

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему


Підготовка фахівців машинобудівної галузі
з підвищення ефективності використання твёрдосплавного
інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на
верстатах токарної групи
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-
ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта
(Машинобудування)»


(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


 / Петро ФОТІЄВ
(підпис) (ім'я та прізвище)


Керівник  / Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Вікторія КНЯЗЄВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк

“ 12 ” 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Петру ФОТІЄВУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галуз
зпідвищення ефективності використання твердосплавного
інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на
верстатах токарної групи

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10.2024 р.

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

3. Вихідні дані до роботи: Зразки твердосплавного інструменту для обробки на
верстатах токарної групи, нормативні документи, паспортні дані обладнання,
каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Аналіз причин неоднорідності ріжчих властивості
твердосплавних інструментів з покриттям. Фізичні основи зв'язку величини
термо-ес природної термопари з ріжучими властивостями твердосплавних
інструментів з зносостійкими покриттями. Методика проведення
експериментальних досліджень. Забезпечення точності вимірювання величини
термо-едс пробного проходу при оцінці властивостей контактних
пар. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

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

6. Консультант:

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

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

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

Завдання прийняв до виконання  Петро ФОТІВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

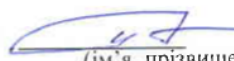
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ 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

 Петро ФОТІВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

 Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я, прізвище)

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 (проєкту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи

студента

(назва роботи)
ФОТІЄВ Петро Петрович
(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Скоркін Антон Олегович
(прізвище, ім'я та по батькові)

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

Коефіцієнт Подібності 1: 0,30,

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 (проєкту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор


(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

26.11.21

(дата)

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 Актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі	9
2. Аналіз причин неоднорідності ріжчих властивостей твердосплавних інструментів з покриттям.	12
3. Методика проведення експериментальних досліджень	22
4 Фізичні основи зв'язку величини термо едс природної термопари з ріжучими властивостями твердосплавних інструментів з зносостійкими покриттями	30
5 Забезпечення точності вимірювання величини термоедс пробного проходу при оцінці властивостей контактних пар	39
6 Розробка аналітичної моделі розрахунку швидкості різання при точенні сталів твердосплавним інструментом з покриттям	46
Розділ 7 Розробка дидактичного проєкту факультативного заняття на тему «підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи» для фахівців машинобудівної галузі	53
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “ Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи ”

РЕФЕРАТ

Робота містить 70с., 39 рис., 2 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи.

У другому розділі виконано аналіз причин неоднорідності ріжчих властивостей твердосплавних інструментів з покриттям.

У третьому розділі викладено методика проведення експериментальних досліджень.

У четвертого розділі виконано фізичні основи зв'язку величини термо едс природної термопари з ріжучими властивостями твердосплавних інструментів з зносостійкими покриттями.

У п'ятому розділі виконана забезпечення точності вимірювання величини термоедс пробного проходу при оцінці властивостей контактних пар.

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

Ключові слова: професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, верстат, заготовка, сталь, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic “Training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of using hard alloy tools with wear-resistant coating when processing workpieces on lathes”

ABSTRACT

The work contains 70 pages, 39 figures, 2 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of using hard alloy tools with wear-resistant coating when processing workpieces on lathes.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of using hard alloy tools with wear-resistant coating when processing workpieces on lathes.

The second section analyzes the causes of the heterogeneity of the cutting properties of coated hard alloy tools.

The third section presents the methodology for conducting experimental research.

The fourth section provides the physical foundations of the relationship between the thermo-emf value of a natural thermocouple and the cutting properties of hard alloy tools with wear-resistant coatings.

The fifth section provides the accuracy of measuring the thermo-emf value of a test pass when assessing the properties of contact pairs.

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, mechanical engineering industry, specialist, machine tool, workpiece, steel, practical training methodology.

ВСТУП

Застосування зносостійких покриттів на операціях токарної обробки сталей дозволило значно підвищити продуктивність процесу та забезпечило підвищення стійкості твердосплавного інструменту в середньому у 2-3 рази порівняно з інструментами без покриттів. При цьому діапазон збільшення стійкості інструменту з покриттям коливається в інтервалі від півтора - до чотириразового. Причини настільки великого діапазону розкиду стійкості твердосплавного інструменту з покриттям при роботі в тих самих умовах різання недостатньо досліджені.

Новий клас твердосплавного інструменту із зносостійкими покриттями забезпечив підвищену продуктивність і вищу надійність процесу металообробки, що особливо важливо в умовах багатOVERSTATного обслуговування верстатів з ЧПУ. а між партіями постачання іноді й більше. специфікою його виробництва Дана обставина змушує виробників інструменту у своїх табличних методиках-рекомендаціях щодо призначення швидкості обробки орієнтуватися на середнє значення ріжучих властивостей, залишаючи певний запас стійкості в межах 20%.

Довідково-нормативна література на сьогоднішній день не має аналітичних моделей розрахунку допустимої швидкості різання при використанні твердосплавних інструментів з покриттями, в яких оперативно враховувалися б підвищені, але, все-таки змінні ріжучі властивості цього виду інструменту.

Наявність попередньої інформації про ріжучі здібності інструменту надає можливість використання прихованих резервів його стійкості шляхом збільшення режимів обробки порівняно з розрахунковими (з урахуванням прийнятих обмежень), що може дати більший економічний ефект за рахунок скорочення машинного часу обробки.

Таким чином, заявлена тема має актуальність і спрямована на розгин резервів працездатності твердосплавних інструментів з покриттям для

підвищення продуктивності на операціях токарної обробки сталей при використанні.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Основою розвитку сучасної сильної держави та її економіки завжди служили базові галузі промисловості, такі як машинобудування, енергетика, транспорт, зв'язок. Для прискорення ефективного розвитку промисловості необхідні розробка та впровадження у виробництво нового обладнання, техніки та інноваційних технологій.

Основою розвитку сучасної сильної держави та її економіки завжди служили базові галузі промисловості, такі як машинобудування, енергетика, транспорт, зв'язок. Для прискорення ефективного розвитку промисловості необхідні розробка та впровадження у виробництво нового обладнання, техніки та інноваційних технологій. Тоді, починаючи від фундаментальних та прикладних наукових досліджень і закінчуючи виробництвом високотехнологічної та конкурентної, а отже затребуваної продукції, очікується різкого збільшення ВВП. Розробкою та проектуванням нових машин та агрегатів, впровадженням нових технологій на виробництві повинні займатися інженери.

Проблеми інженерної освіти широко обговорюється на всеукраїнській та Міжнародних конференціях, і це дозволяє оптимістично дивитися у майбутнє.

Інженерна освіта є наукомісткою з усіх сфер освіти. Інженер проектує та створює нове обладнання: турбіни, верстати, повітроплавну техніку, кораблі та інше. І основний тягар технологічного переоснащення країни лягає саме на представників інженерно-технічних професій.

Не ставлячи під сумнів необхідність запровадження дворівневої вищої освіти (бакалавр – магістр) для багатьох напрямів науки, таких як фізика, математика, матеріалознавство, економіка, юриспруденція, гуманітарні науки, хотілося б висловити тверде переконання інженерного корпусу України,

пов'язаного з конкретним виробництвом: для машинобудівництва комплексу країни необхідно зберегти підготовку інженерів-фахівців.

Протягом останніх двадцяти років незмінно спостерігається падіння конкурсу до вишів на технічні спеціальності. Багато в чому тому, що пізнавати математику та фізику складно. Як точні науки вони вимагають зусиль щодо. А найменші труднощі знижують інтерес і мотивацію школяра. Вчителі здебільшого не можуть пробудити інтерес до інженерних наук. Наприклад, 2018 року в Харкові на ЄДІ з фізики записалося лише 25 відсотків випускників. Дисципліна «Креслення» у школах, як правило, відсутня.

Однак у 2018-2019 роках у вітчизняному машинобудуванні, особливо енергетичному та атомному, очікується великий попит на інженерні кадри. Проведений на замовлення Міністерства освіти і науки моніторинг дав наступні результати: у 2023 році ЗВО випустять удвічі більше дипломованих гуманітаріїв та в 3,5 рази більше економістів та управлінців, ніж це необхідно ринку праці. А от металургів, машинобудівників, фахівців з металообробки випустять удвічі менше, ніж потрібно.

Готувати інженерів для промисловості необхідно, тому немає сенсу нарікати на розрив рівня знань, не можна орієнтуватися виключно на геніїв, виховувати та навчати слід реальну молодь. Вирішуючи це завдання, необхідно забезпечити промисловість країни фахівцями, закладати основи знань як фундамент процвітання наступних поколінь.

Інженерна освіта в Україні завжди була однією з найавторитетніших у світі. Її основою є сформоване протягом століть поєднання загальнонаукових, загальнотехнічних, гуманітарних та соціально-економічних дисциплін на першому етапі підготовки інженера та спеціальних дисциплін – на другому етапі. І лише гарне поєднання різнобічного теоретичного навчання із ґрунтовною практичною підготовкою в умовах промислового виробництва забезпечує високу професійну компетентність фахівця.

Економічні пріоритети України в ХХІ столітті ставлять перед системою вищої технічної освіти актуальну проблему - формування інтегрованої з виробництвом системи навчання. Найстарішим представником вищої школи, де не на словах, а насправді широко впроваджена у навчальний процес інноваційна інтегрована система підготовки висококваліфікованих фахівців для машинобудівної галузі України, є ХПІ.

Під терміном «інтегрована система навчання» (ІСН) розуміється теоретична підготовка вузами студентів очної форми у нерозривному зв'язку з їхньою трудовою діяльністю за обраною спеціальністю на базових підприємствах, фірмах, наукових, навчальних та інших установах. Ця підготовка здійснюється відповідно до державних освітніх стандартів, навчальних планів вузів та трудового законодавства. У період трудової діяльності студенти навчаються за очно-заочною (вечірньою) формою. Періоди чергування цих форм встановлюються радою вишу з урахуванням спеціальності, підготовки, змісту трудової діяльності студентів та особливостей виробництва базового підприємства або виду діяльності базової установи.

Основна відмінність вперше впровадженою ХПІ ІСН полягає в тому, що денна форма навчання органічно поєднується з активною інженерно-виробничою підготовкою на базових підприємствах. Вже з другого курсу студенти розподіляються на підприємствах та є їх співробітниками. Фундаментальна підготовка, теоретичне вивчення спеціальних технологічних та конструкторських дисциплін тісно пов'язані у розроблених програмах інженерної виробничої підготовки (ІПП) на базових підприємствах, де учням забезпечується послідовний перехід у виробничій діяльності по ланцюжку «учень робітника – кваліфікований робітник – технік – помічник».

Високий рівень теоретичної підготовки студентів ХПІ гарантується з одного боку високою кваліфікацією педагогічних кадрів, з іншого боку, цей рівень навчання встановлюється державними стандартами фундаментальних та

спеціальних дисциплін. Виробнича складова забезпечується як спеціальними завданнями, так і повноправним становищем студентів на заводі: штатною посадою та заробітною платою, спеціальною стипендією, обліком робочого стажу, пільгами заводських працівників. Безцінним є також виховний вплив робочого колективу на студентів. Вже на п'ятому курсі вони, як правило, знають, де працюватимуть після закінчення вишу, виконують курсові та дипломні проекти, «прив'язані» до конкретного підрозділу заводу. Словом, проблем із працевлаштуванням не виникає. Період адаптації на виробництві не потрібний. За спеціальністю працюють 80-85 відсотків випускників вишу.

Сьогодні інститутом укладено 29 довгострокових (на п'ять і більше років) договорів із провідними підприємствами міста. Це коло постійно розширюється. У 2022 році ЗВО уклав договір із Торгово-промисловою палатою міста, відповідно до якого ТПП взяла на себе роль диригента з розширення зв'язків інституту з підприємствами, створення банку даних про потребу у підготовці та перепідготовці фахівців.

І такий досвід у нашій країні є: заводи – втузи, де навчання перемежується із досить серйозною практичною роботою студентів.

Вже на стадії навчання у ЗВО, внаслідок найтіснішого зв'язку з виробництвом, студенти включаються до інноваційної діяльності, оскільки суть навчання полягає у вирішенні проблем оновлення виробництва, створенні нової високоефективної та енергозберігаючої продукції машинобудівного комплексу України, пошуку перспективних конструкторських рішень, впровадженні сучасного обладнання та нових технологій. .

Оскільки становлення та розвиток ІСО пройшло довгий і важкий шлях, і в цьому брали участь тисячі людей і десятки (а то й сотні) різних підприємств та організацій, яка сьогодні сформувалася навчально-методична та наукова школа «завод – ЗВО», або ХПІ, повинна займати свою гідну нішу в системі вищої освіти України, що реформується.

Висновки до розділу 1

Таким чином, підготовка фахівців машинобудівної галузі є важливим фактором сталого розвитку економіки, впровадження інновацій та забезпечення національної конкурентоспроможності, а саме:

1. **Забезпечення економічного розвитку:** машинобудівна галузь є однією з ключових у промисловості, оскільки вона впливає на розвиток інших секторів економіки, таких як транспорт, енергетика, сільське господарство, будівництво тощо. Висококваліфіковані фахівці в цій сфері забезпечують конкурентоспроможність продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках.

2. **Впровадження інноваційних технологій:** розвиток машинобудівної галузі вимагає впровадження сучасних цифрових технологій, автоматизації виробництва, використання програмного забезпечення для проектування (CAD/CAM/CAE) та 3D-друку. Для цього необхідна підготовка фахівців, які володіють сучасними знаннями та компетенціями.

3. **Задоволення потреб ринку праці:** сучасний ринок праці потребує професіоналів із глибокими технічними знаннями, які здатні адаптуватися до швидких змін у виробничих процесах. Підготовка таких фахівців є важливою для задоволення потреб як вітчизняних, так і міжнародних підприємств машинобудування.

4. **Глобальні виклики та тренди:** у контексті екологічних викликів, фахівці машинобудівної галузі відіграють важливу роль у розробці енергоефективного обладнання, зменшенні викидів вуглецю та створенні технологій для сталого розвитку. Це підвищує актуальність якісної професійної підготовки.

5. **Національна безпека та інфраструктура:** машинобудівна галузь має стратегічне значення для забезпечення обороноздатності країни та розвитку

інфраструктури. Підготовка кваліфікованих кадрів сприяє зміцненню економічної та технічної незалежності держави.

Потреба у міждисциплінарних знаннях: сучасні машинобудівні проекти потребують не лише інженерних навичок, а й знань у сферах управління, фінансів, маркетингу, що зумовлює необхідність інтеграції міждисциплінарного підходу у навчальні програми.

2. АНАЛІЗ ПРИЧИН НЕОДНОРІДНОСТІ РІЗЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ З ПОКРИТТЯМ

2.1 Технологічні причини розкидання властивостей твердосплавної матриці

Проблема попереднього діагностування ріжучих можливостей твердосплавного інструменту як з покриттям, так і без покриттів у вітчизняній металообробці залишається до кінця не вирішеним завданням. У вступі до цієї роботи зазначено неминучий, але допустимий за технічними умовами виготовлення, розкид різальних і фізико-механічних властивостей інструменту без покриття через відмінність його фазового (хімічного) складу. Твердосплавний інструмент із зносостійкими покриттями забезпечує більш високу надійність самого процесу металообробки, показуючи, що цей прогресивний якісний інструмент не є «найслабшою ланкою» в технологічному ланцюжку, а це особливо важливо в умовах багатOVERSTATного обслуговування верстатів з ЧПУ.

У чому причина розкиду тепер уже підвищених ріжучих властивостей вітчизняного твердосплавного інструменту з покриттям? Це з тим, що «технологічна спадковість» по неоднорідності властивостей всередині марочного складу під час виробництва твердосплавного інструменту [7] перейшла у технологію нанесення зносостійких покриттів. Тобто твердосплавна матриця в партіях постачання зберегла свою неоднорідність, лише частково «залікувавши» дефекти поверхневого шару при нанесенні покриттів. Зносостійке покриття забезпечило цьому виду інструменту підвищені ріжучі властивості, але властивості матриці не змінилися.

Особливість технологічного процесу спікання твердосплавних ріжучих пластин (матриці) полягає в тому, що дуже вузькі за допустимим вмістом вуглецю області, що становлять десяті частки відсотка (0,1 – 0,5 %), призводять до широкої межі зміни фізико-механічних і ріжучих властивостей. . У роботах

вітчизняних та зарубіжних авторів, що стосуються специфіки технології спікання твердосплавних виробів та пов'язаним з нею розкидом експлуатаційних характеристик вказується на вирішальну роль вуглецю, серед впливу інших факторів, у формуванні властивостей сполучної кобальтової фази та властивостей сплаву в цілому.

Підкреслюючи неминучість розкиду властивостей твердосплавної матриці, слід мати на увазі, що це обумовлено тим, що сполучна кобальтова фаза (g-фаза) твердосплавних інструментів представляє собою твердий розчин вольфраму і вуглецю в кобальті з обмеженим інтервалом концентрацією. Це з металургійної природою освіти твердих розчинів, основу якої лежить відмінність атомних радіусів складових їх елементів. [19]. Атомний радіус вольфраму дорівнює 1,4 ангстрему, у кобальту він дорівнює 1,25.

Розчинність вольфраму в кобальті в процесі спікання залежить від вмісту вуглецю в сплаві та лежить в інтервалі 2-20%. При цьому сплави з вмістом вуглецю на нижній межі мають до 20% розчиненого вольфраму в кобальтовій фазі, на верхній 2%, що і визначає якість зв'язки. У роботі [95] з посиланням на японських авторів наведено приклад впливу фазового складу сплаву BK10 з його фізико-механічні характеристики. (Рисунок 2.1). Показано, що найкращими характеристиками має двофазний сплав. Двофазний сплав (WC+g) – це розчин вольфраму та вуглецю в кобальті без додаткової h1-фази (її наявність не допускається за ТУ) та без додаткової фази графіту – С. Трифазна область (WC+g+C) – розчин, що містить близько 2% вольфраму в кобальті та містить вільний графіт. Це менш працездатний фазовий склад твердого сплаву, що піддається інтенсивному зносу через погану якість кобальтової зв'язки.

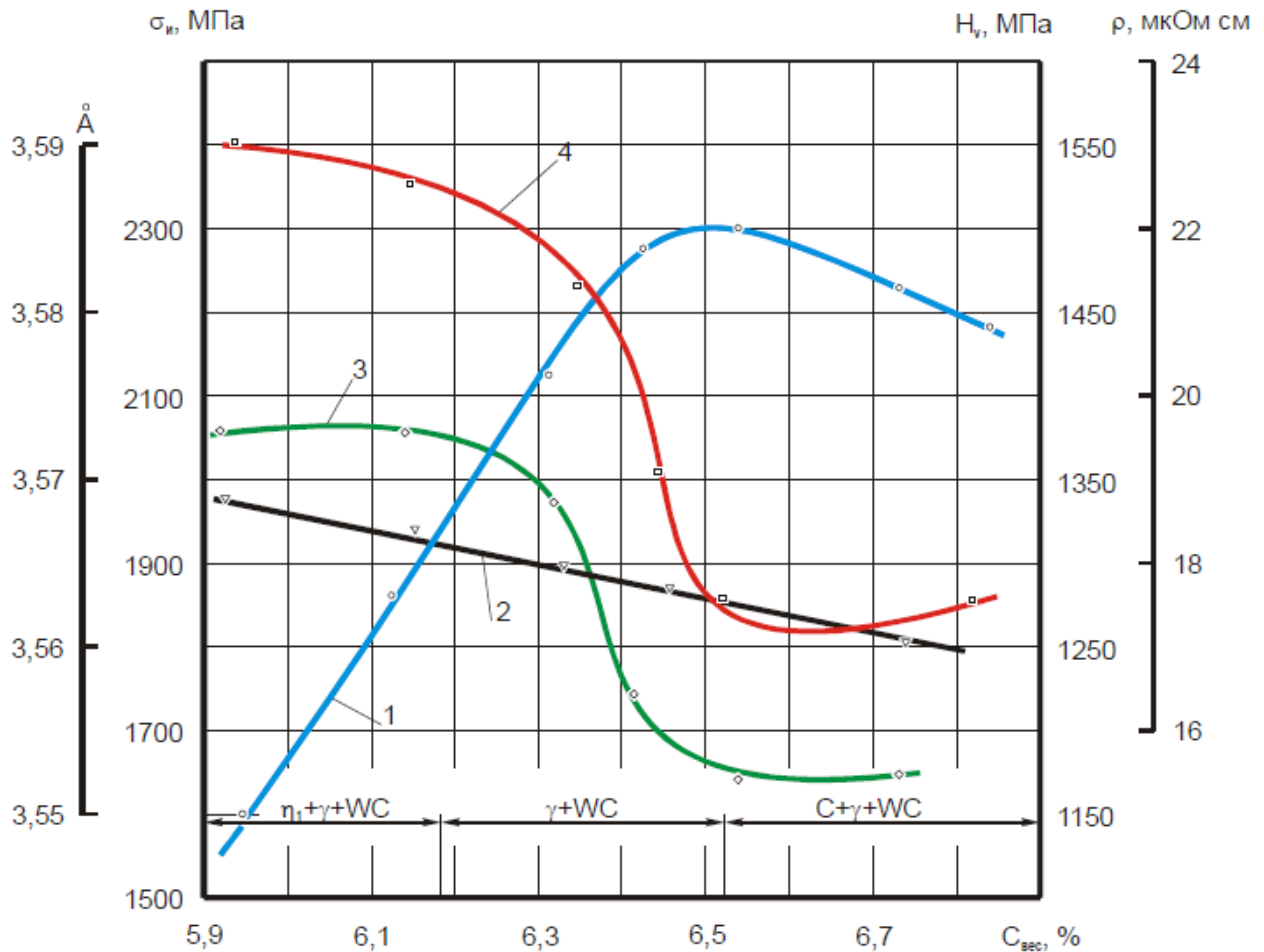


Рисунок 2.1 – Вплив вмісту вуглецю на властивості сплаву ВК10 [95]

1 – межа міцності при згинанні σ_I . 2 – твердість за Віккерсом H_V , – період решітки кобальтової фази, Å; 4 – електричний опір сплаву ρ , мкОм×див.

Аналізуючи більш високу працездатність імпортного твёрдосплавного інструменту на верстатах з ЧПУ, де частка його використання досягає 90-95%, з великою ймовірністю можна зробити висновок, що зарубіжні фірми-постачальники відмовилися від використання трифазного сплаву (сплаву з вмістом графіту) як при виробництві звичайного інструменту, так і для твёрдосплавного інструменту з покриттям. Крім того, багато хто з них освоїли випуск твёрдосплавного інструменту, в якому кобальтова зв'язка додатково легується рядом рідкісноземельних елементів. Вітчизняні заводи-виробники твёрдосплавного інструменту поки що не повною мірою освоїли цей спосіб покращення якості своєї продукції. ОСТ 48-99-84, що діє досі, допускає наявність

фази графіту у всій вітчизняній гамі твердосплавних інструментів. Це одна з головних причин великого допустимого розкиду різальних властивостей вітчизняного твердосплавного інструменту. Відсутність освоєних технологій покращення якості кобальтової зв'язки вітчизняного твердосплавного інструменту шляхом її додаткового легування лише збільшує розрив за рівнем ріжучих властивостей.

Специфіка виробництва твердих сплавів така, що і двофазному сплаву властива деяка неоднорідність фізико-механічних властивостей через вплив навіть десятих часток відсоткового вмісту вуглецю (рисунк 1.1) Це, як зазначено вище, неминучий метал. чим неоднорідність з охопленням трифазної області з графітом. А головне, що кобальтова зв'язка двофазного сплаву значно більшою мірою легована вольфрамом, що визначає хорошу якість сплаву в цілому.

У сплаві ВК10 у діапазоні збільшення відсоткового вмісту вуглецю від 6,2 до 6,6 % тільки всередині двофазної області (WC+g) межа міцності при згинанні змінюється на 22%, (зростає), твердість зменшується незначно (на 5–6%) . При переході до фази з графітом значення межі міцності досягають максимуму, а потім зменшуються разом із зменшенням твердості. За даними роботи [95] межі розчинності вольфраму та вуглецю в кобальтовій фазі однакові як для однокарбідних сплавів (ВК), так і для двокарбідних (ТК) та трикарбідних (ТТК) сплавів. І в кожній групі твердого сплаву зміна вмісту вуглецю в межах двофазної, а особливо в межах трифазної області призводить до значної зміни його фізико-механічних і ріжучих властивостей.

Ці зміни в хімічному та фазовому складі, у свою чергу, визначають різну здатність кобальтової зв'язки міцно утримувати зерна карбідів або блоки зерен в монолітному обсязі, різну здатність протистояти явищу повзучості ріжучого клину, різну інтенсивність взаємної дифузії компонентів сталі у зв'язку та компонентів зв'язування зони контактних пластичних деформацій

1.1 Види зносостійких покриттів, які застосовуються при токарній

обробці. Методи нанесення покриттів

Перші зразки серійного виробництва змінних багатограних пластин, що не переточуються, із зносостійкими покриттями продемонструвала в 1969 році шведська компанія Sandvik Coromant. Розвиток інструментального матеріалу з того моменту йде шляхом покращення методів нанесення покриттів з метою управління їх хімічним складом, а також структурою для забезпечення найкращого поєднання властивостей покриття та основи в різних сферах застосування.

Зносостійкі покриття на ШМД наносять двома методами [82]:

Хімічне осадження покриттів із газової фази – Chemical Vapour Deposition (CVD).

а) високотемпературний метод хімічного осадження покриттів - High-Temperature CVD (HT-CVD);

б) середньотемпературний метод хімічного осадження покриттів – Media-Temperature CVD (MT-CVD);

в) метод хімічного осадження з плазмовим супроводом – Plasma Assisted CVD (PA-CVD).

Фізичне осадження покриттів у вакуумі – Physical Vapour Deposition (PVD).

а) метод вакуумно-дугового випаровування;

б) метод магнетронного розпилення;

в) метод електронно-променевого випаровування.

Методами хімічного осадження покриттів отримують сполуки з урахуванням нітридів, карбідів, карбонітридів і боридів тугоплавких металів – Al₂O₃, TiN, TiC, ZrN, TiCN та інших. Основні характеристики деяких хімічних покриттів (з'єднань), одержуваних методом хімічного осадження, представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 Основні характеристики хімічних сполук, одержуваних

методом CVD

З'єднання	Температура плавління, °C	HV	ρ , г/см ³	E, МПа	$\alpha \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹
<i>TiC</i>	3067	28	4,93	470000	8,0...8,6
<i>TiN</i>	2950	21	5,40	590000	9,4
<i>ZrC</i>	3445	25,6	6,63	400000	7,0...7,4
<i>ZrN</i>	2982	16	7,32	510000	7,2
<i>VC</i>	2648	29	5,41	430000	7,3
<i>VN</i>	2177	15,6	6,11	460000	9,2
<i>NbC</i>	3613	18	7,78	580000	7,2
<i>NbN</i>	2204	14	8,43	480000	10,1
<i>TaC</i>	3985	15,5	14,48	560000	7,1
<i>CrN</i>	1050	13	6,12	400000	2,3
<i>WC</i>	2776	23,5	15,72	720000	3,8...3,9
<i>Al₂O₃</i>	2047	23	3,98	400000	8,4

У загальному випадку процеси CVD засновані на перебігу гетерогенних хімічних реакцій у парогазовому середовищі, що оточує ШМД, в результаті яких утворюється зносостійке покриття.

Осадження покриттів відбувається у спеціальній печі у присутності водню внаслідок взаємодії газоподібних галогенідів ($TiCl_4$, $AlCl_3$) із складовими сумішей: а) азотом – при осадженні нітридів тугоплавких металів; б) метаном – при осадженні карбонітридів; в) вуглекислим газом – при осадженні оксидів.

Пластини на піддонах поміщаються в піч, в камеру якої подається серія газів, потім очищаються трубки, і подається інша серія газів (рисунок 1.2) Ця процедура повторюється до тих пір, поки не будуть сформовані всі шари покриття. С протягом 30 годин. Товщина покриття становить приблизно 2-20 годин. мкм.

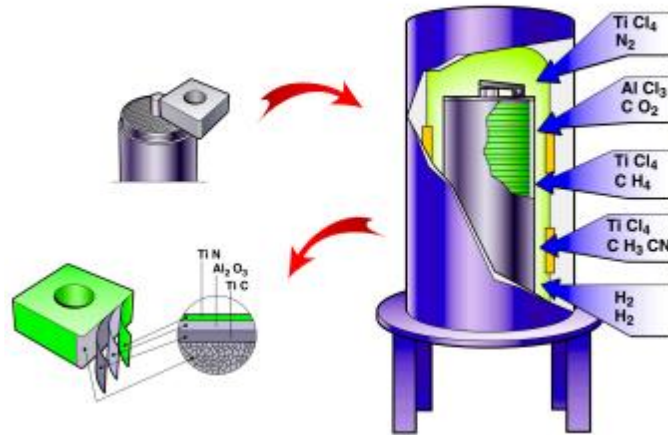


Рисунок 2.2 – Схема нанесення покриттів на різальний інструмент CVD-методом

Переваги покриттів CVD:

- Можливість одержання покриттів великої товщини;
- Можливість одержання покриттів рівномірної товщини;
- Дуже хороша адгезія до твердосплавної основи;
- Дуже гарна зносостійкість;
- Можливість нанесення оксидних покриттів.

В основі PVD – методів, як правило, лежить випаровування (розпорошення) речовини у вакуумній камері, з подальшою іонізацією частинок, прискоренням в електричному (магнітному) полі у напрямку до поверхні, що покривається, та їх конденсацією на цій поверхні в присутності реакційного газу. При цьому переведення твердої речовини в металеву пару може здійснюватися катодною плямою вакуумної дуги (вакуумно-дугове випаровування, Рисунок 2.3 а); іонним пучком (магнетронне розпилення, рисунок 1.3 б); електронним пучком (електронно-променеве випаровування, Рисунок 2.3) при температурі 500...600°C.

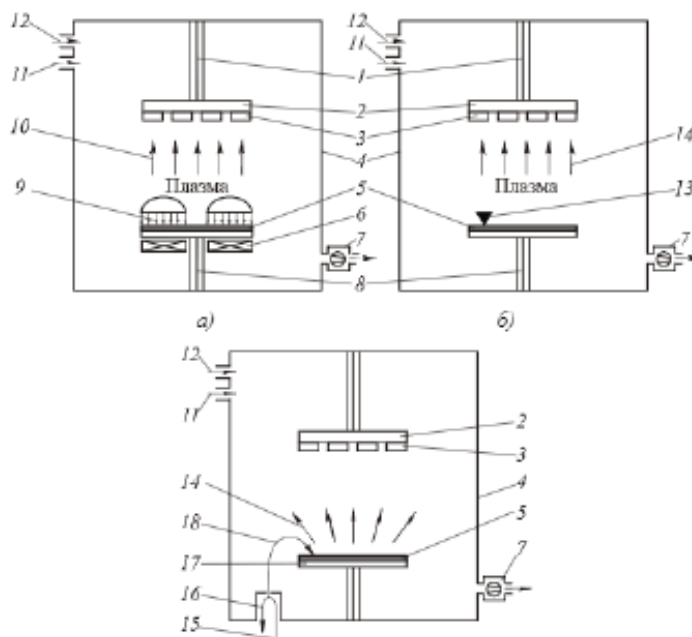


Рисунок 2.3 – Принципові схеми нанесення покриттів на ріжучий інструмент PVD-методами: [90]

а-магнетронним розпорошенням; б-вакуумно-дуговим випаром; в-електронно-променевим випаром; 1-подача напруги зміщення; 2-тримач інструментів; 3-інструмент; 4-вакуумна камера; 5-осаджений матеріал; 6-магнітна система для магнетронного розпилення; 7-вакуумний насос; 8-подача розрядної напруги; 9-іонний пучок; 10-розпорошений матеріал; 11-реакційний газ; 12-інертний газ; 13-катодна пляма; 14-випарений матеріал; 15-подача прискорюючої напруги; 16-термокатод; 17-тигель; 18-електронний промінь

В якості речовини, що випаровується (розпилюваної) зазвичай використовують тугоплавкі метали (Ti, Cr, Mo, Zr, Al та ін), а реакційних газів - азот, метан, кисень і отримують відповідно покриття у вигляді нітридів, карбідів, карбонітридів або оксикарбідів тугоплавких металів .

CVD - покриття вимагають застосування дорогих високочистих хімічних реагентів (TiCl₄, NH₃, ін.), прецизійних дозаторів хімічних прекурсорів, точного контролю продуктів хімічних реакцій у робочій камері і т.д. більшу продуктивність і не настільки чутливо до незначних відхилень технологічних

параметрів. Тому PVD-метод знаходить все більше застосування.

Типовий технологічний процес нанесення покриттів PVD – методом представлений малюнку 1.4. Пластини завантажуються в камеру на пристроях, що обертаються. На стінах камери розміщуються металеві мішені. Основний компонент – титан (Ti). Мішені нагріваються до температури іонізації металу. За допомогою газу заряджені іони переносяться від мішеней до пластини. Оскільки температура пластин нижча, іони конденсуються на поверхні пластин, утворюючи покриття. Товщина покриття знаходиться в діапазоні 2-6 мкм, залежно від сфери застосування пластини.

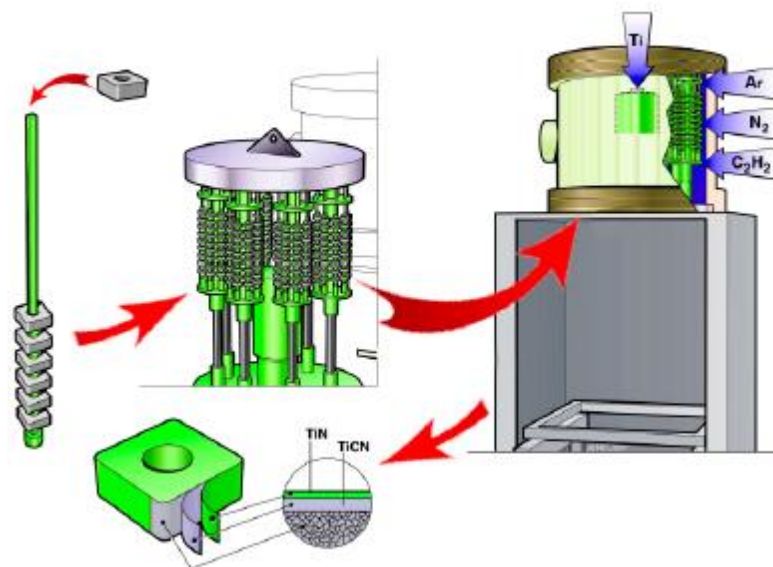


Рисунок 2.4 - Схема нанесення покриттів на різальний інструмент PVD-методом

Для реалізації PVD – методу застосовується обладнання фірм Hauser (Нідерланди), Oerlikon Balzers (Швейцарія), Platit (Швейцарія), Multi Arc Vacuum System (США), а CVD – методу – Richter Precision (США), Rübиг (Німеччина), Ion Bond (Швейцарія) та ін.

Після нанесення покриттів шорсткість поверхонь пластин збільшується [32], тому для зменшення шорсткості та забезпечення округлення ріжучих кромки пластини піддають «сухому» поліруванню, наприклад, на установках

фірми Otec (Німеччина), Multi-Finich (Німеччина) та ін.

Таким чином, застосування різних видів та методів нанесення зносостійких покриттів на твердосплавний інструмент призвело до створення нового класу інструменту з покращеними ріжучими властивостями за рахунок раціонального поєднання властивостей покриття та властивостей основи (твердосплавної матриці). Це дозволило значно збільшити швидкість різання та продуктивність металообробки. З метою подальшого забезпечення стабільності та якості процесу різання на верстатному устаткуванні з ЧПУ необхідно розглянути механізм зносу цього класу інструменту, т.к. він суттєво відрізняється від механізму зносу звичайного твердосплавного непокритого інструменту та запропонувати способи попередньої діагностики його ріжучих властивостей.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.2 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка виконана на базі токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62. Загальний вигляд експериментальної установки з вимірювальними приладами представлено малюнку 2.1.



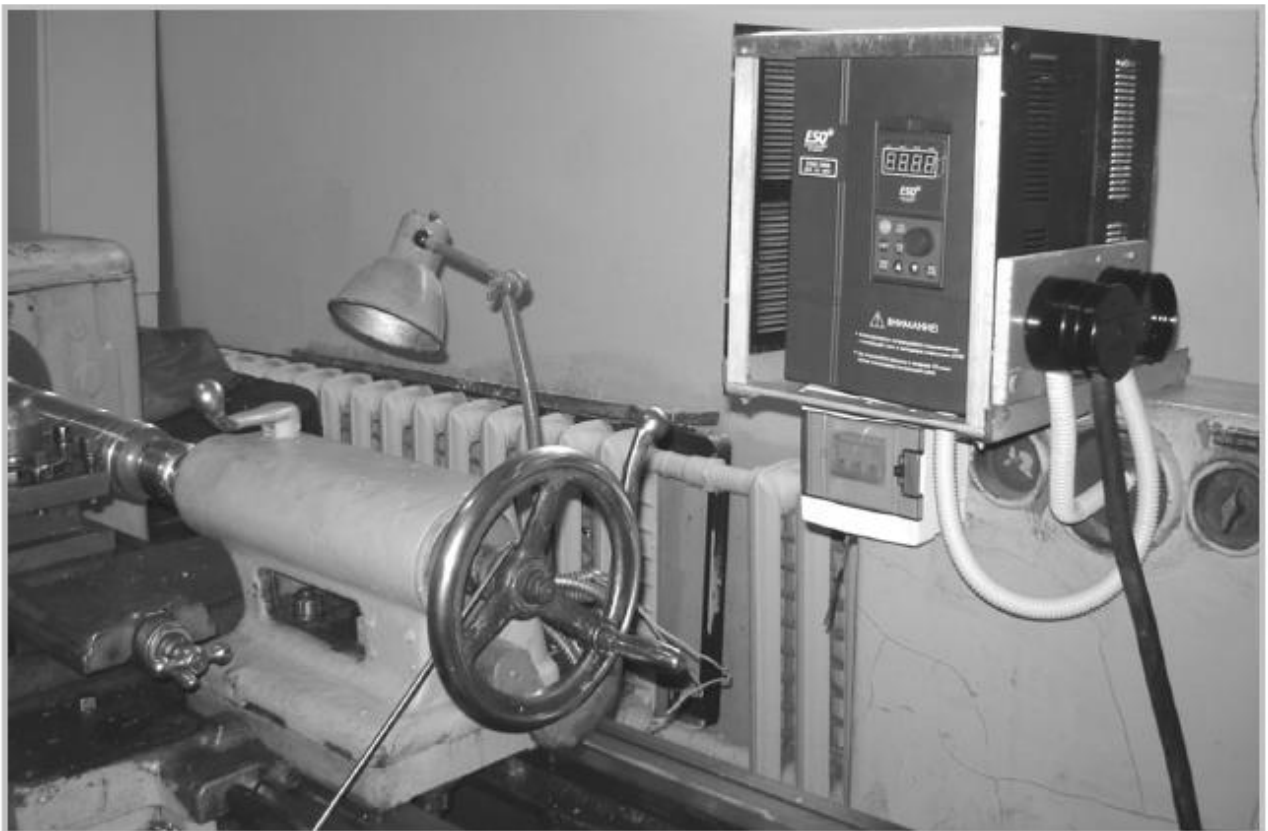
Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальної установки на базі токарно-гвинторізного верстата 1К62

Привід головного руху токарного верстата модернізовано. Спочатку регулювання приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62 здійснювалося східчасто від асинхронного електродвигуна моделі 4А132М4, потужністю 11 кВт, що живиться від силового ланцюга по лінії трифазної напруги. З метою здійснення безступінчастого, плавного регулювання обертів шпинделя встановлено векторний перетворювач частоти моделі ESQ-1000-4Т0110G/0150Р потужністю 11,0 кВт на токарний верстат.

Векторні перетворювачі частоти мають широкий спектр функціональних можливостей таких як: покрокове управління по встановленим завданням, програмування ПІ-регулятора, виконання логічних операцій вбудованим

програмованим логічним контролером (ПЛК), автоматичний пошук частоти обертання валу, компенсація навантаження та ковзання електродвигуна, програмування характеристики , коригування несучої частоти широтно-імпульсною модуляцією тощо.

Перетворювачі частоти мають досить жорстку характеристику, і практично виключають просідання швидкості обертання валу електродвигуна під навантаженням, забезпечуючи безперервну індикацію частоти обертання шпинделя верстата.



Малюнок 3.2 – Монтаже виконання векторного перетворювача частоти моделі ESQ-1000-4T0110G/0150P на токарно-гвинторізному верстаті 1К62

В рамках експерименту перевірка частоти обертання шпинделя проводилася зразковим тахометром годинникового типу ТЧ10-Р за ГОСТ 21339 - 75.

На малюнку 2.2 представлено монтаже виконання векторного перетворювача частоти моделі ESQ-1000-4T0110G/0150P на токарно-

гвинторізному верстаті 1К62, привід головного руху якого може функціонувати як безпосередньо від силового ланцюга по лінії трифазної напруги, так і від векторного перетворювача частоти електричних елементів силових ланцюгів електроприводу верстата.

1.3 Методика вимірювання сигналу термоЕРС

У ході виконання експериментальних досліджень як діагностичного параметра, що визначає фізико-механічні властивості контактної пари, був обраний сигнал термоЕРС [1], що генерується природною термодпарою «інструментальний матеріал – оброблена заготівля» в режимі пробного проходу інструменту оброблюваної заготівлі ($V = 100$ м/ хв; $S = 0,1$ мм/об; [65]).

Загальний вигляд і конструктивне виконання струмознімач показано на малюнку 2.3. У разі необхідності контакт струмознімач може відводитися від торцевої порожнини шпинделя на токарному верстаті поворотом рукоятки.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд та конструктивне виконання струмознімач

Однак даний спосіб знімання сигналу термоЕРС має суттєвий недолік - втрата точності вимірюваного сигналу через конструктивне виконання струмознімач. У зв'язку з цим автором розроблено новий метод вимірювання сигналу термоЕРС.

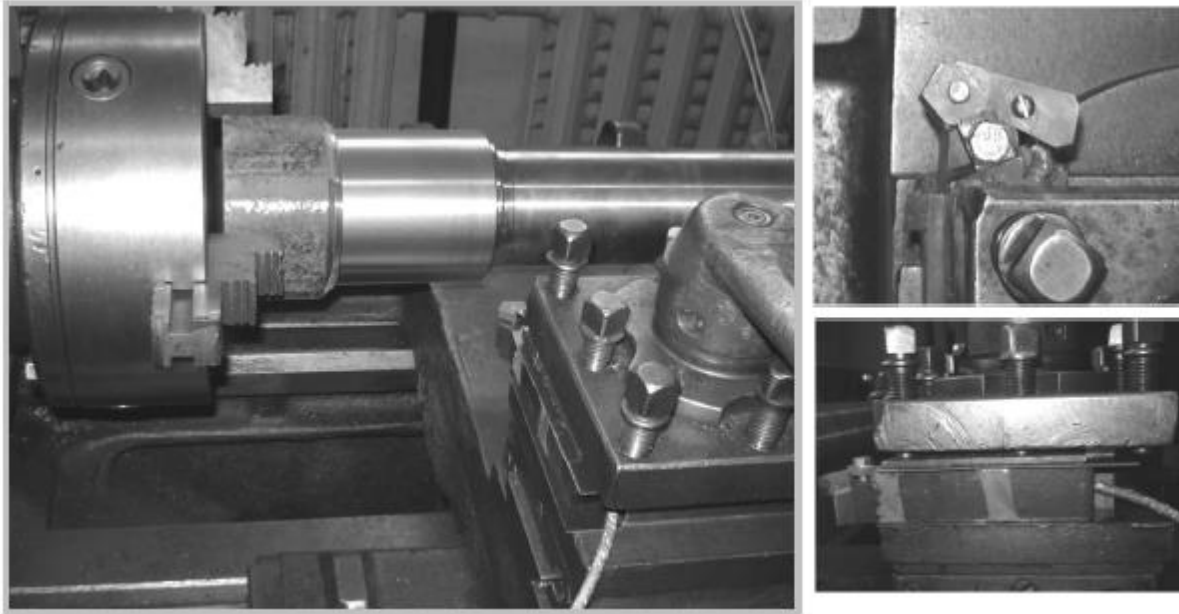


Рисунок 3.4 – Закріплення інструментальної оправки під час гостріння

Схема закріплення інструментальної оправки під змінні пластини під час роботи на токарно-гвинторізному верстаті наведено малюнку 2.4.

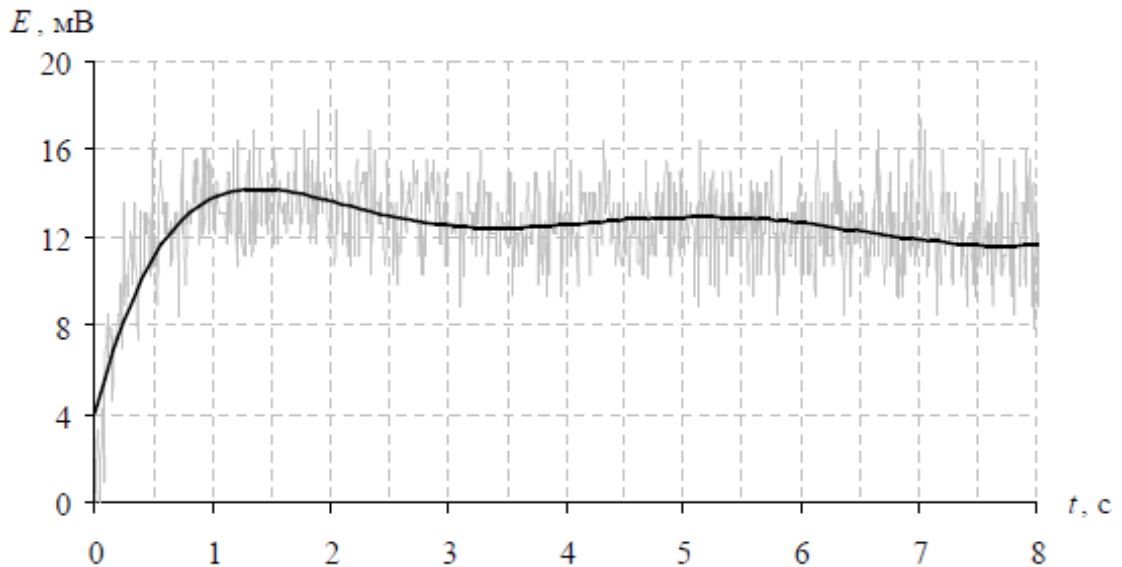
Як прилад для реєстрації сигналу термоЕРС використовувався цифровий осцилограф Velleman моделі PCS500 (рисунок 2.5) з частотою дискретизації вимірюваного сигналу 0,001. 50 МГц, сумісний із персональним комп'ютером через LPT порт.

Для зниження наведень при вимірюванні та фіксуванні сигналу термоЕРС в електричних ланцюгах використовувався екранований кабель SAT-700 з площею квадратного перерізу мідної жили 1,5 мм², а всі електричні установки та прилади реєстрації сигналу були заземлені.



Рисунок 3.5 – Цифровий осцилограф Velleman моделі PCS500

На малюнку 3.6 як приклад представлена осцилограма сигналу термоЕРС контактної пари, при токарній обробці сталі 45 твердим сплавом ВК8.



Малюнок 3.6 – Осцилограма сигналу термоЕРС контактної пари

Складні контактно-деформаційні процеси, що супроводжуються попереднім зміцненням і подальшим розуміцненням шару металу, що зрізається, а також наявність вібрацій в системі СНІД, обумовлюють наявність змінної складової сигналу термоЕРС, що знижує достовірність вимірюваного сигналу.

У роботі [100], відзначається ефективність застосування RC-фільтра ($R = 100 \text{ Ом}$, $C = 1 \text{ мкФ}$), що дозволяє значно знизити змінну складову сигналу термоЕРС та підвищити його інформативну здатність.



Малюнок 3.7 - Токарно-револьверний верстат GENOS OKUMA - L300M

Перевірочні випробування проводилися на токарно-револьверному верстаті моделі GENOS OKUMA - L300M (рисунок 2.7).

При виконанні стійких випробувань величина фаски зносу змінних багатогранних твердосплавних пластин вимірювалася за допомогою Інструментального мікроскопа БМІ-1 (рисунок 2.8)



Малюнок 3.8 – Інструментальний мікроскоп БМІ-1

Період часу, протягом якого зношування різальних кромek по задній грані не перевищує величини h_z , називається періодом стійкості T .

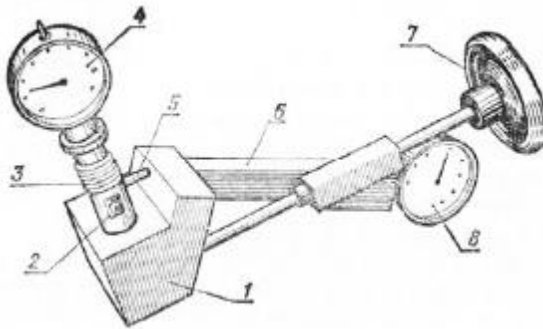
Згідно з довідково-нормативною літературою, наприклад [35], при експлуатації допустиме зношування твердосплавної пластини по задній грані при обробці сталевих заготовок не повинно перевищувати $h_z = 0,5$ мм при чистовій обробці і $h_z = 1,0$ мм при напівчистовій обробці.

Це критерій працездатного стану інструмента. Якщо фаска зносу по задній грані перевищує значення h_z інструмент вважається непрацездатним, а така ситуація називається параметричною відмовою технологічної системи.

Жорсткість токарно-гвинторізного верстата 1К62 визначалася при

черговому навантаженні силою P наступних вузлів: шпindel - різцетримач, піноль задньої бабки - різцетримач.

Для перевірки жорсткості використовувався прилад конструкції науково-дослідного експериментального інституту металорізальних верстатів "ЕНІМС", схема якого зображена на малюнку 2.9.



Малюнок 3.9 – Прилад для вимірювання жорсткості верстата

1 – навантажувальний пристрій; 2 – кнопка;

При обертанні маховичка через черв'ячне колесо висувається гвинт, що навантажує динамометр. Зусилля динамометра передається на оправку через кнопку. Індикатор, корпус якого укріплений на кронштейні, своїм штифтом через стрижень упирається в циліндричний поясок і реєструє зміну відносного розташування різцетримача та оправлення шпинделя. Навантаження на оправку подається під кутом 60° до горизонту, чим імітуються реальні умови навантаження при обробці деталей та визначаються зміни взаємного розташування вузлів верстата.

Величина навантаження, взаємне розташування вузлів верстата та деталей пристосування та допускаються величини пружних відтискань системи, що включає оправлення шпиндельного вузла, станину та вузол супорта, чітко визначені ГОСТ 18097-93 «Верстати токарно-гвинторізні та токарні. Норми точності».

Методика побудована на основі використання регресійного аналізу для виявлення регресійної моделі, результати якої максимально повинні бути

наближені до отриманих експериментальних даних.

Експериментальні дослідження проводилися при різанні у суху.

Як оброблюваний матеріал при проведенні експериментальних досліджень застосовувалися вуглецеві та низьколеговані сталі різних марок, що займають лідируючі позиції на заготівельному виробництві для виготовлення деталей машин.

У дослідженнях використовувалися заготівлі із круглого прокату. Розмірний діапазон заготовок був у межах: діаметр $D = 100 \dots 120$ мм, довжина $L = 500 \dots 600$ мм.

Як основний інструментальний матеріал при проведенні експериментальних досліджень для розробки нового методу вимірювання сигналу термоЕРС застосовувалися твердосплавні інструменти титано-тантало-вольфрамо-кобальтової (ТТ7К12), титано-вольфрамо-кобальтової (Т5К10, Т15К8), 1) та безвольфрамової (ТН20) груп ГОСТ 26530 - 85. Геометричні параметри, класифікація та система позначень змінних непереточуваних багатограних твердосплавних пластин регламентовані міждержавним стандартом ГОСТ 19042 - 80 (ISO 1832-85). Експериментальні дослідження проводилися із застосуванням трьох, чотирьох і п'ятигранних змінних твердосплавних пластин, що не переточуються, як вітчизняних, так і зарубіжних (Mitsubishi, Sandvik coromant) фірм виробників з покриттям (нітрид титану TiN, карбонітрид титану TiCN) і без покриття.

Для оцінки ріжучих властивостей інструментального матеріалу та забезпечення гнучкості вибору параметра термоЕРС Е як керований фактор, всі твердосплавні пластини (торрувались) піддавалися попередньому пробному проходу при обробці сталі 40Х. Змінні багатогранні пластини встановлювалися в інструментальній оправі за допомогою механічного кріплення.

4. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЗВ'ЯЗКУ ВЕЛИЧИНИ ТЕРМО-ЕС ПРИРОДНОЇ ТЕРМОПАРИ З РІЖУЧИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ З ЗНОСОСТІЙКИМИ ПО-КРИТТЯМИ

4.1 Аналіз існуючих способів оцінки властивостей твердосплавного інструменту (контактної пари) з використанням термоЕРС та застосування їх до інструменту з покриттям

У технічній літературі описано досить багато способів отримання неруйнівними методами інформації про властивості інструментального матеріалу або властивості сталевих заготовок, що обробляються [97]. Як правило, ці способи орієнтовані отримання інформації окремо про ріжучому інструменті або окремо про властивості сталевих заготовок, що є першим кроком до вирішення завдання забезпечення надійності вибору параметрів процесу різання. Однак такий попередній роздільний контроль не забезпечує високий рівень надійності визначення параметрів процесу різання у виробничих умовах, так як контактні пари в реальних умовах роботи верстата збираються випадковим чином з допустимого діапазону розкиду їх властивостей. Переважно використовувати попередню або поточну інформацію про властивості кожної, випадково зібраної контактної пари, і на цій основі розраховувати (коригувати) режими обробки.

4.2 Пробний прохід як метод тестування властивостей змінних контактних пар

У роботі [64] на основі проведеного аналізу технічної літератури, довідково-нормативних джерел та проведених експериментальних досліджень встановлено, що причиною значного розбіжності розрахункових та фактичних значень величин швидкості різання, складових сили різання та величини параметра шорсткості при проектуванні технологічного процесу токарної обробки конструкційних та корозійностійких сталей є одне загальна обставина. Це імовірнісний характер утворення контактних пар «твердосплавний

інструмент - сталеві заготовки» і відсутність у розрахункових математичних моделях оперативного обліку їх теплофізичних властивостей з орієнтацією розрахункових моделей на середні значення цих властивостей діапазону розкиду.

Наприклад, у формулах визначення швидкості різання твердосплавним інструментом дається поправка на марку інструментального матеріалу, але прийнято умова, що властивості його всередині марочного складу однакові, що підтверджується сталістю значення поправочного коефіцієнта. В наявності протиріччя між технічними умовами на спікання твердосплавних пластин, які допускають дворазовий розкид їх ріжучих властивостей та методикою розрахунку. У формулах розрахунку складових сили різання відсутня поправка на марку інструментального матеріалу, а при розрахунках поправочного коефіцієнта на марку оброблюваних сталей КМ існуючі методики використовують властивості міцності оброблюваних сталей свр (тимчасовий опір на розрив). Величину свр отримують або при вибіркових механічних випробуваннях сталевих заготовок з парії поставки, або приймають певне значення кожної марки з довідників. Однак зміцнений стан сталі, який вона отримує в процесі різання і визначає величину опору пластичному деформуванню, а, значить, і величину складових сили різання, не має однозначного зв'язку з характеристиками, отриманими в результаті механічних випробувань при кімнатній температурі.

Названі вище причини розбіжності розрахункових та дійсних параметрів процесу різання можна усунути отриманням попередньої оперативної інформації із зони різання. Для цього пропонується дані про теплофізичні властивості контактованих пар і умови різання отримувати попередньо при здійсненні пробного проходу на строго певних режимах обробки, вимірюючи при цьому величину природної термопари, що генерується термоЕРС, яка в силу фізичної природи виникнення термоелектричних явищ при різанні, побічно характеризує

].

Методологічною основою запропонованого способу отримання попередньої інформації про теплофізичні властивості контактних пар безпосередньо на верстаті під час налаштування його для роботи за програмою, став метод визначення твердості сталі за Брінеллем, запропонований ним у 1900 році. Брінелль запропонував у поверхню зразків випробуваних сталей вдавлювати кульку однакового діаметра, з однаковим навантаженням і діаметром відбитка, який залежить від властивостей сталей, оцінювати твердість. У цьому методі твердість сталей (сплавів) є усередненою, оскільки стали містять різні за твердістю фази (ферит, цементит, перліт, аустеніт тощо), але вона оперативно відображає її властивості. Значення твердості сталей по Брінеллю НВ (ГОСТ 9012-59) використовується в математичних моделях розрахунку параметрів процесу різання щодо поправки на властивості оброблюваних сталей. Твердість більшості вуглецевих і низьколегованих сталей пов'язана з їхньою теплопровідністю зворотною залежністю: чим вище твердість, тим нижча теплопровідність, чим з позицій реальної схеми різання [92] пояснюється «парадокс», коли сили різання при обробці сталей з меншою твердістю мають більше значення, із високою твердістю. Величина термоЕРС пробного проходу має однозначний зв'язок із теплопровідністю сталей.

Але, для забезпечення точності розрахунку необхідно мати інформацію про властивості контактної пари. різання пробного проходу. Умови режиму пробного проходу повинні мати однозначний зв'язок умовами зміцнення сталей у застосовуваних діапазонах робочих режимів для напівчистового та чистового точення та забезпечити можливість точного вимірювання термоЕРС.

Існує рівень швидкостей деформації, після якого деформаційне зміцнення припиняється, і настає температурне зміцнення. За Р. Ф. Рехту [75] це "критичні швидкості деформації", які він запропонував визначати виразом:

$$\dot{\varepsilon}_{кр} = 4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \rho \cdot C_T \cdot (\varepsilon - \varepsilon_y) \cdot \frac{\partial \tau / \partial \varepsilon}{\partial \tau / \partial \theta} \cdot \frac{K_n^2}{\tau_y^2 \cdot L^2},$$

де λ - Теплопровідність сталі; ρ – щільність; C_T – питома теплоємність; ε_y та ε – відповідно початкова та кінцева деформація зсуву; K_n - механічний еквівалент теплоти; L – розмір області деформації; τ_y – початкова межа плинності на зсув.

Розрахунок середньої швидкості деформації у зоні стружкообформування проводився за рівнянням:

$$\dot{\varepsilon}_c = \frac{V_{рез} \cdot [\cos \beta + (\sin \beta - \gamma) \cdot \operatorname{tg} \beta]}{C_2}.$$

Рівняння виведено аналітичним шляхом виходячи з кінематичних закономірностей процесу стружкоутворення [75].

$$\dot{\varepsilon}_k = \frac{V_{рез} \cdot \operatorname{tg} \beta}{h_k},$$

де $V_{рез}$ – швидкість різання, м/с; h_k – висота зони контактних пластичних деформацій на кінці ділянки зміцнення, що дорівнює 0,1 товщини стружки a_s .

Розрахунок величини опору пластичному деформуванню в зоні стружкоутворення та в зоні контактних пластичних деформацій проводився за значенням мікротвердості, вимірної на коренях стружки [92].

Результати розрахунку швидкості деформації (таблиця 3.1(а), (б)) показують, що для досліджуваних умов різання нижня межа критичної швидкості деформації для пари сталь 20 – Т15К6 починається зі швидкостей різання 60 м/хв (таблиця 3.1(а)). При швидкості різання 90 м/хв швидкості деформації досягають 104 1/с. (Таблиця 3.1 (а)). Звідси випливає висновок, що рівень швидкості різання

пробного проходу як попереднього тесту на зміцнюваність сталей повинен гарантувати забезпечувати критичні швидкості деформації.

У таблиці 3.1(б) представлені результати вимірювання та розрахунку контактних характеристик пари сталь 20 – ВК8. Ця пара складена з матеріалів, що мають найбільший коефіцієнт теплопровідності (сталь 20 – $\lambda=52$ Вт/м \times °С; ВК8 – $\lambda= 52$ Вт/м \times °С).

Таблиця-4.1 Контактні характеристики пари сталь 20 – Т15К6 (а) та пари сталь 20 – ВК8 (б)

Швидкість різання V , м/хв (м/с)	Ділянка S_2 , мм	Усадка стружки ξ	Товщина стружки a_c , мм	Кут сдвигу β , град.	ТермоЕДС пробного проходу E , мВ	Швидкість деформації $\dot{\epsilon}_c$, 1/с в зоні стружкоутворення	Швидкість деформації $\dot{\epsilon}_k$, 1/с в зоні контактних пластичних деформацій
а) сталь 20 – Т15К6 ($S=0,3$ мм/об; $t=2$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\gamma=0^\circ$; $\lambda=0^\circ$)							
60 (1)	0,27	3,84	0,9	15	6,0	$5,17 \cdot 10^3$	$2,96 \cdot 10^3$
90 (1,5)	0,14	3,56	0,75	15,7	8,6	$1,11 \cdot 10^3$	$5,62 \cdot 10^3$
110 (1,83)	0,12	3,15	0,69	17,6	9,2	$1,59 \cdot 10^3$	$8,4 \cdot 10^3$
130 (2,1)	0,12	3,10	0,67	17,8	10,3	$1,82 \cdot 10^3$	$1,06 \cdot 10^4$
150 (2,5)	0,12	2,94	0,65	18,7	10,5	$2,25 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^4$
б) сталь 20 – ВК8 ($S=0,3$ мм/об; $t=2$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\gamma=0^\circ$; $\lambda=0^\circ$)							
60 (1)	нет	3,94	–	–	4,2	–	–
75 (1,25)	нет	3,86	0,27	14,5	6,2	–	–
90 (1,5)	0,13	3,72	0,26	15,0	8,8	$7,95 \cdot 10^3$	$1,54 \cdot 10^4$
105 (1,75)	0,12	3,51	0,26	15,9	10,6	$8,6 \cdot 10^3$	$1,91 \cdot 10^4$
120 (2,0)	0,12	3,33	0,25	16,7	11,6	$8,7 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^4$
135 (2,25)	0,09	3,27	0,25	17,0	12,0	$1,16 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$
150 (2,5)	0,07	3,18	0,24	17,4	12,6	$1,49 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$

Якщо при цих теплофізичних характеристиках пари швидкісний діапазон 60-130 м/хв (1-2,1 м/с) забезпечить наявність критичних швидкостей деформації, то він забезпечить їх і для інших контактних пар, складених із широко застосовуваних у машинобудуванні марок сталей та твердих сплавів. Цей висновок ґрунтується на тому, що оброблювані сталі, що мають високу теплопровідність, мають збільшену ділянку зміцнення S_2 і збільшену висоту

(обсяг) зони контактних пластичних деформацій h_k , що експериментально підтверджено у роботі [92].

За результатами експериментальних вимірів контактних характеристик пари сталь 20 - ВК8 і розрахунковим значенням швидкостей деформації можна зробити висновок, що критичні швидкості деформації сталі 20 при обробці сплавом ВК8 в умовах пробного проходу ($S=0,1$ мм/об, $t=1$ мм) забезпечуються з швидкості 90 м/хв. При швидкостях вище 90 м/хв гарантовано настання критичних швидкостей деформації.

Слід зазначити, що кількісні значення величини опору пластичного деформування, швидкості деформації, ступеня деформації залежать як від теплофізичних властивостей сталей, що обробляються, так і від режимів обробки: подачі і швидкості. При однакових режимах обробки пробного проходу різних сталей рівень характеристик, що визначають їхній зміцнений стан у процесі різання, різний, але характер їхньої зміни однаковий.

Умови пробного проходу є своєрідним тестуванням для контактної пари оброблювана деталь – твердий сплав. Результати цього тестування представляють більш повну і точну інформацію в порівнянні з даними довідкових джерел про властивості сталі і твердого сплаву. На основі наведених розрахункових та експериментальних даних про вплив швидкості різання на характеристики зміцнюваності сталей для умов пробного проходу пропонується швидкість різання рівна 100 м/хв. Глибина приймається рівною одному міліметру з міркувань мінімального припуску під чистову обробку. Подача приймається рівною 0,1 мм/об. Час різання під час пробного проходу 4–5 секунд.

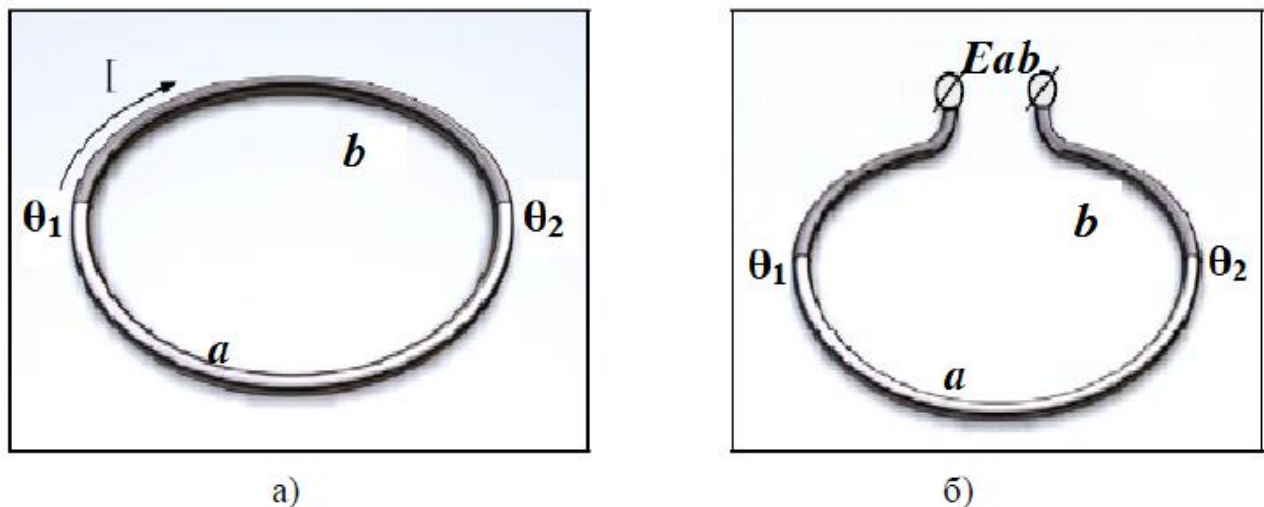
При обробці сталей твердосплавним інструментом у прийнятих режимах пробного проходу по передній поверхні інструменту (різця) у межах пластичного контакту встановлюється стійкий адгезійний зв'язок, що забезпечує надійний вимір величини термоЕРС природної термопари. На більш низьких швидкостях різання, наприклад, різання з наростоутворенням, сигнал термоЕРС нестійкий, із

значними коливаннями амплітуди.

На підставі результатів дослідження інформативної особливості сигналу термоЕРС природної термопари, запропоновано її величину, виміряну в обґрунтованому режимі попереднього пробного проходу при $V=100$ м/хв, $S=0,1$ мм/об, $t=1$ мм використовувати як додаткову інформацію про контактовані властивості. пар у математичних залежностях для більш точного (автоматизованого) визначення параметрів процесу різання самою системою ЧПУ.

4.3 Фізичні основи виникнення термоелектричного ефекту

Термоелектричний ефект, був відкритий 1821 німецьким вченим Т.Й. Зеєбеком. Він виявив, що в замкнутому ланцюгу, утвореному спаями двох різнорідних металів, що мають різну температуру ($\theta_1 > \theta_2$), протікає електричний струм (рисунок 4.1а). При цьому зміна напрямку струму виникає за рахунок зміни знака різниці температур спаїв ($\theta_1 \theta_2$).



Малюнок 4.1 – Ідеальна термопара

При розриві одного з провідників на кінцях ланцюга виникає різниця потенціалів, що називається термоелектрорушійною силою (термоЕРС) пари ab і позначається E_{ab} (рисунок 3.16) [98]. Величину термоЕРС можна представити у такому вигляді:

$$E_{ab} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} S_a d\theta - \int_{\theta_1}^{\theta_2} S_b d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_2} S_{ab} d\theta$$

де S_a і S_b - коефіцієнти термоЕРС матеріалів а і b відповідно, рівні різниці потенціалів, що виникають на кінцях провідників а і b при їх розміщенні в температурному полі з градієнтом температури, що дорівнює одиниці (при різниці температур на кінцях провідника в один градус). Коефіцієнт термоЕРС є характеристикою конкретного матеріалу поряд з питомим опором чи коефіцієнтом теплопровідності і залежить від температури, складу та стану матеріалу [98].

Коефіцієнт термоЕРС пари провідників ab S_{ab} являє собою різницю коефіцієнтів термоЕРС матеріалу а і b:

$$S_{ab} = S_a - S_b$$

Величину S_{ab} , що характеризує швидкість зміни E_{ab} залежно від температури, називають також диференціальною термоЕРС, коефіцієнтом Зеєбека або чутливістю термопари. Більшість пар металів S_{ab} має порядок 10-5–10-4В/К.

Пристрій, що використовує ефект Зеєбека, прийнято називати термопарою. Конструктивно термопара є двома провідниками з різнорідних металевих матеріалів, з'єднаних між собою на одному (робочому) кінці, інші два (вільні) кінця підключаються до вимірювального приладу, причому температура вільних кінців підтримується постійною і повинна бути відома.

Дуже часто у практичній термометрії та технічній літературі можна зустріти думку про те, що термоЕРС виникає в області спаю двох провідників. Однак виникнення термоЕРС обумовлено деякими фізичними процесами в однорідному провіднику за умови градієнта температури. Іншими словами, поява термоЕРС можна пояснити на основі теорії електронного газу П.Друде (1900р), суть якої – розподіл електронів за швидкостями всередині провідника за допомогою статистики Максвела-Больцмана. Метал розглядається як решітка

атомів, на зовнішніх орбіталях яких знаходяться валентні електрони, слабо пов'язані електромагнітними силами з ядром атома. Валентні електрони вважатимуться вільними частками, т.к. вони можуть переходити від одного атома до іншого. Система вільних електронів підпорядковується певним статистичним закономірностям і у рівновазі за відсутності зовнішніх впливів. Середня швидкість електронів рівноважної системи дорівнює нулю, хоча кожен з електронів має кінцеву енергію і швидкість, пропорційну локальній температурі металу. За зміни температури вздовж провідника система електронів відхиляється від рівноважного стану. Електрони в області гарячого кінця провідника набувають більш високих кінетичних енергій і швидкості, а їх середня швидкість стає відмінною від нуля і спрямована в бік області з більш низькою температурою. Оскільки електрони є носіями заряду, наявність такої швидкості призведе до електричного струму. Але електричний ланцюг розімкнено, і тому електричний струм існує лише до тих пір, поки в більш холодній області не накопичиться заряд (тобто на кінцях провідника будуть різні кількості електронів), достатній для створення уповільнюючого електричного поля. Це поле протидіє подальшому накопиченню заряду і точно компенсує вплив градієнта температури на середню швидкість електронів. Коли досягається новий рівноважний стан, електричний струм припиняється, середня швидкість електронів знову дорівнює нулю. Таким чином, за наявності градієнта температури у довгому та тонкому провіднику виникає електричне поле, спрямоване назустріч градієнту температури. а у замкнутому ланцюгу, складеному з двох різнорідних провідників, тектиме електричний струм. Відмінність серед електронів на кінцях провідника і струм замкнутого ланцюга існують до тих пір, поки є градієнт температури. Відповідно, градієнт потенціалу електричного поля, що і є термоелектрорушійною силою, не може виникнути без температурного градієнта.

5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ТЕРМОЕДС ПРОБНОГО ПРОХОДУ ПРИ ОЦІНЦІ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ ПАР

5.1 Причини втрати точності вимірювання сигналу термоЕРС

Використання інформативної здатності сигналу термоЕРС різання для забезпечення надійності автоматизованого визначення режимів лезової обробки представлено у багатьох наукових працях. У зв'язку з цим висуваються високі вимоги до точності вимірювання цього, завжди супутнього різання сигналу термоЕРС природної термопари.

Перше, що треба мати на увазі, термоЕРС - це слаботочний аналоговий сигнал постійного струму, що вимірюється в сотих частках вольт. Діапазон генерування лежить в інтервалі 5 - 30 мВ. екрановані.

Друге, термоЕРС є генераторним датчиком з малим внутрішнім опором (в межах 1-2 Ома), тому вхідний опір вимірювального приладу має бути як мінімум на два порядки вище.

Третє, необхідно враховувати виникнення у вимірювальному ланцюгу через 4-5 секунд після початку різання, зустрічної «паразитної» термоЕРС, що виникає в стику між ріжучою пластиною, що не переточується, і сталевим корпусом різцедержавки і її здатність зменшувати результат вимірювання. Цей вплив рекомендується усувати апаратним шляхом, використовуючи схеми типових пікдетекторів, що фіксують максимальне значення основного сигналу термоЕРС і відсікають сигнал паразитної ЕРС.

Четверте, необхідність електроізоляції інструменту або сталевій заготовки у процесі вимірювання сигналу термоЕРС контактної пари на пробному проході. Проблема ізоляції інструменту при обробці на токарному верстаті під час проведення експериментів у лабораторних умовах вирішувалася з допомогою застосування ізолюючих матеріалів (текстолітові прокладки). У виробничих умовах, з метою збереження жорсткості різцедержавки, доцільно нанесення на її

корпус тонких оксидних покриттів.

П'яте, необхідно вирішити питання з конструкцією сухого ковзного то-
зйомника і усунути залежність перехідного опору від зусилля підтискання
контактів або застосувати схему вимірювання сигналу термоЕРС без
використання ковзного струмозйомника.

Оцінюючи першорядну важливість вирішення п'ятого пункту завдань на
шляху забезпечення точності вимірювання та впровадження альтернативних
методик визначення параметрів процесу різання [64], було поставлено завдання
розробити та дослідити, стосовно конструкції токарних верстатів, схему
вимірювання термоЕРС із зони різання без використання струмознімання, що
сприяло б застосування нових методик розрахунку у заводській практиці
металообробки. Розглянемо відомі способи вимірювання сигналу термоЕРС
різання.

5.2 Розробка методу вимірювання сигналу термоЕРС без використання струмознімача ковзного типу

Технічним результатом, який може бути отриманий при здійсненні
запропонованого технічного рішення є підвищення точності вимірювання
корисного сигналу термоЕРС природної термопари, що розширює технологічну
можливість застосування інформативної здатності сигналу тер-моЕДС
контактної пари «інструмент - деталь».

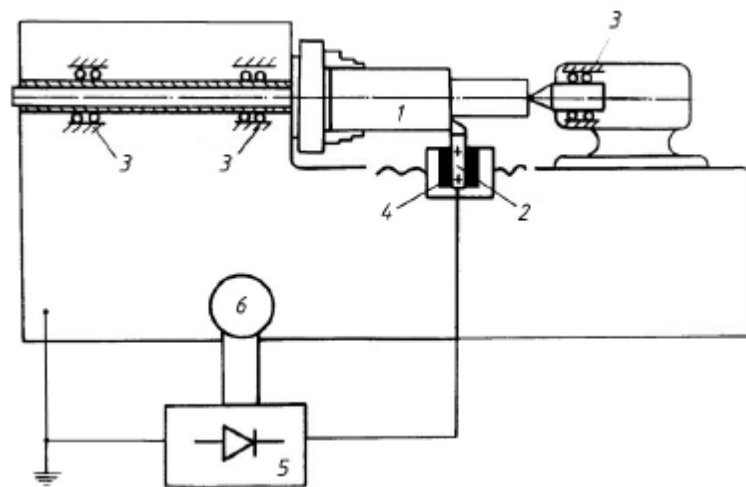
Зазначений технічний результат досягається тим, що для підвищення
точності реєстрації корисного сигналу термоЕРС, що виникає в процесі різання,
вимір цього сигналу проводиться щодо ізолюваного струмопровідними
прокладками ріжучого інструменту і заземленим корпусом верстата, при цьому
деталь щодо корпусу верстата додатково не ізолюється, а струмознімач схемою
виміру не застосовується.

Використання в запропонованому способі вимірювання величини
термоЕРС природної термопари «інструмент - деталь» повної електричної

ізоляції інструменту токонепроводящими прокладками олійних плівок верстата [53] при збереженні закладеної в конструкцію верстата жорсткості системи СНІД та рівня вібростійкості.

При цьому рухомий струмознімач [53] не використовується, а пік-детектор (амплітудний випрямляч) підключається безпосередньо до заземленого корпусу верстата, що знижує похибку вимірювання сигналу термоЕРС за рахунок усунення електричних втрат у місцях сполучення контактів струмознімач та вимірювального фланця шпинделя станка.

Сутність технічного рішення пояснюється схемою вимірювання термоЕРС природної термопари на верстаті токарному (рисунок 4.1). Оброблювана деталь 1 закріплена в кулачковому патроні верстата. Обробка ведеться консольно або з підтисканням заднім центом 3. Різець 2 закріплений в різцетримачі і додатково електрично ізолюється струмопровідними прокладками 4. Різання металу виробляють в діапазоні швидкостей вище зони наростоутворення і вимірюють величину термоЕРС природної термопари «інструмент - деталь» 6 через схему пік-детектора (амплітудного випрямляча) 5, підключеного з одного боку корпусу різця 2, а з іншого боку до заземленого корпусу верстата.



Малюнок 5.1 – Схема вимірювання сигналу термоЕРС

Вимір здійснюється таким чином. Попередньо на обраній швидкості, що

відповідає діапазону вище зони наростуутворення, проводять обробку металевої деталі, закріпленої безпосередньо на верстаті, інструментом, закріпленим з токонепровідними прокладками, використовуючи як фільтр для відділення перешкод від паразитних термоЕРС пік-детектор (амплітудний випрямляч) - бором та джерелом термоЕРС природної термопари.

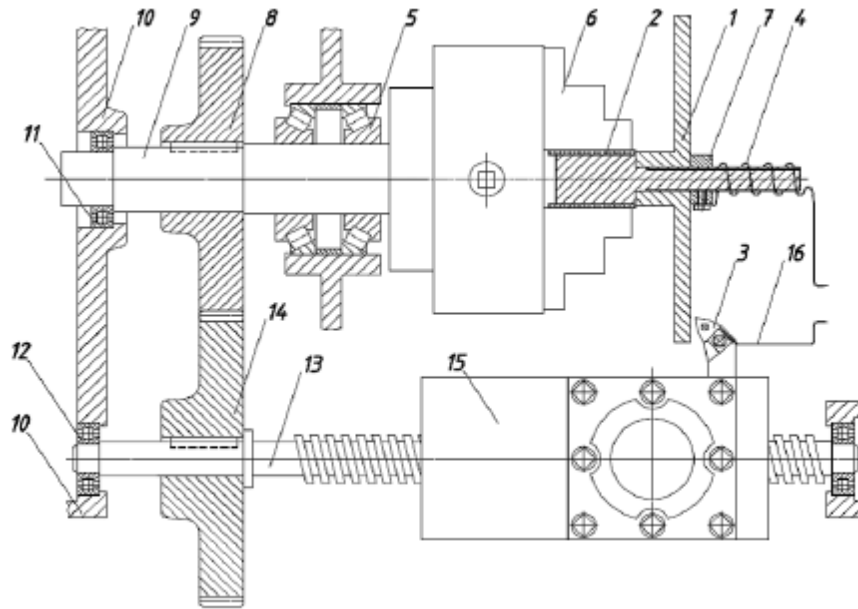


Рисунок 5.2 – Схема вимірювання та фіксації сигналу термоЕРС, що використовується для відносного порівняння показань

Реєстрацію корисного сигналу термоЕРС природної термопари ведуть з початкового моменту різання до появи постійного стійкого значення на реєструвальному приладі протягом 4-5 секунд. Тривалість зберігання зареєстрованого рівня корисного сигналу термоЕРС визначається ємністю конденсатора, що включений на виході пік-детектора.

Результати експериментальної перевірки запропонованого способу вимірювання величини термоЕРС природної термопари «інструмент-деталь» при обробці металу на токарному верстаті 1К62 твердосплавним інструментом, в діапазоні швидкостей різання вище зони наростуутворення, з використанням електричної ізоляції інструменту, і порівняльна характеристика запропонованого способу у таблиці 5.1.

Вимірювання та фіксація сигналу термоЕРС, що використовується для порівняння порівнянь показань, проводилося за схемою, представленою на малюнку 5.2.

Оброблювана деталь (диск) 1 фіксується гайкою 7 на спеціальній оправці, ізолюваної від кулачків патрона 6 токонепровідними прокладками 2. Діаметр оброблюваної деталі 1 становить близько 300 мм, що дозволять використовувати мінімальні оберти шпинделя 9 і безпосередньо знімати сигнал з екрану. також ізолюється від корпусу різцетримача 15 за допомогою струмопровідних прокладок. Сигнал з оброблюваної деталі через 1 гайку 7 і екранований кабель 4 передається на один з входів цифрового мілівольтметра. На другий вхід цифрового мілівольт-метра сигнал надходить від ріжучого інструменту 3 через екранований кабель 16. Замкнена електрична ланцюг природної термопари повністю ізолювана від корпусу верстата за рахунок використання струмопровідних прокладок з боку ріжучого інструменту 3 і оброблюваної деталі 1. Сигнал термоЕРС 4 (див.) з оброблюваної деталі 1 у цьому випадку передається через підшипникові вузли 5, 11, 12 шпиндельної групи верстата, зубчасту передачу коробки швидкостей 8, 14, гітару змінних шестерень, ходовий вал (або ходовий гвинт) 13 і задній центр верстата (у разі обробки з підпором заднім центром) на корпус 10 за рахунок формування електропровідних масляних плівок у плямах контактів сполучних вузлів верстата при передачі механічної енергії [41]. Процес виникнення корисного сигналу термоЕРС фіксувався за допомогою цифрового мілівольтметра. Оброблюваний метал - сталь 40Х, інструмент - змінні багатогранні пластини твердого сплаву різної марки, що не переточуються, типу покриття і геометрії (див. таблицю 4.1).

Оцінка похибки вимірювання сигналу термоЕРС проводилася за середнім значенням відносної похибки дпор. Порівняння показників середнього значення відносної похибки вимірювання сигналу термоЕРС за прототипом.

На малюнку 4.3 і в таблиці 4.1 вимірянні значення величини термоЕРС

подаються в наступному вигляді: наприклад, $E_{ab}=12,1$ означає, що сигнал амплітудою 12,1 вимірювався між точкою а (вихід струмознімач) і точкою б (ріжучою частиною різця).

Таким чином фіксується еталонне значення сигналу термоЕРС, що використовується надалі для порівняння пропонованого способу і прототипу (див. таблицю 4.1).

Запропонований пристрій забезпечує точне вимірювання корисного сигналу термоЕРС природної термопари і може застосовуватися в режимі автоматичного вимірювання термоЕРС, наприклад, програмним шляхом на верстатах з ЧПУ, де час вимірювання, запам'ятовування та скидання сигналу можна задавати від таймера. Використання запропонованого способу дозволяє підвищити точність вимірювання корисного сигналу термоЕРС природної термопари (див. таблицю 4.1), що розширює технологічну можливість застосування інформативної здатності сигналу термоЕРС контактної пари «інструмент - деталь» і підвищує надійність автоматизованого визначення режимів лезової обробки на базі даного сигналу 70].

Таблиця 4.1 Результати експериментальної перевірки та порівняння з прототипом

№	Марка та тип інструменту		Вимірювання еталонного сигналу термоЕДС E , мВ	Вимірювання сигналу термоЕДС природної термопари									
	Марка сплаву, СМП, (кількість ріжучих граней)	Тип покриття		Спосіб (прототип)					Пропонований спосіб				
				Інструмент ізолюваний, приміняється токо-съемник					Інструмент ізолюваний, струмознімач не застосовується				
				Деталь закріплена консольно без ізоляції	Деталь закріплена з підпором заднім центром				Деталь закріплена консольно	Деталь закріплена з підпором заднім центром			
					Деталь не ізолювана		Деталь ізолювана			Деталь не ізолювана		Деталь ізолювана	
E_{ab} , мВ	δ , %	E_{ab} , мВ	δ , %	E_{bd} , мВ	δ , %	E_{bc} , мВ	δ , %	E_{bc} , мВ	δ , %	E_{bc} , мВ	δ , %		
1	ВК8 (4)	-	7,4	7,2	2,7	7,7	-4,1	7,1	4,05	7,2	2,7	7,5	-1,4
2	ТН20 (4)	TiAlN	5,9	6,3	-6,8	5,9	0	5,6	5,1	6,1	-3,4	5,9	0
3	ВК6 (4)	-	8,5	7,9	7,1	8,2	3,5	7,7	9,4	8,3	2,4	8,4	1,2
4	ВК6 (5)	TiN	12,2	12,8	-4,9	12	1,6	12,5	-2,5	12,2	0	12,1	0,8
5	ТН20 (4)	-	7,4	7,6	-2,7	7,6	-2,7	7,2	2,7	7,3	1,4	7,5	-1,4
6	T15K6 (5)	-	11,9	12,2	-2,5	12,1	-1,7	12,2	-2,5	11,8	0,8	11,8	0,8
7	ТТ7К12 (5)	-	11,3	11,9	-5,3	11,7	-3,5	10,9	3,5	11,4	-0,9	11,4	-0,9
8	T5K10 (5)	-	14,6	14,7	-0,7	14,7	-0,7	14,8	-1,4	14,4	1,4	14,4	1,4
9	Sandvik Coromant 4225 (4)	TiN	10,7	11,5	-7,5	10,8	-0,9	11	-2,8	10,5	1,9	10,8	-0,9
10	Sandvik Coromant 4225 (4)	TiN	11,6	11,4	1,7	11,8	-1,7	11,2	3,4	11,9	-2,6	11,7	-0,9
11	ТТ7К12 (5)	-	15,5	15,7	-1,3	15,8	-1,9	15,6	-0,6	15,8	-1,9	15,7	-1,3
12	T15K6 (5)	-	11,8	11,8	0,0	12,1	-2,5	11,4	3,4	11,6	1,7	11,8	0,0
13	ТН20 (5)	TiAlN	7,5	7,2	4,0	7,3	2,7	7,3	2,7	7,4	1,3	7,4	1,3
14	T5K10 (5)	-	15,4	15,4	0,0	15,9	-3,2	15,3	0,6	15,2	1,3	15,3	0,6
15	T15K6 (5)	TiN	12,6	12,8	-1,6	12,3	2,4	12,8	-1,6	12,8	-1,6	12,6	0,0
16	ТН20 (5)	-	6,7	6,9	-3,0	6,1	9,0	6,9	-3,0	6,5	3,0	6,5	3,0
17	ТТ7К12 (5)	-	9,2	9,1	1,1	8,9	3,3	9	2,2	9,2	0,0	9,2	0,0
18	T15K6(3)	TiN	12,7	11,6	8,7	11,8	7,1	11,6	8,7	12,4	2,4	12,5	1,6
19	T30K4(3)	TiN	9,5	9,4	1,1	9,2	3,2	9,2	3,2	9,6	-1,1	9,6	-1,1
20	T5K10 (3)	-	10,4	10,2	1,9	10	3,8	9,9	4,8	10,1	2,9	10,3	1,0
21	T15K6 (3)	TiCN	12,2	11,9	2,5	11,8	3,3	11,8	3,3	12,2	0,0	12,1	0,8
Середнє значення відносної похибки $\delta_{ср}$, %					3,3		2,8		3,5		1,5		0,9

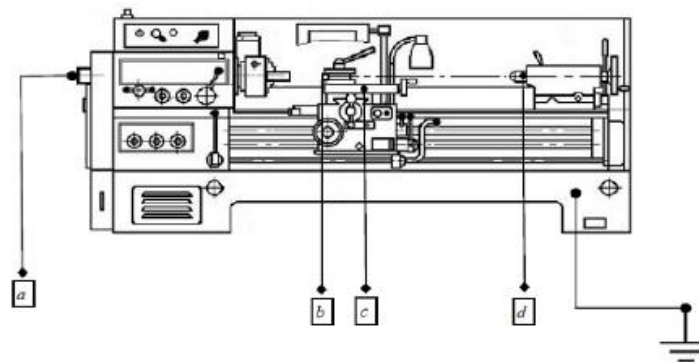


Рисунок 5.3 – Схема розташування точок вимірювання величини термоЕРС

6. РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧЕННІ СТАЛІВ ТВЕРДОСПЛАВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З ПОКРИТТЯМ

6.1 Методика експериментального отримання аналітичних моделей щодо розрахунку швидкості різання

В основі розробки математичної моделі з розрахунку швидкості різання V на токарних операціях лежить регресійний аналіз. Відповідно до роботи [104] сутність регресійного аналізу полягає у визначенні найкращих параметрів регресійної моделі.

Як основний критерій ефективного визначення найкращих параметрів виступає максимальна збіжність розрахункових результатів (за регресійною моделлю) з експериментальними.

Регресійні моделі, як правило, видаються математичними моделями у вигляді:

Поліноміальні моделі:

$$T = b_0 + X_1 b_1 + X_2 b_2 + \dots + X_n b_n ,$$

де T - Досліджуваний параметр (або функція відгуку); n – кількість чинників;

b_i – коефіцієнти регресії;

X_i - фактори, що впливають на функцію відгуку.

Ступеневої моделі:

$$T = b_0 \cdot X_1^{b_1} \cdot X_2^{b_2} \cdot \dots \cdot X_n^{b_n} .$$

Показової моделі:

$$T = b_0 \cdot b_1^{X_1} \cdot b_2^{X_2} \cdot \dots \cdot b_n^{X_n} .$$

Коефіцієнт регресії b_0 , у випадку, характеризує вплив випадкових чинників, а коефіцієнти регресії $b_1, b_2 \dots b_n$ відбивають ступінь впливу кожного чинника ($X_1, X_2 \dots X_n$) на функцію відгуку у процесі полуметалічного точення.

6.2. Обґрунтування вибору факторів аналітичних моделей та план експерименту

Основними чинниками, що впливають параметр T , при операціях точення є:

Розмір термоЕРС E природної термопари «інструмент – заготівля». Параметр термоЕРС E кожного поєднання контактної пари «інструмент – заготівля» визначає інтенсивність розподілу теплових потоків у зоні різання, характеризуючи теплофізичні та механічні властивості контактованих елементів.

Швидкість різання V , безпосередньо впливає на динаміку температурних і контактно-деформаційних процесів, а також фізичних процесів зношування інструменту. та стійкість інструменту.

Подання S .

Глибина різання t .

Вплив останніх двох параметрів сприяє зміні теплових потоків у зоні різання. Подача S та глибина різання t визначають параметри формоутворення деталі при обробці заготовки. Чим більша глибина різання t і величина робочої подачі S , тим більший обсяг металу схильний до деформування.

Однолезова обробка заготівлі, характеризується стаціонарністю процесу різання. В результаті впровадження ріжучого клину виникають зсувні напруги (напруги Пайєрлса) та руху дислокацій у міру зародження нових дислокацій. Безліч поточних дислокацій формуються у певну їхню сукупність – площині ковзання.

З метою виключення похибок у регресійних моделях, пов'язаних з різними масштабами реальних значень факторів, виконують операцію нормування. Суть такої операції зводиться до того що, що це чинники регресійної моделі призводять до єдиного масштабу x_i (у своїй нормоване значення чинника перебуває у інтервалі від (-1) до (+1)) виключення відмінності їх реальних масштабів і розмірностей. Коли необхідно застосувати нелінійні специфікації

(наприклад, статечну), операція нормування виконується з перетворенням моделі на лінійний вигляд. Крім того, при складанні плану експерименту для підвищення точності регресійної моделі застосовують лінеаризацію параметра функції відгуку Y .

Для поліноміальної моделі:

$$Y_i = 2 \cdot \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} - 1,$$

де T_i - Текуще експериментальне значення функції відгуку; T_{\min} - мінімальне експериментальне значення функції відгуку; T_{\max} - максимальне експериментальне значення функції відгуку.

Для статечної моделі:

$$Y_i = 2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{T}{T_{\min}}\right)}{\ln\left(\frac{T_{\max}}{T_{\min}}\right)} - 1,$$

$$x_i = 2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{X_i}{X_{i\min}}\right)}{\ln\left(\frac{X_{i\max}}{X_{i\min}}\right)} - 1.$$

Для показової моделі:

$$Y_i = 2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{T}{T_{\min}}\right)}{\ln\left(\frac{T_{\max}}{T_{\min}}\right)} - 1,$$

$$x_i = 2 \cdot \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} - 1.$$

У табл. 5.1 як приклад, представлені нормовані значення факторів і функцій відгуку для трьох аналізованих специфікацій (поліноміальної, статечної та показової) при напівчистовій операції точення.

Таблиця 5.1 Нормовані значення факторів та функції відгуку при

напівчистовій токарній обробці сталей

№	X ₀	Натуральні значення					Нормованні значення				
		Фактори				Функція	Фактори				Функція
		E	t	S	V	T	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Y
Лінійна модель											
1	1	7,06	0,5	0,11	100	28,00	-0,715	-0,917	-0,895	-0,868	0,763
2	1	7,06	0,5	0,11	160	25,00	-0,715	-0,917	-0,895	-0,079	0,509
3	1	7,06	0,5	0,11	220	22,00	-0,715	-0,917	-0,895	0,711	0,254
...											
40	1	8,74	1	0,195	100	20,00	-0,085	-0,083	-0,081	-0,868	0,085
41	1	8,74	1	0,195	160	18,00	-0,085	-0,083	-0,081	-0,079	-0,085
42	1	8,74	1	0,195	220	15,00	-0,085	-0,083	-0,081	0,711	-0,339
...											
79	1	10,42	1,5	0,28	100	10,00	0,585	0,750	0,732	-0,868	-0,763
80	1	10,42	1,5	0,28	160	8,00	0,585	0,750	0,732	-0,079	-0,932
81	1	10,42	1,5	0,28	220	8,00	0,585	0,750	0,732	0,711	-0,932
Ступенева модель											
1	1	7,06	0,5	0,11	100	28,00	-0,634	-0,838	-0,814	-0,787	0,869
2	1	7,06	0,5	0,11	160	25,00	-0,634	-0,838	-0,814	0,163	0,713
3	1	7,06	0,5	0,11	220	22,00	-0,634	-0,838	-0,814	0,807	0,537
...											
40	1	8,74	1	0,195	100	20,00	0,058	0,229	0,195	-0,787	0,406
41	1	8,74	1	0,195	160	18,00	0,058	0,229	0,195	0,163	0,261
42	1	8,74	1	0,195	220	15,00	0,058	0,229	0,195	0,807	0,010
...											
79	1	10,42	1,5	0,28	100	10,00	0,669	0,853	0,832	-0,787	-0,548
80	1	10,42	1,5	0,28	160	8,00	0,669	0,853	0,832	0,163	-0,855
81	1	10,42	1,5	0,28	220	8,00	0,669	0,853	0,832	0,807	-0,855
Показова модель											
1	1	7,06	7,16	0,5	0,11	28,00	-0,715	-0,917	-0,895	-0,868	0,869
2	1	7,06	7,16	0,5	0,11	25,00	-0,715	-0,917	-0,895	-0,079	0,713
3	1	7,06	7,16	0,5	0,11	22,00	-0,715	-0,917	-0,895	0,711	0,537
...											
40	1	8,74	1	0,195	100	20,00	-0,085	-0,083	-0,081	-0,868	0,406
41	1	8,74	1	0,195	160	18,00	-0,085	-0,083	-0,081	-0,079	0,261
42	1	8,74	1	0,195	220	15,00	-0,085	-0,083	-0,081	0,711	0,010
...											
79	1	10,42	1,5	0,28	100	10,00	0,585	0,750	0,732	-0,868	-0,548
80	1	10,42	1,5	0,28	160	8,00	0,585	0,750	0,732	-0,079	-0,855
81	1	10,42	1,5	0,28	220	8,00	0,585	0,750	0,732	0,711	-0,855

За допомогою операції нормування можна перетворити адитивні та мультиплікативні моделі (поліноміальна, статична та показова) в лінійні моделі виду:

$$Y' = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot X_i,$$

де b_i - Коефіцієнт регресії i -го фактора X_i ;

b_0 – коефіцієнт регресії статистично незначимих умов

та факторів.

Даний аспект дозволяє коректно оцінювати вплив факторів на величину функції відгуку за рахунок приведення рівнів факторів до єдиних масштабних

параметрів по всіх специфікаціях, що розглядаються.

Розглядаючи аналітичну залежність визначення швидкості різання, остаточне значення коефіцієнта CV розраховується як добуток коефіцієнтів KMV і KI , і його рекомендованою постійною величиною. Це безрозмірна величина, яка має фізичного сенсу. Проте багато математичних моделей, зокрема, припускають, що CV є величина, яка залежить як від властивостей інструментального, так і від властивостей оброблюваного матеріалу. Однак, у цій залежності, з одного боку, використовуються середні дані про властивості оброблюваного та інструментального матеріалу з допустимого за технічною умовою діапазону розкиду фізико-механічних властивостей, але з іншого боку, коефіцієнт Cv не враховує імовірнісного закону утворення контактних пар, що призводить до великих помилок при розрахунку швидкості різання та прогнозуванні заданої стійкості. Головне завдання даного дослідження полягає в переході від використання посередніх значень при розрахунку швидкості різання і прогнозуванні стійкості до використання оперативної інформації про властивості, що змінюються, кожною контактною парою «інструмент-заготівля». У цьому випадку коефіцієнт Cv не є постійною, а змінною величиною, яка залежить від властивостей кожної контактної пари. Так, у довіднику [83] при аналітичному способі розрахунку швидкості різання при токарній обробці конструкційних сталей рекомендовано два значення коефіцієнта Cv . У діапазоні подач менше 0,3 мм/про - 420, у діапазоні подач більше 0,3 мм/про - 350. У довіднику [85] для цих діапазонів подач рекомендовані значення Cv відповідно 350 і 290.

У роботі [68] пропонується і фізично обґрунтовується визначення значення коефіцієнта CV як характеристики поєднання фізикомеханічних і теплофізичних властивостей контактної пари за величиною термоЕРС пробного проходу. При встановленому зв'язку CV з термоелектричними властивостями контактної пари, його значення набуває фізичного змісту і дозволяє оперативно

враховувати розкид властивостей контактної пари залежно від того, куди пропонується ввести додатковий інформаційний параметр термоЕРС (E).

Рисунок 5.1 показує, що величина термоЕРС попереднього пробного проходу контактної пари «твердосплавний інструмент з покриттям - сталева заготовка», введена в аналітичну модель розрахунку швидкості різання в якості додаткового інформаційного параметра про властивості пари забезпечило збіг заданої стійкості з дійсною % за рахунок індивідуального підбору (розрахунку) швидкості різання кожної пари, а чи не її середніх значень, як, наприклад, в табличному методі.

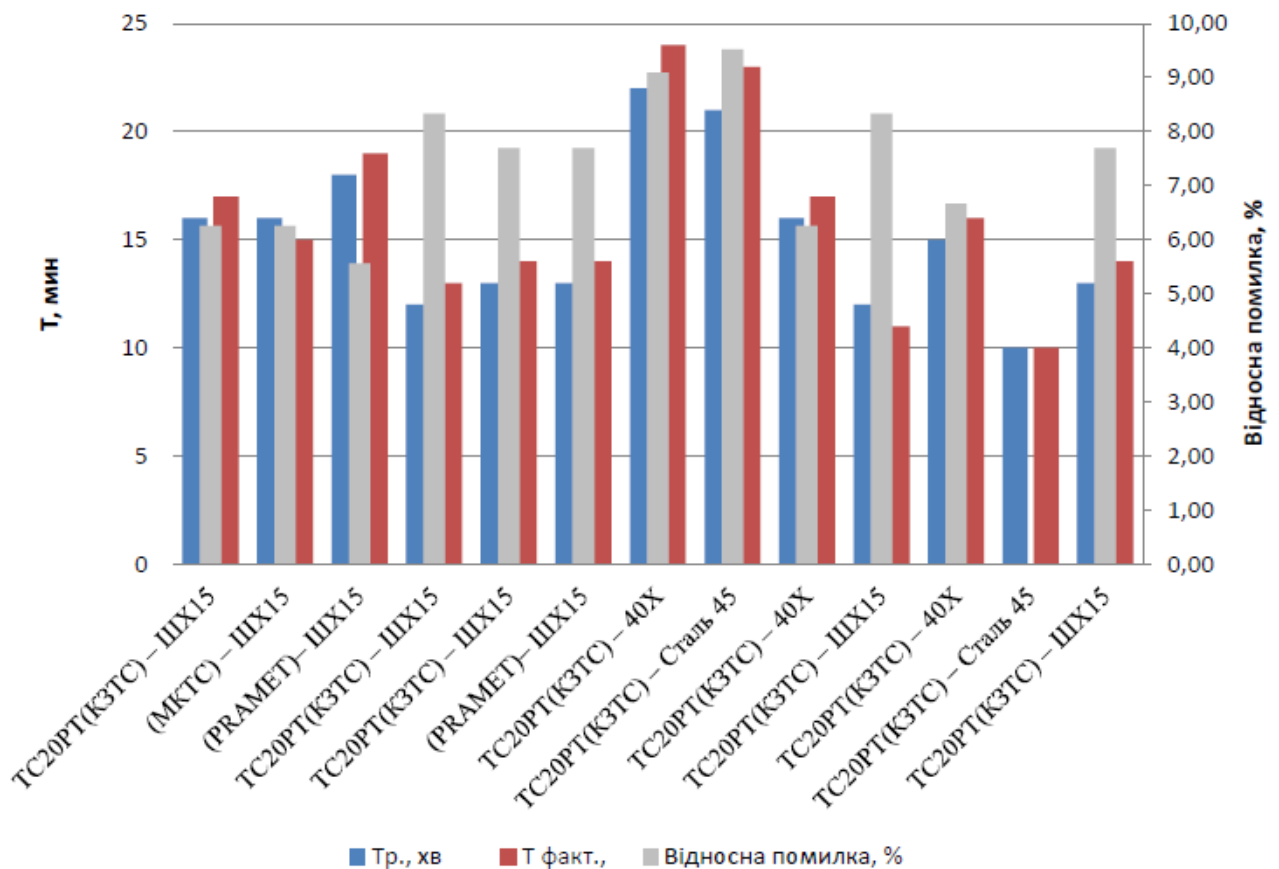


Рисунок 6.1 - Порівняння фактичного періоду стійкості з розрахунковим

Аналіз даних показує, що величина термоЕРС пробного проходу контактної пари «твердосплавний інструмент з покриттям – сталева заготовка» може бути якісним показником його стійкості (краще-гірше) у певних умовах обробки. Введена у розрахункову аналітичну залежність ця величина дозволяє

кількісно визначити час надійної роботи інструменту.

Слід звернути увагу на працездатність ріжучої пластини твердих сплавів, зі значенням термоЕРС 10,7 мВ, для якої рекомендована швидкість різання умов максимальної продуктивності (стійкість 15 хвилин) виявилася не раціональною. Визначили її раціональне значення, що дорівнює 230 м/хв. Для забезпечення надійної роботи ріжучої пластинки в умовах доцільно залишити 10% запасу її працездатності. Це буде 16,5 хвилини. Розрахункова швидкість різання для стійкості 16,5 хвилин визначиться рівною 225 м/хв. Для ріжучої платівки зі значенням термоЕРС мВ «запас» працездатності становив 20%. Оператор верстата з ЧПУ, маючи таку оперативну інформацію, може розпорядитися цим запасом на свій розсуд: обробити додаткову кількість деталей або збільшити подачу з урахуванням обмежень, скорочуючи машинний час обробки.

РОЗДІЛ 7

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ЗНОСОСТІЙКИМ ПОКРИТТЯМ ПРИ ОБРОБЦІ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

7.1. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

В таблиці 7.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 7.1

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 виявляти причини неоднорідності ріжучих властивостей твердосплавних інструментів із покриттям; дослідити особливості зношування твердосплавного інструменту з покриттям;	I-IV рівень	Базові знання з дисципліни «Теорія різання та ріжучий інструмент»	Сформовані вміння у здобувачів освіти щодо виявлення причин неоднорідності ріжучих властивостей твердосплавних інструментів із покриттям; дослідження особливості зношування твердосплавного інструменту з покриттям; проводити аналіз та узагальнити

1	2	3	4
<p>проводити аналіз та узагальнити передовий вітчизняний та зарубіжний досвід існуючих методик та алгоритмів розрахунку швидкості різання та прогнозування ресурсу прогресивний інструмент з покриттям; дослідити фізичні основи зв'язку величини термо ЕРС пробного проходу як методу діагностики, що використовується раніше для звичайного твердосплавного інструменту, ріжучими властивостями твердосплавного інструменту з покриттям; розробити аналітичні моделі розрахунку швидкості різання та прогнозування стійкості інструменту при токарній обробці групи</p>			<p>передовий вітчизняний та зарубіжний досвід існуючих методик та алгоритмів розрахунку швидкості різання та прогнозування ресурсу прогресивний інструмент з покриттям; дослідити фізичні основи зв'язку величини термо ЕРС пробного проходу як методу діагностики, що використовується раніше для звичайного твердосплавного інструменту, ріжучими властивостями твердосплавного інструменту з покриттям; розробити аналітичні моделі розрахунку швидкості різання та прогнозування стійкості інструменту при токарній обробці групи конструкційних та низьколегованих сталей; розробити алгоритм автоматизованого розрахунку режимів обробки, прийнятний для вбудовування в систему ЧПУ або як виносний (верстатний) модуль САПР ТП;</p>

конструкційних та низьколегованих			дослідити причини втрати точності
--------------------------------------	--	--	--------------------------------------

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4
сталей; розробити алгоритм автоматизованого розрахунку режимів обробки, прийнятний для вбудовування в систему ЧПУ або як виносний (верстатний) модуль САПР ТП; дослідити причини втрати точності вимірювання сигналу термоЕРС та запропонувати спосіб їх усунення.			вимірювання сигналу термоЕРС та запропонувати спосіб їх усунення.

7.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Баланюк Г. В. Підвищення точності та якості багаторізцевого 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.

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

План викладення теми: «Підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи».

1. Дослідити причини неоднорідності ріжучих властивостей твердосплавних інструментів із покриттям;

2. Дослідити особливості зношування твердосплавного інструменту з покриттям;

3. Провести аналіз та узагальнити передовий вітчизняний та зарубіжний досвід існуючих методик та алгоритмів розрахунку швидкості різання та прогнозування ресурсу прогресивний інструмент з покриттям;

4. Дослідити фізичні основи зв'язку величини термоЕРС пробного проходу як методу діагностики, що використовується раніше для звичайного твердосплавного інструменту, з ріжучими властивостями твердосплавного інструменту з покриттям;

5. Розробити аналітичні моделі розрахунку швидкості різання та прогнозування стійкості інструменту при токарній обробці групи конструкційних та низьколегованих сталей;

6. Розробити алгоритм автоматизованого розрахунку режимів обробки, прийнятний для вбудовування в систему ЧПУ або як виносний (верстатний) модуль САПР ТП;

7. Дослідити причини втрати точності вимірювання сигналу термоЕРС та запропонувати спосіб їх усунення.

7.4. Аналіз базових умов навчання

В таблиці 7.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

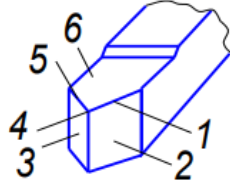
Таблиця 7.2

Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуютьс я базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
Загальні відомості про процес різання.	Дисципліна «Теорія різання та ріжучий інструмент»	Метод – комбіноване опитування Форма – фронтальна Засіб – контрольні питання. 1. Що слід розуміти під терміном "різання металів", "схема різання", "ріжучий клин", "передня поверхня ріжучого клина"? 2. Які рухи розрізняють у процесі різання металів? Дайте їм визначення. 3. Дайте визначення глибини різання (t), подачі (S) та швидкості різання (V). 4. За якими формулами можна підрахувати: – глибину різання (t); - Швидкість різання (V); - Подачу хвилину (S _{мин}); - Подачу на зуб (SZ);	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
		<ul style="list-style-type: none"> - Машинний час (t_m); - Товщину зрізу (α); - ширину зрізу (b) - Теоретичну висоту мікронерівностей (h_T)? <p>5. У яких одиницях вимірюються t, V, S_o, $S_{мін}$, SZ, t_m, α, b, h_T?</p> <p>6. Які поверхні розрізняють на деталі, що обробляється? Дайте їм визначення, замалюйте ескіз.</p> <p>7. Назвіть конструктивні елементи токарного прохідного</p>	

Продовження табл. 7.2

1	2	3	4
		<p>різця, що позначені цифрами на малюнку і дайте їм визначення.</p>  <p>8. Як розрізняють у ріжучого клину передню та задню поверхні?</p> <p>9. Дайте визначення координатним площинам:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Основний площині (ОП); - Площини різання (ПР); - Головною січною площиною (ГСП); - Допоміжною січною площини (ДСП). <p>Знайдіть ці площини на малюнку</p>	

7.5. Проектування мотиваційних технологій навчання

На рис. 7.2 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 7.3 – текст мотивації до нашого заняття

Таблиця 7.3

Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація	
1	2	
Вступна мотивація Прийом: віднесення	Довідково-нормативна література на сьогоднішній день не має аналітичних моделей розрахунку допустимої швидкості різання при використанні твёрдосплавних інструментів з покриттями, в яких оперативно враховувалися б підвищені, але все-таки змінні ріжучі властивості цього виду інструменту.	

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2

Продовження табл.7.3

1	2
	<p>Наявність попередньої інформації про ріжучі здібності інструменту надає можливість використання прихованих резервів його стійкості шляхом збільшення режимів обробки порівняно з розрахунковими (з урахуванням прийнятих обмежень), що може дати додатковий економічний ефект рахунок скорочення машинного часу обробки.</p> <p>Проблема отримання попередньої інформації про ріжучі властивості твердосплавного інструменту з покриттям у вітчизняній металообробці залишається до кінця не вирішеним завданням. У ряді публікацій щодо вирішення цієї проблеми пропонуються різного виду пристрою контролю зносу інструменту, але де вони зачіпають структуру відомих математичних моделей розрахунку швидкості різання.</p> <p>Методики розрахунку швидкості різання для твердосплавного інструменту з покриттями, рекомендовані виробниками, використовують лише табличний спосіб розрахунку.</p> <p>Таким чином, заявлена тема має актуальність і спрямована на відкриття резервів працездатності твердосплавних інструментів з покриттям з метою підвищення продуктивності на операціях токарної обробки сталей.</p>

7.6. Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 7.4

Таблиця 7.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального	Форми	Методи	Засоби

матеріалу теми заняття			
1	2	3	4
I	Фронтальна	Лекція з елементами бесіди, ілюстрація, демонстрація	Презентаційні слайди з теми плакати,.

Продовження табл. 7.4

1	2	3	4
II	Фронтальна	Лекція-пояснення, демонстрація	відеоматеріали з теми
III	Фронтальна	Лекція-бесіда-диспут, ілюстрація	
IV	Фронтальна	Лекція-демонстрація	

7.7 Проєктування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 7.5.

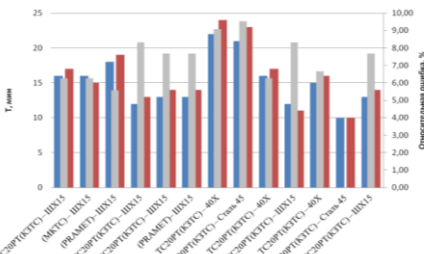
Таблиця 7.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III, IV	Фронтальна	Вправи, самостійна робота	<p>Завдання 1. Опишіть електричний ланцюг природної термопари, відповідно рисунку.</p>  <p>Завдання 2. Опишіть схему</p>

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми	Методи	Засоби
			<p>розподілу температури на передній та задній поверхні інструменту</p> 

Продовження табл. 7.5

1	2	3	4
			<p>Завдання 3. За даними діаграми, опишіть порівняння фактичного періоду стійкості з розрахунковим</p> 

7.8 Проєктування контрольних дій з теми

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6

Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
IV рівень	Фронтальна форма	Закріплююча бесіда	<p>Питання:</p> <p>1. Доведіть, що знос покриття та повзучість матриці (ріжучого клина) протікають паралельно. Їх інтенсивність визначає працездатність інструменту в конкретні умови металообробки.</p> <p>2. Доведіть, що багат шарове покриття не перешкоджає реєстрації сигналу термоЕРС природної термопари, що у поєднанні із встановленою кореляційною залежністю сигналу термоЕРС від теплофізичних властивостей</p>

Продовження табл. 7.6

1	2	3	4
			<p>матеріалів контактної пари дозволяє використовувати цей сигнал для попередньої діагностики ріжучих здібностей інструмента.</p> <p>3. Розробіть аналітичну модель розрахунку періоду стійкості даного виду інструменту з введенням у її структуру додаткового параметра термоЕРС, що характеризує змінні властивості випадково «зібраних» на верстаті контактних пар.</p> <p>4. Розробіть алгоритм автоматизованого розрахунку зазначених параметрів процесу різання та програма для ЕОМ.</p> <p>5. Опишіть пристрій (Патент РФ № 2650827) знімання даного сигналу без використання струмозйомника ковзного типу.</p>

7.9 Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 7.7.

Таблиця 7.7

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

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

		у п. 4.3.
--	--	-----------

Продовження табл. 7.7

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 7

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було виконано розробку факультативного заняття з теми «Підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при обробці заготовок на верстатах токарної групи» для фахівців в галузі машинобудування, а саме: сформульована дидактична мети практичного заняття, розроблений аналіз базових умов навчання, обраний тип мотивації та сформульований її текст, сформовані системи задач і завдань для вирішення і виконання на практичній роботі, розроблені способи формування орієнтовної основи діяльності та формування виконавчих дій, організація виконання завдань та рішення задач, контролю сформованих умінь та розроблений сценарій факультативного заняття.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В результаті аналізу стану питання та практики експлуатації твердосплавного інструменту з покриттям показано, що він, володіючи загалом підвищеними ріжучими властивостями, має в партіях постачання розкид стійкості, що досягає 25-50% і більше. Виявлено причини прояву «технологічної спадковості» щодо неоднорідності властивостей матриць, властиві процесу спікання твердосплавних виробів.

Встановлено, що працездатність твердосплавного інструменту з покриттям визначається сукупністю двох факторів: зносостійкістю покриття та повзучістю твердосплавної матриці, яка залежить від фазового складу її кобальтової зв'язки. Зношування покриття і повзучість матриці (ріжучого клина) протікають паралельно. Їхня інтенсивність визначає працездатність інструменту в конкретних умовах металообробки.

Досліджено можливість застосування раніше запропонованого способу оцінки властивостей контактної пари «твердосплавний інструмент без покриття - сталь, що обробляється» за величиною термоЕРС пробного проходу в умовах обробки сталей твердосплавним інструментом з покриттям.

Розроблено аналітичну модель розрахунку періоду стійкості даного виду інструменту з введенням у її структуру додаткового параметра термоЕРС, що характеризує змінні властивості випадково «зібраних» на верстаті контактних пар. різання в заданих умовах точення, з помилкою, що не перевищує 10-12% від розрахункового значення.

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/>