С від сили різання вершиною зерна P_z для кіл твердості К(а), М(б) та О(в)

У разі збільшення твердості кола з К до М ймовірність стирання зростає (Рисунок 3.1 б). Приблизно однакової ймовірності, види зношування стиранням і виривання досягають при $P_z \approx 16$ Н. Ймовірність стирання перетворюється на практично неможливу подію при $P_z > 25$ Н. Зближення ймовірностей сколювання і виривання зерна так само відбувається при P_z близько 36 Н.

Для кола твердості О, основними видами зношування є стирання З і сколювання В, виривання зерна зі зв'язки стає практично неможливим подією (Рисунок 3.1 в). При $P_z \sim 8$ Н, ймовірність сколювання не перевищує 0,01 і основним видом зношування є стирання. При збільшенні сили P_z ймовірність стирання зменшується, а ймовірність сколювання зростає. При $P_z \sim 23$ Н, ймовірність стирання порівнюється з ймовірністю сколювання ($\sim 0,5$). Ймовірність наближається до свого максимального значення при $P_z \sim 40$ Н.

З графіків, представлених на Рисунку 3.2, видно, що значення сили різання вершиною зерна P_z , що використовується для визначення ймовірностей видів зношування, змінюється протягом періоду обробки, так і по глибині РП ШК. Це з зміною фактичної глибини різання. При збільшенні відстані від умовної зовнішньої поверхні інструменту фактична глибина різання вершини зерна та сила P_z зменшуються у зв'язку із зменшенням u_i (2.6). Протягом періоду обробки зміна значення u_i пов'язана із зміною радіального знімання металу Δr (Рисунок 2.1) та координати u_{i0} (2.6).

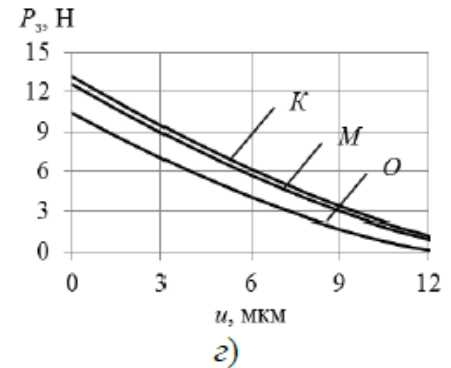
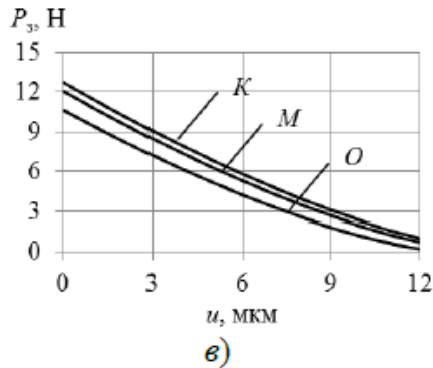
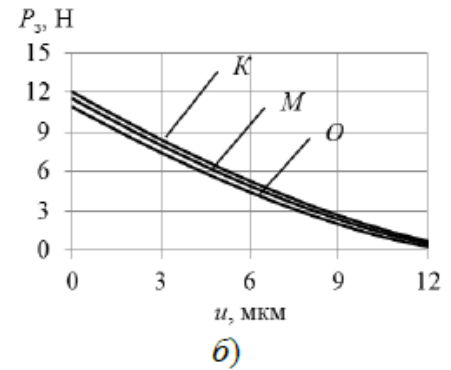
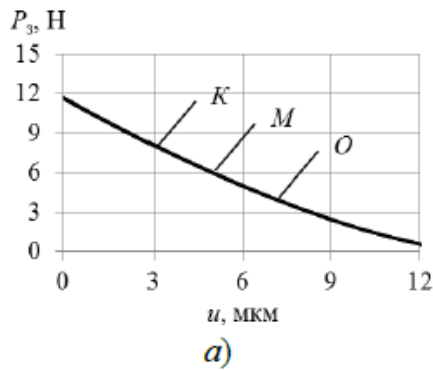


Рисунок 3.2 – Залежність максимальної сили різання вершиною зерна P_{33} від глибини РП ШК і для кіл твердостей К, М, О:

а - 300 про.; б - 900 про.; в - 1200 про.; м - 1500 про.

Для кола твердості К максимальне значення сили $P_{33}=13,2$ Н спостерігається поблизу умовної зовнішньої поверхні шліфувального кола $u \sim 0$ після 1500 оберту кола (Рисунок 3.2 г). При такому значенні P_{33} основним видом зношування є виривання зерен (ймовірність $A \sim 0,83$), що обов'язково супроводжується сколюванням ($B \sim 0,07$) або стиранням ($C \sim 0,1$) вершин зерен (Рисунок 3.3 а). При збільшенні відстані u , у зв'язку із зменшенням P_{33} , ймовірність виривання A знижується, ймовірність стирання зростає. При $u \sim 3$ мкм, $P_{33} \sim 10$ Н (Рисунок 3.2 г) ймовірності A і C однакові і приблизно дорівнюють 0,5, ймовірність сколювання не перевищує 0,02. На відстані $u \sim 9$ мкм сила P_{33} не перевищує 3,5 Н. У цих умовах ймовірність стирання максимальна і близька до 1, ймовірності A і перетворюються на практично неможливу подію.

У шарах робочої поверхні шліфувального кола твердості М (Рисунок 3.3 б) розміщених на відстані 7-19 мкм від умовної зовнішньої поверхні інструменту

основним видом зношування є стирання. Імовірності виривання зерна зі зв'язки А та сколювання вершини В у сумі не перевищують 0,001. Зі зменшенням відстані u від 7 до 0 мкм, ймовірність стирання С знижується з 1 до 0,6, ймовірність виривання А – зростає з 0,001 до 0,3. Імовірність сколювання В мала і не перевищує 0,1. Для умов шліфування переважним видом зношування є стирання, що призводить до зростання кількості вершин зерен, що беруть участь у різанні.

Для кола твердості О (Рисунок 3.3 в) основним видом зношування є стирання, що супроводжується при $u \sim 4$ мкм сколювання вершин зерен ($B < 0,1$), ймовірність виривання А є практично неможливим подією при будь-якому значенні u .

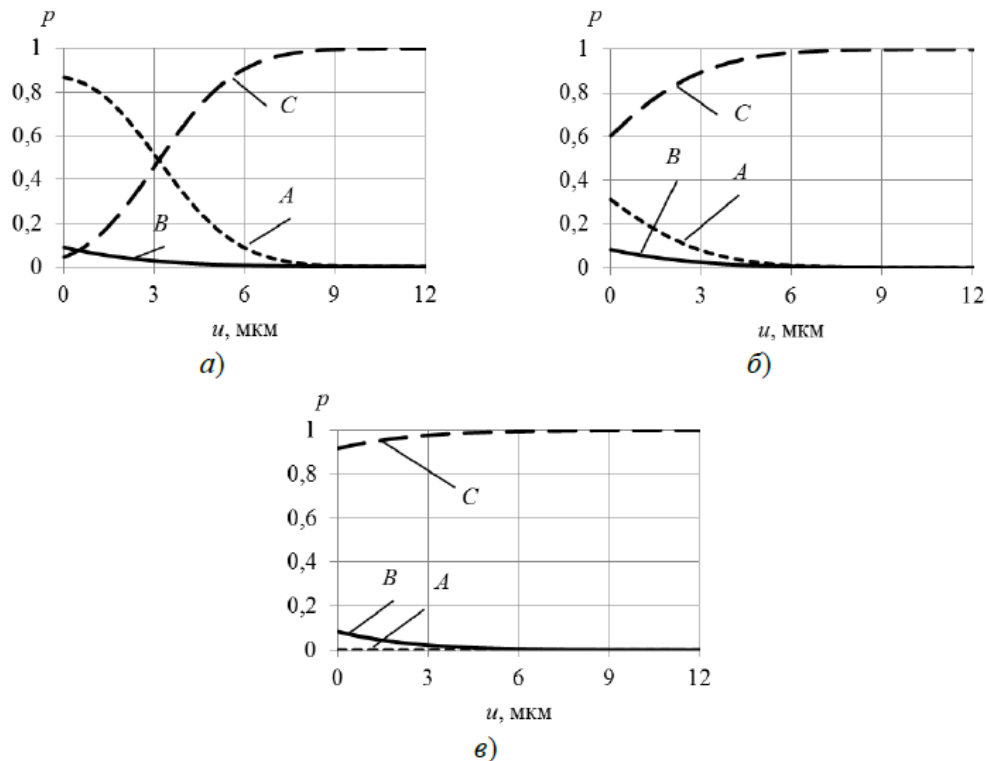


Рисунок 3.3 – Зміна ймовірностей видів зношування вириванням А, сколюванням В та стиранням С від u після 1500-го обороту для кіл твердості К(а), М(б) та О(в)

Знайдені значення ймовірностей видів зношування у моделі використовуються для створення масиву розподілу вершин зерен по шарах після обороту кола.

Початковий рельєф РП ШК формується редагуванням. Протягом періоду шліфування, внаслідок різних видів зношування, відбувається зміна щільності розподілу вершин зерен.

На перших оборотах кола твердості К зменшення кількості зерен в результаті виривання компенсується надходженням вершин з більш глибоких шарів в результаті їх переходу в шар нижче на величину зносу кола за оборот. До 300-го обороту кола частка зерен, що вириваються, зростає, коло переходить в режим самозаточування і щільність розподілу вершин зерен починає зменшуватися (Рисунок 3.4 а).

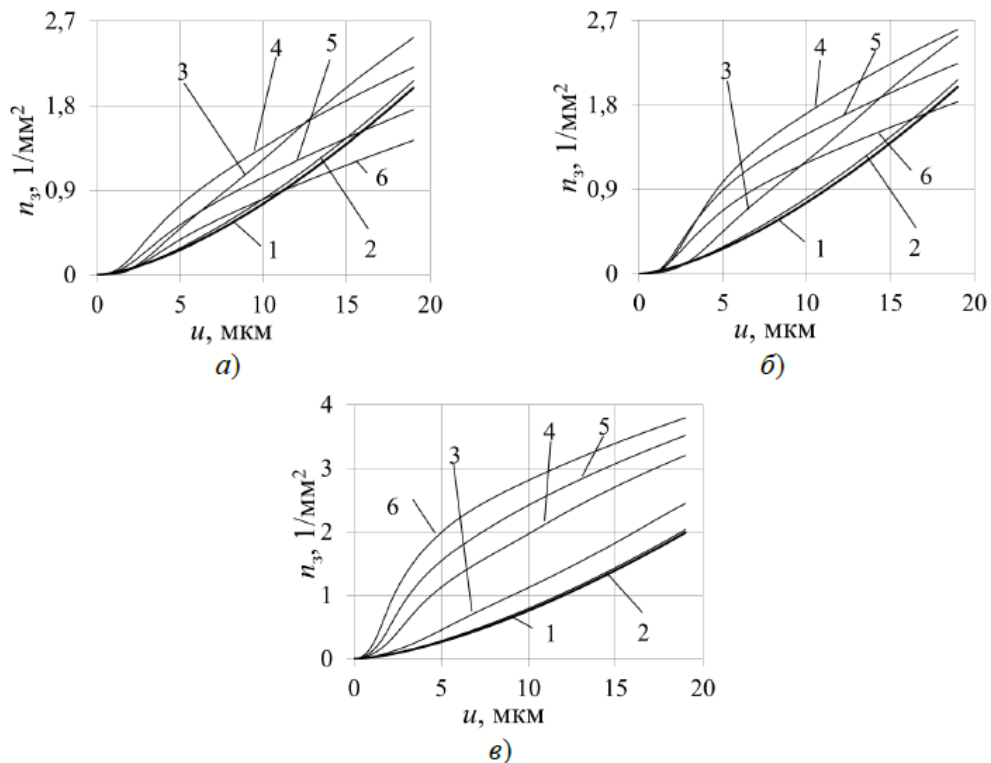


Рисунок 3.4 – Щільність розподілу вершин зерен n_z по глибині РП ШК у різні періоди шліфування (обертання кола) інструментом твердості К(а), М(б) та О(в): 1 – початковий розподіл; 2 - 30 про.; 3 - 300 про.; 4 - 900 про.; 5 - 1200 про.; 6 - 1500 про.

Основним видом зношування вершин зерен кола твердості М є стирання, яке при $u \leq 7$ мкм супроводжується сколюванням або вириванням зерен (Рисунок 3.3 б). Так як частка вершин зерен, що вириваються в цьому випадку буде менше,

ніж у кола твердості К, щільність розподілу вершин зерен по глибині РП ШК (Рисунок 3.4 б) зростає і досягає максимуму тільки до 900-го обороту кола, потім зменшується.

Для кола твердості Основним видом зношування є стирання, тому кількість вершин зерен у всіх шарах РП ШК протягом періоду обробки збільшується (Рисунок 3.4 в).

Різним видам зношування будуть піддаватися тільки зерна, що контактують з матеріалом, що обробляється. Їх кількість визначається ймовірністю контакту вершини рк з оброблюваним матеріалом. Імовірність контакту дорівнює різниці 1 та ймовірності видалення матеріалу. Непостійність щільності розподілу вершин зерен впливає на шорсткість оброблюваної поверхні та ймовірність видалення матеріалу.

Для кола твердості К найбільше зерно починає взаємодіяти з оброблюваним матеріалом на відстані $z \approx -1,8$ мм (Рисунок 3.5 а). У міру наближення до осьової площини та збільшення глибини різання ймовірність контакту зростає, досягаючи 1 з $z \approx -1,2$ мм. Наявність лінійної ділянки (крива 1) до $z \approx 0,5$ мм відповідає видаленню металу зерном у зоні відсутності впливу попередніх проходів та впровадженню ріжучої вершини в область металу, не зворушеного іншими зернами. Потім можливість контакту знижується практично до нуля при $z \approx 1,42$ мм. Площа фігури, обмежена лінією графіка ймовірності контакту, є чисельним виразом фактичної довжини дуги контакту. Фактична довжина дуги контакту L_f – це частина траєкторії руху вершини зерна, що проходить через зону різання, і є сумою відрізків даної траєкторії, у яких зерно взаємодіє з оброблюваним матеріалом. Зі зниженням глибини різання ймовірність контакту та фактична довжина дуги контакту зменшуються. Для всіх глибин різання крива ймовірності контакту зсунута вліво щодо осьової площини.

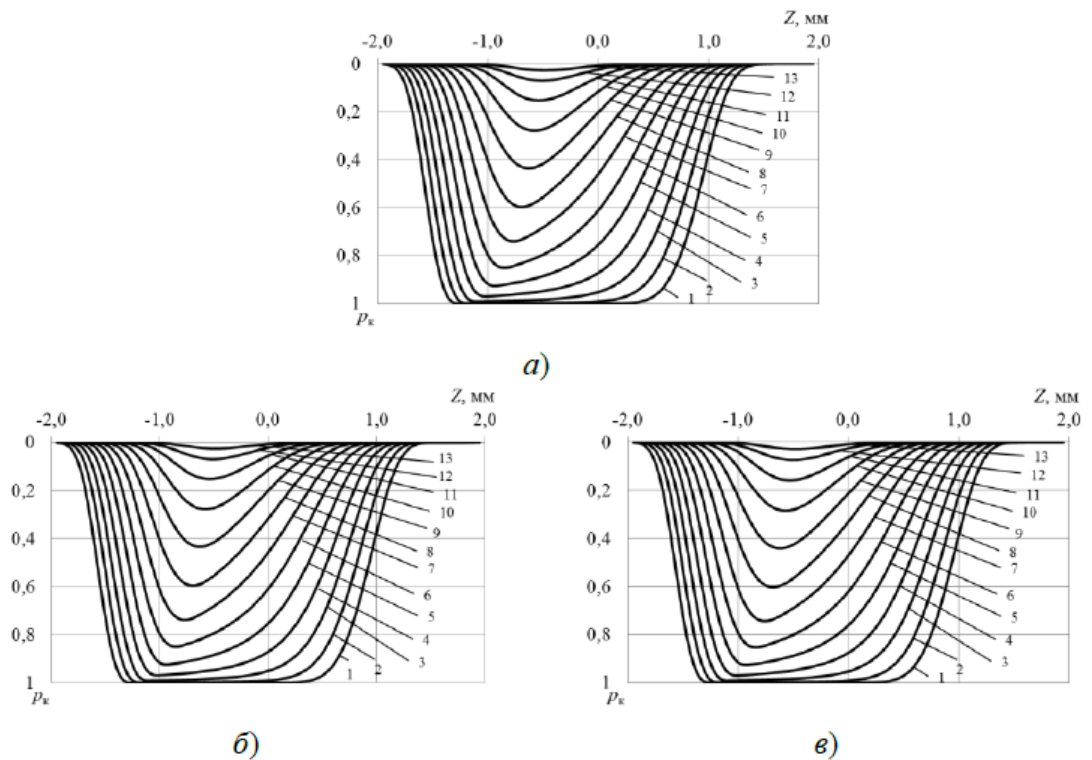


Рисунок 3.5 – Зміна ймовірності контакту РК по траєкторії руху

вершини зерна після 300-го обороту для кіл твердості К(а), М(б) та О(в): 1 – $u=0,5$ мкм; 2 - $u = 1,5$ мкм; 3 - $u = 2,5$ мкм; 4 - $u = 3,5$ мкм; 5 - $u = 4,5$ мкм; 6 - $u = 5,5$ мкм; 7 - $u = 6,5$ мкм; 8 - $u = 7,5$ мкм; 9 - $u = 8,5$ мкм; 10 - $u = 9,5$ мкм; 11 - $u = 10,5$ мкм; 12 - $u = 11,5$ мкм; 13 - $u = 12,5$ мкм

Проаналізувавши графіки, представлені на Малюнку 3.5, можна помітити, що максимум p_k і довжина довжини дуги контакту після 300-го обороту подібні у кіл різної твердості. Це тим, що кількість вершин зерен після 300 обороту на глибині $u = 19$ мкм, використовуване у розрахунку ймовірності контакту, залежно від твердості кола змінюється незначно (Рисунок 3.4, 3.6 а): твердість К – $p_z = 2,52$ 1/мм²; твердість М - $p_z = 2,57$ 1/мм²; твердість - $p_z = 2,44$ 1/мм². У зв'язку з цим параметр шорсткості шліфованої поверхні R_a коливається у вузькому діапазоні від 1,19 до 1,15 мкм (Рисунок 3.6 б), не викликаючи істотної зміни ймовірності контакту.

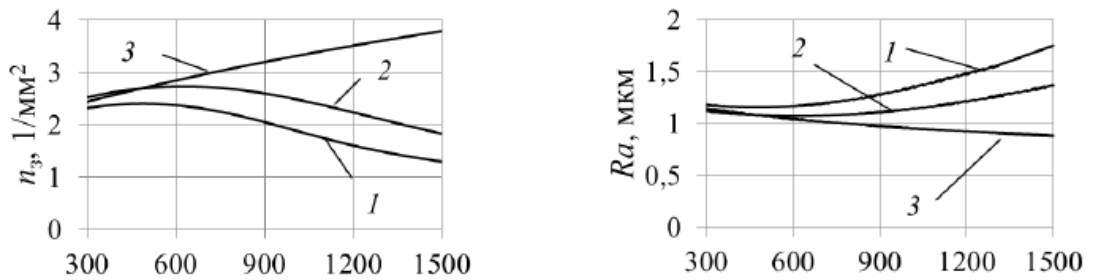


Рисунок 3.6 – Зміна числа вершин зерен (а), параметра шорсткості Ra (б) залежно від кількості обертів кола для кіл твердості: К (1), М (2), Про (3)

Значення сили різання $P_{\Sigma i}$, представлено на Рисунку 3.7, отримано підсумовуванням сил, що діють на вершини зерен у всіх мікрооб'ємах V_{ij} і-го шару в різні періоди шліфування. Знайдена величина сили різання наведена до 1 мм висоти ШК. Далі – наведена сила різання $P_{\Sigma i}$, Н/мм.

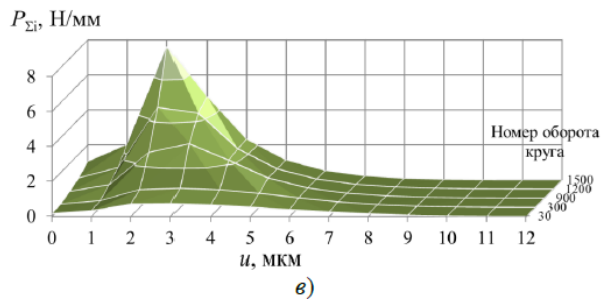
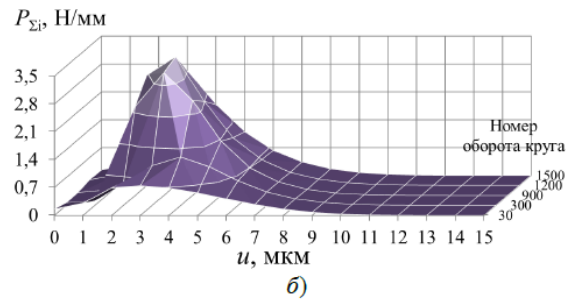
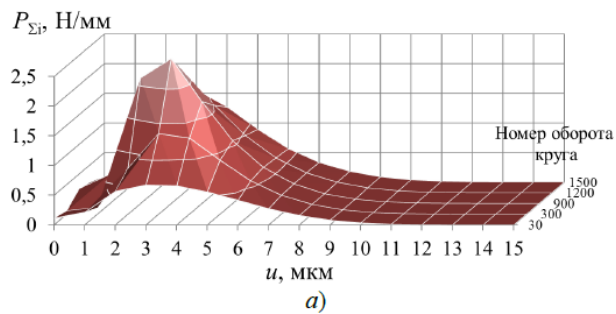


Рисунок 3.7 – Зміна сумарної сили різання по глибині РП ШК при шліфуванні колами твердістю К(а), М(б), О(в)

Таким чином, розроблена математична модель сили різання при шліфуванні дозволяє досліджувати характер розподілу сили різання в зоні шліфування шарами робочої поверхні абразивного інструменту та особливості зміни розподілу за період шліфування. Для розглянутого прикладу точку застосування результуючої сили різання в шарах робочої поверхні кола віддалено від осьової площини кола вліво на відстань близько $0,2L_{\max}$. Точка застосування результуючої сили різання по висоті профілю РП ШК знаходиться на відстані близько $0,3t_f$ від найбільш віддаленої вершини зерна.

5. ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ ДИНАМІЧНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИЛИ РІЗАННЯ

Перевірка адекватності розробленої динамічної математичної моделі сили різання проводилася експериментальними дослідженнями.

5.1. Методика експериментального визначення складових сили різання при шліфуванні

5.1.1. Експериментальний зразок

Експерименти проводилися на зразку матеріалу Сталь 45 ГОСТ 1050-88. Розмір зразка для шліфування (ДхШхВ): 100х10х100.

Після кожного досвіду з образу знімався шар товщиною 0,1...0,15 мм, щоб уникнути впливу технологічної спадковості.

Твердість зразка була виміряна в лабораторних умовах твердоміром моделі «ТР-5006».

Твердість вимірювалася на майданчику, розташованому на середині довжини зразка. Шорсткість поверхні майданчика для виміру твердості $Ra \leq 1,25$ мкм за ГОСТ 2789. Кількість вимірювань за довжиною зразка – 8.

Таблиця 4.1 – Результати вимірів

Номер вимірювання	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>HRC</i>	44	43	45	44	44	43	43	45

Обробка експериментальних даних.

Визначення середнього арифметичного значення вимірюваної величини:

$$\overline{HRC} = \frac{44 + 43 + 45 + 44 + 44 + 43 + 43 + 45}{8} = 44 \text{ ед.}$$

Середньоквадратичне відхилення вимірів *HRC* від середнього арифметичного: $\sigma_{HRC} = 0,83$ од.

Вимірювання виконувались за шкалою 3 індикаторного приладу твердоміра моделі «ТР-5006» з ціною розподілу 0,5 од.

$$\Delta_{HRCo.} = \alpha \cdot d = 0,95 \cdot 0,5 = 0,475 \text{ од.},$$

Загальна похибка серії вимірювань (довірчий інтервал) *HRC*:

$$\Delta_{HRC} = \sqrt{\Delta_{HRC_{ст}}^2 + \Delta_{HRC_{о.н}}^2} = \sqrt{0,7^2 + 0,475^2} = 0,85 \text{ ед.}$$

Твердість зразка з урахуванням похибки вимірів: $HRC = 44 \pm 0,85$ од.

Відносна похибка результату вимірів:

$$\delta_{HRC} = \pm \frac{\Delta_{HRC}}{HRC} \cdot 100 = \pm \frac{0,85}{44} \cdot 100 = \pm 1,9 \%$$

5.1.2 Абразивний інструмент

Для обробки зразків як інструмент використовувалися шліфувальні круги прямого профілю на бакелітовій зв'язці з такими розмірами: $350 \times 20 \times 127$. Абразивний матеріал – електрокорунд білої марки 25А.

Маркування використаного інструменту:

- $1350 \times 20 \times 127$ 25А F60 К 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;
- $1350 \times 20 \times 127$ 25А F60 М 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;
- $1350 \times 20 \times 127$ 25А F60 О 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007.

Інструмент виготовлений на ВАТ "Волзький абразивний завод".

Перед установкою на верстат для зниження неврівноваженості мас ввели статичне балансування кола у зборі з планшайбою.

Для статичного балансування використовувався балансувальний стенд. На дві опори балансувального пристрою встановлювалася оправка з колом, закріпленим на планшайбі. Для здійснення операції балансування фланці планшайби мають кругові пази, в яких переміщуються і кріпляться вантажі, що компенсують. Поєднання центру тяжкості кола з віссю обертання забезпечувалося переміщенням вантажів у пазах планшайби.

Правку шліфувального кола здійснювали алмазним олівцем марки 3908-0061 вик.А тип 04 ГОСТ 607-80. Олівець, закріплений в оправці, встановлювали на правлячий пристрій шліфувального верстата та виправляли абразивний інструмент при наступних режимах: швидкість кола – 35 м/с; поперечна подача зі швидкістю $v = 1 - 2$ м/хв; вертикальна подача 0,005 – 0,015 мм/дв.хід; подача СОЖ – 10 – 12 л/хв.

5.1.3 Силівимірювальний комплекс

Для визначення складових сили різання в лабораторних умовах на базі прецизійного профіleshліфувального верстата з ЧПУ CHEVALIER мод. Smart-V1224III було створено силівимірювальний комплекс (СК) (Рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Верстат із встановленим на ньому силівимірювальним комплексом Amti MC36-1000UP

Силівимірювальний комплекс Amti MC36-1000UP складається із тензометричного динамометра, підсилювача змінного струму, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) E14-140, персонального комп'ютера (ПК) на платформі Windows.

Динамометр для вимірювання сили різання перетворює додані навантаження в ортогональні сили і обертальні моменти. Прецизійні датчики відрізняються високою жорсткістю, високою чутливістю до перешкод, відмінною повторюваністю і високою стабільністю роботи. шість вихідних сигналів, відповідних P_x , P_y , P_z , M_x , M_y та M_z .

Так як вихідна напруга динамометра дуже мала (10-2 мВ) сигнал на АЦП (аналого-цифровий перетворювач) передається через підсилювач. реєстрацію та запис переданих від динамометра сигналів. представлена на малюнку 4.2.



Рисунок 4.2 – Система для вимірювання складових сили різання

Сумарна похибка СК – це функція похибки динамометра, підсилювача та АЦП. Межа відносної похибки перетворення ланцюга можна визначити як суму відносних похибок її ланок:

$$\delta_{\text{СК}} = \delta_{\text{ДМ}} + \delta_{\text{У}} + \delta_{\text{АЦП}}.$$

Межа відносної похибки динамометра заявлена у посібнику з експлуатації: $\delta_{\text{ДМ}} = \pm 1\%$.

Межа відносної похибки підсилювача постійна у всьому діапазоні вхідного сигналу:

$$\delta_{\text{У}} = \pm \frac{\Delta K_{\text{У}}}{K_{\text{У ном}}} \cdot 100,$$

Відносне значення систематичної похибки для діапазону вхідної напруги ± 10 В згідно з паспортними даними 0,05 %.

Розрахуємо максимальну випадкову похибку, яка буде приймати свої значення при найбільшій вимірюваній напрузі.

Диференційна нелінійність АЦП $\pm 1,5$ МЗР; інтегральна нелінійність АЦП $\pm 1,5$ МЗР.

$$1 \text{ МЗР} = \frac{U_{\text{оп}}}{2^N},$$

Так як інтегральна та диференціальна нелінійності відносяться до

випадкових помилок і є незалежними одна від одної помилками їх необхідно скласти за «законом складання незалежних випадкових помилок»:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_3}{X_3}\right)^2,$$

де X_1, X_2, X_3 – номінальні значення незалежних випадкових величин;

X_1, X_2, X_3 - помилки випадкових величин;

Випадкова похибка АЦП складатиметься з інтегральної та диференціальної нелінійності, а також з помилки квантування, що становить 457,5 мкВ.

Номінальне значення цих величин є опорною напругою АЦП, яка дорівнює 10 ст.

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{915}{10}\right)^2 + \left(\frac{915}{10}\right)^2 + \left(\frac{457,5}{10}\right)^2 = 18837 \text{ мкВ} = 0,019 \cdot 10^{-6} \text{ В.}$$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ В, } \frac{\Delta Y}{Y} = 0,14 \text{ \%}.$$

Абсолютне значення похибки вимірів АЦП

$$\Delta Y = 10 \cdot \sqrt{0,019 \cdot 10^{-6}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 1,4 \text{ мВ.}$$

У результаті похибка АЦП

$$\delta_{\text{АЦП}} = \delta_{\text{случ.}} + \delta_{\text{сист.}}$$

$$\delta_{\text{АЦП}} = 0,14 + 0,05 = 0,19 \text{ \%}.$$

Похибка ІС не виходить за межі максимально допустимої похибки, отже шестикомпонентний вимірювальний комплекс Amti MC36-1000UP можна використовувати для вимірювання складових сили різання при шліфуванні з отриманням достовірного результату вимірювань.

5.1.4 Методика виконання тарування динамометра

При таруванні динамометра встановлюється залежність між показаннями реєструючих приладів і фактичною величиною навантаження, що прикладається, що діє на шліфувальний круг.

Тарування здійснюється послідовним статичним навантаженням динамометра еталонними силами $P_{ту}$ напрямі дії кожної із складових сили різання P_z , P_y . Динамометр навантажують за зростаючого значення еталонної сили. Тимчасовий інтервал між двома наступними навантаженнями має бути по можливості однаковим і дорівнювати 8 – 10 с. Тарування проводиться за допомогою спеціального пристрою безпосередньо на шліфувальному верстаті.

Процестарування включає п'ять етапів:

- 1) навантаження динамометричного датчикавантажами;
- 2) фіксування вихідного сигналу, що отримуєтьсяз АЦП;
- 3) зняттянавантаження;
- 4) фіксування вихідного сигналу, що отримуєтьсяз АЦП;
- 5) обробкаотриманих даних.

АЦПвимірює сигнали, що надходять від динамометра в мілівольтах.

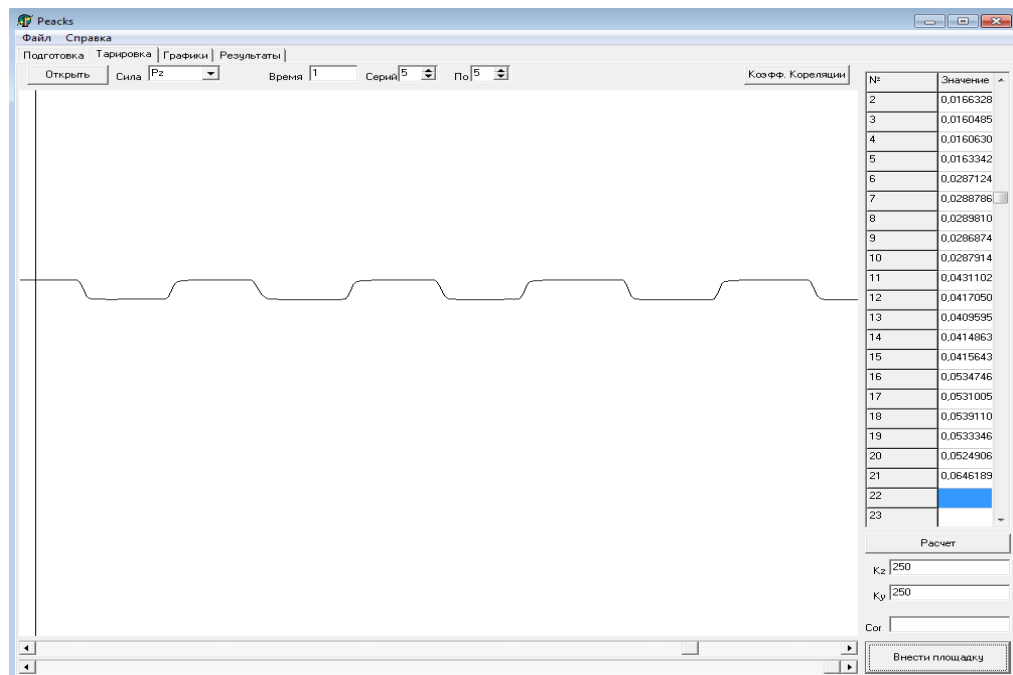


Рисунок4.3 – Інтерфейс введення вихідних даних для розрахунку тарувального коефіцієнта

У програмі автоматично виконується розрахунок різниці значень напруги $U_{іс}$ між показаннями АЦП при навантаженні та розвантаженні динамометра, мВ;

розрахунок тарувального коефіцієнта та конвертація значень сили різання при шліфуванні з мВ Н.

Приклад порядку розрахунку тарувального коефіцієнта для сили Рупредставлений в Таблиці 4.2. У процесі навантаження значення сили Р_т і показання АЦП, U_{іс}, мВ записуються в таблицю.

Таблиця 4.2 – Результати вимірів

Режим навантаження					
Зусилляна датчику Р _т ,Н	0	83	166	249	299
ПоказанняАЦП, U _{іс} , мВ	2,012	2,105	2,197	2,299	2,350
Режим розвантаження					
Зусилляна датчику Р _е ,Н	0	83	166	249	299
ПоказанняАЦП, U _{іс} , мВ	2,013	2,108	2,202	2,302	2,350

Після повного розвантаження датчика будують тарувальний графік.4.4), який додається лінія тренду. Вибираємо лінійну апроксимацію. Оскільки в даному прикладі величина достовірності апроксимації $R^2 = 1$, то помилка апроксимації дорівнює нулю. Отже, вибір лінійної апроксимації дав високу достовірність та добрий результат. Прогноз буде точним. Рівняння лінії тренду: $y = 874,83x$, де 874,83 і є шуканий тарувальний коефіцієнт k.

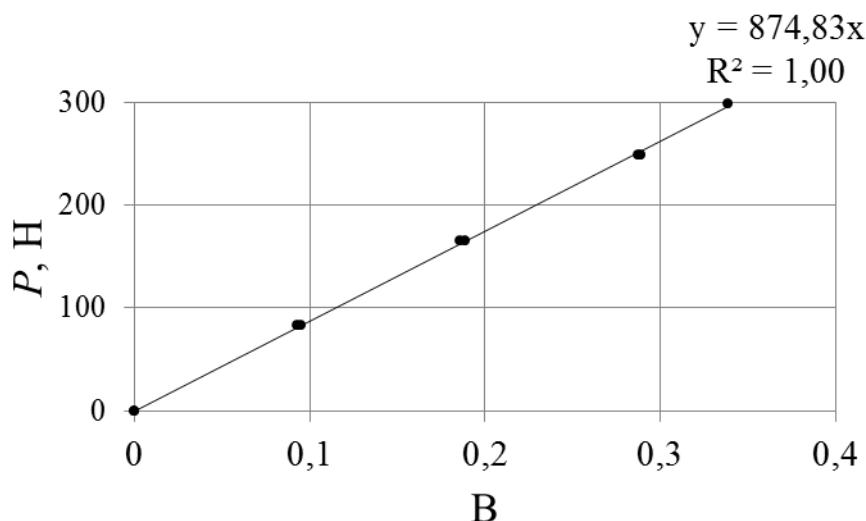


Рисунок 4.4 – Тарувальний графік динамометра для сили Ру

Абсолютна похибка вимірювання ΔP_t системи вимірювання сили може

бути визначена як максимальне значення різниці:

$$\Delta P_T = |U_{\text{нагр}} - U_{\text{разгр}}| \cdot k,$$

де $U_{\text{нагр}}$ – показання приладу в режимі навантаження датчика

$U_{\text{розгр}}$ – показання приладу в режимі розвантаження датчика.

При цьому обидва показання $U_{\text{нагр}}$ і $U_{\text{разгр}}$ беруться за однакових значень навантаження на вимірювальний датчик.

5.2 Аналіз експериментальних даних сили різання

Метою експериментальних досліджень було визначення складових сили різання в залежності від твердості шліфувального кола, подачі кола на глибину шліфування та швидкості поздовжньої подачі столу при обробці заготовок.

Умови проведення експерименту:

- Верстат – CHEVALIER мод. Smart-B1224III;
- інструмент – шліфувальні круги: 1350×20×127 25A F60 K 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007; 1 350×20×127 25A F60 M 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007; 1 350×20×127 25A F60 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;
- зразок – пластина із матеріалу Сталь 45 ГОСТ 1050, HRC 44±0,85;
- мастильно-охолоджувальна рідина - 0,3% розчин кальцинованої соди Na_2CO_3 ;
- елементи режиму обробки:
- подача на глибину шліфування S_t – 0,005; 0,010 мм/хід столу;
- швидкість різання: $v_k = 37$ м/с;
- швидкість поздовжньої подачі столу $v_z = 6; 12$ м/хв;
- наробіток, наведений до одиниці ширини оброблюваної поверхні, $V_{\text{п}} = 50$ мм²;
- число паралельних дослідів N_0 – 3;
- як засіб вимірювання для оцінки дійсних значень, що становлять сили різання використовували СК з похибкою вимірювання ± 2,69 %.

Алгоритм обробки вимірювань, що становлять сили різання:

- ❖ Обчислення середнього арифметичного значення сили різання за хід столу;

- ❖ Обчислення дисперсії та середньоквадратичного відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного.

- ❖ Перевіряє відліки на наявність промахів. Оскільки за один хід столу виконується понад 1 000 вимірювань сили різання, то для виділення промахів використовується «Правило 3».

- ❖ Виняток аномальних відліків та повторення пунктів 1, 2.

- ❖ Розрахунок меж довірчого інтервалу з надійністю $\gamma = 0,95$.

Розрахунок помилки паралельних дослідів:

- ❖ розрахунок середнього арифметичного значення сили різання за наслідками трьох паралельних дослідів;

- ❖ розрахунок дисперсії та стандартного відхилення значень паралельних дослідів;

- ❖ вилучення промахів паралельних дослідів за критерієм Шовене;

- ❖ перевірка однорідності дисперсій за критерієм Стьюдента;

- ❖ усереднення дисперсій;

- ❖ розрахунок меж довірчого інтервалу з надійністю $\gamma = 0,95$;

- ❖ розрахунок дисперсії відтворюваності експерименту.

- ❖ Результати обробки експериментальних даних представлені малюнки 4.5 – 4.9.

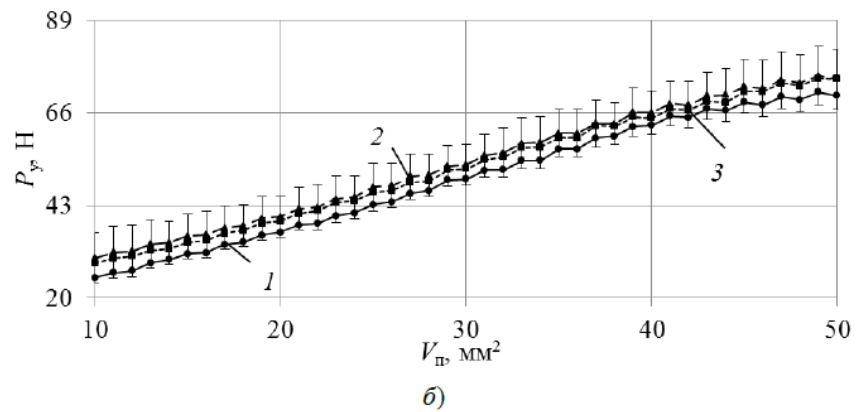
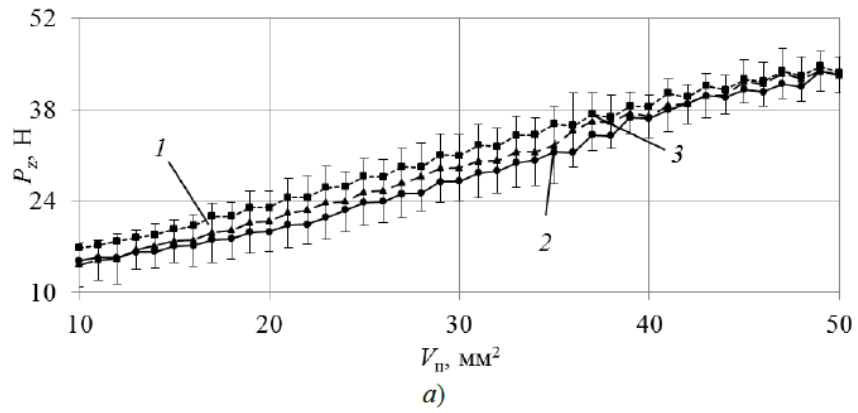


Рисунок 4.5 – Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання V_p : 1 – досвід

1; 2 – досвід 2; 3 – досвід 3

(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК– 1350×20×127 25A F60 К 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режим різання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,010$ мм/хід)

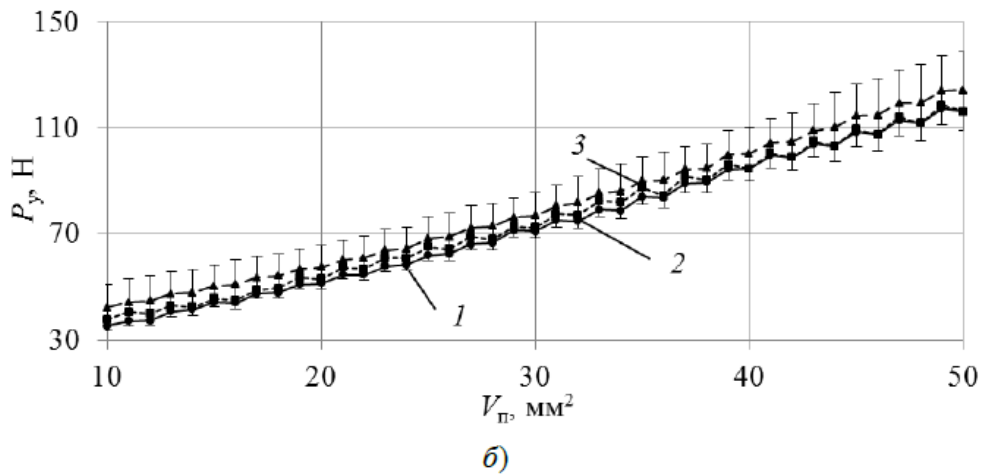
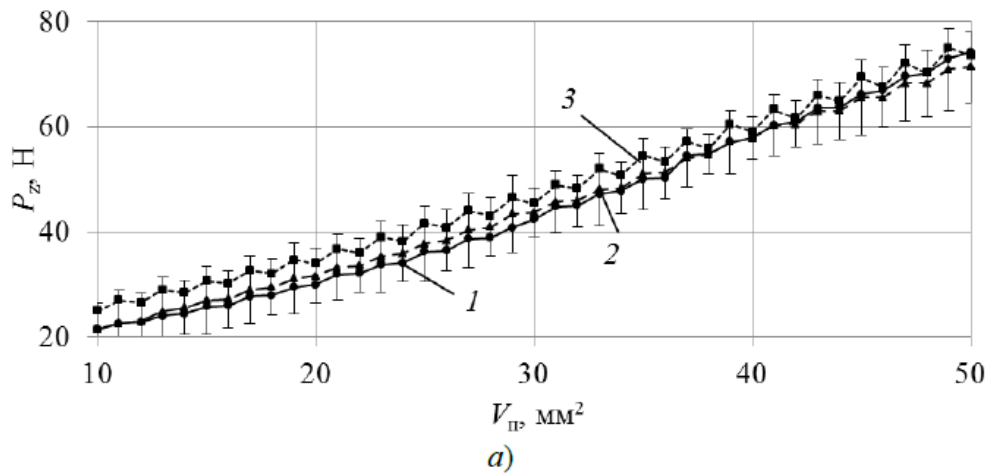


Рисунок 4.6 – Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання $V_{пр}$: 1 – досвід

1; 2 – досвід 2; 3 – досвід 3

(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК- 1350×20×127 25A F60 M 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режимрізання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,010$ мм/хід)

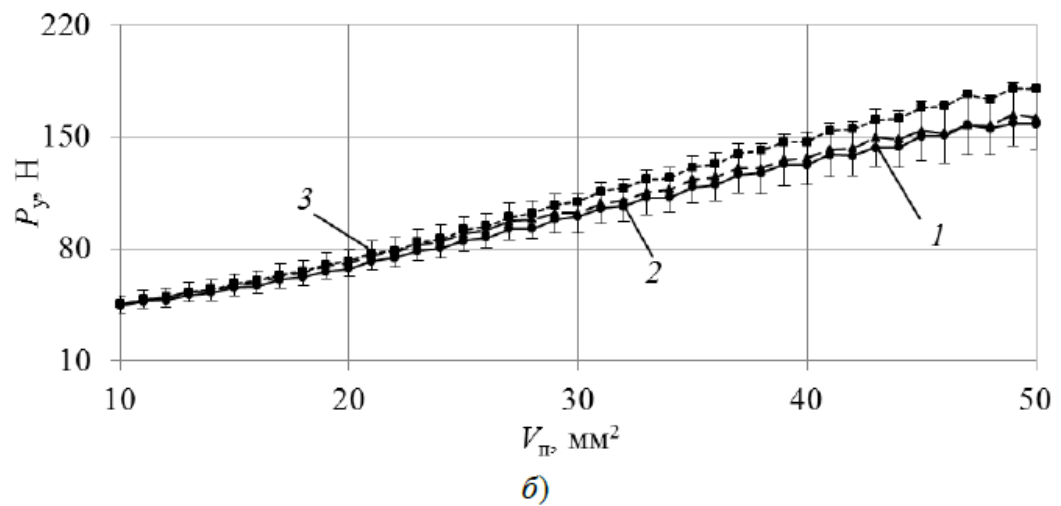
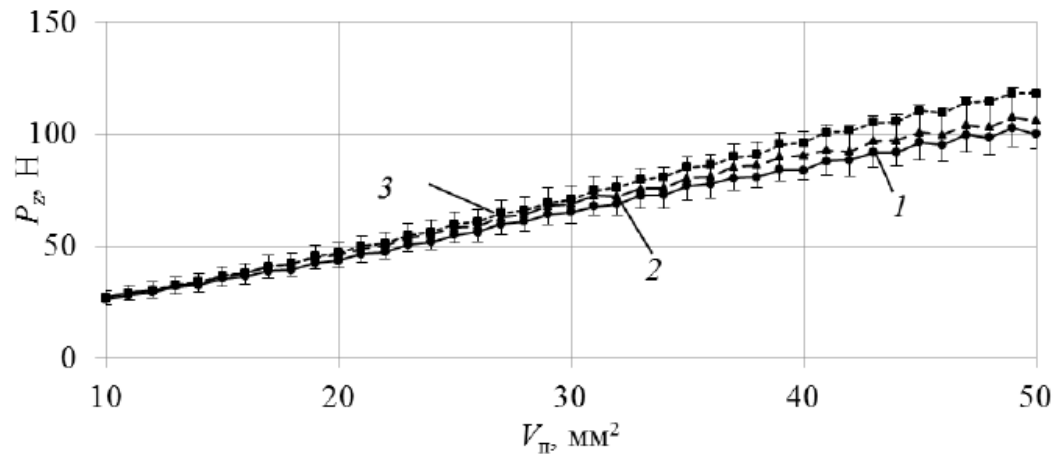


Рисунок 4.7 – Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання $V_{п}$: 1 – досвід 1; 2 – досвід 2; 3 – досвід 3

(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК– 1350×20×127 25A F60 O 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режим різання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,010$ мм/хід)

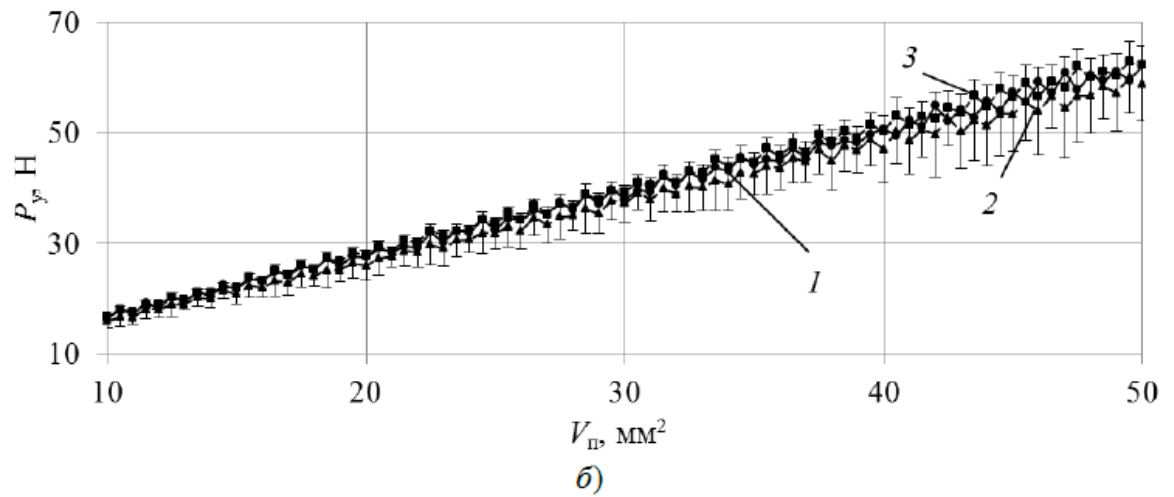
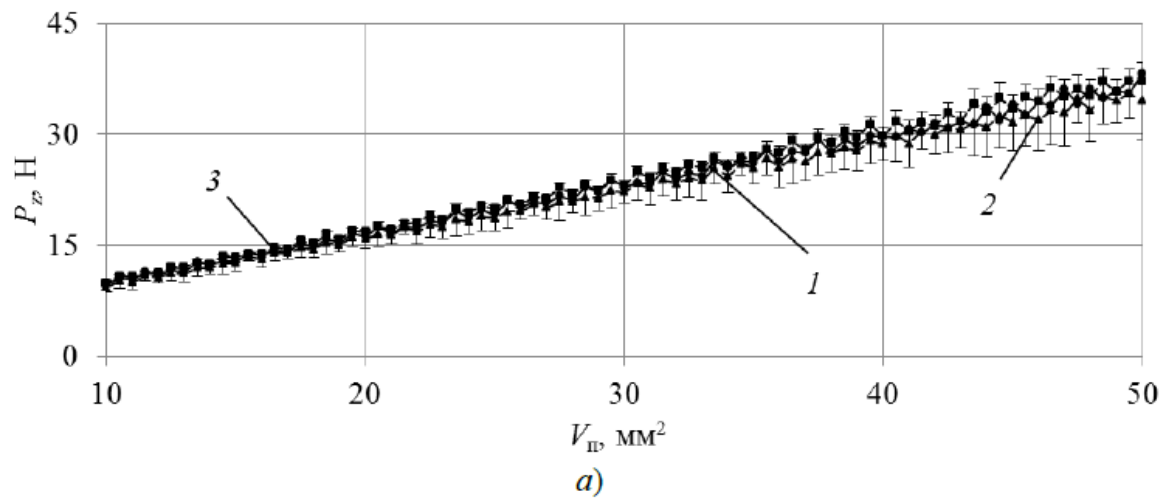


Рисунок 4.8 – Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання $V_{п}$: 1 – досвід 1; 2 – досвід 2; 3 – досвід 3

(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК- 1350×20×127 25A F60 M 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режим різання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,005$ мм/хід)

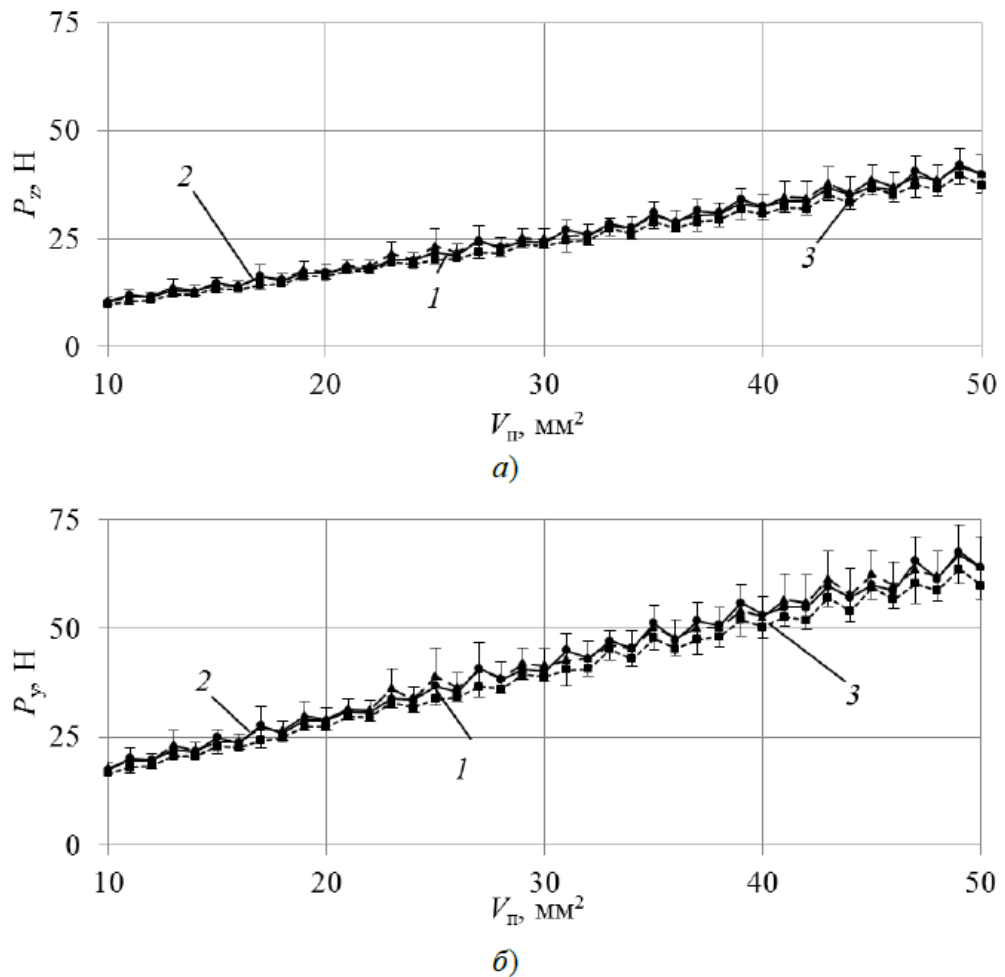


Рисунок 4.9 – Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання $V_{п}$: 1 – досвід 1; 2 – досвід 2; 3 – досвід 3

(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК- 1350×20×127 25A F60 M 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режим різання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 6$ м/хв; $St = 0,010$ мм/хід)

5.3 Методика перевірки адекватності динамічної математичної моделі сили різання реальним умовам шліфування

Для перевірки адекватності розробленої динамічної математичної моделі сили різання у лабораторних умовах було проведено експеримент. Умови проведення експерименту докладно описані у пунктах 4.1, 4.2.

Результати вимірювання дотичної P_z та радіальної P_y складових сили

різання, визнані достовірними, використовуються для подальшого дисперсійного аналізу.

Для перевірки гіпотези про адекватність математичної моделі необхідно порівняти дві дисперсії:

а) дисперсію неадекватності, яка залежить від різниці між значеннями Pz , урі, розрахованими за математичною моделлю, та експериментальними результатами Pz , у еі:

$$S_a^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{z, y_{pi}} - \bar{P}_{z, y_{zi}})^2,$$

де N – число вимірів.

б) дисперсію відтворюваності, що характеризує похибки спостережень:

$$S_b^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2,$$

Перевірку адекватності математичної моделі здійснюють за допомогою критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_a^2}{S_b^2}.$$

Рівняння математичної моделі адекватно досліджуваному об'єкту, якщо

$$F_p < F_{кр}.$$

Критичне значення $F_{кр}$ знаходять з таблиці розподілу Фішера за кількістю ступенів свободи чисельника $f_1 = Nm$; знаменника $f_2 = N(m-1)$ та рівнем значущості $\alpha = 0,05$.

Ступінь відповідності розробленої моделі результатам експериментальних даних оцінюється шляхом побудови графіків (Рисунок 4.10 – 4.12).

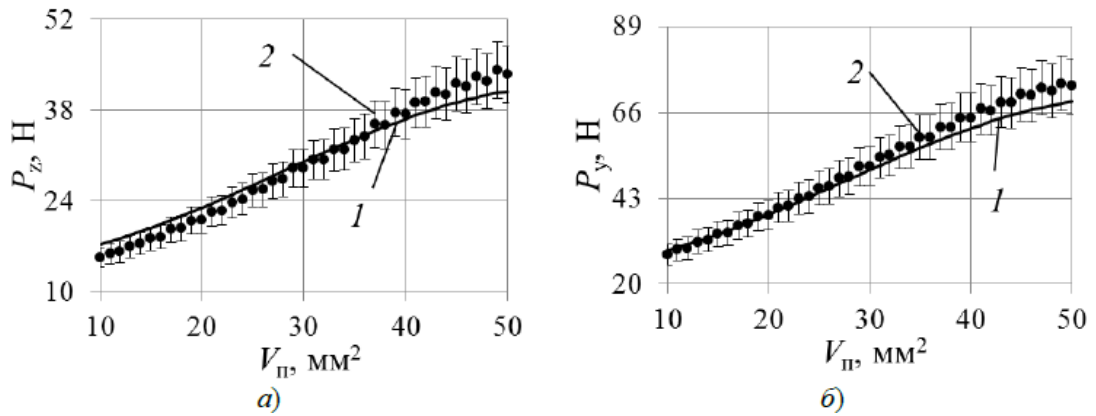


Рисунок 4.10– Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання $V_{п}$: 1–

значення, отримані теоретичним розрахунком за моделлю;

2– експериментальні дані (зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC $44 \pm 0,85$);

ШК – $1350 \times 20 \times 127$ 25A F60 К 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режим різання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,010$ мм/хід)

Найбільша відносна похибка при визначенні складових сили різання за розробленою моделлю (Рисунок 4.10):

$$\delta_{\max P_z} = \left| \frac{17,25 - 15,24}{17,25} \right| \cdot 100 = 11,6 \% ; \quad \delta_{\max P_y} = \left| \frac{68,48 - 74,64}{68,48} \right| \cdot 100 = 9 \%$$

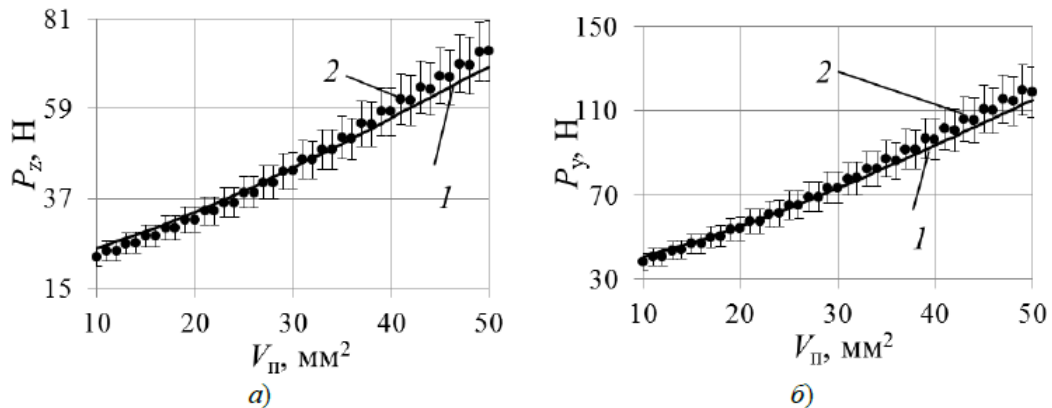


Рисунок 4.11– Зміна дотичної P_z (а) та радіальної P_y (б) складових сили різання за період обробки залежно від наведеного напрацювання $V_{п}$: 1–

Значення, отримані теоретичним розрахунком по моделі;

2– експериментальні дані (зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC $44 \pm 0,85$);

ШК – 1350×20×127 25A F60 M 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режимрізання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $St = 0,010$ мм/хід)

Оскільки, у наведених прикладах, за результатами розрахунків $F_p < F_{кр}$, значення складових сили різання, знайдені за розробленою динамічної математичної моделі адекватно описують взаємозв'язок цих вихідних параметрів з вхідними параметрами процесу шліфування.

Розбіжність результатів експериментального визначення сили різання пришліфування з результатами теоретичних розрахунків вбирається у 10 – 12 %.

4.4 Вимірювання рельєфу робочої поверхні шліфувального кола

В ході експериментальних досліджень визначено щільність розподілу вершин зерен за висотою робочої поверхні кола після шліфування зразків з матеріалу Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC $44 \pm 0,85$) при режимах обробки, використаних у теоретичному дослідженні впливу факторів на розподіл зерен та силу різання за допомогою розробленої теоретико-імовірнісної математичної моделі.

Вимірювання розподілу вершин зерен по глибині РП ШК проведено методом профілакування за допомогою профілактографа-профілактора «Сейтронік ПШ8-4 С.С.»

Дія приладу заснована на принципі обмацування нерівностей контрольованої поверхні алмазної голкою щупа (радіус алмазної голки 0,002 мм) первинного перетворювача і перетворення, що при цьому виникають механічних коливань щупа в електричний сигнал, що змінюється пропорційно цим коливанням.

Прилад дозволяє вимірювати шорсткість поверхні по 16 параметрів: R_a ; R_z ; R_{max} ; R_p ; R_v ; R_q ; S_m ; S ; λ_q ; λ_a ; L_o ; l_o ; D ; Δ_q ; Δ_a ; t_p . Довжина траси обмацування 12,5 мм із відсіканням кроку 0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм.

Теоретичне визначення кількості абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального кола запропонованої моделі досить добре узгоджується з

експериментальними даними. Інформація про кількість абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального кола та щільність розподілу вершин зерен за висотою дозволить прогнозувати умови взаємодії шліфувального кола з оброблюваним матеріалом, а, отже, показники продуктивності та якості обробленої поверхні.

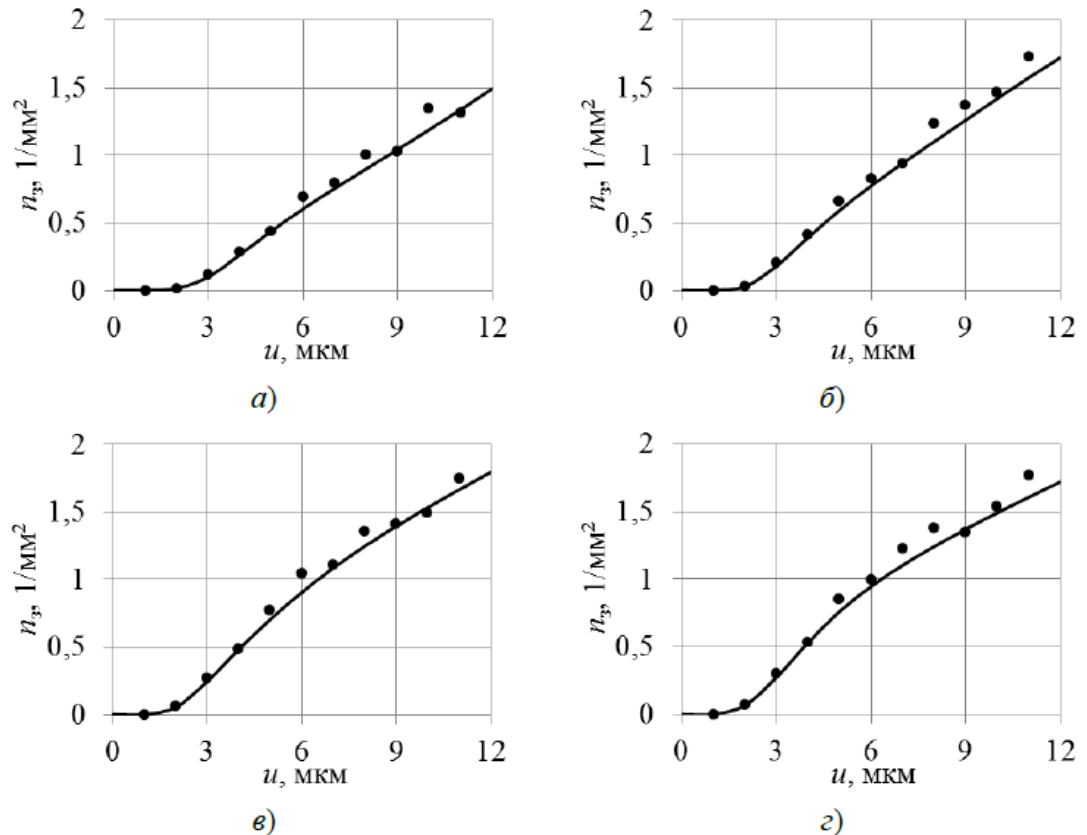


Рисунок 4.12– Теоретичний (розрахунковий) та експериментальний розподіл зерен по глибині РП ШК у різні періоди шліфування для кола

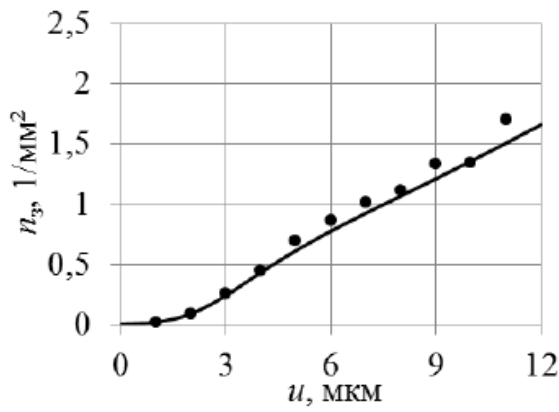
твердості К:

340 про. (а); 510про. (б); 680 про. (в); 850 про. (г); 1 – значення, отримані теоретичним розрахунком за моделлю; 2 – експериментальні дані

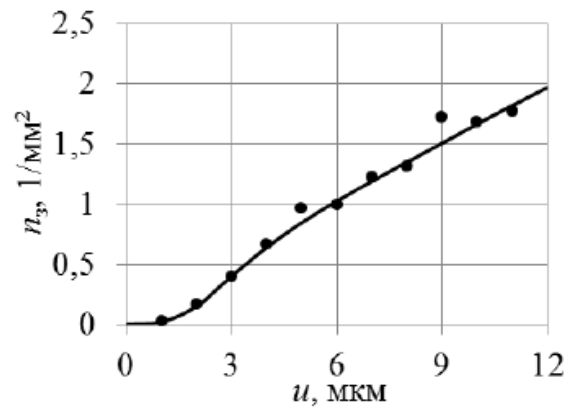
(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК– 1350×20×127 25А F60 К 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

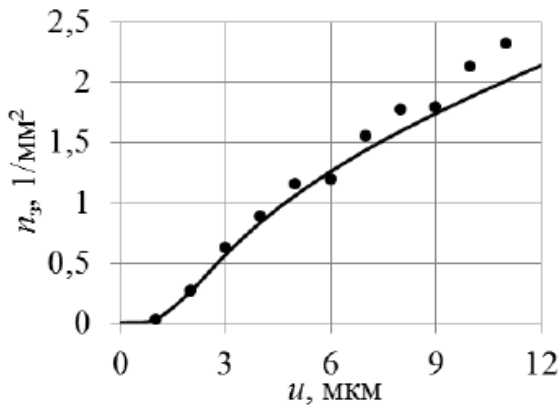
режимрізання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; 1 - St = 0,010 мм/хід



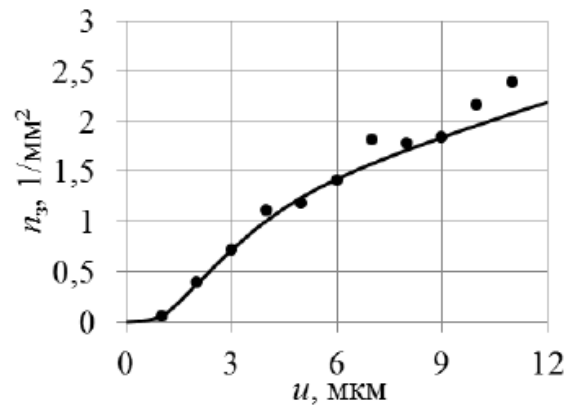
а)



б)



в)



г)

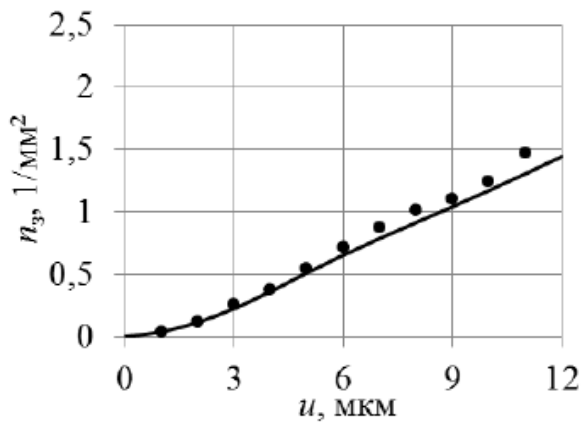
Рисунок 4.13– Теоретичний (розрахунковий) та експериментальний розподіл зерен по глибині РП ШК у різні періоди шліфування для кола твердості М:

340 про. (а); 510про. (б); 680 про. (в); 850 про. (г); 1 – значення, отримані теоретичним розрахунком за моделлю; 2 – експериментальні дані

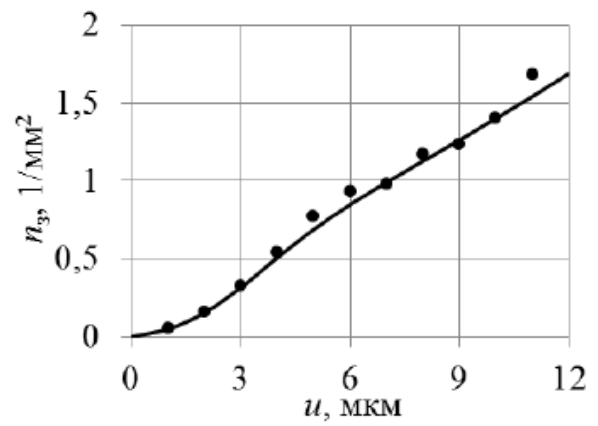
(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК- 1350×20×127 25А F60 М 6 В 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

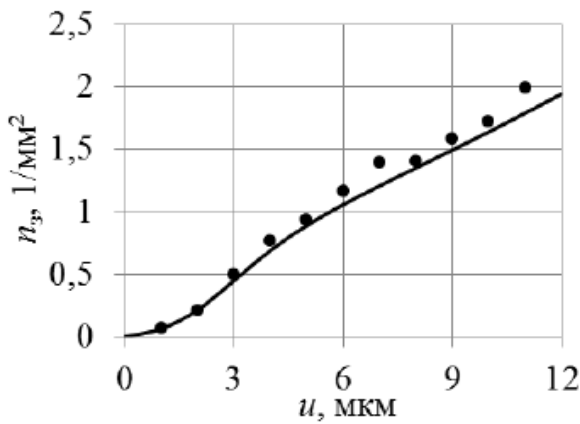
режимрізання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; $1 - St = 0,010$ мм/хід)



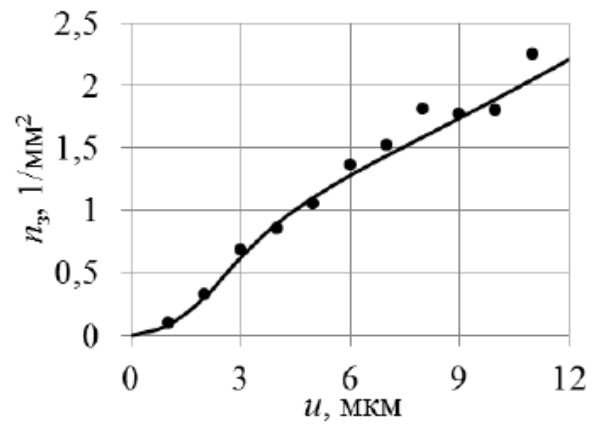
a)



б)



в)



г)

Рисунок 4.13– Теоретичний (розрахунковий) та експериментальний розподіл зерен по глибині РП ШК у різні періоди шліфування для кола твердості O:

340 про. (а); 510про. (б); 680 про. (в); 850 про. (г); 1 – значення, отримані теоретичним розрахунком за моделлю; 2 – експериментальні дані

(Зразок: Сталь 45 ГОСТ 1050 (HRC 44±0,85);

ШК– 1350×20×127 25A F60 O 6 B 50 м/с 1 кл. ГОСТ Р 52781-2007;

режимрізання: $v_k = 37$ м/с; $v_z = 12$ м/хв; 1 – St = 0,010 мм/хід)

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «СТВОРЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИЛИ РІЗАННЯ, ЩО ВРАХОВУЄ ЗНОС РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КОЛА В НАСЛІДОК СТИРАННЯ» 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 дослідити вплив різних видів зносу робочої поверхні шліфувального кола на силу різання; розробити динамічну математичну модель сили різання під час шліфування, що враховує вплив різних видів зносу; розробити	I-IV рівень	Базові знання з дисципліни «Технологічні процеси виготовлення деталей машин»	Сформовані вміння у здобувачів освіти щодо дослідження впливу різних видів зносу робочої поверхні шліфувального кола на силу різання; розробки динамічної математичної моделі сили різання під час шліфування, що враховує вплив різних видів зносу; розробка алгоритму та програмного забезпечення для

алгоритм та			
-------------	--	--	--

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
<p>програмне забезпечення для розрахунку сили різання на основі розробленої математичної моделі; провести експериментальні дослідження, оцінити адекватність динамічної математичної моделі сили різання; з використанням розробленої математичної моделі дослідити вплив різних факторів на характер зміни сили різання під час шліфування.</p>			<p>розрахунку сили різання на основі розробленої математичної моделі; проводити експериментальні дослідження, оцінити адекватність динамічної математичної моделі сили різання; з використанням розробленої математичної моделі досліджувати вплив різних факторів на характер зміни сили різання під час шліфування.</p>

6.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Баланюк Г. В. Підвищення точності та якості багаторізного 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: «Створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання».

1. Вплив різних видів зносу робочої поверхні шліфувального кола на силу різання.

2. Динамічна математична модель сили різання під час шліфування, що враховує вплив різних видів зносу.

3. Алгоритм та програмне забезпечення для розрахунку сили різання на основі розробленої математичної моделі.

4. Експериментальне дослідження, оцінити адекватність динамічної математичної моделі сили різання.

5. Вплив різних факторів на характер зміни сили різання під час шліфування.

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
Обробка деталей на шліфувальних верстатах. Основи процесу шліфування	Технологічні процеси виготовлення деталей машин	Метод – письмове опитування. Форма – фронтальна. Засіб – тестові завдання. Питання 1 . Технологічний метод обробки за допомогою абразивних інструментів, різальними елементами яких є тверді зерна абразивних матеріалів. Варіанти відповідей: А) полірування. Б) шліфування. В) доведення. Питання 2. Шліфування є процесом масового швидкісного різання з освітою. Варіанти відповідей: А) дрібних стружок. Б) дуже дрібних стружок. В) литої стружки. Питання 3. Інструментом при шліфуванні можуть бути: .. Варіанти відповідей: А) абразивні кола Б) головки, бруски, сегменти В) листи, стрічки, пасти Г) фрези Д) вільні зерна Питання 4. За характером оброблюваних поверхонь	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
		технологічні схеми шліфування	
Продовження табл. 4.2 1	2	3	4
		<p>можна розділити на три основні види.</p> <p>Варіанти відповідей:</p> <p>А) кругле;</p> <p>Б) плоске;</p> <p>В) профільне;</p> <p>Г) кругове.</p> <p>Питання 5. Обробка поверхонь обертання: циліндричних, конічних і фасонних, гладких і ступінчастих, зовнішніх і внутрішніх, наскрізних і глухих.</p> <p>Варіанти відповідей:</p> <p>А) плоского шліфування;</p> <p>Б) круговому шліфуванню;</p> <p>В) профільного шліфування;</p> <p>Г) круговому шліфуванню.</p> <p>Питання 6. Залежно від способу кріплення заготовки та виду оброблюваної поверхні кругле шліфування може бути різним:..</p> <p>Варіанти відповідей:</p> <p>А) Зовнішнє шліфування в центрах або патроні.</p> <p>Б) Внутрішнє шліфування.</p> <p>В) Центрувальне шліфування.</p> <p>Г) Безцентрове шліфування.</p> <p>Питання 7. Плоский шліфування.</p> <p>Розрізняють дві схеми:...</p> <p>Варіанти відповідей:</p>	

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
		<p>А) Периферією кола. Б) Торцем кола. В) сегментом.</p> <p>Питання 8. Профільне шліфування. Варіанти відповідей: А) обробка різьблень і зубчастих коліс; Б) шліфування сфер та складних фасонних поверхонь;</p>	

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4
		<p>В) по кулачку або шаблону; Г) по копіру.</p> <p>Питання 9. загальний вигляд універсального круглошліфувального верстата. Варіанти відповідей: А) передня бабка, шліфувальне коло, бабка шліфувального круга. Б) шліфувальне коло, бабка шліфувального кола, станина. В) задня бабка, верхня частина столу, Г) нижня частина столу, станина.</p>	

6.5. Проектування мотиваційних технологій навчання

На рис. 6.2 представимо характеристику мотиваційних технологій

навчання, а в таблиці 6.3 – текст мотивації до нашого заняття

Таблиця 6.3

Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
Вступна мотивація Приєм: віднесення до ситуації	<p>Шліфування – найпоширеніший метод остаточної обробки поверхонь деталей машин. Підвищення ефективності процесу шліфування із забезпеченням необхідних вимог до якості обробленої поверхні відноситься до пріоритетних напрямків розвитку абразивної обробки матеріалів.</p> <p>Одним із основних факторів, що визначають ефективність процесу, є сила різання. Від неї залежать пружні деформації технологічної системи, температура в зоні різання та поверхневих шарах деталі, утворення прижогов, знос і стійкість шліфувального круга. Враховуючи такий значний вплив на показники процесу, вивченню особливостей формування сили різання при шліфуванні за різних умов приділяється велика увага.</p>

Продовження табл.6.3

1	2
	<p>На сьогоднішній день дослідження сили різання найбільш ефективно можна здійснити за допомогою комп'ютерної техніки, на основі відповідних математичних моделей, в яких мають бути відображені характеристики заготівлі, шліфувального кола та процесу обробки. Достовірність математичної моделі сили різання багато в чому визначатиме продуктивність шліфування, якість обробленої поверхні та ефективність процесу загалом.</p> <p>Сила різання при шліфуванні безпосередньо пов'язана із зносом абразивних зерен на робочій поверхні (РП) шліфувального кола (ШК). Основними параметрами рельєфу РП ШК вважаються щільність розподілу зерен та радіус їх вершин. Вихідний рельєф РП ШК формується у процесі виправлення. Протягом періоду шліфування рельєф РП змінюється внаслідок зношування, що необхідно враховувати розробки динамічної моделі сили різання.</p> <p>Ступінь розробленості теми дослідження ми вивчимо на сьогоднішньому занятті.</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	Фронтальн а	Лекція з елементами бесіди, ілюстрація, демонстрація	Презентаційні слайди з теми плакати, відеоматеріали з теми.
II	Фронтальн а	Лекція-пояснення, демонстрація	
III	Фронтальн а	Лекція-бесіда-диспут, ілюстрація	

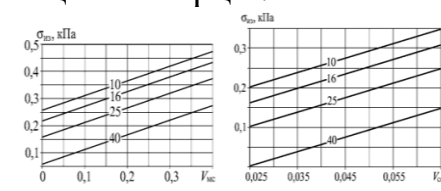
IV	Фронтальна	Лекція-демонстрація	
----	------------	---------------------	--

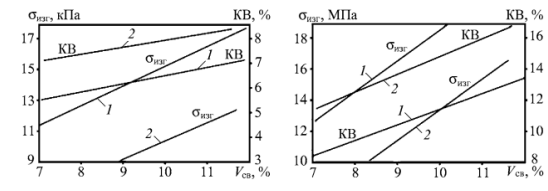
6.7 Проєктування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

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

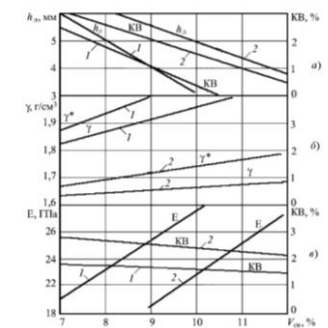
Таблиця 6.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III, IV	Фронтальна	Рішення задач	<p>Завдання 1. Опишіть: вплив відносного вмісту корундових мікросфер та зернистість абразиву на міцність сирцю; вплив відносного змісту керамічної зв'язки К5 та зернистості абразиву на міцність сирцю.</p>  <p>Завдання 2. Опишіть: залежність міцності на вигин сізг та її коефіцієнта варіації (КВ) від складу абразивної маси у сирому вигляді: 1 - $V_z = 0,40$; $V_{mc} = 0,20$; $V_{mc} = 0,30$; залежність міцності на вигин сізг та її коефіцієнта варіації (КВ) від складу абразивної маси в обпаленому вигляді: 1 - $V_z = 0,40$; $V_{mc} = 0,20$; 2 - $V_z = 0,34$; $V_{mc} =$</p>

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
			0,30. 

Продовження табл. 6.5

1	2	3	4
			<p>Завдання 3. Опишіть вплив складу абразивної маси на твердість (глибину лунки) h_L та її коефіцієнт варіації (α); зразків (β); модуль пружності E та його коефіцієнт варіації (ν): $1 - V_з = 0,40$; $V_{мс} = 0,20$.</p> 

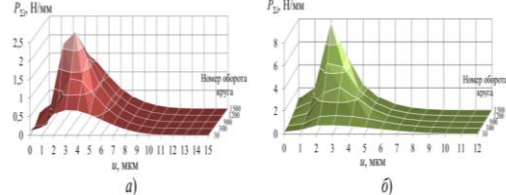
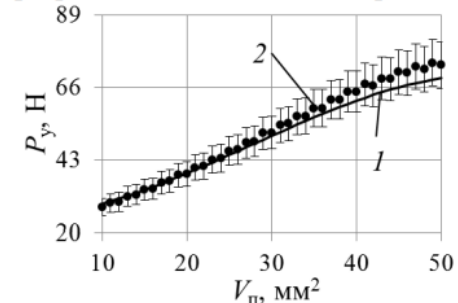
6.8 Проектування контрольних дій з теми

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	Комбінована опитування: контрольна і питання, письмова робота	Питання: 1. Розробіть алгоритм обчислення сили різання при шліфуванні. 2. Допишіть речення: розроблена динамічна математична модель сили різання враховує вплив ... 3. Допишіть речення: основними параметрами математичної моделі є

1	2	3	4
			<p data-bbox="927 266 1463 430">Завдання 1. Опишіть зміни сумарної сили різання по глибині РП ШК при шліфування колами твердістю К(а) та О(б)</p> <div data-bbox="927 443 1430 636">  <p data-bbox="927 443 974 472">P_{Σ}, Н/мм</p> <p data-bbox="927 577 958 606">а)</p> <p data-bbox="1185 577 1216 606">б)</p> </div> <p data-bbox="927 646 1495 1060">Завдання 2. Опишіть залежність радіальної складової сили різання $P_{y\phi}$ від наведеної напрацювання $V_{п}$: 1 – теоретичні дані; 2 – експериментальні дані (Заготівля: сталь 45 ДЕСТУ 1050 (HRC 42...45); St - 0,01 мм / хід; $v_z = 12$ м/хв; $v_k = 37$ м/с; ШК – 1350×20×127 25A F60 К 6 В 50 м/с 1 кл. ДЕСТУ Р 52781-2007)</p> <div data-bbox="927 1073 1382 1373">  <p data-bbox="927 1073 974 1102">$P_{y\phi}$, Н</p> <p data-bbox="1153 1344 1201 1373">$V_{п}$, мм²</p> </div>

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 «Створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання»

№ 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: «Створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання». Мета: сформувати вміння у здобувачів освіти щодо створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання.
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Створення динамічної математичної моделі сили різання, що враховує знос робочої поверхні шліфувального кола в наслідок стирання». Текст для формування внутрішньої мотивації представлений в табл. 4.3.
4	Актуалізація базових знань	Проведення фронтального опитування. Метод – письмове опитування. Форма – фронтальна. Засіб – тестові завдання. Перелік тестових 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 картки-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

У цьому розділі було розроблено факультативне заняття на тему «Створення динамічної математичної моделі сили різання з урахуванням зносу робочої поверхні шліфувального круга внаслідок стирання» для спеціалістів у галузі машинобудування. Було виконано наступне: визначено дидактичну мету факультативу, проаналізовано основні умови навчання, обрано та сформульовано текст мотивації, створено систему задач і завдань для виконання під час практичної роботи, розроблено методику формування орієнтовної основи діяльності й виконавчих дій, організовано порядок виконання завдань і розв'язання задач, забезпечено контроль сформованих умінь, а також підготовлено сценарій факультативного заняття.

Висновок

Розроблена динамічна математична модель сили різання враховує вплив трьох основних різновидів зношування робочої поверхні шліфувального кола, що відбуваються в результаті стирання і сколювання вершин зерен, виривання зерен із зв'язки за кожен оборот шліфувального кола протягом періоду шліфування, що розглядається.

Основними параметрами математичної моделі є щільність розподілу вершин зерен на робочій поверхні кола, можливість контакту вершини зерна з оброблюваним матеріалом і фактична глибина різання вершини зерна, що відраховується від перехідної поверхні, розташованої в зоні шліфування.

Сила різання визначається як результуюча сил різання, розподілених по елементарним шарам робочої поверхні абразивного інструменту, які розташовані в зоні шліфування.

Основні висновки:

1. Розроблено динамічну математичну модель сили різання, що враховує зношування РП ШК внаслідок стирання та сколювання вершин зерен, виривання їх із зв'язування кола залежно від часу шліфування.

2. Розроблено алгоритм, програмне забезпечення та методика розрахунку складових сил різання, що дозволяють визначати величину сили різання після кожного обороту ШК залежно від режиму різання та характеристик ШК.

3. Встановлено характер розподілу сили різання у зоні шліфування за шарами робочої поверхні абразивного інструменту та особливості зміни розподілу за період шліфування. На підставі отриманого розподілу визначено координати точки застосування результуючої сили різання в зоні шліфування. Наприклад, при шліфуванні навколо твердістю К ($St=0,01$ мм/хід, $v_z=12$ м/хв) точка застосування результуючої сили різання в шарах робочої поверхні кола віддалена від осьової площини кола вліво на відстань близько $0,2L_{max}$. Точка

застосування сили різання (результуюча сила різання по шарах робочої поверхні кола) по висоті профілю РП ШК знаходиться на відстані близько $0,3t_{\text{ф}}$ від найвіддаленішої вершини зерна.

4. Основною причиною зміни сили різання при шліфуванні є ймовірність видів зношування робочої поверхні шліфувального кола в результаті стирання та сколювання вершин зерен, виривання зерен із зв'язки кола, що істотно змінюються по глибині контактної поверхні навіть за інших однакових умов шліфування. Наприклад, для найбільш віддалених вершин зерен, розташованих у осьовій площині кола твердістю К ймовірності стирання, сколювання та виривання можуть дорівнювати відповідно 0,04, 0,09, 0,87; на середині висоти профілю – 0,98, 0,05, 0,015; з відривом 0,1 від перехідної поверхні – 0,999, 0,0005, 0,0005.

5. Зі збільшенням твердості кола зростає ймовірність зношування вершини зерна стиранням і знижується ймовірність виривання зерна із зв'язки. Наприклад, на відстані близько $0,15t_{\text{ф}}$ ймовірність зношування стиранням зі збільшенням твердості кола від К до Про збільшується в 3,3 рази, а ймовірність виривання зменшується майже в 1000 разів. В результаті за період шліфування щільність розподілу вершин зерен на середині висоти профілю зростає в 3 рази, що незважаючи на деяке зниження фактичної глибини різання та зменшення ймовірності контакту вершин зерен з оброблюваним матеріалом призводить до зростання сили різання. У середині періоду шліфування сила різання навколо твердістю Про в середньому на 20% більше, ніж навколо твердістю К, наприкінці періоду шліфування відмінність сягає 2,5 рази.

6. Зі збільшенням подачі на глибину шліфування зростає навантаження на вершину зерна, що призводить до збільшення ймовірності зношування вириванням. Наприклад, для кола твердістю М ($St_1=0,005$ мм/хід, $St_2=0,01$ мм/хід, $v_3=12$ м/хв) на відстані від умовної зовнішньої поверхні кола близько 2 мкм ймовірність виривання зерна зі зв'язування кола зростає майже 40 раз, а

Ймовірність зношування стиранням знижується в 1,2 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
2. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
3. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
4. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2024. – 82 с.

7. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

8. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

9. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

10. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

11. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

12. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

13. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

14. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

15. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>