

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено

Завідувач кафедри

В.Б.Струтинський

підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему _ Дослідження процесу різання з використанням ЕРС індукції

Виконав(-ла): студент(-ка)

II курсу , групи МВ – 71мп

Хаскін Дмитро Владиславович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

Шевченко О. В.,

д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь тавчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу

Шевченко О. В., д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь тавчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2018

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

Спеціальність

133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування
верстатів, роботів і машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

В.Б.Струтинський

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ”

2018 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ
Хаскіну Дмитру Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження процесу різання з використанням ЕРС інду-
кції.

науковий керівник дисертації Шевченко О. В., д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “15” листопада 2018 року № 934-

с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єктом дослідження є токарно-револьверні верстати, оснащені змінними РГ,
пристроями для наладки інструменту поза верстатом і розмірною підналадкою.

4. Вихідні дані: Реле контролю потужності електродвигуна: 1. Діапазон вимірю-
вання — 0,5...4 кВт; 2. Максимальний комутований струм — 5А; 3.
Періодичність вимірювань — 0,01...50 с; 4. Робоча температура — Від -25 до +55
°С.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити : 1) Патентний пошук 2) Аналіз методів та засобів контролю зношення різального інструменту. 3) Теоретичні дослідження взаємозв'язку потужності різання та змінної складової ЕРС із зношенням та поломкою інструменту. 4) Розробка і дослідження системи для контролю зносу різального інструменту проведення лабораторних випробувань, аналіз результатів.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: патентний пошук.

7. Орієнтовний перелік публікацій : Патент України №124672, тези(2

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 -4	Шевченко О. В., д.т.н., професор		

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Патентний і літературний огляд токарно-револьверних верстатів, їх конструктивні особливості та технічний опис.	03.09-20.09	
	Аналіз існуючих методів та засобів контролю зношення різального інструменту.	20.09-05.10	
	Теоретичні дослідження взаємозв'язку потужності різання та змінної складової ЕРС із зношенням та поломкою інструменту.	05.10-10.10	
	Дослідження взаємозв'язку процесу різання деталей приладів з потужністю різання.	10.10-20.10	

	Аналіз впливу матеріалу інструменту та деталі на змінну складову ЕРС різання.	20.10-01.11	
	Дослідження взаємозв'язку ЕРС із параметрами шорсткості.	01.11-11.11	
	Розробка і аналіз математичної моделі зношення різального інструменту на основі потужності та змінної складової ЕРС різання.	11.11-16.11	
	Визначення конструктивних параметрів вимірювального пристрою і розробка схеми підсилювача	16.11-25.11	
	Експериментальні дослідження пристрою для виміру змінної складовою ЕРС різання.	25.11-05.12	
0	Експериментальні дослідження системи контролю процесу обробки деталей в умовах автоматизованого виробництва.	05.12-14.12	

Студент _____ **Хаскін Д. В**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____

						-1-
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>Лист</i>

Анотація.

Основною метою даної роботи було виявлення можливості установки великої кількості ріжучого інструмента, а також наявність додаткових пристроїв і пристосувань, що забезпечують значні скорочення допоміжного часу, а поєднання переходів обробки — основного часу. До існуючих вимог при виборі металоріжучого обладнання (висока продуктивність і точність обробки) додалася швидка переналадка. Саме токарно-револьверні верстати (ТРВ), оснащені змінними револьверними головками, пристроями для наладки інструменту поза верстатом і розмірною підналадкою, відповідають цій вимозі, забезпечуючи також групову технологію обробки деталей.

У наданій роботі розглянуті конструктивні і технологічні заходи, які сприяють підвищенню технічного рівня ТРВ.

В ході аналізу та виконання теоретичної та експериментальної частини були придбані наступні висновки. Висока швидкодія пристрою дозволяє використати його в якості датчика торкання, який може давати команду в систему ЧПК верста-та на перемикання подання зі швидкою на робочу і навпаки, або може бути вико-ристаний для включення і виключення блоку контролю поломки різального ін-струменту. Також було експериментально встановлено, що при зношенні рі-зального інструменту змінна складова ЕРС різання зростає. Розуміння залежностей шорсткості деталі від режимів різання, а також від зношення інстру-менту дає нам можливість побудови високоточної системи корекції для отримання деталей необхідної якості.

Аннотация.

Основной целью данной работы было выявление возможности установки большого количества режущего инструмента, а также наличие дополнительных устройств и приспособлений, обеспечивающих значительные сокращения дополнительного времени, а совмещение переходов обработки — основного времени. К существующим требованиям при выборе металлорежущего оборудования (высокая производительность и точность обработки) добавилась быстрая переналадка. Именно токарно-револьверные станки (ТРС), оснащенные сменными револьверными головками, устройствами для наладки инструмента вне станка и размерной подналадки, соответствуют этому требованию, обеспечивающие также групповую технологию обработки деталей.

В предоставленной работе рассмотрены конструктивные и технологические мероприятия, способствующие повышению технического уровня ТРС.

В ходе анализа и выполнения теоретической и экспериментальной части были сделаны следующие выводы. Высокое быстродействие устройства позволяет использовать его в качестве датчика касания, который может давать команду в систему ЧПУ станка на переключение подачи с быстрой на рабочую и наоборот, или может быть использован для включения и выключения блока контроля поломки режущего инструмента. Также, было экспериментально установлено, что при износе режущего инструмента переменная составляющая ЭДС резки возрастает. Понимание зависимостей жесткости детали от режимов резки, а также от износа инструмента дает нам возможность построения высокоточной системы коррекции для получения деталей необходимого качества.

Annotation.

The main purpose of this work was to identify the possibility of installing a large number of cutting tools, as well as the availability of additional devices and devices that provide significant reductions in additional time, and the combination of processing steps - the basic time. To the existing requirements when choosing metal cutting equipment (high performance and machining accuracy) a quick re-adjustment was added. Turning-turning machines (TRS), equipped with interchangeable reversing heads, devices for setting up tools outside the machine and dimensional sub-adjustments, meet this requirement, providing also group technical processing of details.

In the presented work, constructive and technical measures are considered that contribute to the improvement of the technical level of TRS.

During the analysis and implementation of the theoretical and experimental parts, the following conclusions were made. The high speed of the device allows it to be used as a touch sensor, which can be given to the command in the CNC system of the machine to switch the feed from fast to working and vice versa, or can be used to turn the cutting control center on and off. Also, it was experimentally established that when the cutting tool is worn, the variable component of the cutting EMF increases. Understanding the dependencies of part stiffness on cutting modes, as well as on tool wear, gives us the opportunity to build a high-precision correction system to obtain the details of the required quality

										-4-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						Лист

3.1 Визначення конструктивних параметрів вимірювального пристрою і розробка схеми підсилувача	69
3.2 Експериментальні дослідження пристрою для виміру змінної складовою ЕРС різання	73
3.3. Експериментальні дослідження системи контролю процесу обробки деталей в умовах автоматизованого виробництва. Методика проведення експериментальних досліджень.....	76
Висновок	88
Література	89

Вступ

Перед верстатобудівною і інструментальною промисловістю поставлено завдання значно підвищити технічний рівень, конкурентоспроможність продукції, прискореними темпами розвивати виробництво високопродуктивного і точного металообробного устаткування і інструменту.

Велику роль в підвищенні продуктивності устаткування і точності обробки деталей типа коротких тіл обертання грають токарно-револьверні верстати (ТРВ). Можливість установки великої кількості ріжучого інструмента, а також наявність додаткових пристроїв і пристосувань забезпечують значні скорочення допоміжного часу, а поєднання переходів обробки (обточування і свердління, зняття фасок і проточка, підрізування торців і проточка канавок, обточування декількох поверхонь і т. д.) — основного часу.

Висока жорсткість технологічної системи верстата, сучасні конструкції механізмів, здійснюючі індексацію інструменту при зміні позицій револьверної головки (РГ) і зупинка супортів досягши кінцевих положень, дозволяють гарантувати стабільність діаметральних і осьових розмірів оброблюваних деталей.

Робота на ТРВ не вимагає високої кваліфікації токаря, а програмне управління створює хороші умови для багатOVERSTATного обслуговування.

Ці верстати знаходять вживання практично у всіх металооброблювальних галузях народного господарства. Найефективніше воно в дрібносерійному і серійному виробництвах, проте практика показує, що у ряді випадків доцільне використання ТРВ і у великосерійному виробництві.

Науково-технічна революція прискорює моральний знос засобів виробництва і приводить до необхідності частій зміни їх елементів. Це істотно впливає на вибір устаткування, яке використовується у виробничому процесі. До існуючих вимог при виборі металоріжучого обладнання (висока продуктивність і точність обробки) додалося не менш важливе — швидка переналадка. Саме ТРВ, оснащені змінними РГ, пристроями для наладки інструменту поза верстатом і

											-7-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата							Лист

розмірною підналадкою, відповідають цій вимозі, забезпечуючи також групову технологію обробки деталей.

У наданій роботі розглянуті конструктивні і технологічні заходи, які сприяють підвищенню технічного рівня ТРВ.

										-8-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						Лист

1. Аналіз методів та засобів контролю зношення різального інструменту

1.1. Технічний опис верстата. Призначення і сфера застосування.

Токарно-револьверний верстат з горизонтальною віссю револьверної головки підвищеного класу точності мод. 1ГЗ40П призначений для виконання цілого ряду свердловальних, токарних (обточування, зенкерування, розточування, розвертання, відрізання) і різьбонарізальних (мітчиками, планками в автоматичному циклі або за допомогою автоматичного різьбонарізального пристрою) робіт в умовах серійного і дрібносерійного виробництва.

Поперечна обробка (підрізування торців, відрізання, прорізка канавок) відбувається за рахунок кругової подачі револьверної головки РГ.

Верстат виготовляється у двох виконаннях: для обробки пруткових матеріалів діаметром до 40мм і для обробки в трикулачковому патроні штучних заготовок діаметром до 200мм.

Регулювання частоти обертання шпинделя і величини подач можна виконувати безпосередньо з пульта управління.

Однією з переваг верстата є його швидка переналадка, що досягається за рахунок вживання змінних шістнадцятипозиційних револьверних головок. Затиск і подача прутків, а також затиск штучних заготовок здійснюється гідравлічним механізмом.

Найбільше допустиме коливання діаметру прутка 1мм, діаметру штучних заготовок 3мм.

Клас точності верстата — П.

1.2. Конструктивні особливості токарно-револьверних верстатів

В даному розділі розглядаються ТРВ середнього типу розміру, проте всі рекомендації, конструктивні елементи і запропоновані методики налашки, що забезпечують максимальну ефективність використання верстатів, можуть бути застосовані для всіх модифікацій і типу розмірів ТРВ.

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		Лист

Базовою моделлю нової гамми автоматизованих ТРВ середнього типу розміру є автоматизований верстат підвищеного класу точності мод. 1Г340П з горизонтальною віссю обертання РГ (рис 1). В порівнянні із змінною моделлю 1К341 він володіє рядом переваг:

збільшення до 6,2 кВт потужності приводу головного руху;

збільшення з 8 до 12 кількості рівнів частот обертання шпинделя;

зниження температурних деформацій завдяки роздільному виконанню вузлів шпинделя, коробки швидкостей і коробки подач;

відділення системи мастила від гідравлічної системи верстата, що сприяє підвищенню довговічності відповідальних елементів конструкції;

нерухомий фартух револьверного супорта і розташування приводної рейки на санчатах супорта симетрично направляючим станини, що виключає перекіс супорта на направляючих;

швидкозмінна РГ, що у поєднанні з пристроями для наладки інструменту поза верстатом значно скорочує час переналадки;

розширення технологічних можливостей завдяки введенню відрізного супорта, механізму затиску з двоопорною цангою, індикаторних упорів та інших механізмів, які поставляються на попередню вимогу замовника;

підвищення міри автоматизації шляхом введення пристрою прискорених переміщень револьверного супорта, що полегшує процес управління верстатом;

пристрій автоматичного відключення кругової подачі РГ;

розширення комплекту приладдя завдяки регульованим різцетримачем.

Загальний вигляд верстата з позначенням складових частин показаний на - рис.1.1.

											-10-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата							Лист

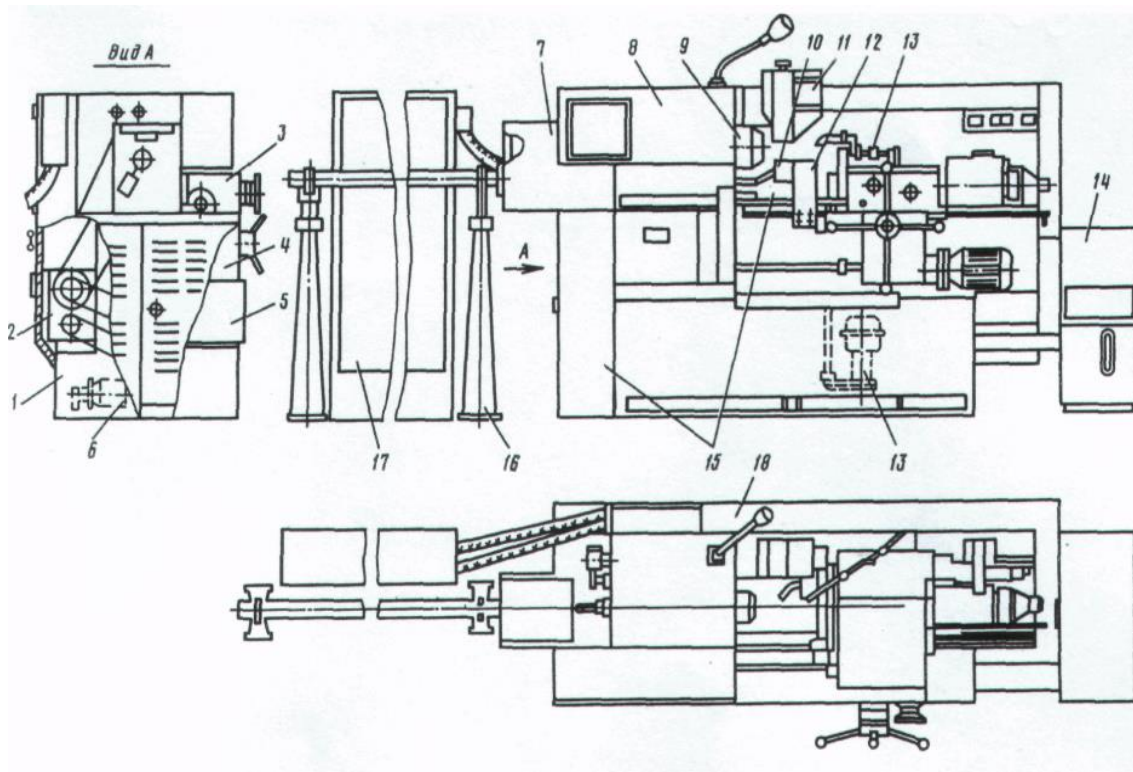


Рис 1.1. Загальний вигляд верстата мод. 1Г340П:

1 – станина; 2 – коробка швидкостей; 3 – револьверний супорт; 4 – фартух револьверного верстата; 5 – коробка подач; 6 – станція мастила; 7 – механізм затиску і подачі матеріалу; 8 – пульт управління; 9 – шпиндельна бабка; 10 – механізм розвантаження; 11 – автоматичний різьбонарізальний пристрій; 12 – копіювальний пристрій; 13 – станція охолодження; 14 – насосна установка; 15 – щити огороження; 16 – стійки; 17 – електрошафа; 18 – короби.

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

Загальний вигляд верстата з позначенням органів управління показаний на рис. 1.2. Перелік органів управління приведенний нижче.

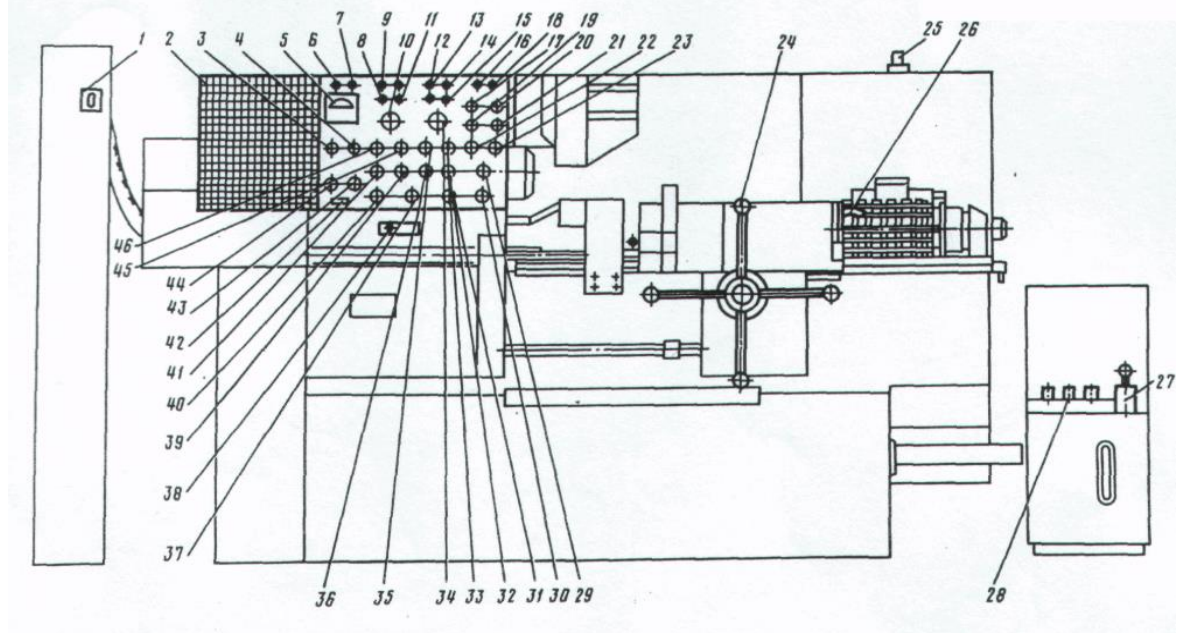


Рис. 1.2. Розташування органів управління верстата:

- 1 - Ввідний автомат
- 2 - Штекерна панель
- 3 - Перемикач роду роботи (наладка, автомат)
- 4 - Перемикач “Включення відробітку програми елементарного циклу” і “включення відробітку програми напівавтоматичного циклу”
- 5 - Амперметр “Покажчик завантаження головного двигуна”
- 6 - Сигнальна лампа “Верстат включений”
- 7 - Сигнальна лампа “Відсутність тиску в гідросистемі і системі мастила
- 8 - Сигнальна лампа “Вихідне положення різьбонарізального пристрою”
- 9 - Сигнальна лампа “Вихідне положення револьверного супорта”
- 10 - Перемикач частоти обертання шпинделя
- 11 - Сигнальна лампа “Вихідне положення розвантажувального пристрою”
- 12 - Сигнальна лампа “Поперечний упор підведений”
- 13 - Сигнальна лампа “Револьверна головка розфіксована”

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

- 14 - Сигнальна лампа “Револьверна головка і барабан упорів погоджені”
- 15 - Сигнальна лампа “Муфта узгодження барабана упорів і револьверної головки включена”
- 16 - Сигнальна лампа “Шпindelь розгальмований”
- 17 - Кнопка “Реверс шпинделя”
- 18 - Сигнальна лампа “Шпindelь обертається”
- 19 - Кнопка “Розгальмування шпинделя”
- 20 - Кнопка “Робота”
- 21 - Кнопка “Гальмо шпинделя”
- 22 - Перемикач “Фіксація-розфіксація револьверної головки”
- 23 - Перемикач “затиск-розтиск виробу”
- 24 - Рукоятка ручного переміщення револьверного супорта (зйомна)
- 25 - Сигнальна лампа “Зупин автоматичного циклу”
- 26 - Рукоятка обертання револьверної головки
- 27 - Манометр для контролю тиску в гідросистемі
- 28 - Золотник регулювання тиску масла в гідросистемі
- 29 - Кнопка “Пуск гідравліки і мастила”
- 30 - Кнопка “Аварійна стоп”
- 31 - Кнопка “Робоча поперечна подача револьверної головки на себе”
- 32 - Кнопка “Робоча поперечна подача револьверної головки від себе”
- 33 - Перемикач поперечного упору
- 34 - Перемикач подачі револьверного супорта
- 35 - Кнопка “Робоча подача револьверного супорта вперед”
- 36 - Перемикач частоти обертання двигуна
- 37 - Кнопка “Швидке відведення револьверного супорта назад”
- 38 - Рукоятка перемикачання діапазонів подач револьверного супорта
- 39 - Кнопка “Швидке підведення револьверного супорта вперед”
- 40 - Кнопка “Зупинка різьбонарізального пристрою”
- 41 - Кнопка “Пуск різьбонарізального пристрою”

42 - Лічильник деталей

43 - Кнопка “Вихідне положення”

44 - Кнопка “Автоматичний пуск”

45 - Перемикач включення і виключення охолодження

46 - Перемикач пуску і зупинки розвантажувального пристрою

Конструктивною особливістю верстата є встановлення пристрою револьверного супорта, призначеного для повідомлення ріжучому інструменту, закріпленому в РГ, робочих і допоміжних переміщень. Супорт забезпечує подовжні і поперечні (круги) подачі РГ. Обидві подачі можуть здійснюватися автоматично за заданою програмою або вручну. Змінна 16-позиційна РГ 2 (рис.1.3) базується на конічну поверхню і торець зубчастого вінця 1. Зубчастий вінець жорстко закріплений на валу 4 РГ, який встановлений в корпусі 5 на двох радіально-упорних підшипниках 3, заздалегідь навантажених за допомогою гайок 8 осьовим зусиллям не менше 1,6 кН. На валу РГ розташований барабан 6 жорстких упорів 7. Зубчасте колесо 9, закріплене на валу РГ, пов'язано з колектором управління режимами різання.

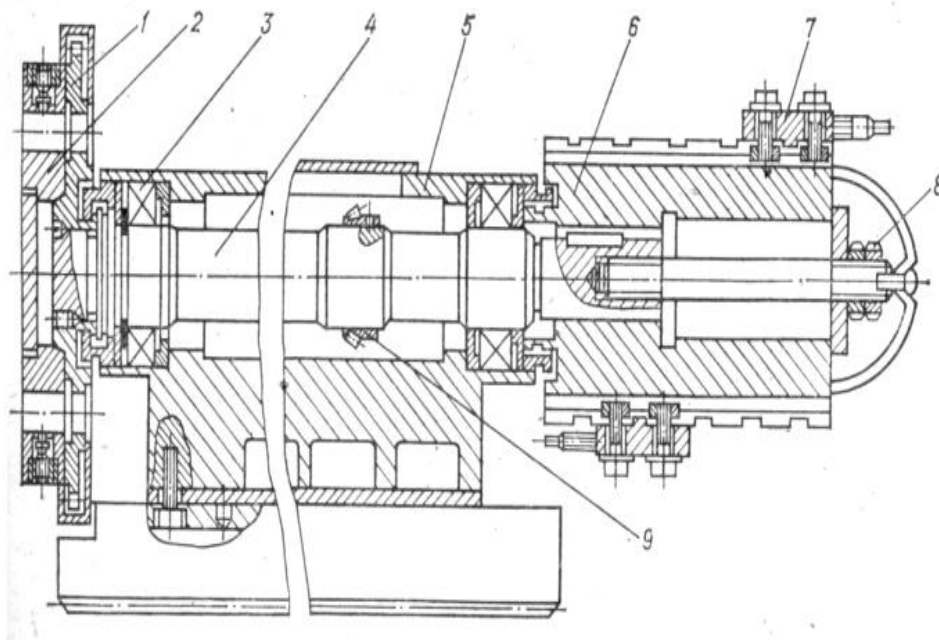


Рис. 1.3. Револьверна голівка і барабан упорів

Фіксуються РГ (рис.1.4) в кожній з 16 позицій фіксатором 1. Управління положенням фіксатора здійснюється за допомогою рукоятки 3 і пружини 2.

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

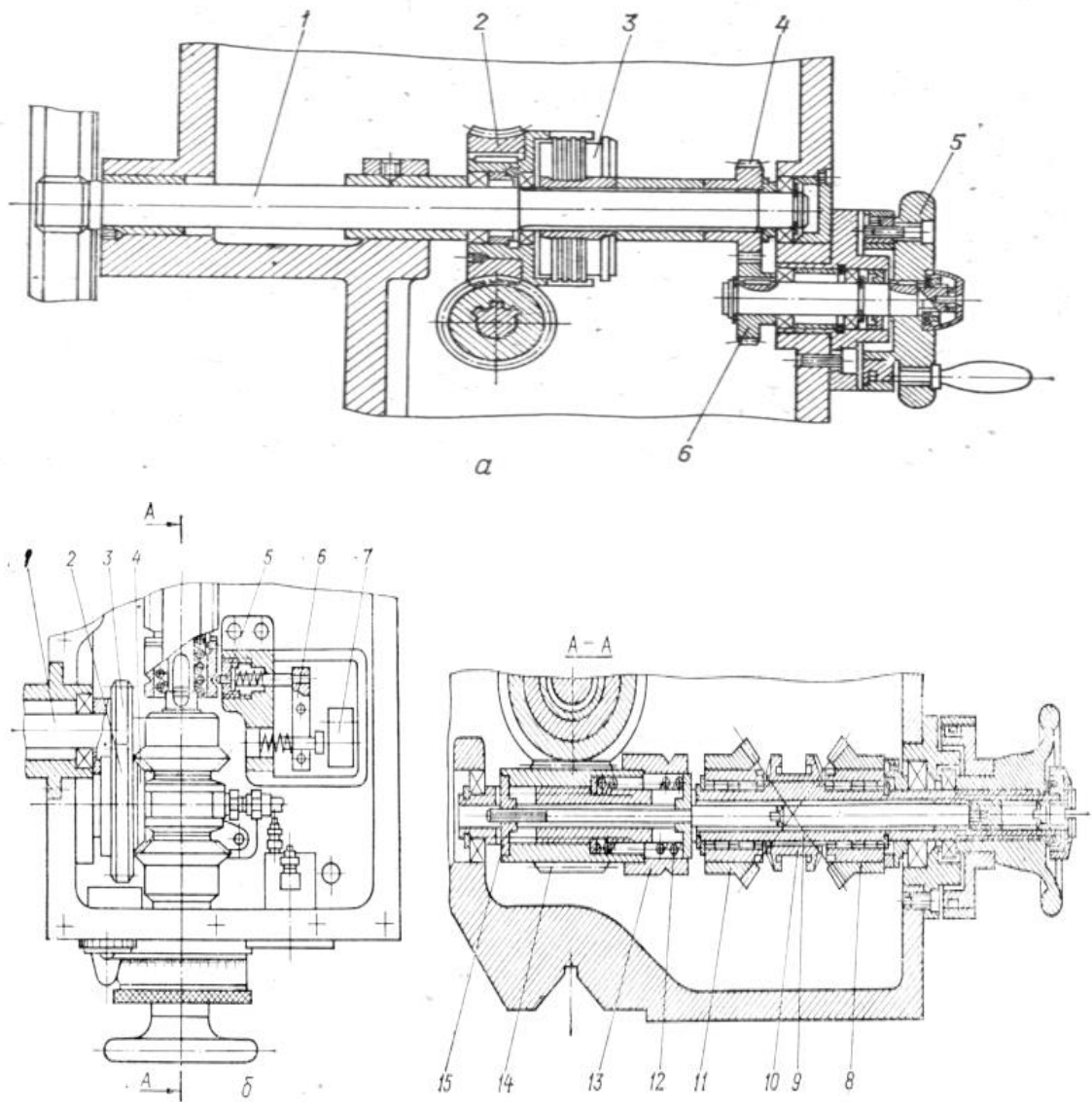


Рис. 1.5. Приводи ручного обертання (а) і автоматичної кругової подачі (б) револьверної головки верстата мод. 1Г340П

Механізм відключення повздовжньої подачі супорта показаний на мал. 1.6. Корпус 1 відвідного упору 2 може переставлятися при наладці і кріпитися в кількох положеннях по довжині станини залежно від довжини оброблюваної деталі. Регульований наполегливий гвинт 4 барабани упорів револьверного супорта упирається в кінці ходу в планку 3. Якщо робота виконується без упору, то планка відводиться рукояткою 6. Планка фіксується в робочому положенні кульковим фіксатором. Втулкою 5 регулюється момент спрацьовування кінцевого вимикача 7, тобто момент відключення електромагнітної муфти

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

автоматичної повздовжньої подачі. Пружина 8 повертає упор 2 у вихідне положення. При перестановці корпусу 1 переставляється також втулка 5. Зазор між планкою 3 і корпусом 1 у вихідному положенні повинен знаходитися в межах 2 – 3мм.

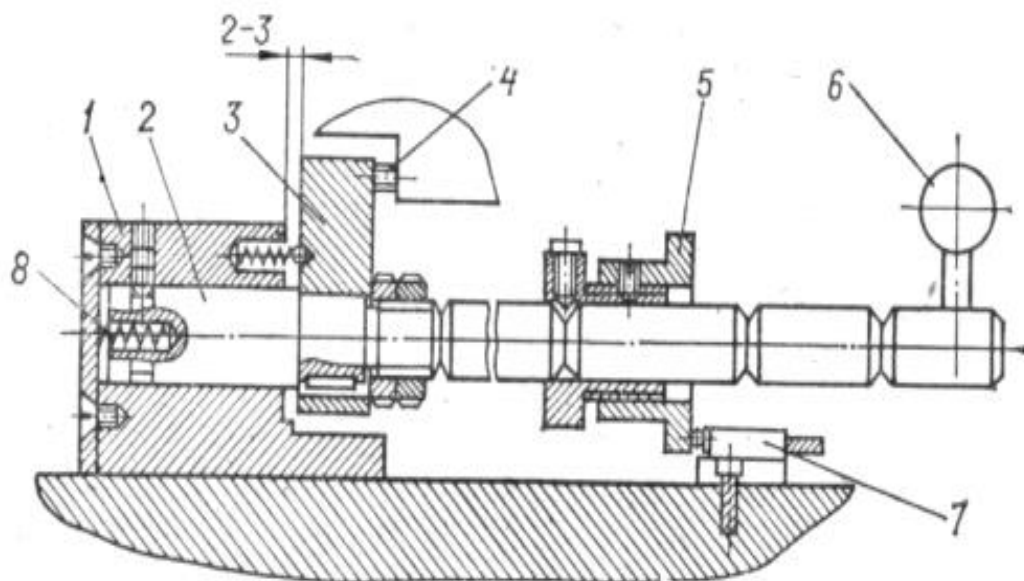


Рис. 1.6. Механізм відключення подовжньої подачі револьверного супорта верстата мод. 1Г340П

Механізм працює таким чином. При підході супорта в крайнє переднє положення гвинт 4 барабана упорів натискує на планку 3, зміщуючи упор 2 вліво. Переміщуючись разом з упором, втулка 5 виходить з контакту з кінцевим вимикачем 7. При цьому подається команда на відключення повздовжньої подачі супорта. При переміщенні супорта у вихідне положення (вправо) упор 2 під дією пружини 8 повертається у вихідне положення, а втулка 5, натискуючи кінцевий вимикач 7, готує механізм для роботи в наступному переході.

Основним елементом шпиндельної бабки є шпиндель 1 (рис. 1.7), змонтований на роликовому дворядному підшипнику 2 і радіально-упорному 3. Регулювання зазорів в підшипниках здійснюється підшліфівкою компенсаторних елементів і гайками 4, 5 на заводі-виробнику. Мастило підшипників краплинне.

На шпиндель встановлюється маслопровідна втулка 6 і втулка 7, через отвори якої здійснюється підведення масла до циліндра затиску.

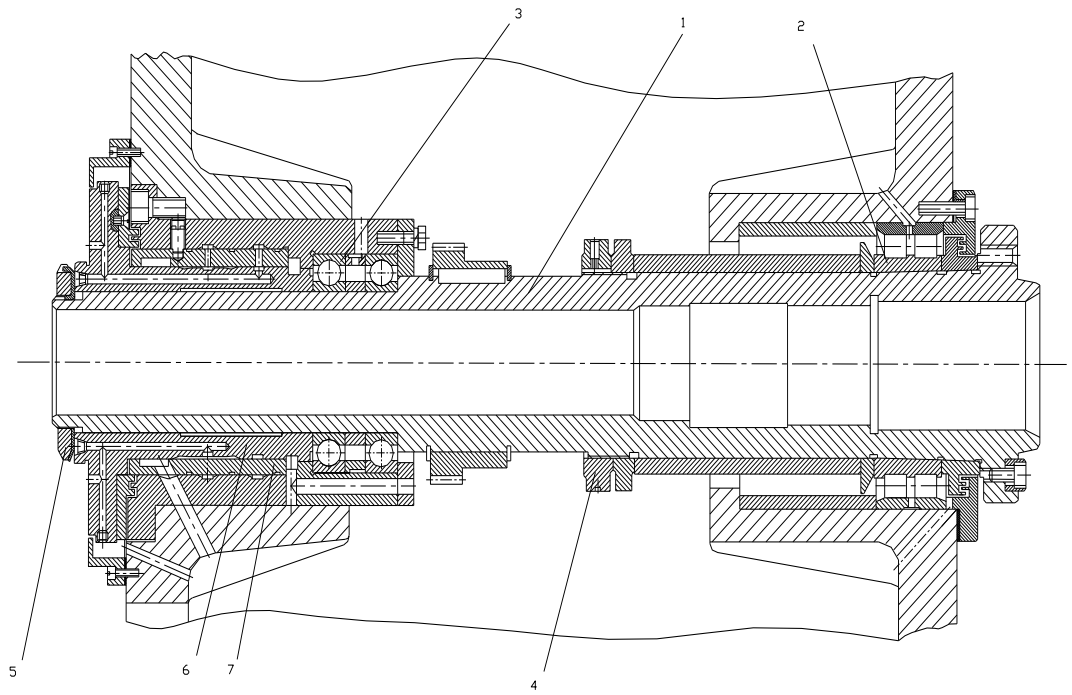


Рис. 1.7. Шпиндельный узел

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

1.3.. Технічні характеристики верстата

Клас точності по ГОСТ 8-77	П
Найбільший діаметр оброблюваного прутка, мм	
з подачою цангой	40
без подачі цанги	55
Найбільший діаметр деталі, що обробляється в патроні, мм	200

Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм	400
Найбільша довжина прутка, мм	3000
Відстань від переднього торця шпинделя до револьверної головки, мм	
Найменша	82
Найбільша	630
Відстань від низу підстави верстата до осі шпинделя, мм	1060
Кількість частот обертання шпинделя (у двох автоматичних діапазонах):	
пряме обертання	12
зворотне обертання	6
Частота обертання, хв-1	
пряме обертання .	45...2000
зворотне обертання	45...250
Частота обертання шпинделя при швидкісному виконанні, мін-1	56...2500
Кількість інструментальних отворів в револьверній головці	16
Діаметр інструментальних отворів в револьверній головці, мм	30E7и 2отв. 40E7
Кінець шпинделя фланцевий по ГОСТ 12595-75	1-6M

Діапазон подач револьверного супорта, мм/об.	
Повздовжних	0,035-1,6
Поперечних	-
Діапазон подач поперечного супорта, мм/об:	
Повздовжних	-
Поперечних	5- 600мм/хв
Діапазон кругових робочих подач револьверної головки, мм/об	0,02-1,0
Механізм головного руху:	
частоти обертання шпинделя в I діапазоні, мін-1	45, 90, 180, 355, 710, 1400
частоти обертання шпинделя в II діапазоні, мін-1	63, 125, 250, 500, 1000, 2000
Механізм подач:	
величини повздовжних подач в I діапазоні, мм/об	0,035; 0,067; 0,125; 0,236; 0,45; 0,85
величини повздовжних подач в II діапазоні, мм/об	0,067; 0,125; 0,236; 0,45; 0,85; 1,6
величини поперечних подач у відношенні до повздовжних подач	1:2
Найбільше зусилля, що допускається механізмом подач,	

кгс:	
Повздовжних	600
Поперечних	300
Потужність головного приводу, кВт	6,0-6,2
Сумарна максимальна потужність електродвигунів,кВ	10,37
Габаритні розміри верстата, мм:	
Довжина	2800
ширина	1200
Висота	1400
Маса верстата, кг:	
без приладдя і електроустаткування	2500
з приладдям і електроустаткуванням .	3750

1.4 Існуючі методи та засоби контролю зношення різального інструменту.

Надійність будь-яких технічних засобів, що працюють в автоматизованому або автоматичному режимі, є однією з основних властивостей, за якою оцінюється доцільність застосування цих засобів у виробництві. Надійність — властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність складається з поєднання властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і зберігання. Для кількісної характеристики надійності технологічного обладнання в даний час прийнято використовувати середнє напрацювання на відмову (характеризує безвідмовність) - відношення тривалості роботи відновлюваного обладнання до математичного сподівання числа відмов протягом цього напрацювання, і коефіцієнт технічного використання (комплексний показник, що характеризує всі властивості надійності) - відношення

математичного очікування інтервалів часу перебування в працездатному стані за деякий період експлуатації до суми математичних очікувань інтервалів часу перебування в працездатному стані, простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням, і ремонтів за той же період експлуатації.

З метою підвищення працездатності автоматизованого обладнання, забезпечення заданої розмірної точності виготовлених виробів з досить низькою шорсткістю поверхні обробки передбачається введення пристрою діагностування та контролю процесу різання [43].

Останнім часом великого поширення набули системи діагностики основані на вимірювання потужності різання. Основою методу є те, що при зміні крутного моменту на валу двигуна унаслідок зміни стану різального інструменту змінюється його споживана потужність. Тому потужність, яка споживається з мережі електродвигунами може використовуватись як параметр, за допомогою якого можна дати оцінку зношення різального інструменту [37]. Цей метод вважається одним з найпростіших методів, які використовуються для контролю стану різального інструменту. Основними перевагами даного методу є простота, не велика вартість, хороша інформативність параметру та відсутність великої необхідності в зміні устаткування верстату. Використовуючи електронні пристрої можна здійснювати контроль інструменту на цілісність, вимірюючи потужність, яка розвивається електродвигуном [38].

Недоліком даної системи є те, що датчики, що стежать за величиною крутного моменту і потужністю, яка розвивається електродвигуном, недостатньо ефективні, так як зміна крутного моменту та потужності відбувається недостатньо швидко. Незважаючи на це дана система діагностики має велику популярність за кордоном.

На даний час проводяться спроби створення комплексних діагностичних систем, які мають за основу не один метод діагностики, а комбінують декілька методів та мають можливість керування процесом обробки, виходячи з отриманих результатів діагностики. Такі системи є більш ефективними та мають великі

перспективи на розвиток та впровадження у виробництво, а саме використання на верстатах з ЧПК [20].

Спосіб визначення зношення різального інструменту, який оснований на вимірюванні сил, які виникають при різанні наведено в [13]. Контроль різального інструменту та прогнозування зношення реалізується за допомогою пристрою, який має кілька приймачів вхідного сигналу, які уособлюють собою три тензометричні датчики, під'єднаних до входів обчислювача, функціонально забезпечуючи вимірювання сил різання по осях P_x , P_y , P_z [21]. Після того, як дані датчики отримали інформацію проводиться аналіз зношення інструменту, який є вже на даний момент, та прогнозується інтенсивність та величина зношення цього інструменту, якщо продовжувати обробку з такими ж самими режимами.

Вимірювання крутного моменту на деталі, що обертається, або інструменті за допомогою тензометричних датчиків дозволяє проводити контроль зношення інструменту [29]. Вимірювання електричних сигналів з тензометричного датчика здійснюють за допомогою струмознімальних кілець. Недоліком застосування струмознімальних кілець є вплив на точність вимірювання сигналу шумів, які обумовлені контактом даних кілець з щітками. Безконтактні методи вимірювання крутного моменту зважаючи на високу вартість не знаходять широкого застосування.

Широкого поширення набули методи контролю зношення інструменту, засновані на вимірюванні температури різання. Встановлено, що затуплення інструменту по задній поверхні від 0,004 до 0,4 мм приводить до збільшення температури різання [33]. Отже, зношення інструменту робить вплив на температуру, особливо, при обробці з малими перетинами зрізу. Експериментально доведено, що збільшення температури лінійно пов'язано із збільшенням зношення, при цьому температура вимірювалася за допомогою штучної термопари. На основі теорії подібності одержано рівняння для оброблюваності, з якого витікає, що температура є основною характеристикою стійкості інструменту. Проте в зарубіжній літературі зустрічаються роботи, в яких

рювання постійної складової ЕРС за допомогою природної термопари. Збільшення сигналу ЕРС із зношенням інструменту несуттєве, а враховуючи, що в каналі вимірювання присутні похибки, контроль зношення інструменту по постійній складовій ЕРС є проблематичним. Не виключено, що для окремих випадків обробки з певними режимами різання, оброблюваними і інструментальними матеріалами, способами кріплення різальної пластинки і т.д., існує зв'язок між постійної складової ЕРС і зношенням інструменту [3].

При механообробці особливо важкооброблюваних матеріалів інструмент схильний до високого зношення. Нестабільність властивостей інструментального і оброблюваного матеріалу обумовлюється неможливістю надійно прогнозувати поточний стан інструменту, а, отже, гарантувати надійність здійснення процесу різання. Необхідний поточний контроль зношення інструменту, тобто його цілісності.

Контроль в процесі обробки найбільш ефективно здійснюють безконтактними або віброконтактними датчиками, які можуть контролювати розміри виробу, положення різальної кромки інструменту або робочих механізмів верстату. До пристроїв, що працюють за непрямим методом, відносяться датчики сигналів, тобто шляхові датчики, що сигналізують про виконання певних переміщень, шляхові перемикачі, які замикають або розмикають електричний ланцюг управління в момент, коли рухома частина верстату досягає певного положення, а також різні види кінцевих вимикачів і упорів [34].

У гнучких виробничих системах (ГВС) необхідно використовувати прогресивні технологічні процеси з широким впровадженням лазерної техніки для обробки поверхонь, загартування елементів деталей і контролю оброблених деталей. Інструмент для ГВС повинен відповідати таким вимогам по стабільності якості, як взаємозамінність, відсутність відколів і тріщин, стабільна стійкість [55]. Для цього доцільно застосовувати твердосплавний інструмент з покриттями, такими як мінералокераміка і надтвердими матеріалами [2].

Операції активного контролю можуть здійснюватися як під час

виготовлення виробу, так і по закінченню виготовлення. У другому випадку контроль якості обробки виробів проводиться після виходу їх з машини. Якщо контрольований параметр відхиляється від заданого значення понад допуск, то автоматично відбудеться підналагоджування машини, коректування технологічного процесу обробки, зупинка машини в разі виходу з ладу інструменту або наявності несправностей у ній [49]. Тут немає недопущення виробництва бракованої деталі. Результати контролю позначаються тільки на наступній деталі. Можливість виробництва браку значно зменшується, але ще не виключається [12].

Точність систем активного контролю, тобто точність комплексу технологічної оброблювальної системи (ТОС), в основному визначається некомпенсованими технологічними похибками. Стабільність технологічного процесу залежить від жорсткості ТОС, стійкості до зношення інструменту і теплового режиму обробки. Відповідно до цього похибки обробки підрозділяють на силові, теплові та на похибки, що виникають в результаті зношення різального інструменту. Перевага того чи іншого виду технологічної похибки, як правило, визначає вибір методу регулювання точності. Так, при порівняно повільних змінах налаштування верстату, пов'язаних з тепловими деформаціями і зношенням інструменту, можуть застосовуватися методи статистичного регулювання точності. У міру збільшення інтенсивності зношення інструменту повинен здійснюватися перехід до автоматичних підналагоджувальних систем (автопідналадчиками). У разі переважання силових похибок, пов'язаних зазвичай з властивостями кожної окремої оброблюваної деталі, а також при інтенсивному і нерівномірному зношенні інструменту повинні застосовуватися пристрої безпосереднього активного контролю.

Таким чином, діагностування стану різального інструменту — актуальне завдання системи автоматичного керування (САК), яка в багатьох діючих системах вирішується в ході контролю тривалості циклу обробки та загального часу різання. Корисність контролю тимчасового параметра характеризується тим, наскільки

близько до реальних умов визначений статистичний період нормального зношення інструменту і яке значення ресурсу задано в системі керування для кожного виду інструменту в різних умовах механообробки. Практика експлуатації САК показує, що складність динамічної системи ТОС і наявність багатьох зовнішніх впливів на процес різання знижують вірогідність контролю тимчасового параметру. Різні види порушення працездатності різального інструменту і навіть його поломка найчастіше виникають випадково. Тому функцію контролю тимчасового параметру слід розглядати лише як допоміжну у забезпеченні надійної та високопродуктивної механообробки [25].

Розглянемо рішення даної задачі на прикладі токарного оброблення на верстаті з ЧПК. Крім здійснення самого процесу обробки необхідно підготувати керуючу програму, а потім відтворити її, передаючи команди від носія програми до виконавчих органів верстату [54]. Крім раніше розглянутих первинних похибок, тут виникає додаткова, що вноситься системою програмного керування [39]. Похибка підготовки програми в кожному конкретному випадку обробки партії заготовок - величина постійна, тобто вона входить за знаком радикалу і замінює собою величину. Вона включає в себе похибки обчислення координат опорних точок траєкторії руху інструменту, похибки апроксимації та інтерполяції. Похибки обчислення координат опорних точок мають малі значення; якщо великі похибки легко виявляються, то малі не завжди можуть бути виявлені і усунені при наступному контролі програми [29].

Параметри зношення різальної кромки інструменту вимірюють прямими і непрямыми методами. У ГВС зазвичай проводять контроль стану інструменту саме в ході обробки заготовок як найбільш оперативний, достовірний і який не збільшує загального виробничого циклу введенням додаткових численних контрольних операцій. Порушення працездатності інструменту при такому контролі піддається прогнозуванню, а випадкова поломка може бути своєчасно виявлена [36].

						-27-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		Лист

1.5. Огляд існуючих методів контролю зносу різального інструменту

Знос інструменту — один з найважливіших параметрів, який впливає на якість і швидкість обробки деталі. Серед всіх похибок і відмов, які можуть мати місце в процесі обробки, особливо виділяється відмова інструменту і похибки, що вносяться його зносом, що обумовлено підвищеними навантаженнями і роботою, яка виконується зношеним інструментом. Як відомо, на частку відмов різального інструменту (PI) припадає переважна більшість випадків від загального числа відмов обробної системи. Знос інструменту, який в процесі обробки постійно збільшується аж до його повної непридатності, в значній мірі визначає точності показники процесу обробки і якість обробленої поверхні (макро-, мікро- і суб-мікрогеометрію, фізико-хіміко-механічний стан і залишкові напруги в поверхневому шарі). Якщо знос ріжучого інструменту по задній поверхні, в принципі, можна розрахувати і при обробці деталей з відносно простими формами поверхонь (плоскими, циліндричними і т.п.) однолезовим інструментом (різцем) його можна врахувати і в якійсь мірі компенсувати за допомогою вже порівняно непогано розроблених існуючих систем, то при обробці поверхонь складної форми (фасонних) і використанні багатолезових інструментів (фрез, свердел та інше), коли процес різання характеризується великим ступенем нестаціонарності і супроводжується змінними значеннями геометрії леза (кінематичних кутів як в основній, так і в головній січній площинах) і параметрів режиму різання (швидкості різання, товщини і ширини зрізу, навіть при постійних значеннях подачі і глибини різання) стан геометрії леза і самої ріжучої кромки інструменту в формуванні вихідних показників процесу різання грає значно більшу роль, такі системи практично відсутні. Проблема створення систем для оцінки (контролю) ступеня зносу інструменту і його можливої компенсації при нестаціонарному різанні шляхом коригування або режиму різання, або положення інструменту ще недостатньо розроблена, хоча такі роботи і ведуться. Ще однією суттєвою проблемою при механічній обробці є визначення моменту «зупинки» (діагностика стану ріжучого інструменту) процесу різання з метою заміни інструменту або його

частини, що ріже, наприклад, ріжучої кромки багатогранної пластини, яка не підлягає переточуванню, при досягненні прийнятим критерієм зносу заданої величини (характеристики). Таким чином, при постійному контролі й діагностиці стану ріжучого інструменту необхідно вирішувати наступні завдання: контроль працездатності інструменту, тобто придатний ще інструмент чи ні (аварійні ситуації); контроль розмірного зносу інструменту; контроль стану різальної кромки, що особливо актуально для чистової обробки поверхонь та обробки поверхонь складної форми (втрата необхідної геометричної форми інструменту, зміна переднього і заднього кутів і т.п.), особливо при обробці на верстатах з ЧПК, багатоцільових (обробних центрах) та інше.

Аналіз сучасного стану питання діагностування ріжучого інструменту в процесі фрезерування з виявленням їх переваг і недоліків. При обробці деталей високої складності питання його діагностування особливо актуальні. На сьогодні розроблено відносно велике число систем для контролю ступеня зношування і визначення моменту виходу з ладу (поломки) інструменту. Ці системи класифікуються за різними показниками (Рис.1), що визначає стратегію діагностування інструментів, наприклад, силі різання, потужності різання та інше.



Рис.1

Залежно від часу спостереження за інструментом, системи можна розділити на ті, що безперервно отримують інформацію при обробці і ті, що отримують інформацію в перервах процесу обробки (наприклад, з використанням контактних вимірювальних систем компанії Reniseaw). І в тому, і в іншому випадках потрібен певний час для збору даних про результати вимірювань, наприклад, після обробки деякого числа заготовок. При обробці деталей на верстатах — автоматах або верстатах з ЧПК, де оператор практично не бере безпосередньої участі в обробці деталі, системи активного (безперервного) контролю стану різального інструменту є особливо необхідними. При проектуванні систем активного контролю, заснованих на прямих методах контролю (Рис.13) стану РІ, існують чинники, які знижують ефективність роботи системи. Наприклад, при оптичному способі контролю, важко домогтися «гарної видимості» ріжучої кромки при впливі ЗОР і стружки, пневматичний і радіоактивний методи обмежують використання стандартного оснащення без додаткової його доробки. Для обертового інструменту проблема контролю встає більш гостро. Розвиток інструментальних матеріалів і покриттів призводить до значного збільшення швидкості обробки, що дуже ускладнює контроль стану кромки інструменту, і практично унеможливує процес його безперервного прямого контролю. Переривчасте різання також накладає певні обмеження на вибір принципів діагностування стану ріжучого інструменту. Найбільш «еластичним» напрямом в контролі ріжучих інструментів є моніторинг (безперервний контроль) безпосередньо в процесі обробки. Всі методи діагностики поточної працездатності ріжучих інструментів можна умовно розділити на чотири групи, а їх, у свою чергу, на методи прямого контролю, які засновані на безпосередній реєстрації величини зносу інструменту, і непрямого контролю (рис.2), що використовують фізичні явища, які супроводжують процеси різання і зношування інструменту.



Рис.2

При прямому контролі параметри зносу (характеристики лунок і стрічок зносу) на контактних майданчиках інструменту вимірюються безпосередньо в процесі обробки. Прямі вимірювання зносу інструменту викликають деякі труднощі, що пов'язано в основному зі складністю конструкції датчиків зносу. При виконанні прямих вимірювань використовують, як правило, допоміжні або холості ходи інструменту, вихід інструменту або різальних кромок (зубів) з процесу обробки. Апаратура для контролю зносу ріжучих інструментів після закінчення процесу різання може бути розміщена таким чином, що на неї не будуть мати шкідливий вплив різні фактори, властиві процесу матеріалообробки. Такі вимірювання більш надійні. Однак, вимірювання здійснюються періодично, що не дає змоги вчасно виявити відмови ріжучого інструменту. Необхідна періодичність контролю може бути визначена на підставі досвіду використання відповідного ріжучого інструменту на даних технологічних операціях і на підставі імовірнісних розрахунків з урахуванням передбачуваного періоду стійкості різального інструменту. Непрямі методи використовуються все в більших масштабах. При цих методах контролюються різні характеристики процесу різання (рис. 2), які мають

певні кореляційні зв'язки з величиною зносу і інтенсивністю зношування різальних кромок інструменту. Принципи і техніка вимірювання при непрямим методах порівняно прості. Вони дозволяють безперервно отримувати в процесі обробки інформацію про знос ріжучої кромки. Придатні вони також для реєстрації різких або стрибкоподібних змін зносу або руйнування ріжучих кромок інструменту протягом коротких інтервалів часу. Основний недолік непрямим методів полягає в тому, що кореляційний зв'язок між вимірним фактором і зносом інструменту повинен бути визначений експериментальним шляхом для кожного конкретного випадку обробки з тим, щоб на його основі можна було контролювати за допомогою відповідного датчика знос інструменту в процесі обробки. Одним із складних, з точки зору діагностики стану різального інструменту, є процес фрезерування, яким на сьогоднішній день займаються багато вчених. Найбільш популярними непрямими методами визначення зносу при фрезеруванні в даний час є методи аналізу сигналів акустичної емісії, вібрацій елементів технологічної системи, а також вимір потужності приводу головного руху різання або зусилля подачі.

Діагностика зносу ріжучого інструменту методом аналізу сигналу віброакустичної емісії (ВАЕ) поряд з багатьма перевагами має і ряд недоліків. Велика кількість шумовипромінюючих «включень», що входять в сигнал ВАЕ і залежних від пружних, теплових та інших процесів, що виникають на всьому шляху від зони різання до місця реєстрації сигналу віброакустичної емісії, а також додаткове виникнення складових сигналу ВАЕ від елементів і вузлів верстата, наприклад, підшипників. В даний час всі ці процеси і їх складові важко з допустимою (прийнятною) точністю описати математично, і, як наслідок, важко, по прийнятому сигналу судити про процеси, що відбуваються в зоні різання, в т.ч. і зношування. Одним з відносно якісних методів контролю ріжучих властивостей інструменту є метод вимірювання потужності різання і зусилля подачі. Ця система розроблена і впроваджена фірмою Omative systems. Електронні системи сучасних верстатів з ЧПК дозволяють без втручання в систему верстата передавати в вимі-

рювальну систему сигнали про силові характеристики як головного приводу, так і осьових приводів верстата. Запропонована в роботі система діагностики безпосередньо аналізує отримані сигнали і досить добре працює при чорнових і напівчистових режимах обробки. Істотним недоліком даного методу контролю процесу різання є його нездатність діагностики стану різального інструменту при чистовій обробці. Один з непрямих методів діагностики стану обертового різального інструменту, описаний патентом, заснований на тому, що під час різання визначають напрямком польоту стружки, що залежить від її ваги, і судять про ступінь зносу інструменту по зміні кута між напрямком подачі і польоту стружки. Однак, його застосування істотно обмежено тим, що в реальному часі складно вимірювати вагу стружки в усіх точках її можливого сходження. Одним з перспективних методів діагностики стану інструменту при свердлінні є метод, заснований на аналізі низькочастотних коливальних процесів пружної системи верстата. Особливість методу полягає в джерелі діагностичної інформації, в якості якого використовується час T повороту інструменту на один оберт. При багаторазових послідовних вимірах час T зазнає випадкові зміни, які пов'язані зі зміною параметрів крутильних коливань свердла під дією крутного моменту, що змінюється. Даний метод в «чистому» вигляді (в запропонованому трактуванні) досить складно застосувати для діагностики стану інструменту при фрезеруванні. Однак, після деякого вдосконалення можливо його застосування і для діагностики стану багатолезового інструменту, леза якого працюють за схемою «різання-відпочинок». Для цього необхідна розробка системи з досить високою швидкодією. Спосіб діагностики, запропонований вченими T.Amin J., E.M. Joo і L.Xiang, дозволяє з використанням системи штучного інтелекту досить добре здійснювати моніторинг стану фрез. В якості первинних датчиків авторами запропоновано використовувати для визначення сил різання динамометр, трьохосьовий акселерометр і датчик акустичної емісії. Контроль стану інструменту здійснюється за допомогою аналізу піків сигналів датчиків, які зростають в залежності від ступеня зносу інструменту. Разом з тим, метод добре

показав себе тільки на фрезах з однаковою геометрією. Для здійснення діагностики система повинна бути навчена хоча б на одній фрезі, доведеної до критичного зносу. Також метод погано працює при обробці деталей з малими обсягами зрізаного металу. Ще один спосіб аналізу стану інструменту розроблений вченими Azmi A.I., Lin R.J.T., а також P. Fu, A.D. Eore P. в якості первинних даних використовує вимір складових сил різання. Діагностична система виконана на базі інтелектуальної нечіткої логіки моделі зносу інструменту. Проведені авторами дослідження показали, що точність прогнозування системи в більшій мірі залежить від зусилля подачі, ніж від інших складових сили різання. Застосовувати таку діагностичну систему в реальних виробничих умовах досить складно через громіздкість динамометрів, а також через включення в технологічну систему відносно маложорсткої ланки. Польськими вченими Bogdan Broel — Plater, Krzysztof Jaroszewski, Pawel Waszczuk розроблена система діагностики інструменту при мікрофрезеруванні. Приводом для розробки даної системи діагностики стала практична неможливість визначення зносу для фрез діаметром менше 0,5 мм. В якості первинних датчиків було використано 3 одновісних п'єзоелектричних акселерометра, встановлених біля шпинделя. В якості діагностичної системи використана нейронна мережа певної структури. Система вказує на наявність інструменту в шпинделі, а також розпізнає, пошкоджений інструмент чи ні. До недоліків даної діагностичної системи можна віднести неможливість визначення фактичної величини зносу, а також те, що система працює добре тільки при певних обертах (24000об/хв). Методи контролю стану різального інструменту при фрезеруванні, розроблені багатьма вченими досить схожі між собою.

Вони використовують принципово схожі датчики і системи прийняття рішення. Різниця між ними полягає в різних способах і умовах обробки. На підставі виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

- 1) в даний час діагностика ріжучого інструменту при фрезеруванні є актуальним питанням, про що свідчить достатня кількість як щодо «старих», так і нових

робіт, присвячених одним і тим же методам діагностування, що свідчить про недостатню вивченість та перспективність даного питання;

- 2) з усіх існуючих систем діагностики РІ найбільш перспективними є системи діагностики, побудовані на основі непрямих методів внаслідок можливості здійснення безперервного контролю стану РІ в процесі різання;
- 3) навіть найсучасніші системи діагностики РІ мають ряд недоліків, які ускладнюють їх використання, причому більшість з них повинні володіти достатньою базою даних для навчання системи прийняття рішень;
- 4) деякі системи діагностики РІ розроблені для вузьких завдань, наприклад, мікрофрезерування, або фрезерування торцевими фрезами;
- 5) мало уваги приділено діагностиці стану РІ при чистовому і тонкому фрезеруванні;
- б) основними проблемами при побудові сучасних систем моніторингу стану РІ при фрезеруванні є вибір первинних датчиків, які б мали широкий діапазон вимірювання і високу чутливість для забезпечення досить високої (заданої, необхідної) достовірності одержуваного результату оцінки ступеня зносу, а також побудова швидкодіючих систем прийняття рішення про зміну положення інструменту або його заміні.

1.6. Система діагностики працездатності різального інструменту на верстатах з ЧПК.

Діагностика працездатності різального інструменту передбачає реєстрацію критичного зносу різального інструменту і його поломку, а також визначення моментів початку і кінця різання.

Існуючі критерії зносу різального інструменту залежать від характеру виконуваної операції, інструментального і оброблюваного матеріалів. Наприклад, для твердосплавних різців при чорновій обробці сталей критерієм зносу задньої поверхні приймається $e_3 = 0,8...1,0$ мм, для чистових операцій $e_3 = 0,2...0,25$ мм.

Основною вимогою, що пред'являється до засобів діагностики, окрім простоти конструкції і надійності в експлуатації, являється швидкодія реєстрації торкання і поломки інструменту з подальшим перемиканням або припиненням подання. Від того, який шлях пройде різальний інструмент після поломки відносно оброблюваної деталі, залежить ефективність використання засобів діагностики.

Перспективною є діагностика торкання інструменту з деталлю, безпосередньо в процесі різання. При цьому, відпадає необхідність установки на верстатах джерел додаткової енергії, скорочується час на вимірювальні операції і на розмірне налаштування інструменту, забезпечується автоматичне перемикання з прискореного подання на робоче і навпаки.

Найбільшу ефективність діагностика працездатності різального інструменту може отримати тоді, коли вона буде ґрунтована на інформації, яка безпосередньо пов'язана з фізичними процесами, що відбуваються на контактних поверхнях різального інструменту. ЕРС, що виникає в процесі різання, складається зі змінної і постійної складової. Змінна складова характеризує коливання енергії на контактних поверхнях і викликає протікання в оброблювальній системі змінного струму.

Пристрій для виміру змінної складовою ЕРС різання можна представити в наступному вигляді (рис.3).

Магнітне тороїдалне феритове осереддя 1 встановлюють на ізоляційні прокладки 2 на державку 3 різального інструмента (PI). Котушка обмотки 4 встановлена на іншому кінці магнітного осереддя 1.

На рис.4 представлена принципова схема пристрою для виміру змінної складовою ЕРС різання.

Змінна складова ЕРС, що виникає в процесі різання, викликає протікання в оброблювальній системі змінного струму, при цьому оброблювальну систему можна представити у вигляді одного витка первинної обмотки. Змінний струм, що протікає по PI 3 наводить змінний магнітний потік Φ в осерді 1. При вимірі використовується режим х.х. трансформатора струму. У цьому режимі магнітний потік Φ збільшується внаслідок відсутності струмів розмагнічування, що у свою чергу різко збільшує ЕРС у вторинній обмотці. Магніторушійна сила в первинній обмотці виражається у вигляді:

$$F_m = I_1 * W_1, (1.2.1)$$

де I_1 — струм, що протікає по різальному інструменту, А;

W_1 — число витків в первинній обмотці ($W_1 = I$).

Магнітний опір R_m осереддя визначається по формулі:

$$R_m = \frac{L_m}{\mu' \cdot S_m}, (1.2.2)$$

де L_m — довжина ділянки магнітного ланцюга, м;

S_m — площа перерізу магнітопроводу, м²;

μ' — магнітна проникність матеріалу осереддя.

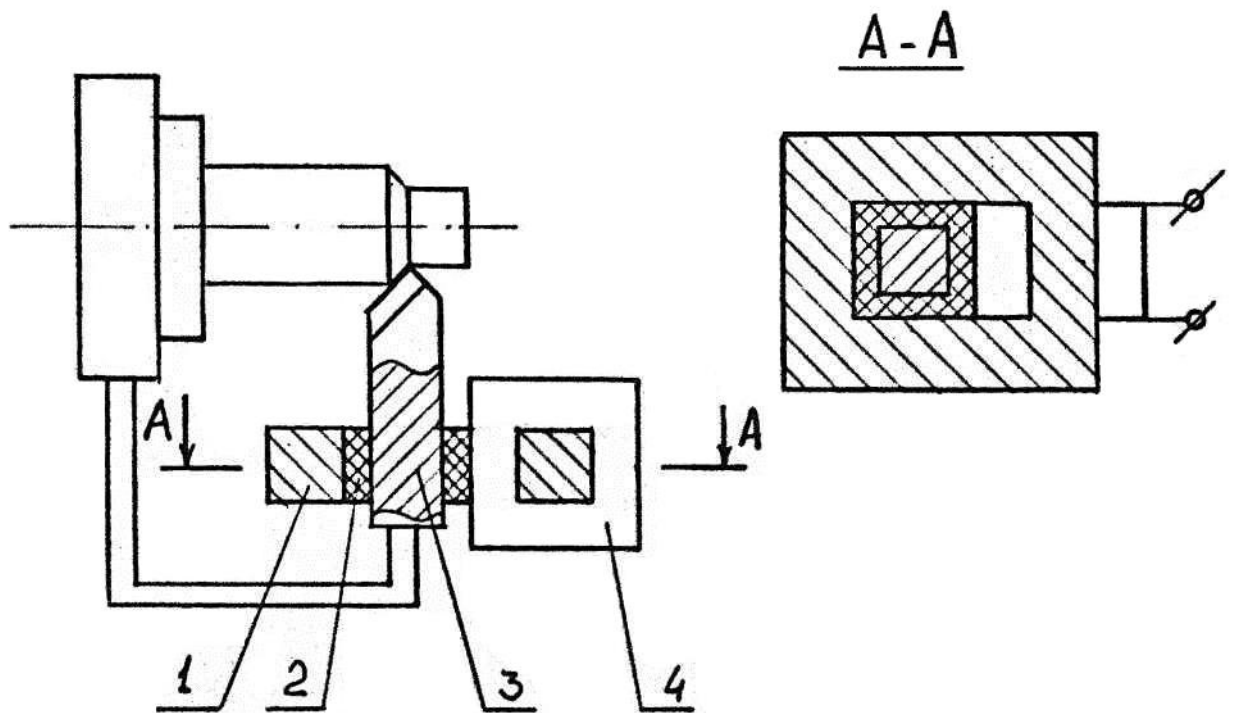


Рис.3. Пристрій для виміру змінної складової ЕРС.

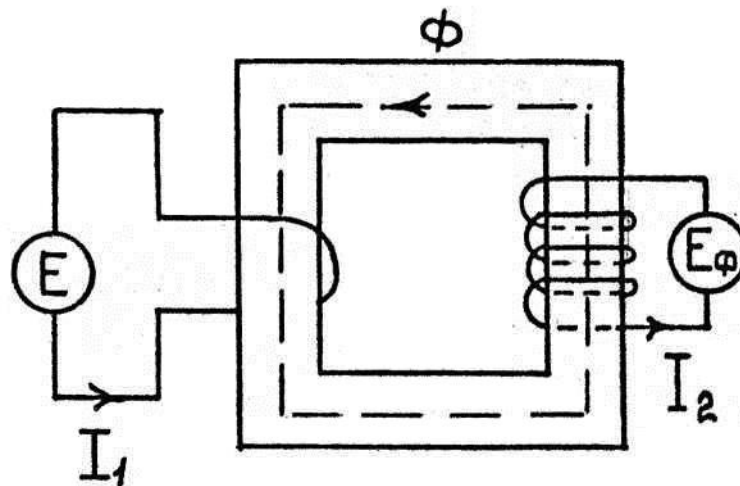


Рис.4. Принципова схема пристрою для виміру змінної складової ЕРС різання.

Магнітний потік Φ_M в осерді рівний:

$$\Phi_M = \frac{F_m}{R_m} = \frac{I_1 \cdot W_1 \cdot S_m \cdot \mu'}{L_m} \quad (1.2.3)$$

ЕРС, що виникає у вторинній обмотці:

$$E_\phi = \frac{\alpha \Phi_m}{d \cdot \tau} \cdot W_2 \quad (1.2.4)$$

де W_2 — число витків у вторинній обмотці.

Підставляючи (1.2.1), (1.2.2), (1.2.3) в (1.2.4) отримаємо:

$$E_{\phi} = 2\pi \cdot W_2 \cdot \mu \cdot f_m \cdot \frac{S_m}{L_m} \cdot I_1 \quad (1.2.5)$$

де f_m — частота зміни магнітного потоку.

Аналіз (4.2.5) показує, що ЕРС E_{ϕ} , що виникає у вторинній обмотці залежить, з одного боку, від конструктивних параметрів осердя і числа витків вторинної обмотки, а з іншого боку від сили струму, що протікає по різцю і частоти зміни магнітного потоку. Величина частоти зміни магнітного потоку пропорційна частоті зміни струму і відповідно ЕРС різання.

Отже, вимір ЕРС у вторинній обмотці дозволить виміряти змінну складову ЕРС різання.

1.7. Опис функціональної схеми і принцип роботи системи діагностики.

Система діагностики працездатності різального інструменту складається з облаштування 1 (рис.5) виміру змінної складовою ЕРС різання, яке через підсилювач 2 підключений до датчика торкання 3 різального інструменту з оброблюваною деталлю і до датчика 4 поломки різального інструменту. Перший вихід датчика 3 торкання і також вихід датчика 4 поломки різального інструменту приєднані до блоку 6 управління приводом подання металорізального верстата. Другий вихід датчика 3 торкання підключений до входу блоку 7 "кінець введення" пристрою ЧПК, який у свою чергу підключений до блоку 6 управління приводом подання верстата.

На рис.6 представлена блок-схема датчика торкання, який складається із смугового підсилювача 8, випрямляча 9, компаратора 10, тригера 11, таймера 12.

Датчики торкання і поломки РІ виготовлені у вигляді окремої плати, яка встановлена у вільне гніздо пристрою ЧПК верстата.

На момент торкання РІ з деталлю на виході 1 з'являється сигнал, який посилює підсилювач 2. Потім сигнал змінної складової ЕРС посилюють в смуговому підсилювачі 8, який налаштований на діапазон частот від 5 до 10 кГц, і випрямляють у випрямлячі 9.

З виходу 9 сигнал подають на вхід компаратора 10. Компаратор 10 в початковому стані налаштований на високий поріг спрацьовування. Якщо рівень сигналу, що поступає на вхід 10 перевищить поріг спрацьовування, то на виході компаратора з'явиться сигнал, при цьому запусковий таймер 12 і зводиться тригер 11, на виході якого з'явиться сигнал про наявність торкання РІ з оброблюваною деталлю. Після закінчення процесу різання, коли інструмент вийде з деталі, на виході пристрою 1 зникне сигнал, відпріється таймер 12, на вхід тригера 11 поступить сигнал, що скидає його в початкове положення.

Робота датчика торкання полягає в наступному. При торканні різального інструменту з деталлю з виходу датчика 3 торкання подається сигнал на вхід блоку 6 управління приводом подання і відбувається перемикання з прискореного подання на робоче. На момент виходу РІ у деталі відбувається автоматичне перемикання з робочого подання на прискорене. Це дозволяє скоротити допоміжний час обробки на верстатах з ЧПК.

Датчик поломки РІ складається з тригера і блоку управління порогом. Сигнал поломки формується досягши заданого рівня сигналу з виходу пристрою 1. В даному випадку сигнал з виходу датчика 4 (рис.5) поломки поступить на вхід блоку 6 управління приводом подання і блоку 7 "кінець введення" пристрою ЧПК, коли рівень сигналу з виходу пристрою 1 зросте в 2 рази впродовж 0,04с.

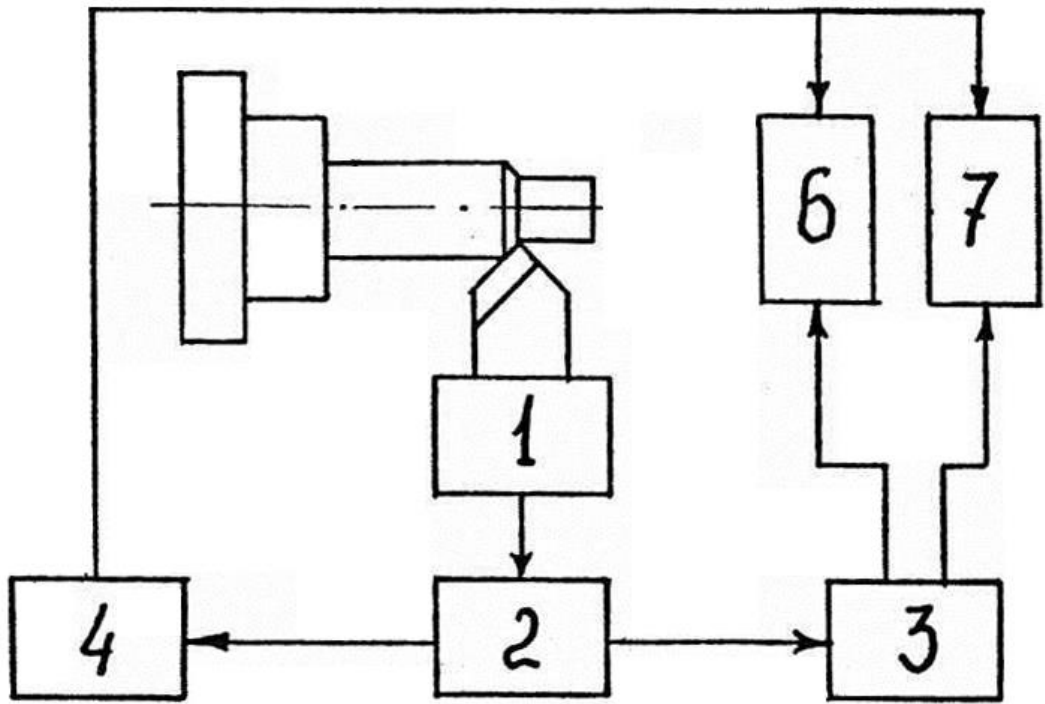


Рис.5. Блок-схема системи діагностики

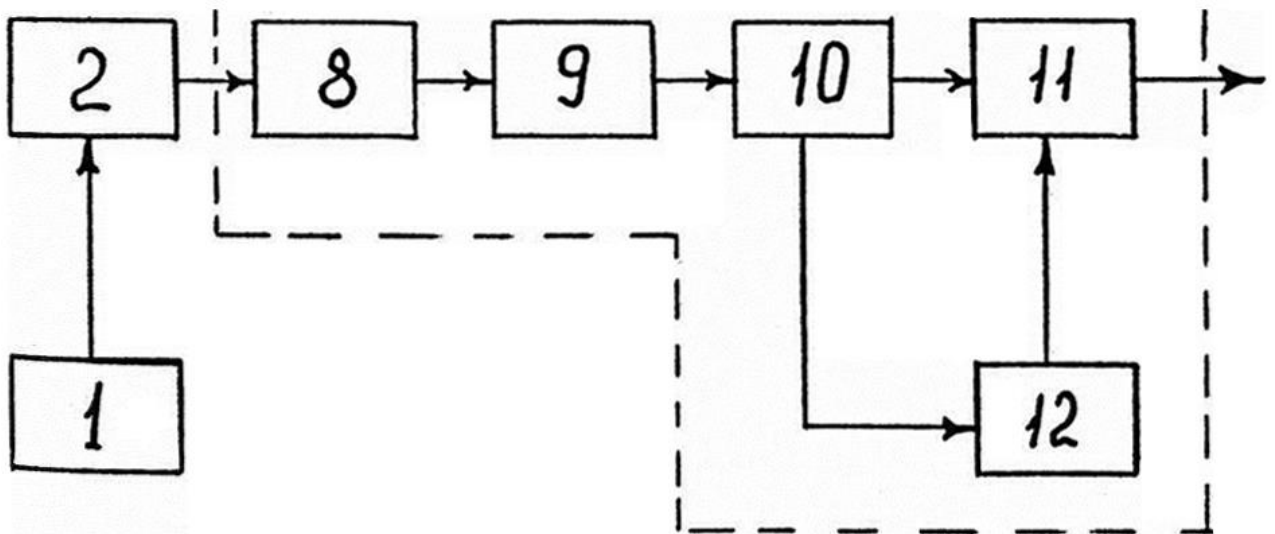


Рис.6. Блок-схема датчика торкання

2. Теоретичні дослідження взаємозв'язку потужності різання та змінної складової ЕРС із зношенням та поломкою інструменту

Підвищення ефективності обробки матеріалів різанням безпосередньо пов'язане із створенням нових і вдосконаленням існуючих методів та засобів контролю працездатності різального інструменту, які повинні базуватися на поглибленому уявленні про фізичну суть процесу різання і дослідженні взаємозв'язку явищ, що виникають при різанні, із зношенням різального інструменту.

2.1. Фізичні основи процесу обробки деталей приладів

Процес різання — це формоутворення нової поверхні заготовки, на яку необхідно витратити певну кількість енергії. Одне з визначень пояснює процес різання, як руйнування з появою і розвитком тріщин. Інше визначення, яке засноване на підставі макрофотографування зони в якій з'являється стружка пояснює, що різання основане на процесі пластичної текучості. Можна стверджувати, що процес появи стружки — це процес пластичного зрушення, що не є нічим іншим, як в'язке руйнування, пов'язане з явищем пластичної деформації [2].

На поверхні контакту інструменту з деталлю відбуваються зміни стану внутрішнього руху атомів і молекул, що і визначає електромагнітні явища. В результаті цього на контактних поверхнях здійснюються складні реакції переміщень, розкладань і з'єднань мікрочасток. Будь-яка матеріальна система завжди прагне до стану, який характеризується мінімумом енергії [52]. Оскільки процес різання це перш за все процес руйнування, що супроводжується переходом елементарних частинок із стану з великим значенням енергії в стан з меншим значенням енергії, то виділяється на першому етапі взаємодії частин надмірної енергії у вигляді пружних і електромагнітних хвиль, а також у вигляді електричної енергії [17].

В результаті пластичної деформації при різанні атоми, що знаходяться у

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

момент перескоку в ядрі дислокації, здійснюють коливання, що супроводжується випромінюванням електромагнітних хвиль. З другого боку коливання атомів призводять до появи так званих "активних центрів" із зниженою роботою виходу електронів у околицях дефектів структури. При цьому деякі електрони виходять на межу розділу "інструмент-деталь", з'являється різниця електричних потенціалів між контактними поверхнями, що супроводжується генеруванням електричних сигналів [7].

На підставі розгляду процесу різання на фізичному рівні можна зробити висновок про те, що процес появи стружки супроводжується генеруванням електричних сигналів. У зв'язку з цим електричні сигнали із зони різання повинні нести інформацію про процеси, що відбуваються на контактних поверхнях різального інструменту з оброблюваною деталлю [12]. Тому, вимірювання в процесі різання електричних сигналів із зони різання дозволить здійснити діагностику працездатності різального інструменту.

2.2. Основні причини виникнення змінної складової ЕРС різання

Зазвичай, процеси генерування відбуваються за участю якого-небудь зовнішнього джерела, енергія якого витрачається на розриви електричних зв'язків, що існують між зарядами в речовині. При різанні металів такою зовнішньою енергією є механічна енергія, що витрачається на процес відділення стружки від заготовки [22].

У металевих кристалах всі електрони розташовані в зоні провідності. Розподіл цих електронів по енергетичних станах зони провідності визначається розподілом станів в зоні і вірогідністю їх заповнення. Розподіл станів характеризується функцією щільності станів $g(E_e)$, яка має вид параболи і виражається у вигляді [21]:

$$g(E_e) = 4\pi \cdot \left(\frac{2m_d}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot E_e^{\frac{1}{2}} \quad (2.2.1)$$

де m_d — ефективна маса щільності стану електронів, кг;

e — постійна Планка, Дж·с;

E_e — енергія електрону, Кл.

Фізичний сенс енергії Фермі (рис. 7.) відповідає самому верхньому рівню провідності, заповненому електронами при нульовій температурі.

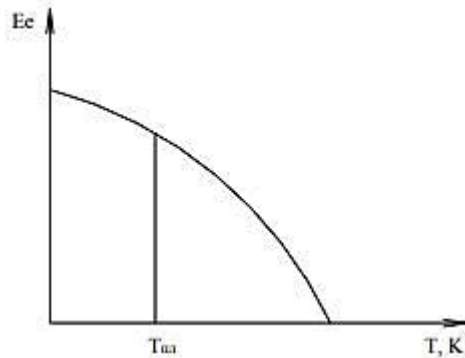


Рис.7. Залежність енергії електрону E_e від температури θ .

В загальному вигляді енергія електрону визначається наступним чином:

$$E_e = \frac{3}{5} \cdot E_\phi(0) + \frac{(\pi \cdot k \cdot T)^2}{4E_\phi(0)} \quad (2.2.2)$$

Перший доданок в формулі (5.2.2) характеризує середню енергію електрону при нульовій температурі і називається "нульовою" енергією, яка має квантову природу. "Нульова" енергія залежить від концентрації вільних електронів і ефективної маси щільності станів електронів. Пластичні деформації виникаючи в процесі різання металів збільшують густину дислокації на чотири порядки, при цьому змінюється величина ефективної маси щільності станів електронів, що і дозволяє деяким електронам набути енергію достатню для подолання потенційного бар'єру і вийти на межу розділу між інструментом і деталлю. Описаний процес — це процес електризації, що відбувається при різанні [47].

Другий доданок в формулі (2.2.2) залежить від температури і характеризує "теплову" енергію електрону. Порівняння величин "теплової" і "нульової" енергії електронів показує, що навіть при температурах плавлення "теплова" енергія електрону складає одиниці відсотків від "нульової" енергії. Така слабка чутливість електронів в металах до нагріву витікає з самого характеру функції розподілу

електронів. Не дивлячись на те, що значення "теплової" енергії невелике, все ж таки мала частина електронів набуває енергії, яка перевищує середню і може виявитися достатньою для подолання сил, що перешкоджають виходу електронів з металу [47]. Хоча таких електронів мало, але саме вони обумовлюють процес термоелектронної емісії, який характеризується залежністю струму емісії від температури і роботи виходу електрону. Термоелектронна емісія є одним з компонентів термоелектричної складової ЕРС різання, вважають основною причиною генерування електричних сигналів при різанні. Приведений вище аналіз показує, що при різанні металів, коли температура в зоні контакту інструменту з деталлю не перевищує температуру плавлення, енергія електрону визначається перш за все "нульовою" енергією, яка залежить від ступеня пластичної деформації.

Термоелектричні явища пов'язані з виникненням електрорушійних сил в ланцюзі різнорідних провідників, в яких є градієнт температури. Це явище було відкрито Зебеком у 1826 році. Ефект оборотного виділення або поглинання теплоти в спайці двох різнорідних металів, коли через нього протікає електричний струм відкритий Пельте. Ефект Пельте не є контактним явищем, а залежить від властивостей металів пари. Третій термоелектричний ефект — ефект Томсона, який полягає в оборотному виділенні або поглинанні теплоти в однорідному провіднику, по якому протікає електричний струм, при одночасній наявності градієнта температури. Поза сумнівом, що ці термоелектричні ефекти мають місце при різанні металів і змінять частку термоелектричної складової в інтегральній ЕРС різання.

Як вже наголошувалося, енергію електрону можна змінити під дією пластичної деформації. Це явище називається низькотемпературною (екзоелектронною) емісією або ефектом Крамера. Екзоелектронна емісія виникає в результаті спотворення електронного енергетичного спектру твердого тіла і подальшою перебудовою його електронної структури, пов'язаної з появою дефектів. Саме пластична деформація, супроводжуюча процес різання металів, приводить до появи і розмноження дефектів кристалічної решітки металу, що збі-

льшує густину дислокацій на чотири порядки. Отже, пластична деформація при стимулюванні температурою, окисленням, фазовими перетвореннями є основним видом енергетичної дії, відповідальним за емісію так званих "екзоелектронів" при різанні металів.

У роботі [29] указується, що при різанні металів в площині ковзання локалізований потік дефектів кристалічної решітки, який збуджує електрони металу, є основною причиною виникнення електричних сигналів при різанні.

Емісія високо енергетичних електронів може виникнути у високому вакуумі. Високий вакуум при різанні утворюється тоді, коли основним видом зношення є адгезія. При розриві адгезійного шву в мікроскопічних об'ємах неначе вдавлюється повітря. Враховуючи, що в зазорі між обгортками умовного конденсатора виникає енергетичне поле, то емісію швидких електронів можна ототожнити з автоелектронною емісією. Автоелектронна емісія є чисто квантовим ефектом, зв'язаним хвилевими властивостями електронів, і роль електричного поля зводиться до формування відповідного потенційного бар'єру. Зовнішнє прискорююче електричне поле знижує потенційну енергію за межами твердого тіла і міняє форму потенційного бар'єру, що спричиняє за собою утворення потоку вільних електронів.

Поява ЕРС в твердих тілах внаслідок збільшення елементарних носіїв електричного заряду звуковими і ультразвуковими хвилями, носить назву акустоелектричного ефекту або емісією хвиль напруг, що і є четвертою причиною генерування електричних сигналів при різанні [35].

Емісія хвиль напруги виникає при різанні за рахунок утворення хвиль механічної напруги, коли точки фактичного контакту інструменту з деталлю деформуються. В роботі [34] наголошується, що, якщо локальний тиск на контактні не перевищує межі пружності м'якшого матеріалу, то в матеріалі від деформуючого контакту розповсюджуватиметься пружна хвиля. Якщо тиск досягає межі текучості матеріалу, то в об'ємі тіла розповсюджуватимуться дві хвилі напруги: пружна і за нею пластична. Аналіз одержаної залежності показує, що

різниця потенціалів від емісії хвиль напруги залежить від електричних і акустичних властивостей матеріалу, а також від інтенсивності хвиль при взаємодії поверхонь [45].

При різанні металів виникають коливання і хвилі різних частот, тому ЕРС від емісії хвиль напруги складатиметься з суми ЕРС відповідним всім складовим спектру частот. Це є однією з причин того, що в ЕРС різання присутня змінна складова в широкому діапазоні спектру частот.

Змінна складова ЕРС різання характеризує коливання енергії на контактних поверхнях різального інструменту і деталі. Величина і характер зміни змінної складової ЕРС різання залежить від тих чинників, які впливають на величину зношення різального інструменту. До таких чинників відносяться: фізико-механічні властивості інструменту і деталі, а також їх неоднорідність, тиск, фактична площа торкання, швидкість відносного руху, вібрації, стан контактуючих поверхонь, процеси руйнування і так далі [24].

Змінна складова ЕРС стосовно тертя металів є в залежності від зміни потенціалів в поверхневих шарах пар, що труться, від різних чинників дасть можливість встановити зв'язок зміни цих потенціалів величиною зношення поверхні, що треться, оскільки приріст потенціалу характеризує процес збільшення енергії в поверхневому шарі пари, що треться, і є еквівалентною величиною кількості маси в поверхневому шарі, руйнованій в процесі тертя. Все що було сказано по відношенню до процесу тертя можна перенести і на процес різання.

Таким чином ЕРС різання можна представити у вигляді суми ЕРС:

$$E = E_T + E_{EK} + E_{AB} + E_{XE}, \quad (2.2.3)$$

де E — результуюча ЕРС різання, В;

E_T — ЕРС, яка виникла в результаті термоелектронної емісії, В;

E_{EK} — ЕРС, яка виникла в результаті екзоелектронної емісії, В;

E_{AB} — ЕРС, яка виникла в результаті автоелектронної емісії, В;

E_{XE} — ЕРС, яка виникла в результаті емісії хвиль напружень.

Найбільший приріст ЕРС відповідає дрібнозернистій сталі 8ХФ, молібдену, берилію, пластичній сталі 10 і нікелю. Сталі, близькі по хімічному складу, перш за все за змістом вуглецю і хрому також піддаються достатньо великому приросту ЕРС. Сталі з підвищеним вмістом вуглецю і що відрізняються високою стійкістю до зношення мають найменший приріст ЕРС, тоді як дрібнозернисті і пластичні замикають ряд. Іншими словами, спостерігається та ж тенденція, що і для матеріалу інструменту твердих сплавів [18]. Збільшення карбідоутворюючих елементів в оброблюваному матеріалі викликає зростання ЕРС. При обробці таких матеріалів крива $E(V)$ досягає точки перетину і насичення значно раніше швидкості різання. Відношення RJR_K Для цих матеріалів, яке характеризує площу контакту, буде меншим, ніж для дрібнозернистих і пластичних матеріалів. Навантаження на контакт, яке визначається перетином зрізу, реалізується на меншій фактичній площі, що створює умови для реалізації в контакті максимального числа мікрОВиступів, і насичення кривої $E(V)$ відбувається при меншій швидкості.

Спільність, властива механізму впливу на ЕРС як оброблюваного матеріалу, так і матеріалу інструменту знаходиться в хорошій відповідності із запропонованою моделлю генерування ЕРС, яка є принципово симетричною відносно контактуючих поверхонь [50].

З цієї причини у разі контакту однойменних матеріалів в зоні помірних швидкостей, сигнал носить знакозмінний характер. Виявлена спільність дозволяє зробити висновок про симетричність процесу різання з погляду генерування ЕРС, який є специфічною фрикційною парою. Тоді вплив карбідоутворюючих елементів пов'язане із стираючою дією оброблюваного матеріалу. При порівнянні ЕРС різання для частин одного прутка сталі 40Х, який піддали різній термообробці, спостерігаються дві тенденції: збільшення ЕРС із зростанням твердості оброблюваного матеріалу і зростання ЕРС із збільшенням зернистості переливу і переходом його в пластичний стан. Відомо, що паралельно збільшується і витираюча здатність сталі 40Х. Проте основним механізмом впливу твердості оброблюваного металу на ЕРС є підвищення тиску на поверхні розділу.

Екстремальні витираючі умови створили при обробці чистового кремнію. При цьому ЕРС різання досягає сотень мілівольт, тобто збільшується на порядок. Виходячи з термоелектричної моделі, полярність ЕРС різання аномальна, а її величина дає мінімально можливу температуру різання більше 2300°C .

Отже, зіставлення традиційних характеристик оброблюваності металів з ЕРС різання дозволяє дійти висновку про те, що вона відображає реальну зміну їх властивостей в процесі різання, тобто є інформативним сигналом.

Екзоелектронна, автоелектронна емісії і емісія хвиль напруги впливають на "нульову" енергію електрону, а термоелектричні явища змінюють частку "теплової" енергії в загальній енергії електрону. Раніше вважали основною причиною генерування електричних сигналів при різанні термоелектричні явища ($E = E_T$) [47]. Проте, всі чотири складові рівноцінні і до того ж взаємозв'язані між собою. Одні і ті ж контактні поверхні інструменту з деталлю можуть бути джерелами генерування термоелектронів, екзоелектронів, автоелектронів і електронів хвиль напруги. Представлений вище аналіз показує, що енергія електрону, що визначає електричні явища при різанні, залежить від концентрації електронів в матеріалі інструменту і деталі, температури і ступеня пластичної деформації.

Виходячи з цього, електричні сигнали є комплексним параметром, що характеризує процес різання металів на фізичному рівні.

2.3. Взаємозв'язок змінної складової ЕРС різання зі зношенням різального інструменту

В результаті досліджень, проведених останнім часом, було встановлено, що, використовуючи електричні явища, можна, з одного боку, одержати важливу інформацію про процеси тертя і зношення інструменту, а з іншої — управляти зношенням тертьових пар і різального інструменту [6]. Куксенова Л.І. виділила групу явищ, пов'язаних з електричними, електрокінематичними і іншими процесами, що відбуваються при терті, і підкреслила необхідність їх подальшого

вивчення [6].

Природу адгезії можна пояснити виникненням металевого зв'язку при зближенні поверхонь на відстань порядку параметру кристалічної решітки і перевищення певного енергетичного порогу для кожної пари матеріалів. Цей енергетичний стан виникає як за рахунок підвищення температури, так і за рахунок сумісної пластичної деформації взаємодіючих поверхонь в точках контакту. Будь-який матеріал можна розглядати як сукупність позитивно заряджених іонів, які розташовані, в ідеальному випадку, у вузлах кристалічної решітки, і великої кількості вільних електронів, що знаходяться в постійній взаємодії одночасно з багатьма іонами даного об'єму матеріалу. Ця взаємодія і визначає цілісність і властивості металевого тіла. За умови зближення кристалів взаємодіючих металів на відстані, сумарній з параметрами кристалічної решітки тіла, вони починають обмінюватися потоками електронів, які проникають через поверхню розділу кристалів. В результаті цього обміну утворюються металеві зв'язки між контактуючими поверхнями. Дана умова виконується за наявності високого локального тиску в зоні контакту, який і забезпечує зближення кристалічних решіток взаємодіючих елементів.

Іншою умовою адгезійної взаємодії є надання електронам додаткової теплової енергії, яка переходить в кінетичну енергію руху електронів за рахунок підвищення температури в зоні контакту різального інструменту з оброблюваною деталлю.

Електронна будова контактуючих пар впливає на адгезійну взаємодію. Встановлено, що при адгезії відбувається обмін електронами атомів взаємодіючих металів, що призводить до утворення енергетичних стабільних електронних конфігурацій. Чим більше частка локалізованих електронів, тим більша адгезія. На підтвердження цього приводиться залежність коефіцієнта тертя від статичної ваги стабільних конфігурацій.

Ця ідея знайшла своє підтвердження в роботі [46], у якій автор констатував вплив на адгезію s , p , d - електронів. Контакт здійснювався як для однойменних,

так і для різнойменних металів. Він припускав, що міцність адгезійного зв'язку пояснюється електронною густиною. Для різнойменних металів міцність адгезійного зв'язку пояснюється різною величиною рівня Фермі і тому додаткові електрони проходять крізь контактні поверхні. У зв'язку з цим можна припустити, що ЕРС різання впливає на міцність адгезійного зв'язку [27].

Міцність адгезійного зв'язку і відповідно адгезійне зношення інструменту залежать від пластичної деформації, температури та електронної будови контактуючих матеріалів інструменту і деталі.

Отже, процеси генерування ЕРС при різанні та утворенні адгезійного шву, який потім руйнується, що приводить до зношення інструменту, безпосередньо залежать від ступеня пластичної деформації, температури і електронної будови контактуючої пари, що і обумовлює їх взаємозв'язок.

В результаті виникнення значного електричного струму між передньою і задньою поверхнями різального інструменту створюються всі умови для перерозподілу компонентів інструментального і оброблюваного матеріалів. Як правило, густина струму на задній поверхні різального інструменту вище за густину струму на передній поверхні [8, 9]. Враховуючи також і те, що на задній поверхні інструменту виникають значні локальні температури можна припустити, що на задній поверхні інструменту відбуваються значніші міграції компонентів інструментального і оброблюваного матеріалів, чим на передній поверхні. Це підтверджує той факт, що такі методи підвищення стійкості різального інструменту, як ізоляції та компенсації дозволяють зменшити зношення інструменту по задній поверхні, але не впливають на характер протікання і величину зношення по передній поверхні. Таким чином ЕРС різання інтенсифікує дифузійні процеси, що відбуваються на поверхні контакту твердого сплаву різальної пластинки з оброблюваною деталлю [46]. Із збільшенням ЕРС різання збільшується інтенсивність проникнення заліза по кобальтових шарах твердого сплаву, які слабо леговані вольфрамом. Внаслідок чого в кобальтових шарах збільшується розтягуюча напруга, що приводить до інтенсивного зниження міцності зв'язки

твердого сплаву.

Дифузійні процеси характеризуються величиною енергії активації, яка залежить від кристалічної структури твердого розчину, розміру зерна, неоднорідності напруженого стану та ін. Енергія активації залежить від взаємного розташування розчинника і розчиненого елемента в періодичній системі: чим далі видалений дифузійний елемент від групи періодичної системи, до якої належить розчинник, тим менше величина енергії активації і тим більше дифузія. Аналогічний взаємозв'язок простежується і між ЕРС різання та зношенням інструменту. Чим далі розташовані елементи інструментального і оброблюваного матеріалів один від одного в таблиці Менделєєва, тим більше величина різниці робіт виходу електронів контакту пари, більше величина ЕРС різання і, отже, зношення інструменту.

Крім цього при різанні може спостерігатися так звана "висхідна" дифузія [11], яка відбувається в умовах, коли до зразку прикладена різниця електричних потенціалів. Електричне поле, що виникає між контактними поверхнями різального інструменту з деталлю, викликає переміщення не тільки електронів, але і іонів. Механізм переміщення іонів є дифузійним, проте сили, що викликають направлене переміщення іонів, обумовлені дією електронів провідності з іонами. Причиною руху іонів є їх зіткнення з електронами провідності, яка передає іонам свій імпульс. Тому іони рухаються проти поля, подібно до частинок з великим негативним зарядом.

Поза сумнівом існує взаємозв'язок між електричними потенціалами і різновидом абразивного зношення — концентрованим зношенням, яке має місце в основному при чистовій обробці. Мікрочастки, що мають вищу твердість, чим зв'язки матеріалу інструменту, проводять мікрорізи, що супроводжуються елементарним електричним імпульсом, частота якого залежить від швидкості різання і розміру мікрочастки ЕРС різання, а також впливають на зношення інструменту через окислювальні явища, що відбуваються при різанні. Під дією електричного поля, що створюється різницею потенціалів на зовнішній поверхні

оксиду відбувається процес міграції катіонів і зростання окисної плівки. Стабільні тонкі плівки оксидів оберігають інструмент від зношення. Проте при посиленні електричного поля прискорюється процес міграції катіонів і товщина плівки оксиду збільшується. При цьому плівка оксиду стає менш стабільною і легко руйнується, що приводить до утворення додаткових точок схоплення інструменту з деталлю і інтенсифікації процесу зношення. Окисні плівки крім того, що грають роль своєрідних напівпровідників, істотним чином впливають на величину роботи виходу електрону інструментального і оброблюваного матеріалів. Міцні окисні плівки збільшують величину роботи виходу електрону, що знижує контактну різницю потенційної ЕРС різання, а також і зношення інструменту. Відповідно протилежну дію надають неміцні плівки оксидів. Слід також відзначити, що окисні плівки впливають на ступінь стабілізації величини роботи виходу електрону і відповідно контактній різниці потенціалів. Флуктуація товщини міцності плівки оксидів приводить до флуктуацій величини роботи виходу електрону і різниці потенціалів між інструментом і деталлю, що приводить до появи змінної складової ЕРС різання.

Отже, ЕРС різання, з одного боку, впливає на зношення різального інструменту, а з іншого — виступає як джерело інформації практично про всі види зношення різального інструменту. А змінна складова ЕРС різання характеризує зміни фізичних процесів на контактних поверхнях різального інструменту з деталлю.

2.4. Взаємозв'язок процесу різання деталей приладів з потужністю різання

В процесі обробки верстат виконує певну роботу. В залежності від його потужності робота, яка виконується може бути виконана за різний час. Потужність верстату характеризується роботою, яку він виконує за одну секунду.

Зазвичай робота вимірюється в ньютон-метрах (Нм), а потужність - кіловатах (кВт). 1 Нм — це робота яка виконується при піднятті 0,1 кг на 1 м. Потужність в 1 кВт дозволяє виконати за 1 с роботу в 102 кгм або в 1020 Нм.

											-53-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата							Лист

Потужність в загальному випадку дорівнює потужності технологічного процесу, для виконання якого і створюється привід. Споживана потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$S = \frac{P}{\eta \times \cos \varphi} = \sqrt{3} \times U \times I, \text{ кВт} \quad (2.4.1)$$

$$\text{або } S = \sqrt{P_a^2 + Q^2}, \text{ кВт} \quad (2.4.2)$$

де P — механічна корисна потужність на валу (вказана на електродвигуні);

η — коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна;

φ — кут між активною та повною потужністю (Рис.8);

U — напруга джерела живлення, В;

I — сила струму, А;

P_a — активна потужність, кВт;

Q — реактивна потужність, ВА.

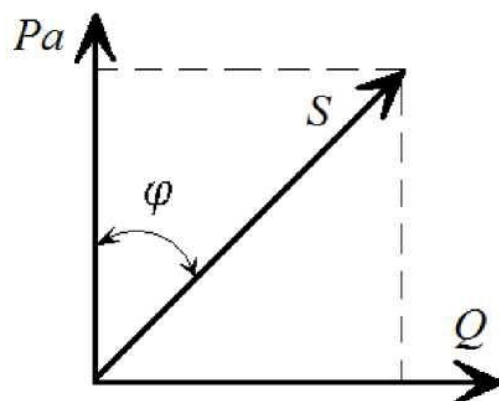


Рис. 8. Векторне представлення потужностей електродвигуна

Активну потужність електродвигуна можна розрахувати за формулою:

$$P_a = \frac{P}{\eta}, \text{ кВт} \quad (2.4.3)$$

або:

$$P_a = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi, \text{ кВт} \quad (2.4.4)$$

В той час реактивна потужність розраховується за формулою:

$$Q = \frac{P_a}{\cos \varphi}, \text{ ВА} \quad (2.4.5)$$

Під час проведення обробки відбувається зміна навантаження на привід

верстату, що може бути спричинено зміною режимів різання, зношенням різального інструменту, поломкою верстату, тощо. Зміну навантаження можна легко відслідковувати по зміні активної потужності електродвигуна вимірюючи прикладену напругу (U) та силу струму (I), що проходить через двигун в певний момент обробки.

Дійсна потужність різання, що витрачається лише на різання, визначається як:

$$P_{c,d} = P_a - P_{a,x}, \quad (2.4.6)$$

де $P_{a,x}$ — активна потужність двигуна при холостому ході.

Розрахувавши дійсну потужність різання необхідно визначити допустимі межі її відхилення ($P_{c,доп.}^{min}, P_{c,доп.}^{max}$):

$$P_{c,доп.} = P_c \pm (0,05 + k_{в.о.} + k_{в.м.}) \times P_c, \quad (2.4.7)$$

де $k_{в.о.}$ — поправочний коефіцієнт на вид обробки (чорнова, чистова і т.д.);

$k_{в.м.}$ — поправочний коефіцієнт на вид обробляючого матеріалу.

Дійсна потужність різання повинна відповідати умові:

$$P_{c,доп.}^{min} < P_{c,d} < P_{c,доп.}^{max} \quad (2.4.8)$$

Таким чином визначивши дійсну потужність різання (2.4.6) та знаючи її допустимі значення (2.4.7) можна слідкувати за ходом процесу обробки та в разі виходу дійсної потужності різання за допустимі значення (2.4.8) негайно вводити коригування в процес обробки.

2.5. Вплив матеріалу інструменту та деталі на змінну складову ЕРС різання

Різальний інструмент в процесі роботи схильний до зношення, який спотворює його форму і тому позначається на ЕРС. Найбільший практичний інтерес представляє вивчення цього зв'язку з погляду можливості отримання на основі ЕРС інформації про зношення інструменту. Зношення інструменту викликає зміну зрівнюючих теплових потоків, що виникають в контактній зоні в момент врізання, що позначаються на температурній складовій ЕРС і термо — ЕРС в стику "пластина-державка" [30]. Пов'язані з цим початкові зміни ЕРС різання можуть служити джерелом інформації про зношення інструменту. Додатково ЕРС різання

пов'язана із зношенням через площу фактичного контакту і тиску на поверхні розділу.

Статистичний аналіз показав, що зв'язок виявляється вельми тісним — вірогідність припущення, заперечення його, складає менше 0,1%. Отже, можна стверджувати, що EPC і характеристики стійкості пластин з твердого сплаву зв'язані між собою [8]. Грунтуючись на цьому, може бути рекомендований вхідний контроль різального інструменту — сортування пластин по EPC різання — із застосуванням спеціальних пластин — EPC, чим більше допустиме зношення, тим менш вигідно застосовувати пластини з великими початковими EPC.

По отриманим даним EPC пропорційна вмісту карбідів вольфраму в твердому сплаві, а при постійному хімічному складі — меншій зернистості твердого сплаву відповідає менша EPC. Відомо, що зернистість твердого сплаву в першу чергу визначає його міцність, а зменшення вмісту зв'язки кобальту підвищує твердість твердих сплавів вольфрамової групи [15]. Роль зв'язки у виникненні EPC різання оцінена шляхом різання чистого кобальту і виявилася неістотною.

Підтвердженням зв'язку EPC з характером тертя є дані по виміру EPC різання для пластин із стійкими до зношення покриттями. Найбільша EPC відповідає пластині без покриття марки T16K6, а найменша — з покриттям нітридом титана TC+. Фрикційна стійкість до зношення покриття обумовлює максимальний час оновлення мікровиступів, що різко знижує EPC [16].

Особливості твердих сплавів і одержані експериментальні дані дозволяють інтерпретувати зв'язки EPC з якістю твердого сплаву таким чином. При постійному хімічному складі зменшення зернистості і збільшення твердості твердого сплаву дозволяють підвищити міцність поверхневих шарів інструменту і опір виривання мікрочасток карбідів, що визначають, безпосередньо, стійкість до зношення твердих сплавів [25]. Отже, кожен мікровиступ на поверхні твердого сплаву, утворюючий мікроконтакт, де генерується електричний імпульс, рідше оновлюється. Відповідно до вищевикладеного така ситуація повинна понизити EPC. Зміна хімічного складу твердого сплаву, що виражається в збільшенні вмісту

карбідів за рахунок кобальту, зменшує адгезійну взаємодію, площу фактичного контакту, а отже, і час оновлення, тому ЕРС збільшується.

Зменшення твердості твердого сплаву із зростанням температури викликає зменшення приросту ЕРС, при цьому для твердого сплаву з більшою твердістю при тій же температурі зменшення приросту ЕРС, не залежно від її абсолютної величини, повинно відбуватися повільніше.

В зоні появи наросту присутні відмінності в адгезійній активності карбідів твердих сплавів. Час оновлення мікрориступів для сплаву ВК6 більше через його більшу адгезійну активність, отже, йому відповідає менша ЕРС. На підставі вищевикладеного зв'язок між ЕРС різання і стійкістю до зношення твердого сплаву можна вважати доведеним та фізично з'ясовним і рекомендувати здійснення вхідного контролю інструменту на основі вимірювання ЕРС різання. Величина ЕРС різання визначається електричним опором R і ємністю C контакту "інструмент-деталь" (рис. 9), а також величиною кутового прискорення обертання деталі. Збільшення кутового прискорення обертання деталі призводить до збільшення частоти контакту окремих мікрориступів інструменту з деталлю, при цьому інтегральна ЕРС різання зростає. При взаємодії окремих мікроконтактів утворюється диференціальний ланцюг " $R—C$ ", який дає імпульс затухаючого / сигналу (рис.9).

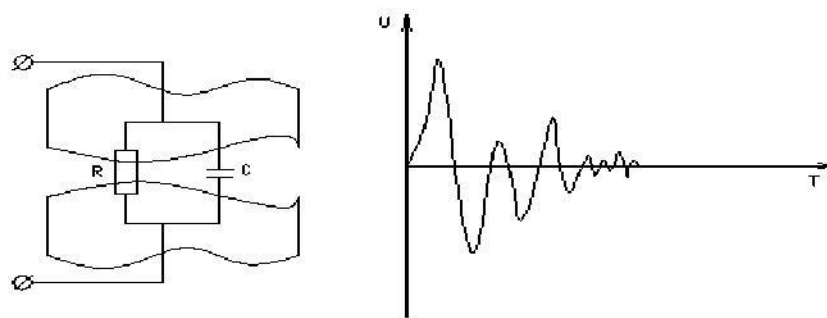


Рис. 9.

Електричний ланцюг " $R—C$ "

Припустимо, що при врізанні інструменту в деталь кількість мікроконтактів інструменту, що входять в контакт з оброблюваною деталлю залишається незмінним і рівним трьом (рис. 22), при цьому відбувається утворення трьох диференціальних ланцюжків "R—C".

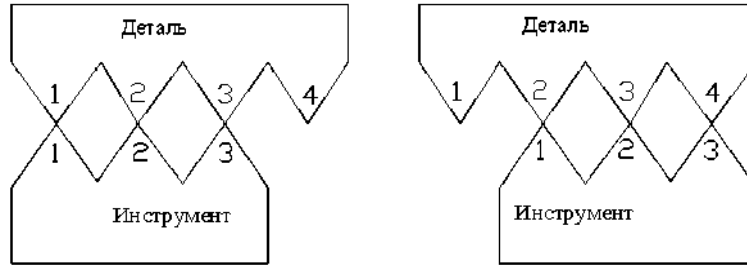


Рис.10. Схема взаємодії мікрорівнів.

За час τ_1 кожна пара 1-1, 2-2, 3-3 контактів дає максимальний імпульс сигналу. Через час τ_2 (рис. 10) мікроконтакти змістяться і контакт відбудеться між наступною парою 1-2, 2-3, 3-4, причому лише мікрорівень 4 ще не вступив у взаємодію, а інші вже віддали свій максимальний первинний заряд. Тому сигнал ЕРС різання матиме пік в початковий момент різання (рис.11).

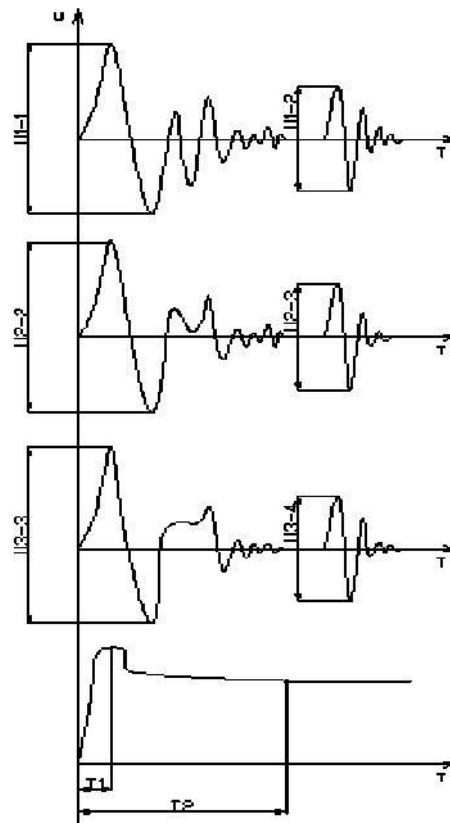


Рис.11. Часова характеристика сигналу ЕРС.

Насправді, при врізанні інструмент зношується, що приводить до збільшення точок взаємодії. Із збільшенням точок взаємодії збільшується сила тертя, зменшується кутове прискорення деталі, що приводить до зменшення інтегральної ЕРС різання [26]. З іншого боку із збільшенням числа точок контакту збільшується фактична площа контакту, а отже і ЕРС різання.

При різанні мають місце дві фази процесу: стаціонарна (при стійкому різанні) і перехідна (при врізанні). Характеристика площ контактних зон визначають величини електричної ємності і опору в областях контакту різального інструменту із стружкою і поверхнею оброблюваної деталі. Так, при гострозаточеному інструменті величини ємності і опору контакту визначаються, в основному, зоною контакту передньої поверхні різального інструменту із стружкою, оскільки зона контакту на задній поверхні різального клину дуже мала. За наявності фаски зношення по задній поверхні величина ємності і опору контакту визначається сумарною площею контакту зон по передній і задній поверхнях різального інструменту. Електричний опір і ємність контакту по передній і задній поверхнях увімкнені паралельно і утворюють диференціальний ланцюжок, що дає при врізанні (перехідному процесі) так званий стрибок ЕРС, який пропорційний величині кутового прискорення відносного ковзання деталі або інструмента.

Загальна величина ЕРС визначається сумою ЕРС перехідного і стаціонарного процесів. ЕРС перехідного процесу, тобто величина сигналу, що виникає безпосередньо при врізанні інструменту в деталь, пропорційна кутовому прискоренню відносного руху деталі або інструменту і величинам електричних параметрів зони контакту ємності і опору. При гострозаточеному інструменті величина кутового прискорення більша, ніж при зношеному, внаслідок чого ЕРС перехідного процесу, зафіксованого в перші секунди від початку різання, перевищує ЕРС стаціонарного процесу при різанні незношеним інструментом. По відношенню ЕРС стаціонарного, зафіксованого після 5-20 секунд від початку рі-

зання, і перехідного процесів можна судити про стійкість до зношення різального інструменту. Чим менше E_i / E_{max} , тим більша стійкість до зношення.

Отримання інформації про дійсні властивості оброблюваного матеріалу, якими він володіє в процесі різання, є основою характеристикою, на якій повинна базуватися оптимізація робочого процесу. Аналіз показав, що найбільш інформативний вид кривої $E(V)$ (рис. 12), яка змінюється залежно від розподілу тиску, електричної провідності, а також від характеру і коефіцієнта тертя, структури інструментального матеріалу і інших взаємозв'язаних і взаємообумовлених чинників процесу різання.

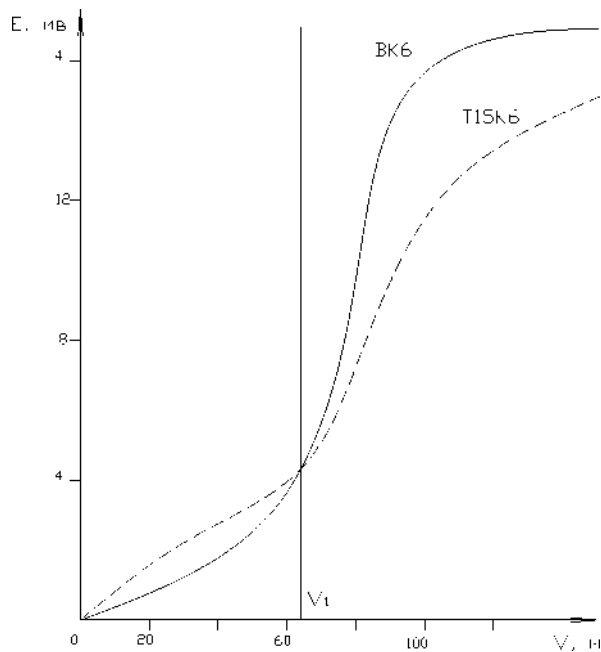


Рис.12. Вплив відмінностей адгезійної активності та розм'ягчення твердого сплаву на ЕРС різання.

Характер кривої для даного оброблюваного матеріалу і режимів обробки міняється залежно від марки твердого сплаву або форми різальної частини пластини. Найбільш істотно при цьому змінюється абсолютна величина ЕРС, швидкість, відповідна перегину кривої $E(V)$, і, значно менше — межа зони появи наросту — V_1 . Криві $E(V)$, одержані в однаковий умовах при обробці різних матеріалів для зручності аналізу піддали простій формалізації.

Реєстрували швидкість V_1 враховуючи три точки кривої $E(V)$, які, в свою чергу, відповідають швидкостям різання 20, 50 і 100 м/хв, причому в зоні появи

наросту разом з фактичним значенням ЕРС — E_f для даної швидкості, враховували і гіпотетичну ЕРС — E_{f_0} , яка відповідає відсутності наросту. По відносному збільшенню ЕРС різання, яке характеризується відношенням ЕРС для двох вибраних швидкостей різання 50 і 100 м/хв, розташували оброблювані матеріали.

Найбільший приріст ЕРС відповідає дрібнозернистій сталі 8ХФ, молібдену, берилію, пластичній сталі 10 і нікелю. Сталі, близькі по хімічному складу, перш за все за змістом вуглецю і хрому також піддаються достатньо великому приросту ЕРС. Сталі з підвищеним вмістом вуглецю і що відрізняються високою стійкістю до зношення мають найменший приріст ЕРС, тоді як дрібнозернисті і пластичні замикають ряд. Іншими словами, спостерігається та ж тенденція, що і для матеріалу інструменту твердих сплавів. Збільшення карбідоутворюючих елементів в оброблюваному матеріалі викликає зростання ЕРС. При обробці таких матеріалів крива $E(V)$ досягає точки перетину і насичення значно раніше швидкості різання. Відношення R_o/R_k для цих матеріалів, яке характеризує площу контакту, буде меншим, ніж для дрібнозернистих і пластичних матеріалів. Навантаження на контакт, яке визначається перетином зрізу, реалізується на меншій фактичній площі, що створює умови для реалізації в контакті максимального числа мікроставів, і насичення кривої $E(V)$ відбувається при меншій швидкості.

Спільність, властива механізму впливу на ЕРС як оброблюваного матеріалу, так і матеріалу інструменту знаходиться в хорошій відповідності із запропонованою моделлю генерування ЕРС, яка є принципово симетричною відносно контактуючих поверхонь.

З цієї причини у разі контакту однойменних матеріалів в зоні помірних швидкостей, сигнал носить знаковмінний характер. Виявлена спільність дозволяє зробити висновок про симетричність процесу різання з погляду генерування ЕРС, який є специфічною фрикційною парою. Тоді вплив карбідоутворюючих елементів пов'язане із стираючою дією оброблюваного матеріалу. При порівнянні ЕРС різання для частин одного прутка сталі 40Х, який піддали різній

термообробці, спостерігаються дві тенденції: збільшення ЕРС із зростанням твердості оброблюваного матеріалу і зростання ЕРС із збільшенням зернистості переливу і переходом його в пластичний стан. Відомо, що паралельно збільшується і витираюча здатність сталі 40Х. Проте основним механізмом впливу твердості оброблюваного металу на ЕРС є підвищення тиску на поверхні розділу. Екстремальні витираючі умови створили при обробці чистого кремнію. При цьому ЕРС різання досягає сотень мілівольт, тобто збільшується на порядок. Виходячи з термоелектричної моделі, полярність ЕРС різання аномальна, а її величина дає мінімально можливу температуру різання більше 2300° С.

Отже, зіставлення традиційних характеристик оброблюваності металів з ЕРС різання дозволяє дійти висновку про те, що вона відображає реальну зміну їх властивостей в процесі різання, тобто є інформативним сигналом.

2.6. Взаємозв'язок ЕРС із параметрами шорсткості

Процес різання металів супроводжуються широким рядом відомих фізичних явищ. Одним з цих явищ являється змінна складова ЕРС різання між контактуючими тілами. Взагалі, як вже згадувалось, за допомогою використання вимірювань ЕРС в мовах автоматизованого виробництва можна керувати режимами різання, а також контролювати зношення різального інструменту. ЕРС різання має безпосередній зв'язок з шорсткістю оброблювальної поверхні, і, звичайно, керуючи величиною ЕРС шляхом її компенсації або ізолюючи інструмент, можна на порядок знизити шорсткість оброблювальної деталі. Зниження шорсткості, як правило, залежить від зменшення зношення різального інструменту.

При різанні в місці контакту твердого сплаву з оброблюваним матеріалом електрони з твердого сплаву (з великою електронною густиною) переходять в оброблюваний матеріал (з меншою електронною густиною) і за наявності замкнутого ланцюга "інструмент - верстат - деталь" виникає струм. По поверхні зношення встановлюються молекулярні зв'язки і елементи твердого сплаву

										-62-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						Лист

безперервно дифундують з поверхні твердого сплаву в оброблюваний матеріал і обумовлюються граничними об'ємами поверхні різання і стружки. Сама дифузія пов'язана тільки з переміщенням атомів від місць з більшою концентрацією до місць з меншою концентрацією. Проте в наслідку постійного контакту двох тіл з негативним і позитивним зарядами процес перенесення твердого сплаву активізуватиметься. Причому ступінь активізації залежить від величини ЕРС різання. Отже, ЕРС впливає на шорсткість оброблювальної деталі через підвищення зношення інструменту.

Для того, щоб зменшити прямий вплив ЕРС різання на шорсткість деталі потрібно використовувати режим ізоляції різця та деталі, режим компенсації або ж режим введення постійного струму. Проте, численні експериментальні дані по перевірці ефекту суперечливі. Разом з тим важливим є те, що розрив електричного ланцюга технологічного обладнання системи (ТОС) шляхом введення ізолюючих прокладок є простим випадком застосування схеми резистор-конденсатор для іскрогасіння в зоні контакту. Ізолюючі прокладки в цій схемі грають роль конденсатора малої місткості, тому у ряді випадків в схему вводять спеціальні конденсатори. Так, обробка при включеному конденсаторі місткістю 200 мкф в порівнянні з установкою прокладок дало значно велике зменшення шорсткості.

Таким чином, коливання змінної складової ЕРС відображають імпульсний характер процесу різання та показують важливу інформацію про складні фізико-хімічні процеси при обробці деталей приладів в умовах автоматизованого виробництва, причому у випадку ізоляції різального інструменту присутній трішки інший спосіб руйнування оброблювальної деталі та фізико-хімічних властивостей, чим при відсутності ізоляції.

Слідуючи описаним вище дослідження вплив ЕРС на шорсткість оброблювальної поверхні зменшується внаслідок зменшення зношення різального інструменту, то в нашому випадку необхідно було б відновляти геометрію інструменту кожен раз після попередньої обробки без ізоляції інструменту, як тільки він «переводився» в стан електроізолюваності. Але це твердження не зовсім

										-63-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						Лист

зменшенням дисперсії та середньоквадратичного відхилення. Мабуть такий вид спектру ЕРС сприяє полегшенню пластичної деформації, що може бути пов'язано з декількома варіантами: великої електризації поверхневого слою, зменшення швидкості окислювальних процесів на ювенільних поверхнях заготовки та інструменту та упорядкуванням теплового руху електронів [19].

Отже, можна зробити висновки, що змінна складова ЕРС різання в умовах автоматизованого виробництва має глибокий зв'язок із зношенням різального інструменту та формуванням поверхневого слою заготовки. Даний факт відкриває перспективи для створення систем контролю обробки деталей в умовах автоматизованого виробництва шляхом вимірювання змінної складової ЕРС різання.

2.7. Розробка і аналіз математичної моделі зношення різального інструменту на основі потужності та змінної складової ЕРС різання

В процесі роботи різального інструменту відбувається зміна форми його задньої поверхні і контуру різальної кромки, що спричиняє появу зношення різального інструменту та утворення канавки на задній поверхні різального інструменту. Це зношення безпосередньо впливає на шорсткість оброблюваної поверхні, що може говорити про нерівномірність контактних процесів, які представляють собою змінну складової ЕРС різання [31]. Після цього можна стверджувати, що найбільше джерело ЕРС локалізоване на задній поверхні інструменту. Тому електрична провідність на задній поверхні є вищою в порівнянні з провідністю на передній поверхні різального інструменту.

На основі експериментів ЕРС різання виражається за допомогою формули [3]:

$$E = U \frac{S_r}{f_n \cdot t} \cdot e^{-\frac{d}{v \cdot \tau_0}} \quad (2.7.1)$$

де U — контактна різниця потенціалів, В;

S_r — площа контакту інструменту з деталлю, мм² ;

f_n — подача на оберт, мм/об;

t — глибина різання, мм;

d — середній діаметр плями контакту інструменту з деталлю, мм;

v — параметр ступені апроксимації ділянки опорної поверхні деталі в зоні різання;

τ_0 — постійна стружкоутворення, с.

Дослідження показують, що на задній поверхні інструменту присутній пружно-пластичний контакт, що виникає в результаті хвилі пружного відновлення. Слід відмітити, що при обробці цілого ряду металів, особливо при чистовій обробці, інструмент переважно зношується по задній поверхні. При обробці деталей з чавуну, бронзи, латуні і інших крихких матеріалів утворюється стружка надлому, яка ковзає по передній поверхні інструменту. В цьому випадку з найбільшою інтенсивністю зношується головна задня поверхня інструменту. Аналогічна картина спостерігається і при різанні пластичних матеріалів в тих випадках, коли обробка ведеться з малою товщиною зрізу. При обробці матеріалів з пластичних металів малою або середньою для даного інструментального матеріалу швидкістю і товщиною шару, що зрізається, від 0,1 до 0,6 мм спостерігається, приблизно, однакова інтенсивність зношення як задньої, так і передньої поверхні інструменту.

Одним з основних параметрів, що визначає інтенсивність зношення інструменту є потужність різання. Потужність різання розраховується за наступною формулою [56]:

$$P_c = \frac{V_C \cdot t \cdot f_n \cdot k_{c0.4} \cdot k_{\rho\phi} \cdot k_{\rho f}}{60 \cdot 10^3} \quad (2.7.2)$$

де V_C — швидкість різання, м/хв;

t — глибина різання, мм;

f_n — подача на оберт, мм/об;

$k_{c0.4}$ — питома сила різання, залежить від виду і властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює нормальній силі різання при зрізанні стружки перетином 1 мм^2 з подачею 0.4 мм/об , МПа;

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата

$k_{p\varphi}$ — поправочний коефіцієнт на головний кут в плані;

k_{pf} — поправочний коефіцієнт на величину подачі;

У роботах [8-10] вказується, що при обробці деталей приладів різальним інструментом в умовах автоматизованого виробництва при відносно не великій потужності різання адгезійне зношення здійснюється шляхом крихкого руйнування великих і вириванні дрібних зерен карбідів. Поява мікротріщин сприяє розриву більшого числа зерен карбідів, у тому числі і великих, таких, що глибоко залягають. Із збільшенням потужності різання крихке руйнування зерен карбїду виключається і зношення зменшується. При подальшому підвищенні потужності інтенсивність зношення збільшується унаслідок виривання карбїдів. Цьому сприяє інтенсифікація процесів пластичної течії на контактних поверхнях. Характерним для пластичної течії є зниження міцності міжфазних меж зерен, розм'якшення і порушення зв'язків між зернами карбїдів і їх зрушення. Це створює умову для інтенсифікації адгезійного руйнування твердих сплавів при високій потужності різання шляхом відриву як дрібних, так і великих зерен карбїдів. Проте поблизу різальної кромки частка адгезійних руйнувань при високих швидкостях різання в загальному об'ємі мала, тому зношення слід класифікувати як пластичне.

В результаті зношення по задній поверхні зменшується задній кут, при цьому контакт з оброблюваною деталлю відбувається по задній поверхні, утворюючи додаткове джерело тепловиділення, що у свою чергу викликає різке збільшення зношення різального інструменту [28]. За наростоутворенням наступає область, де відбувається об'ємний перебіг м'якшої поверхні, зварювання і розрив контактуючих поверхонь. Отже, при роботі в умовах низької потужності визначальним видом зношення є абразивне зношення, яке обумовлене наявністю в матеріалі заготовки частинок твердіших, ніж інструмент. При підвищенні температури розділові плівки між інструментом і деталлю руйнуються, виникає чистий металевий контакт, тобто відбувається зварка ювенільних поверхонь. При подальшому підвищенні температури відбувається розрив адгезійних зв'язків двох матеріалів, що приводить до різкого підвищення зношення різального ін-

струменту.

Використовуючи дані формули (2.7.1 та 2.7.2) та знаючи величину наявного зношення різального інструменту (Δe_3) можна провести аналіз ступені зношення різального інструменту в даний момент (e_3), розраховуючи інтенсивність зношення (j_3). Для цього необхідно використати наступну математичну модель зношення різального інструменту, по якій можна здійснювати прогнозування зношення інструменту [36].

Математична модель зношення різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва основана на вимірюванні змінної складової ЕРС різання та потужності виглядає наступним чином:

$$h_3 = \Delta h_3 \cdot k_w \cdot j_3 \cdot U \cdot \frac{S_r \cdot V_c \cdot k_{c0.4} \cdot k_{\rho\phi} \cdot k_{\rho f}}{P_c \cdot 60 \cdot 10^3} \cdot e^{-\frac{d}{v \cdot \tau_0}} \quad (2.7.3)$$

Де e_3 - ступінь зношення різального інструменту, мм;

Δe_3 - наявне зношення різального інструменту, мм;

k_w - поправочний коефіцієнт по співвідношенню зношення інструменту і змінної складової ЕРС різання, який визначається експериментально для різних комбінацій матеріалів “інструмент-деталь”;

j_3 - інтенсивність зношення різального інструменту;

U - контактна різниця потенціалів, В;

S_r - площа контакту інструменту з деталлю, мм ;

V_c - швидкість різання, м/хв;

$k_{c0.4}$ - питома сила різання, залежить від виду і властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює нормальній силі різання при зрізанні стружки перетином 1 мм^2 з подачею 0.4 мм/об, МПа;

$k_{\rho\phi}$ - поправочний коефіцієнт на головний кут в плані;

$k_{\rho f}$ - поправочний коефіцієнт на величину подачі;

d - середній діаметр плями контакту інструменту з деталлю, мм;

v - параметр ступені апроксимації ділянки опорної поверхні деталі в зоні рі-

зання;

τ_0 - постійна стружкоутворення, с.

Особливу увагу слід приділити впливу різниці потенціалів U , який безпосередньо впливає на змінну складову ЕРС різання, на задній поверхні різального інструменту на його зношення. З (2.7.3) ступінь впливу різниці потенціалів U на задній поверхні інструменту на зношення e_3 залежить від параметру ν . Встановлена межа величини ν від 0,4 до 2,0. Тому при $0,4 < \nu < 1$ величини e_3 і U прямопропорційні, при $1 < \nu < 2$ - оберненопропорційні, а при $\nu=1$ e_3 і U є незалежними величинами. На рис.13 представлений графік $e_3 = f(U)$ для різних ν .

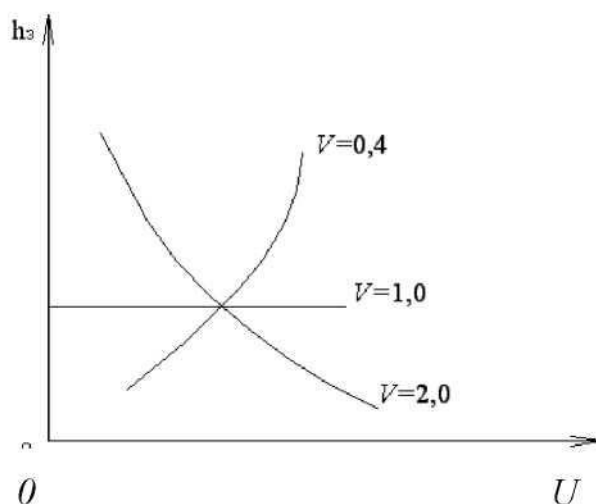


Рис.13. Дія змінної складової ЕРС різання на зношення різального інструменту для різних величин параметру ступені апроксимації ділянки опорної поверхні деталі в зоні різання.

Також можна відзначити, що із збільшенням контакту інструменту з деталлю збільшується змінна складова ЕРС різання, а залежність зношення від змінної складової ЕРС різання або потужності різання носить досить складний характер, який залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного і інструментального матеріалів.

Збільшення головного кута в плані може трішки зменшити зношення. Із збільшенням ϕ зменшується температура, а також змінюється напрям дії

результуючої сили різання, що оберігає інструмент від зношення [40].

Дослідження показують, що електричні явища істотним чином впливають на стійкість різального інструменту. Найбільше підвищення стійкості інструменту може бути отримане за умови зовнішньої компенсації. Дійсно, згідно отриманої нами формули, при $U \rightarrow 0$, величина зношення різального інструменту зменшується за інших рівних умов.

Там же указується, що електричний струм, що підводиться, сприяючи окисленню поверхні контакту, змінює коефіцієнт тертя і інтенсивність зношення. Слід зазначити, що очевидно, не стільки змінюється коефіцієнт тертя, скільки змінюється змінна складова ЕРС різання, а також величина σ_T . За рахунок чого відбувається зміна зношення різального інструменту.

Аналіз останньої формули показує, що U і e_3 лінійно залежні величини. Цим можна пояснити, що по початковій ЕРС різання можна судити про зношення різального інструменту, на чому і заснований вхідний контроль різальних пластинок. Параметри, що входять до цієї формули взаємопов'язані і лише в деякому наближенні можна виразити залежність величини зношення різального інструменту від якого не будь параметру.

Безперервні флуктуації в процесі різання температури контактних поверхонь, сил різання, товщини окисної плівки, мікрогеометрії взаємодіючих поверхонь приводить до зміни відповідно межі текучості (σ_m) оброблюваного матеріалу, контактної різниці потенціалів (U), діаметру плями контакту (d), параметру ν ступені апроксимації ділянки поверхні деталі в зоні різання. Змінна складова ЕРС відображає нестійкість процесу різання.

Діапазон частот сигналу змінної складової ЕРС різання, відповідний виду зношення різального інструменту, визначається перш за все потужністю різання. Тому, вимірювання сигналу змінною складової ЕРС різання дозволить отримати достовірну інформацію про стан різального інструменту безпосередньо в процесі обробки деталей приладів в умовах автоматизованого виробництва.

Можна зробити висновок, що між ЕРС різання і зношенням різального ін-

струменту по задній поверхні існує взаємозв'язок, який носить складний характер. Складність полягає в тому, що цей взаємозв'язок виявляється через цілий ряд параметрів, одним з яких є величина контактної різниці потенціалів, яка залежить від різниці робіт виходу електрону матеріалів різальної частини інструменту та деталі. А величина роботи виходу електрону у свою чергу залежить від ступені пластичної деформації, дефектності кристалічної решітки, її структури дислокації, температури, окислення та інших факторів.

							-71-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата			Лист

Висновки до розділу

1. Розгляд процесу різання матеріалів з фізичної точки зору дозволив виділити такі фізичні параметри, як електричні сигнали супроводжуючі процес різання і пов'язані з явищами тертя і зношення, які відбуваються на контактних поверхнях різального інструменту та оброблюваної деталі.

2. Досліджено основні причини генерування електричних сигналів при різанні, до яких відноситься змінна складова ЕРС різання. Показано, що пластична деформація, температура і електронна будова матеріалів інструменту і деталі визначають електричні явища при різанні металів.

3. Доведено, що між електричними явищами різними видами зношення різального інструменту існує безпосередній зв'язок.

4. Встановлено взаємозв'язок змінної складової ЕРС різання з обробленою поверхнею деталі й параметрами шорсткості.

5. Теоретично встановлено, що вимірювання в процесі різання електричних сигналів та потужності дозволить одержати достовірну інформацію про процеси, що відбуваються на контактних поверхнях різального інструменту з оброблюваною поверхнею, за допомогою розробленої нової узагальненої математичної моделі, яка описує залежність параметрів зношення різального інструменту від потужності різання та змінної складової ЕРС різання.

3. Розробка і дослідження системи для контролю зносу різального інструменту проведення лабораторних випробувань, аналіз результатів.

3.1. Визначення конструктивних параметрів вимірювального пристрою і розробка схеми підсилювача.

На БТА з ЧПК, верстатів-автоматів, що розробляються Житомирським заводом, в якості робочих органів, що несуть різальні інструменти, використовуються багатопозиційні револьверні голівки (РГ). Для револьверних голівок можна рекомендувати, показані на рис.14, схеми розташування пристрою для виміру змінної складовою ЕРС різання. Вимірювальний пристрій може бути розташований в корпусі інструментотримача (рис.14а), в кожному з лунок револьверної голівки (рис.14б) або на санчатах револьверного супорта (рис.14в), концентрично осі обертання РГ. Недоліком схеми, показаної на рис.14а, є необхідність установки електричного роз'єму між інструментотримачем і корпусом РГ, що зробить складнішою автоматичну зміну інструментотримачів.

Крім того, для передачі сигналу з вимірювального пристрою (ВП) у блок реєстрації і аналізу ЕРС різання, необхідно встановити контактний пристрій (ОКП), що обертається, між РГ і санчатами револьверного супорта, яке після повороту і фіксації РГ підключатиме в ланцюг виміри тільки ВП інструментотримача, який використовується в поточному переході обробки.

Схема, що показана на рис.14б, краща за попередню, оскільки виключається використання роз'ємів. Проте, для цієї схеми також потрібна установка ОКП.

Схема на рис.14в, з точки зору забезпечення зв'язку ВП з блоком реєстрації і аналізу ЕРС різання найбільш краща, оскільки відпадає необхідність використання ОКП. Проте, така схема має істотний недолік, а саме, значними габаритними розмірами осердя ВП. Аналіз формули показує, що величина змінної складової ЕРС різання прямопропорційна площі поперечного перерізу осердя і оберненопропорційна його довжині. Тому, чим більше довжина осердя, тим

більше має бути площа його поперечного перерізу для видачі необхідного сигналу з ВП.

Окрім вказаних на рис.14 схем установки, ВП може бути закріплене безпосередньо на різці. Цьому варіанту установки ВП властиві недоліки схеми рис.14а.

Рішення про вибір схеми установки ВП може бути отримане після аналізу конструктивних особливостей кожного окремого вузла, що несе різальні інструменти.

Для посилення сигналів, що поступають з ВП, використаний підсилювач, схема якого приведена на рис.15.

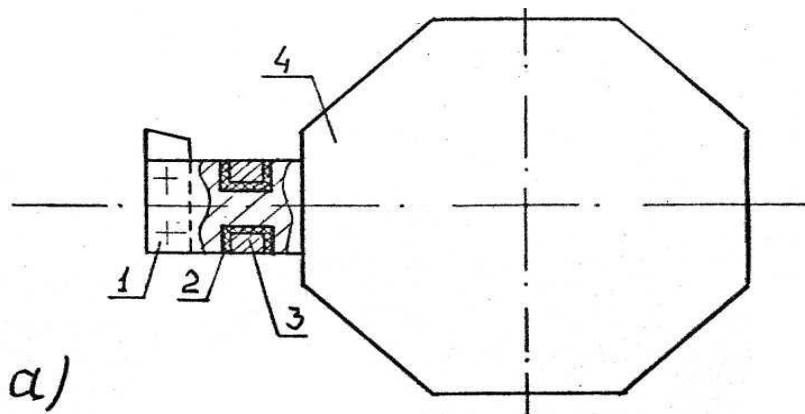
Підсилювач включає два каскади посилення на мікросхемах типу К140УД7, розділених між собою RC-фільтром. Параметри RC-фільтру підібрані таким чином, що він пропускає сигнали, частоти яких знаходяться в діапазоні від 5 до 10 кГц. Цей діапазон частот відповідає частоті, що виникає при різанні, змінній складової ЕРС. На виході підсилювача встановлений випрямляч типу КЦ405Б і згладжуючий фільтр. Блок живлення підсилювача двополярний з середньою точкою.

Коефіцієнт посилення підсилювача може регулюватися зміною опорів R_2 і R_4 . Для першого каскаду коефіцієнт посилення дорівнює відношенню R_2 / R_1 , для другого — відношенню R_4 / R_3 .

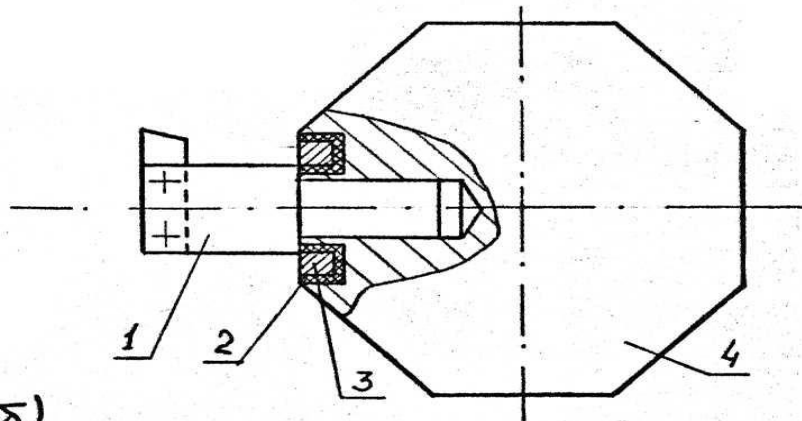
Для налаштування підсилювача необхідно з'єднати вхід з середньою точкою схеми і встановити нульове значення сигналу послідовно в точках А, Б, С регулюючи опір резисторів R_5 , R_6 і R_7 відповідно.

Приведена схема підсилювача забезпечує високий коефіцієнт посилення сигналу, проста в налаштуванні і надійна в експлуатації.

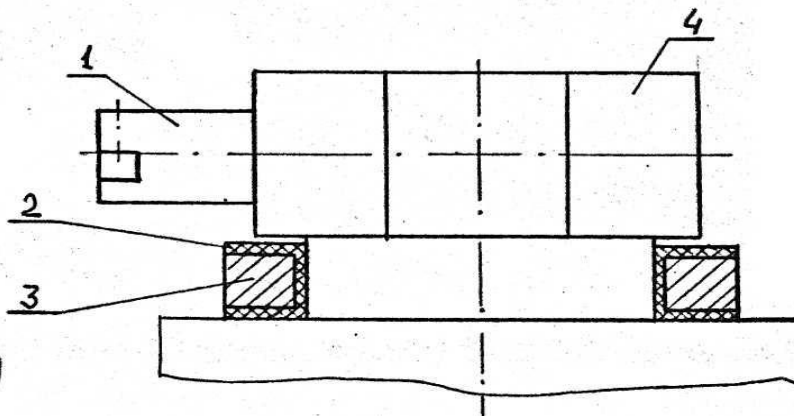
							-74-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата			Лист



a)



б)



в)

Рис.14. Схеми установки пристроїв для виміру ЕРС різання: 1- інструментотримач; 2- ізолятор; 3- вимірювальний пристрій (ВП); 4 - револьверна голівка.

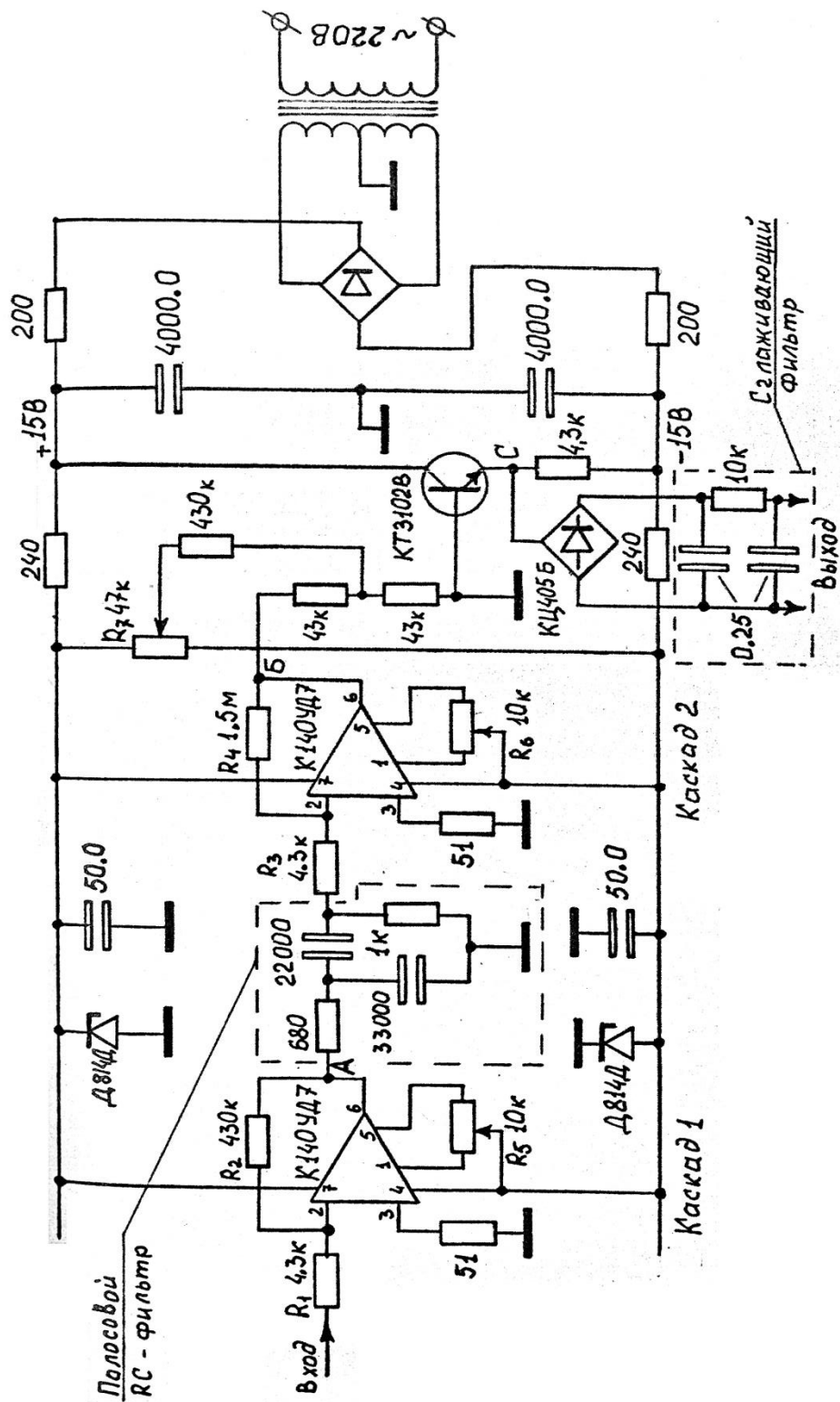


Рис.15. Схема двокаскадного підсилювача з RC-фільтром.

3.2. Експериментальні дослідження пристроєм для виміру змінної складовою ЕРС різання.

Експериментальні дослідження пристроєм для виміру змінної складовою ЕРС різання проводилися на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16А16.

Реєстрація сигналів змінною складовою ЕРС різання проводилася за допомогою шлейфогого осцилографа типу Н-П5, а калібрування сигналів проводилося на електронно-променевому осцилографі типу С1-18.

Поломка різального інструменту імітувалася при різанні деталі, в якій встановлений штифт.

Можливі два варіанти виходу інструменту з ладу: перший - коли викрихтуються дрібні елементи різальної частини інструменту, при цьому в процес різання вступають відразу декілька " різальних кромок", фактична площа контакту зростає у декілька разів; другий - коли руйнуються великі елементи інструменту, при цьому процес різання припиняється за рахунок відсутності контакту між інструментом і деталлю.

На рис.16 приведені записи сигналів змінної складовою ЕРС різання при обточуванні циліндричної заготовки із сталі 45 прохідними різцями з твердосплавною пластинкою Т15К6.

На рисунку 28 позначено: 1 - обробка деталі з глибиною різання 0,5мм; 2 - обробка до поломки різця (викрихтування різальної кромки) при глибині різання 0,5мм; 3 - обточування ступінчастого зразка з глибиною припуску, що знімається, 1,5; 3,0 і 4,5мм.

Проведені експерименти показали, що облаштування діагностики забезпечує високу чутливість до змін, що відбуваються в процесі обробки.

Як впливає з позиції 1 рис.28 сигнал про наявність різання досягає свого номінального значення, рівного для цієї схеми підсилювача 2В, через 0,04сек. Висока швидкодія схеми дає можливість використати вимірювальний пристрій в якості датчика торкання, який може давати команду в систему ЧПК на

перемикання подачі зі швидкої на робочу і навпаки, або може бути використаний для включення і виключення контролю поломки різального інструменту.

Як впливає з поз.2 рис.16 сигнал при поломці різця зростає через 0,06сек більше, ніж в 2 рази відносно номінального значення і складає 4,8В. При продовженні процесу різання різцем викрихтуваною різальною кромкою через 0,56с сигнал досяг максимального значення 7,6В.

Звідси витікає, що блок управління порогом датчика поломки необхідно налаштувати таким чином, щоб при збільшенні сигналу в процесі різання більш ніж в 2 рази впродовж 0,04 ...0,06сек. відбувалося відключення приводу подачі верстата, або відключення верстата передачею операторові світлового або звукового сигналу про несправність. Як показала осцилограма, приведена на рис.28 поз.3, система діагностики реєструє також зміни умов протікання процесу різання.

На першій ділянці осцилограми при обточуванні циліндричного зразка з глибиною різання 1,5мм сигнал не перевищує 2В. При переході до обточування деталі з глибиною різання 3мм помітно у момент різання короткочасне збільшення сигналу до 4В, тобто в два рази, з подальшою його стабілізацією до номінального значення, при переході до обточування з глибиною 4,5мм сигнал досягає найбільшого значення 6В.

Звідси витікає, що система діагностики може бути використана також для контролю випадкових змін умов протікання процесу різання не пов'язаних з поломкою різального інструменту.

З наведеного вище виходить, що використання змінної складовою ЕРС різання як діагностичного сигналу, забезпечує безконтактне знімання електричних сигналів, точність і надійність вимірів, а також можливість використання пристрою у виробничих умовах.

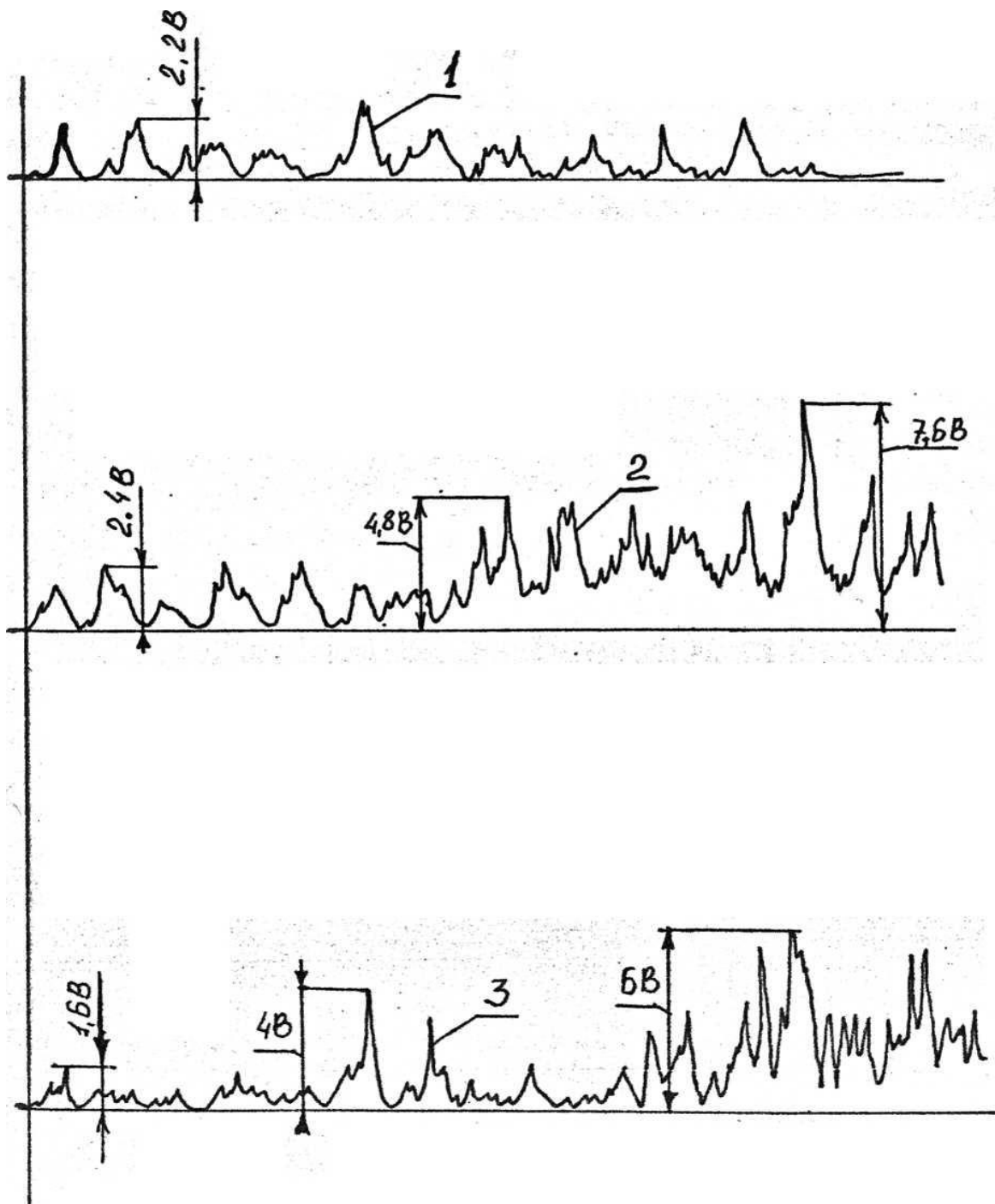


Рис.16. Осцилограми сигналів змінної складової ЕРС різання: 1 - обробка деталі з глибиною різання 0.5 мм; 2 - обробка до поломки різця; 3 - обточування ступінчастого зразка.

3.3. Експериментальні дослідження системи контролю процесу обробки деталей в умовах автоматизованого виробництва. Методика проведення експериментальних досліджень

На основі проведеного аналізу розроблена система контролю обробки деталей приладів в умовах автоматизованого виробництва на верстатах з ЧПК, що дозволяє реєструвати критичне зношення та поломку різального інструменту.

Тому, був розроблений пристрій для вимірювання ЕРС різання без застосування струмознімача, ізоляції інструмента й деталі від маси верстата, що дасть можливість широко використовувати його у виробничих умовах.

Розроблений пристрій складається з магнітного торроїдального феритового сердечника, встановленого безпосередньо в різцетримачі і охоплює державку різального інструменту. А котушка обмотки встановлена на іншому кінці магнітного сердечника. Виникаюча в процесі різання ЕРС викликає протікання в обробній системі змінного струму, при цьому обробну систему можна представити у вигляді одного витка первинної обмотки. Змінний струм, що протікає по різальному інструменті, наводить змінний магнітний потік у сердечнику. При вимірюванні використовують режим холостого ходу трансформатора струму. У цьому режимі магнітний потік збільшується в наслідок відсутності струмів розмагнічування, що у свою чергу різко збільшує ЕРС у вторинній обмотці. Електрорушійна сила, що виникає у вторинній обмотці, залежить від конструктивних параметрів сердечника, числа витків вторинної обмотки, сили струму, що протікає по різцю, і частоти зміни магнітного потоку. Величина частоти зміни магнітного потоку пропорційна частоті зміни струму й відповідно ЕРС різання.

При проведенні експериментів режими різання змінювалися в наступних межах: швидкість різання V від 2 до 480 м/хв, подача S від 0,06 до 0,3 мм/об,

глибина різання t від 0,3 до 1 мм, геометрія різальної частини інструменту: $\gamma = 3^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\lambda = 0^\circ$.

											-80-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата							Лист

Використовувалися спеціальні токарні прохідні різці з механічно закріпленими різальними пластинками ВК8. Оброблюваний матеріал - Сталь 45.

Зношення по задній грані вимірювалось за допомогою інструментального мікроскопа УМІ N5807 з ціною поділки 0,01 мм.

Експериментальні дослідження, які стосуються вимірювання характеристик при холостому ході, проводилися на верстатах моделі 1К62ПУ, 1А616.

Для дослідження правильності роботи системи, що будувалася у розділі II було проведено наступний експеримент: заготівка оброблялася при різних швидкостях різання зі сталюю подачею та глибиною різання. Після кожної обробки вимірювалася шорсткість отриманої поверхні за допомогою приладу для вимірювання шорсткості поверхні MarSurf PS1, загальний вид якого представлений на Рис.21. Прилад складається з вимірюючого щупа, який дозволяє виконувати вимірювання в будь-якому положенні без потреби в регулюванні протягом установки. Максимальний діапазон вимірювання — 350 мкм (від -200 мкм до +150 мкм).

Завдяки широкому діапазону, MarSurf PS1 має широке розмаїття застосувань, а саме:

- для деталей типу колінчастих або розподільних валів, які вимірюються в осьовому напрямку, можливе застосування додаткового адаптера для поперечного вимірювання;
- додатковий V-подібний кронштейн дозволяє проводити вимірювання на плоских і циліндричних поверхнях будь-яких деталей.

Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата



Рис.21. Прилад для вимірювання шорсткості поверхні MarSUrф PS1

Дослідження проводили, використовуючи вал Сталь 45. Базова довжина вимірювання складала 0,8 мм, діаметр заготовки – 30 мм.

При вимірюванні зразка ($L_t = 5.60$ мм; $L_c = 0.80$ мм; $n = 5$; $A = 0.50$ мм; $B = 2.50$ мм, де L_t – вимірювальна довжина, L_c – довжина відрізка, n – число вибірки довжини, A – оператор максимальної довжини шорсткості, B – оператор максимальної довжини хвилястості), отримали такі результати:

- a. $R_a = 5.183$ мкм;
- b. $R_z = 25.8$ мкм;
- c. $R_x = 65.5$ мкм.

Провівши дане дослідження, отримали такий вид профілограми (Рис.22):

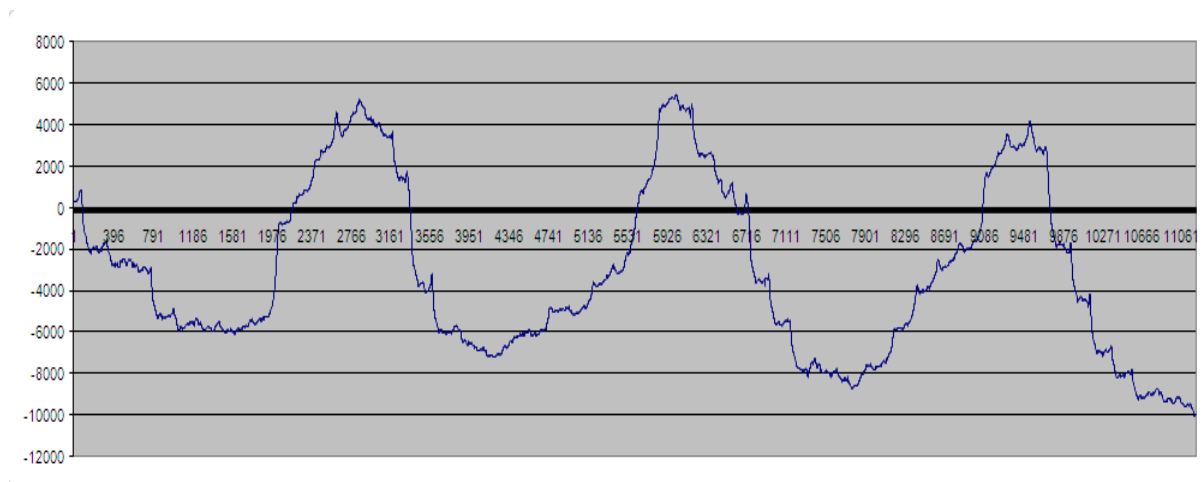


Рис. 22. Профілограма зразка Сталь 45

Загалом було проведено 8 вимірювань і побудовано графік залежності зміни шорсткості від швидкості. Графік було порівняно з теоретичним (Рис. 23). На основі порівняння було зроблено висновок, що побудована система працює вірно і придатна для ряду наступних теоретичних досліджень.

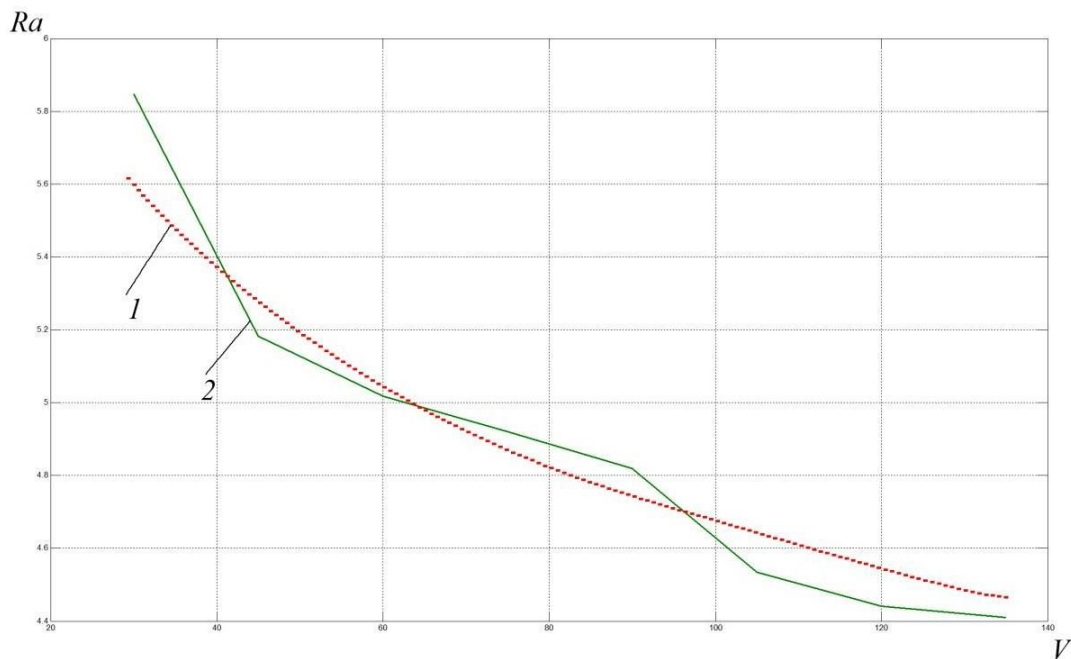


Рис. 23. Залежність шорсткості від швидкості різання. 1 – теоретична, 2 – експериментальна

На основі математичної моделі було побудовано наступні залежності: залежність шорсткості від подачі – Рис. 24, та залежність шорсткості від глибини різання Рис.25.



Рис.24. Залежність шорсткості від подачі

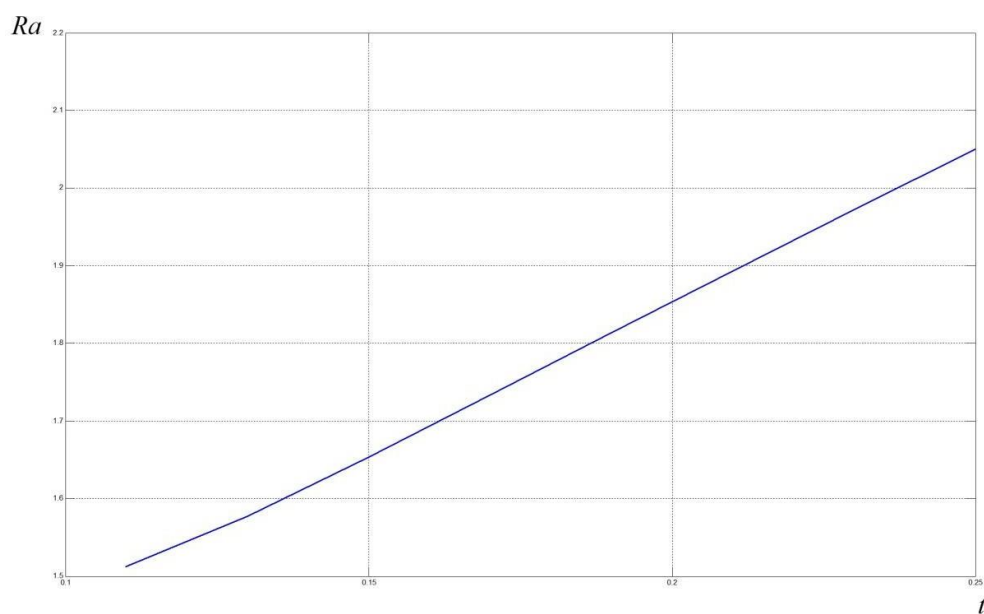


Рис.25. Залежність шорсткості від глибини різання

Аналізуючи отримані залежності можна зробити висновок, що шорсткість у більшій мірі залежить від швидкості різання та у меншій від подачі та глибини, при чому, залежність від швидкості – прямо обернено

пропорційна, а від подачі та від глибини – пропорційна. Це означає, що чим вища швидкість, тим менша шорсткість отриманої поверхні.

Найбільшу ефективність від контролю процесу обробки деталей приладів в автоматизованому виробництві можна отримати тоді, коли контроль буде оснований на інформації, яка безпосередньо пов'язана з фізичними процесами, які відбуваються на контактуючих поверхнях різального інструменту. З цієї точки зору електричні сигнали, що генерують при різанні, несуть інформацію про фізичні процеси в зоні різання. Крім того електричні сигнали не потребують підсиленнь, перетворень і забезпечують надійність отримання інформації.

Виникаюча в процесі різання електрорушійна сила складається із змінної і постійної складової. Зміна складова характеризує коливання енергії на контактних поверхнях і викликає протікання в обробляючій системі змінного струму.

Вимірювання змінної складової ЕРС різання являється в наш час доволі складною і до кінця ще не вирішеною задачею. Як правило вимірюють змінну складову ЕРС різання, використовуючи струмознімальний пристрій і ізолюючи різальний інструмент і деталь від маси верстату, що знижує універсальність обладнання і призводить до технічних труднощів реалізації. Використання цього методу потребує ретельного дослідження струмознімального пристрою в момент всього періоду роботи. Це викликано тим, що струмознімальник вносить перешкоди в канал вимірювання змінної складової ЕРС різання, а також виступає в якості фільтра, що згладжує високочастотні гармоніки сигналу.

Можна зробити висновок, що існуючі до цього часу пристрої контролю стану інструменту на основі змінної складової ЕРС різання в силу вищеперерахованих недоліків не знаходять широкого використання на виробництві. Тому була поставлена задача розробки для вимірювання змінної складової ЕРС різання без використання струмознімального пристрою, ізоляції інструмента і деталі від маси верстату, що дасть можливість широко використовувати його в промислових умовах. Досліди показали, що застосування методу трансформатора струму дозволить розв'язати цю задачу.

Пристрій для вимірювання змінної складової ЕРС різання можна представити в наступному вигляді (Рис.26). Магнітний тороїдальний феритовий

сердечник 1 встановлюють на ізоляційні прокладки 2 які прикріплені до державки 3 різального інструменту. Котушка обмотки 4 встановлена на іншому кінці магнітного сердечника. Можливі також варіанти вбудовування пристрою безпосередньо в різцетримач. На рис.27 представлена принципова схема пристрою, що дозволяє розглянути його роботу. В процесі різання виникає змінна складова ЕРС, яка викликає протікання в обробній системі змінного струму, при цьому обробну систему можна представити у вигляді одного витка первинної обмотки. Змінний струм протікає по різальному інструменту та наводить змінний магнітний потік Φ в осерді I. При вимірюванні використовуємо режим холостого ходу трансформатора струму.

В цьому режимі магнітний потік Φ збільшується внаслідок відсутності струмів розмагнічування, що в свою чергу різко збільшує ЕРС E_ϕ у вторинній обмотці. Магніторушійна сила в первинній обмотці виражається в наступному вигляді:

$$F_m = I_1 * W_1, \quad (3.4.1)$$

де I_1 - струм, що протікає по різального інструмента,

W_1 - число витків в первинній обмотці ($W_1=1$).

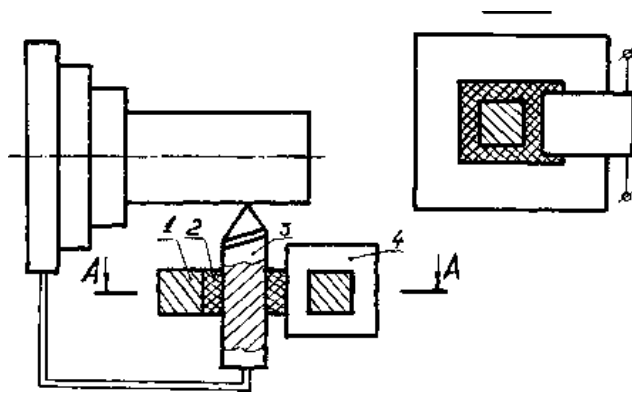


Рис.26. Пристрій для вимірювання змінної складової ЕРС. 1 - феритовий сердечник, 2 - ізоляційні прокладки, 3 - державка різального інструменту, 4 - котушка.

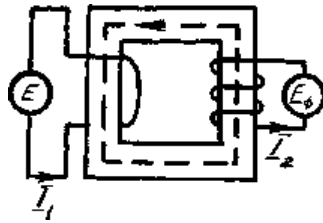


Рис.27. Принципова схема роботи пристрою для вимірювання змінної складової ЕРС різання.

Магнітний опір R_m осердя визначається по формулі:

$$R_m = \frac{L_m}{\mu' \cdot S_m}, \quad (3.4.2)$$

де L_m — довжина ділянки магнітного ланцюга, м;

S_m — площа перерізу магнітопроводу, m^2 ;

μ' — магнітна проникність матеріалу осердя.

А магнітний потік Φ_m в осерді дорівнює:

$$\Phi_m = \frac{F_m}{R_m} = \frac{I_1 \cdot W_1 \cdot S_m \cdot \mu'}{L_m} \quad (3.4.3)$$

ЕРС, що виникає у вторинній обмотці:

$$E_\phi = \frac{d\Phi_m}{dt} \cdot W_2 \quad (3.4.4)$$

де W_2 — число витків у вторинній обмотці.

Підставляючи (3.4.1), (3.4.2), (3.4.3) в (3.4.4) отримаємо:

$$E_\phi = 2\pi \cdot W_2 \cdot \mu' \cdot f_m \cdot \frac{S_m}{L_m} \cdot I_1 \quad (3.4.5)$$

де f_m — частота зміни магнітного потоку.

Аналіз (3.4.5) показує, що електрорушійна сила E_ϕ , що виникає у вторинній обмотці залежить, з одного боку, від конструктивних параметрів сердечника і чис-

ла витків вторинної обмотки, а з іншого боку від сили струму, що протікає по різцю, і частоти зміни магнітного потоку. Величина частотизміни магнітного потоку пропорційна частоті зміни струму і відповідно ЕРС різання.

Отже, вимірювання ЕРС у вторинній обмотці дозволить виміряти змінну складову ЕРС різання.

Вимірювання потужності різання має декілька варіантів реалізації. Можна виділити три найбільш прості в реалізації способи вимірювання потужності різання.

Перший спосіб полягає в безпосередньому вимірюванні напруги та сили струму, що проходить через електродвигун за допомогою вольтметра та амперметра. Але даний спосіб має декілька недоліків, одними із яких є часткове втручання в електричну схему двигуна та підвищена небезпека під час виконання вимірювань. Даний спосіб можна віднести до лабораторного і непридатного до використання в умовах автоматизованого виробництва.

Другий спосіб ґрунтується на використанні сучасного реле контролю потужності електродвигуна що дозволяє з достатньою частотою та в достатньому інтервалі вимірювати активну потужність електродвигуна. В табл.3.4.1 наведено технічні характеристики зазначеного реле, а на рис. 27 наведено схему підключення даного реле в схему електродвигуна.

Таблиця 3.4.1 – Технічні характеристики

<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
Вимірювальна величина	Споживана активна потужність
Діапазон вимірювання	0,5...4 кВт
Максимальний комутований струм	5А
Періодичність вимірювань	0,01...50 с
Робоча температура	Від -25 до +55 °С

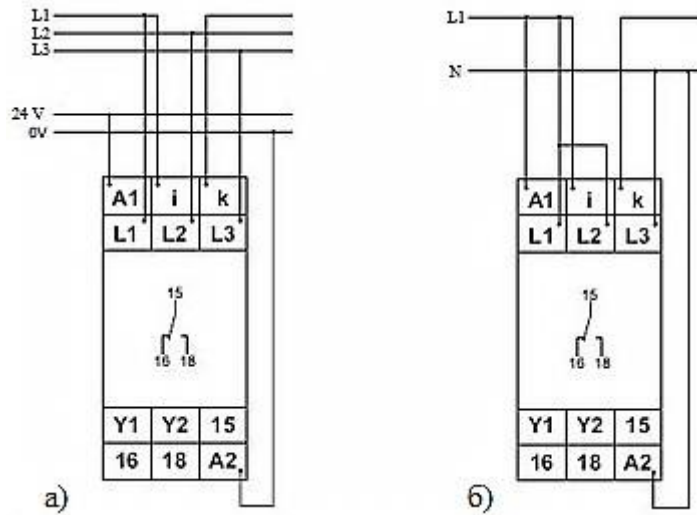


Рис.28. Схема підключення: а – до мережі 3~400В з модулем живлення 24В;
б - до мережі 1~230В з модулем живлення 230В

Використання такого реле є безумовно найкращим варіантом для вимірювання активної потужності електродвигуна.

Третій спосіб реалізується за допомогою вбудованого реле контролю потужності електродвигуна, які зараз встановлюються майже на всі верстати.

Залежність величини зношення різального інструменту від змінної складової ЕРС різання та потужності

Проведені дослідження показали, що при вимірюванні ЕРС різання виникають похибки, і тому у виробничих умовах ускладнений контроль зношення різального інструменту по ЕРС різання безпосередньо в процесі обробки.

Проте початкові значення величини ЕРС різання, тобто ті значення, які вимірювальний прилад зафіксував в перші секунди після початку різання, коли відсутня одна з перешкод вимірюваного сигналу — контактна термо-ЕРС, несуть інформацію про стійкість різального інструменту.

Таким чином по початкових значеннях змінної складової ЕРС різання можливе розбраковування різальних пластин по стійкості. Початкові значення ЕРС різання характеризують фізико-хімічні взаємодії в зоні контакту інструменту з деталлю. Чим менше початкові значення ЕРС різання, тим менш інтенсивно

проходять процеси тертя і зношення в контактних зонах і відповідно більше стійкість різального інструменту [53]. Разом з тим, як показали представлені вище експериментальні дослідження, початкові значення ЕРС різання залежать не тільки від стійкості різального інструменту, але і від режимів різання, інструментального і оброблюваного матеріалів. Для усунення цього недоліку був запропонований спосіб визначення зношення інструменту, який полягає у вимірюванні величини відношення початкових значень, ЕРС зафіксованих в перші секунди від початку різання, до значень ЕРС після декількох хвилин різання. При цьому величина відношення визначається тільки зношенням різального інструменту і не залежить від металорізального верстату, на якому проводиться обробка, способу кріплення різальної пластинки, матеріалів інструменту і деталі, режимів різання, геометрії різальної частини інструменту і інших параметрів.

Також можливим шляхом визначення зношення інструменту можуть слугувати різноманітні методи математичного моделювання, які зараз все більше використовуються для моделювання складних технологічних процесів.

Одним із найбільш привабливих методів для прогнозування зношення різального інструменту, завдяки своїй універсальності і точності, являється нечіткий метод групового врахування аргументів (МГВА). Під час проведення дослідів стала очевидною така особливість, як напрямок вимірювання опору підшипників, тобто в якому напрямку проводиться вимірювання, від 12,5 до 2000 об/хв., чи навпаки. Графічно дана особливість зображена на рис. 29.

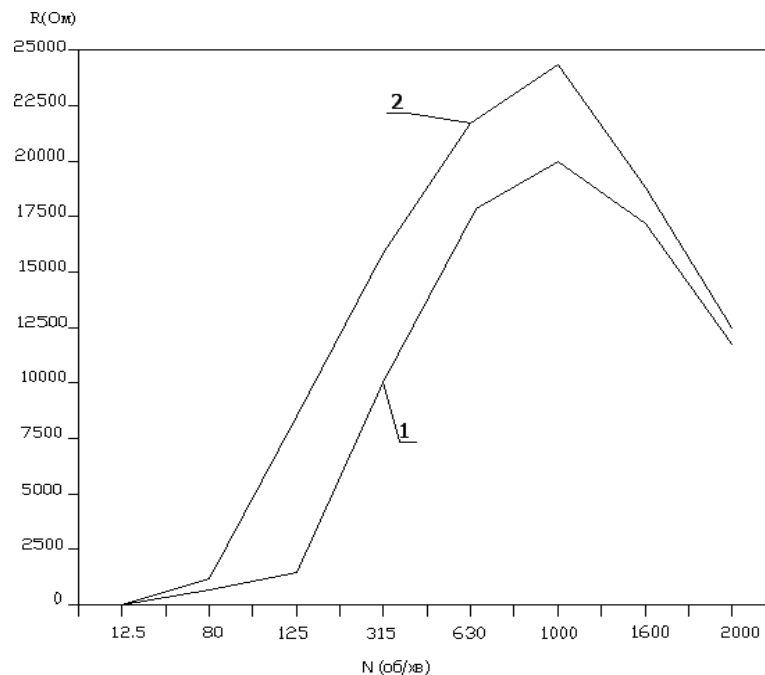


Рис.29. Залежність опору R від кількості обертів n: 1 — напрямок вимірювання від 12,5 до 2000 об/хв.; 2 — напрямок вимірювання від 2000 до 12,5 об/хв. (матеріал Д16, інструмент ВК8, подача $S = 0,06$ мм/об, глибина різання $t = 0,5$ мм, діаметр заготовки $d = 77$ мм).

Отже:

1. Вимірювання значення складової змінної ЕРС різання із зони різання здійснювалось за допомогою спеціально розроблених пристроїв, встановлених безпосередньо на устаткуванні верстату.
2. Експериментально встановлено, що при зношенні різального інструменту змінна складова ЕРС різання зростає.
3. Розуміння залежностей шорсткості деталі від режимів різання, а також від зношення інструменту дає нам можливість побудови високоточної системи корекції для отримання деталей необхідної якості.

Висновки

1. Проведені дослідження облаштування діагностики працездатності різального інструменту показали, що використання змінної складовою ЕРС різання як діагностичного сигналу забезпечує безконтактне знімання електричних сигналів, точність і надійність вимірів, а також можливість використання пристрою у виробничих умовах.

Вимір змінної складовою ЕРС різання проводилися за допомогою пристрою, працюючого за принципом трансформатора струму. Висока швидкодія пристрою дозволяє використати його в якості датчика торкання, який може давати команду в систему ЧПК верстата на перемикання подання зі швидкою на робочу і навпаки, або може бути використаний для включення і виключення блоку контролю поломки різального інструменту.

2. У другому розділі звіту описані теоретичні дослідження взаємозв'язку потужності різання та змінної складової ЕРС із зношенням та поломкою інструменту

3. Приведені в третьому розділі звіту результати досліджень вимірювання значення складової змінної ЕРС різання із зони різання здійснювалось за допомогою спеціально розроблених пристроїв, встановлених безпосередньо на устаткуванні верстату. Експериментально встановлено, що при зношенні різального інструменту змінна складова ЕРС різання зростає. Розуміння залежностей шорсткості деталі від режимів різання, а також від зношення інструменту дає нам можливість побудови високоточної системи корекції для отримання деталей необхідної якості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Остафьев В.А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивная система управления. Механизация и автоматизация управления. 1983. №1. С. 18-20.
2. Остафьев В. А. Физические основы процесса резания под редакцией д.т.н. Остафьева В.А. / В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, С. П. Вислоух. - Киев: изд. «Вища школа», 1976. - 136-137 с.
3. Шевченко В. В. Діагностика працездатності різального інструменту при чистовому точінні на основі електромагнітних явищ. на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук / Шевченко Вадим Володимирович - К., 1985, с. 37-46.
4. Козочкин М.П. Динамика процесса резания. Теория, эксперименты, анализ / М. П. Козочкин. - LAP, 2013. - 296 с.
5. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент: [Учебник для машиностроит. спец. вузов] / П.И.Ящерицын, М.Л. Еременко, Н.И. Жигалко. - 2-е изд., доп. и перераб. - Мн.: Выш. Школа, 1981.- с. 7-10.
6. Куксенова Л.И. Методы испытания на трения и износ / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков. - М.: Интермет Инжиниринг, 2001. - 152 с.
7. Панов А.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин и др. М.: Машиностроение, 2004. - 416 с.
8. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка / И. Артингер. - М.: Металлургия, 1982. - 312 с.
9. Зорев Н. Н. Обработка резанием труднообрабатываемых материалов / Н. Н. Зорев. - Л.: Машиностроение, 1970. - с. 205-215.
10. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. - Киев: Техника, 1970. - 396 с.
11. Фетисов Г.П. материаловедение и технология металлов / Г.П.

							-93-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата			Лист

- Фетисов. - М.: Metallurgizdat, 2001. - 535 с.
12. Руководство по металлообработке Sandvik Соготані (технический справочник). - БАМОУЖ Согошапі, 2006. - 640 с.
13. Каніси Р. Спосіб визначення зношення різального інструменту [Патент Японія № 1209545, МПК В23 Q 17/00]. Каніси Ретсу, Фуззіцу К. К. Заяв., 1980.
14. Грицай І.Є. Різання металів. Теорія різання / І.Є. Грицай, М.Л. Кукляк. - Львів: Видавництво львівської політехніки, 2005. - 132 с.
15. Колев Н. С. Теоретичні і експериментальні дослідження тертя і зносу вольфрамокарбідних і титановольфрамокарбідних сплавів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук: спец. РІСХМ / Н. С. Колев. - Ростов- на- Дону, 1973.- 53 с.
16. Коробов Ю. М. Електромеханічний знос при терті і різанні металів / Ю. М. Коробов, Г. А. Прейс. - Київ: Техніка, 1976. - 200 с.
17. Коробов Ю. М. Дослідження електричних явищ при чистовому точінні / Ю. М. Коробов. [Зб. Електричні явища при терті, різанні, змащенні твердих тіл].- М.: Наука, 1973.- с.109-114.
18. Попов В.С. Зносостійкість, сплавів відновлення та зміцнення деталей машин / В.С. Попов. - Запоріжжя: Видавництво ВАТ «Мотор Січ», 2006. - 420 с.
19. Баскаков А. П. Теплотехника / А. П. Баскаков. - [2 изд.]. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - с. 77-103.
20. Авечников В. И. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПК / В. И. Авечников, А.В. Аверченков, М.В. Тетехов. - М.: ФЛИНТА, 2011 - 151 с.
21. Зайцев С.А. Контрольно-измерительные приборы и инструменты: Учебник / С.А. Зайцев, Д. Д. Грибанов, А. Н. Толстой, Р. В. Меркулов. - М.: Издательский центр “Академия”, 2003. - 464 с.
22. Постніков С. Н. Електричні явища при терті і різанні / С. Н.

						-94-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		Лист

- Постніков. - Горький: Волговят. кн.вид-во, 1985. - 284 с.
23. Остафьев В. О. Система контролю зносу інструменту на основі віброакустичного сигналу / В. О. Остафьев, В. В. Кокаровцев. [Зб. Підвищення ефективності виробництва в машинобудуванні на основі застосування технологічного устаткування з ЧПК] - К.: 1980. - 18 с.
 24. Васильев С. В. ЭДС и температура резания // Станки и инструмент. - 1980. - № 10. -С. 20-22.
 25. Лоладзе Т. Н. Міцність і зносостійкість ріжучого інструменту / Т. Н. Лоладзе. - М.: Машинобудування, 1982. - 320 с.
 26. Лурье Г.Б. Износ режущего инструмента / Г.Б. Лурье. - М.: Высшая школа, 1991. - 354 с.
 27. Остафьев В. О. Розрахунок динамічної міцності ріжучого інструменту / В. О. Остафьев. - М.: Машинобудування, 1979. - 168 с.
 28. Силін С. С. Встановлення критерійних залежностей при різанні металів на основі вивчення теплових явищ / С. С. Силін, М.:Машинобудування, 1966, с.102-137. - [В кн: Теплові явища і обробка різанням авіаційних матеріалів. Під ред. П.И.Бобриня. Праці МАТІ, Вип.64].
 29. Козочкин М. П. Способ определения износа режущего инструмента / Козочкин М. П., Григорьев С. Н., Порватов А. Н. - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский Государственный Технологический Университет "СТАНКИН".
 30. Кравченко В. Ф. Питання виникнення термо-ЕРС при різанні / В. Ф. Кравченко. Н., 1976. - с. 29-34.
 31. Плотников А. Л., Крылов Е. Г. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов. [Патент RU 2440031]. - Волгоградский государственный технический университет. - 2006.

						-95-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		Лист

32. Шевченко В. В. Диагностика працездатності різального інструменту при чистовому точінні на основі електромагнітних явищ. на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук / Шевченко Вадим Володимирович - К., 1985, с. 37-46.
33. Сариллов М.Ю., Максимов А.Ю. Контрольно-измерительный комплекс для контроля износа режущего инструмента. [Патент RU 2246072]. - Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. - 2001.
34. Залого В. А., Нагорный В. В. Оценка степени сноса инструмента методом виброакустики. [Патент иА 24673].. - Вісник СумДУ. Серія Технічні 88 науки”, №4’ - 2011.
35. Внуков Ю. Н, Дубровин В.И., Афонин Ю.С., Манило Т.В. Моделирование износа инструмента по результатам вейвлет-преобразования звукового сигнала. Стаття. - Запорожский национальный технический университет. - 2007.
36. Сероухов П.Ю., Пушков Р.Л. Контроль и прогнозирование износа режущего инструмента при помощи подсистемы диагностики. Стаття. - Московский государственный технологический университет. - 2009.
37. Егоров А.В. Способ измерения мощности резания материала [Патент РФ №2460051]. - 2011.
38. Зориктуев В.Ц. Устройство для измерения мощности резания [Патент SU №1282967] / Зориктуев В.Ц., Исаев Ш.Г., Никин А.Д., Миннихметов Р.Н, Антаков В.Б. - Тверской М.М. Автоматическое управление обработки деталей на станках. - М., 1982, с. 141-143.
39. Мартинов Г. Н., Синопальников В. А., Григорьев А. С. Устройство контроля износа и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента для системы ЧПК станка. [Патент RU 220574].. - Московский Государственный Технологический Университет. - 2009.
40. Румбешта В.А. Симута Н.А. Способ измерения сил резания при

- токарной обработке. - Вісник КНУТД №1 - 2012, с. 48-52.
41. Остафьев В.А. Технологические процессы изготовления деталей приборов / В.А. Остафьев, В.А. Румбешта, В.А. Держук - К.: Высшая школа, 1983. - 207с.
 42. Аветов А.А., Афанасьев Ф.З., Бобровский В.А. О влиянии термотоков, возникающих при резани металлов, на шероховатость обработанной поверхности // Вестник машиностроения, №3, 1973. - с. 4-7.
 43. Румбешта В.А. Гибкие производственные системы. Методические указания к изучению курсов «Интегрированные системы оптического производства» и «Автоматика и автоматические линии» / В.А. Румбешта, И.В. Максимчук. - Киев, КПИ, «Укрвузполиграф», 1990. - 48с.
 44. Назаренко П.В. Расчет силы и коэффициента трения кристаллических тел на основе дислокационной модели внешнего трения // Проблемы трения и изнашивания, №3, - К.: Техника, 1973. - с. 72-74.
 45. Подураев В.Н. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии / В.Н. Подураев, А.А. Барзов, В.А. Горелов. - М.: Машиностроение, 1988. - 56 с.
 46. Барзов А.А. Пути повышения эффективности эксплуатации режущего инструмента с многогранными пластинами / А.А. Барзов, И.А. Тутнов, А.Ю. Кулагин и др. - М.: НИИмаш, 1980 - 52 с.
 47. Матвиенко А.В. К вопросу о влиянии ЭДС резания на шероховатость обработанной поверхности // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Матвиенко А.В., Феник Л.Н. - Донецк: ДонНТУ, 2006. - Вып. 32. - С.74-77.
 48. Ивченко Т.Г. Исследование гармонического состава ЭДС резания в зависимости от износа режущего инструмента // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Т.Г. Ивченко, М.А. Смирнова, А.В. Матвиенко - Донецк: ДонНТУ, 2008. - Вып. 16. С 154-

										-97-
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						Лист

160.

49. Добрышин С.А. Методы автоматизированного исследования вибраций машин. Справочник / С.А. Добрышин, М.С. Фельдман. - М.: Машиностроение, 1991. - 224 с.
50. Смирнова М.А. Определение гармонического состава токов и напряжений при измерении сил резания в механообработке // Наукові праці
51. Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 4 (124) - Донецьк, ДонНТУ, 2007.- С.49-55.
52. Смирнова М.А. Методика определения гармонического состава и симметричных составляющих токов и напряжений в переходных режимах электромеханических систем // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. - Донецк: ДонНТУ. Том 3. 2007. - С.320 - 329.
53. Лавріненко В. І., Дєвицький О. А., Ситник Б. В. Електричні явища в процесах механічної обробки, їх взаємозв'язок з продуктивністю та енергоємністю оброблювання та способи ефективного застосування цих явищ // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. праць. - Донецьк: ДНТУ, 2009. - Вип. 38. - С. 122-126.
54. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 1. /Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. - 7-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 488 с.
55. Абзаев Р.И. Комплексная компьютерная диагностика процесса резания деталей ГТД на станках с ЧПК по физическим параметрам в зоне резания. С.79-84.
56. Румбешта В.А. Гибкие производственные системы. Методические указания к изучению курсов «Интегрированные системы оптического производства» и «Автоматика и автоматизация производства» / В.А.

- Румбешта, И.В. Максимчук.- Киев, КПИ, "Укрвузполиграф", 1990. - 48с.
57. Деревянченко А.Г., Павелко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояния режущих инструментов при прецизионной обработке. Одесса: Аспропринт. 1999. 195-196 с
58. Фоменко И.А., Коваленко В.В., Стародуб Н.П. Охрана труда при обработке металлов резанием. — Киев. — "ТЭХНИКА", 1989 г.
59. Орликов М.Л., Шишкин В.Н. МРС, Курсовое и дипломное проектирование. К, Высшая школа, 1987 г. — 152 с.
60. Федорец В.А. и др. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков. К. Высшая школа, 1987 г. — 375 с.
61. Кузнецов Ю.Н. и др. Самонастраивающиеся зажимные механизмы: Справочник. К. Техника; София: Техника, 1988 г. — 222с.
62. Федорец В.А. Расчет гидравлических и пневматических приводов ГПС. К. Высшая школа, 1988 г. — 179 с.