

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
МР.ПМКм-24.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-23-1

Бережанський Вадим

Вікторович

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Бережанський Вадим Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.81

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Діагностика стану токарних різців при обробленні валів

(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування

(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

В.В.Бережанський

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Пітулей Лоліта Дмитрівна, доцент, канд. техн. наук

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор

(посада)

(підпис)

(дата)

Панчук В. Г.

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

м. Івано-Франківськ — 2024 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Бережанському Вадиму Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Діагностика стану токарних різців при обробленні валів

керівник роботи Пітулей Лоліта Дмитрівна, доцент, канд. техн. наук

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від " 22 " 11. 2024 року № 780/7

2. Строки подання студентом роботи 12 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні та патентні джерела методів діагностики різального інструменту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Види зношування токарних різців. 2. Системи діагностики токарних різців. 3. Методи дослідження зношування різального інструменту. 4. Акустичні методи діагностики

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Види зношування змінних непереточуваних пластин токарних різців – 1 лист А1.

2. Функціональна схема оперативної діагностики – 1 лист А1.

3. Системи діагностики токарних різців при обробленні валів – 1 лист А1.

4. Схема керування рухом інструмента та деталі – 1 лист А1.

5. Зона акустичної емісії інструменту у токарній обробці вала – 1 лист А1.

6. Структурна схема контролю зносу токарного різця – 1 лист А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пітулей Л. Д., доцент, канд. техн. наук		
2	Пітулей Л. Д., доцент, канд. техн. наук		
3	Пітулей Л. Д., доцент, канд. техн. наук		

7. Дата видачі завдання “ 24 ” 11. 2024 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Види зношування токарних різців	28.10.2024	
2	Системи діагностики токарних різців	30.10.2024	
3	Методи дослідження зношування інструменту	10.11.2024	
4	Акустичні методи діагностики	20.11.2024	
6	Захист магістерської роботи	18.12.2024	

Студент _____ Бережанський В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Пітулей Л.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Магістерська робота складається зі змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури.

Робота містить сторінок, рисунок, таблиць, використаних літературних джерел.

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку машинобудування для виготовлення деталей використовуються металорізальні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Вони володіють потужними можливостями по обробці складних за конструкцією деталей за допомогою багатьох різальних інструментів в автоматичному режимі без посереднього втручання робітників. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій, значно покращуються умови праці та економічні показники виробництва.

За останні роки істотно поширилось використання в сучасних конструкціях токарних різців для обробки валів нових інструментальних матеріалів (порошкових інструментальних сталей, безвольфрамових твердих сплавів, керметів, композиційних матеріалів), інструментів із зносостійкими покриттями різального леза, які використовуються в прогресивних технологіях (швидкісне та надшвидкісне різання, різання з вібраціями, сухе різання, комбіновані види обробки та ін.) на прогресивному технологічному обладнанні з ЧПК.

Для покращення якості виготовлення деталей на металорізальних верстатах з ЧПК використовується система підвищення надійності обробки на основі технічної діагностики та прогнозування виникнення відмов, яка за рахунок моніторингу в реальному часі відслідковує технічний стан механічної обробки деталей, за результатами роботи якої проводиться прогнозування вірогідності відмови металорізального обладнання чи різального інструменту.

Останнім часом в механічній обробці спостерігається тенденція використання різальних інструментів складеної конструкції, оснащених змінними непереточуваними багатогранними пластинами (ЗНБП), зокрема, токарних різців різних типів.

Внаслідок складу та технології виготовлення матеріал ЗНБП має великий розкид фізико-хімічних характеристик, що приводить до великого розкиду зносостійкості, який для пластинок однієї марки, але різних партій виготовлення, може відрізнятись в десятки разів; в межах однієї партії виготовлення в кілька разів; для різних вершин однієї і тієї ж пластинки – в 1,5-3 рази.

Все це привело до не актуальності використання існуючих рекомендацій щодо вибору різального інструменту, інструментального матеріалу та режимів різання для виконання певного конкретного технічного завдання. Тому на даний момент є актуальною задача побудови системи діагностики токарних різців та формування вимог до засобів їх діагностики, до яких належать:

- здійснення контролю працездатності інструменту з урахуванням умов його експлуатації;
- забезпечення безперервності контролю під час реалізації технологічного процесу виготовлення валів, не порушуючи ритму випуску продукції;
- забезпечення мінімального рівня витрат на контроль зношування токарних різців.

Успішне вирішення завдання підвищення ефективності машинобудівного підприємства у сучасних умовах поряд з пошуком нових технічних рішень, вимагає створення комплексної системи забезпечення його якісними різальними інструментами шляхом оптимізації їх показників якості як під час проектування й виготовлення інструментів, так і під час надійного оцінювання рівня працездатності покупних інструментів та ступеня забезпечення ними високопродуктивних технологічних і експлуатаційних параметрів під час механічної обробки в умовах конкретного виробництва машинобудівної продукції.

Створення нових засобів і методів оцінювання якості різального інструменту та принципів їх нормативного забезпечення є актуальним науково-фундаментальним завданням, вирішення якого дозволяє підвищити продуктивність і надійність технологічної системи, значно скоротити терміни технологічної підготовки виробництва та запуску нових виробів, забезпечити конкурентоспроможність продукції машинобудування.

Метою роботи є розроблення алгоритму вибору оптимальної системи діагностики токарних різців для обробки валів.

Завданням дослідження є теоретичні та експериментальні дослідження зносу токарних різців при механічній обробці валів.

Об'єкт дослідження – методи діагностики процесів зношування токарних різців при обробці валів.

Предмет дослідження – вибір оптимального методу діагностики зносу токарних різців при оброблянні валів.

Мета дослідження – кількісна та якісна оцінка зносу токарних різців при оброблянні валів.

Публікації. Пітулей Л.Д., Бережанський В.В. Діагностика працездатності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва. Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції "Прогресивні технології у машинобудуванні АТМЕ-2024"; 5-9 лютого 2024р., Івано-Франківськ -Яремче, 2024. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2024.- С.132.

Ключові слова: *діагностика, надійність, зношування, зносостійкість, знос, стійкість, різальний інструмент, токарний різець, головна різальна крайка, різальне лезо.*

Студент Бережанський В.В.

Summary

The master's thesis consists of a table of contents, introduction, four chapters, conclusions, a list of used literature.

The work contains pages, figures, tables, used literary sources.

Relevance of the topic. At the current stage of development of mechanical engineering, metal-cutting machines with numerical program control (NCC) are used to manufacture parts. They have powerful capabilities for processing parts of complex design using many cutting tools in automatic mode without the direct intervention of workers. Due to the release of a person from direct participation in production processes, as well as a high concentration of basic operations, working conditions and economic indicators of production are significantly improved.

In recent years, the use of modern designs of turning cutters for machining shafts of new tool materials (powder tool steels, tungsten-free hard alloys, cermets, composite materials), tools with wear-resistant coatings of the cutting blade, which are used in progressive technologies (high-speed and ultra-high-speed cutting, cutting with vibrations, dry cutting, combined types of processing, etc.) on progressive technological equipment with CNC has become significantly widespread.

To improve the quality of manufacturing parts on CNC metal-cutting machines, a system for increasing the reliability of processing based on technical diagnostics and forecasting the occurrence of failures is used, which, through real-time monitoring, tracks the technical condition of the mechanical processing of parts, based on the results of which the probability of failure of metal-cutting equipment or cutting tools is predicted.

Recently, in machining, there has been a trend towards the use of composite cutting tools equipped with replaceable non-regrinding multifaceted inserts (NRPI), in particular, turning cutters of various types.

The aim of the work is to develop an algorithm for selecting the optimal system for diagnosing turning cutters for shaft machining.

The task of the research is theoretical and experimental studies of turning cutter wear during shaft machining.

The object of the research is methods for diagnosing turning cutter wear processes during shaft machining.

The subject of the research is the selection of the optimal method for diagnosing turning cutter wear during shaft machining.

The aim of the research is quantitative and qualitative assessment of turning cutter wear during shaft machining.

Publications. Pituley L.D., Berezhansky V.V. Diagnostics of cutting tool performance in automated production. Collection of scientific papers of the 12th International Scientific and Technical Conference "Progressive Technologies in Mechanical Engineering ATME-2024"; February 5-9, 2024, Ivano-Frankivsk-Yaremche, 2024. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2024.- P.132.

Keywords: diagnostics, reliability, wear, wear resistance, wear, stability, cutting tool, turning cutter, main cutting edge, cutting blade.

Student Berezhanskyi V.V.

Зміст

ВСТУП.....	9
1 ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ	11
1.1 Фактори зношування різального інструменту.....	11
1.2 Види зношування токарних різців.....	14
1.3 Способи оцінювання зношування токарних різців.	19
2 СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ	23
2.1 Види діагностики зношування.....	23
2.2 Патентний пошук методів діагностики зношування різальних інструментів.....	29
2.3 Критерії вибору методів діагностики токарних різців для обробки валів.	32
2.4 Етапи побудови системи діагностики токарних різців	37
2.5 Алгоритм вибору системи діагностики токарних різців.....	39
2.6 Розробка системи контролю зношування токарних різців	41
3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	44
3.1 Технологічні фактори впливу на планування проведення експерименту	44
3.2 Планування проведення експерименту	45
3.3 Лабораторні методи дослідження зношування різального інструменту	47
4 АКУСТИЧНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ.....	56
4.1 Метод акустичної емісії	56
4.2 Елементарні джерела акустичної емісії.....	60
4.3 Алгоритм проведення акустико-емісійного контролю	61
4.4 Оцінка працездатності ЗНБП методом АЕ	63
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
Додаток А	

ВСТУП

Магістерська робота напряму підготовки 131 «Прикладна механіка» завершує освітньо-професійну програму «Комп'ютеризовані і роботизовані технології машинобудування» підготовки фахівців відповідного освітньо-кваліфікаційного рівня є творчою та самостійною роботою, під час виконання якої отримано низку практичних навичок, а саме: вибір оптимальних шляхів і методів для вирішення поставлених завдань та їх обґрунтування; аналіз нові досягнення в галузі діагностики виробничих процесів механічної обробки.

Метою роботи є розроблення алгоритму вибору оптимальної системи діагностики токарних різців для обробки валів.

Завданням дослідження є теоретичні та експериментальні дослідження зносу токарних різців при механічній обробці валів.

Об'єкт дослідження – методи діагностики процесів зношування токарних різців при обробці валів.

Предмет дослідження – вибір оптимального методу діагностики зносу токарних різців при оброблянні валів.

Мета дослідження – кількісна та якісна оцінка зносу токарних різців при оброблянні валів.

Новизна та практичне значення одержаних результатів полягає у виявленні певних закономірностей в структурі сигналів акустичної емісії, які визначають появу та розвиток дефектів у різальному лезі токарних різців при обробці валів. Запропоновано моделювання взаємодії об'єктів токарної обробки та чутливих діагностичних елементів на підставі дослідження явища акустичної емісії.

Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, яка визначає технологічний рівень економіки будь-якої країни. У сучасних умовах розвиток машинобудування неможливий без впровадження нових технологій, таких як комп'ютеризовані та автоматизовані системи, які сприяють підвищенню ефективності, точності та надійності виробничих процесів. Одним із основних елементів цих процесів є інструменти для механічної обробки матеріалів, зокрема

токарні різці, які виконують вирішальну роль у створених деталях із заданими параметрами.

Діагностика стану інструмента, такого як токарний різець, є завданням, яке дозволяє знизити витрати на обслуговування обладнання, підвищити якість продукції та уникнути простою виробництва через поломку або зношення інструменту. Належний контроль стану різального інструменту особливо важливий при обробці валів, який є основними конструктивними елементами багатьох механізмів і машин. Вони вимагають високої точності, після будь-яких відхилень у геометрії чи параметрах поверхні можуть привести до зниження експлуатаційних характеристик готового виробу.

Зношування токарних різців є неминучим явищем під час механічної обробки матеріалів. Відсутність своєчасної діагностики стану різального інструменту може призвести до зниження якості оброблених поверхонь, збільшення навантаження на верстат, появи браку та додаткових витрат. Тому система впровадження моніторингу та діагностики з використанням сучасних комп'ютеризованих методів є актуальною задачею, яка дозволяє покращити технологічний процес, оптимізувати витрати та забезпечити стабільну якість продукції.

У роботі проведено:

- аналіз сучасних підходів до моніторингу стану різальних інструментів;
- вивчення основних причин та механізмів зношування токарних різців під час обробки валів;
- експериментальна перевірка методів на практичних прикладах.

Тема роботи є актуальною не лише з точки зору розвитку сучасних науково-технічних підходів, але й із практичної перспективи, після її реалізації можна значно підвищити конкурентоспроможність машинобудівних підприємств за рахунок оптимізації виробничих процесів та підвищення якості продукції. Магістерська робота є фундаментальним завершенням навчального процесу освітнього ступеня магістр. Набуті навички при написанні роботи пригодяться на майбутньому місці роботи.

1 ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ

1.1 Фактори зношування токарних різців

Зношування токарних різців в механічній обробці є важливою та актуальною проблемою, що вимагає нагальних рішень. Для підвищення стійкості токарних різців та зниження витрат при реалізації технологічного процесу механічної обробки валів, які впливають на зношування цих різальних інструментів, можуть бути інваріантними в залежності від системи ВПД та технологічного середовища.

Матеріал різальної частини підбирають в залежності від умов обробки (добрі – висока зносостійкість інструментального матеріалу, висока жорсткість ВПД; нормальні - високі зносостійкість і міцність інструментального матеріалу, досить жорстка ВПД; важкі – висока міцність інструментального матеріалу, жорстка ВПД).

Вплив фізико-механічних властивостей матеріалу деталей типу «вал» на зношування токарних різців є одним з важливих факторів при реалізації технологічних процесів їх виготовлення. Тому в сучасному машинобудуванні конструкційні матеріали поділяються за групами оброблюваності матеріалу деталей та інструментальним матеріалом різальних інструментів (рисунок 1.1).

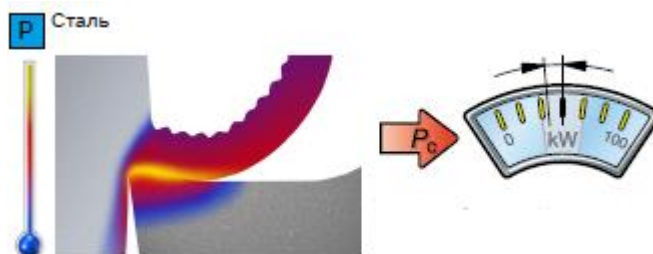


Рисунок 1.1 – Питомі сили різання при обробці сталі (група P)

Різні матеріали можуть викликати різний ступінь зносу токарних різців за таких основних причин:

1. Твердість інструментального матеріалу. Якщо твердість інструментального матеріалу не забезпечується потрібною міцністю, це приводить до викришування різального краю токарних різців. Зазвичай твердість інструментального матеріалу більша за твердість оброблюваного у 1.5-2 рази.

2. Зносостійкі покриття. Для зменшення зносу різальних лез токарних різців сучасними виробниками ЗНБП пропонується широкий діапазон одношарових та багатшарових покриттів із метою зменшення зносу токарних різців. Вибір такого роду покриттів здійснюється за допомогою рекомендацій (рисунок 1.2).

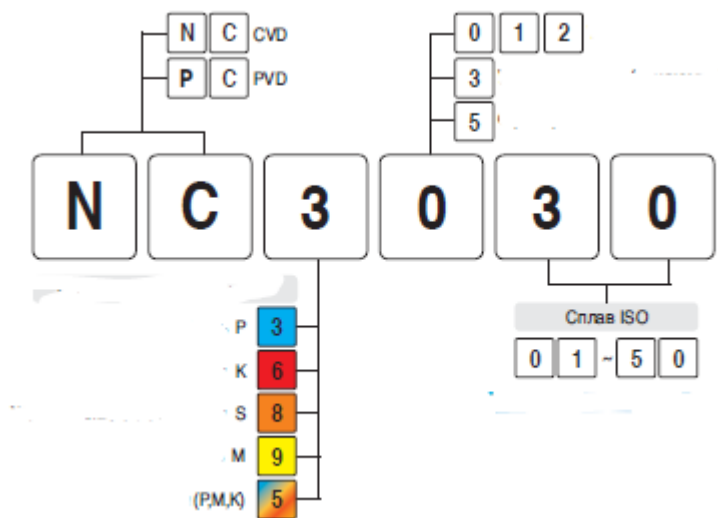


Рисунок 1.2 – Рекомендації вибору зносостійких покриттів ЗНБП

3. Теплопровідність. Матеріали з високою здатністю проводити тепло можуть спричиняти швидше зношування різального леза токарних різців, оскільки ефективно відводять тепло від зони різання.

4. Технологічне середовище. Низькі змащувальні властивості деяких матеріалів можуть впливати на зношування різального інструменту, оскільки відсутність належного змащення збільшує тертя та прискорює його знос.

5. Неоднорідність структури інструментального матеріалу. Деякі матеріали можуть включати тверді абразивні частинки, які значно підвищують можливість інтенсивного зношування різального леза токарних різців.

6. Температура обробки. Підвищена температура під час обробки матеріалу може призводити до зношування різальних інструментів, особливо в поєднанні з такими факторами, як висока твердість матеріалу та значна швидкість обробки.

7. Режими різання. Не вірно підібрані режими різання (глибина врізання різального інструменту, подача на оберт та швидкість різання) впливають на зношування різальної частини такарних різців. Найбільший вплив на знос різального леза має швидкість різання. При підвищенні швидкості різання високі

контактні температури спричиняють знос, як по передній, так і по головній задній поверхні різального леза [7].

Некоректно обрана швидкість різання може привести до тепломеханічного зносу, до зносу з утворенням лунки, викришування по головній різальній крайці та відшарування аж до руйнування та зламу головної різальної крайки (через високу швидкість).

Швидкість різання необхідно обирати та коректувати за рахунок технічної інформації фірм виробників токарних різців та їх ЗНБП, що дозволить мінімізувати знос різального леза різального інструменту або уникнути його.

Значення подачі обертається з ряду рекомендованих подач технічної інформації фірм виробників, при цьому враховуються технологічні обмеження. При чорновій обробці валів, подача на оберт встановлюється з врахуванням жорсткості системи ВПД та встановленої глибини різання, при цьому вибирається мінімальна подача. При чистовій обробці валів величину подачі необхідно погоджувати їх можливістю досягнення заданої шорсткості обробленої поверхні по квалітетом точності розміру цієї поверхні. При чистовому оброблянні ці показники на пряму залежать від радіуса на вершині різального леза. Тому, при некоректному виборі значення подачі на оберт можуть спостерігатись такі види зносу як викришування головної різальної крайки, знос з утворенням лунку, утворення мікротріщин, відшарування.

Низькі значення подач приводять до зношування різального леза токарних різців через високі температури в зоні контакту та тертя, між головно задньою поверхнею інструменту та оброблюваною поверхнею вала.

Найменше на процеси зношування різального леза токарних різців впливає глибина врізання різального інструменту. Це значення на пряму залежить від форми різального леза, для ЗНБП (її форма).

Чим більша глибина врізання тим меншою має бути глибина на оберт.

Сучасна ЗНБП є тілом із складним поєднанням кутів, поверхонь і радіусів закруглень, конфігурація яких забезпечує в процесі різання необхідне формування

стружки. Оскільки вдосконалення процесів точіння полягає не тільки в підборі оптимальних режимів, але й контролю всієї технологічної системи, необхідною умовою якісної діагностики всіх її складових є забезпечення безперешкодного доступу засобів контролю до об'єктів контролю, зокрема, токарних різців.

1.2 Види зношування токарних різців

Зношування токарних різців — це процес поступового руйнування їх робочих поверхонь унаслідок взаємодії з оброблюваним матеріалом і умовами різання. *Основні види зношування.*

Зношування передньої поверхні: Утворення жолоба на передній поверхні різця через тертя стружки (рисунок 1.3). Причиною такого зношування може стати висока температура в зоні контакту, хімічна дія стружки. Фактори цього є висока швидкість різання, відсутність охолодження та недостатня твердість матеріалу різця.

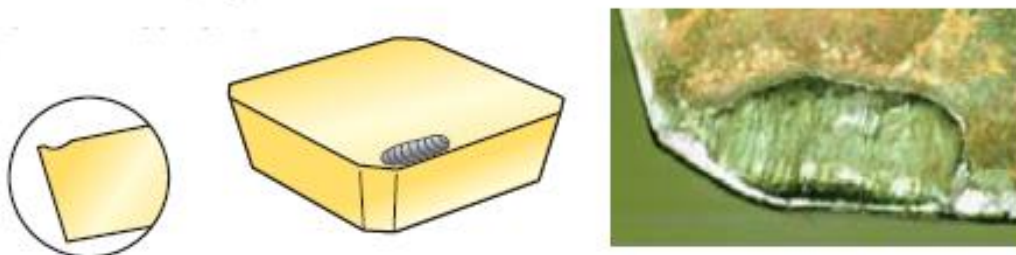


Рисунок 1.3 - Утворення жолоба на передній поверхні ЗНБП токарного різця

Зношування головної задньої поверхні ЗНБП токарного різця: Процес термоабразивного стирання задньої поверхні, що контактує з деталлю (рисунок 1.4).

Причиною такого виду зношування токарного різця є висока швидкість різання, оброблювана поверхня має високу твердість, неправильні кути різання, підвищене тертя. Фактори, що впливають на зношування ЗНБП токарного різця – це неправильний вибір переднього та головного заднього кутів різця та занадто висока швидкість, подача або зavelика глибина різання.

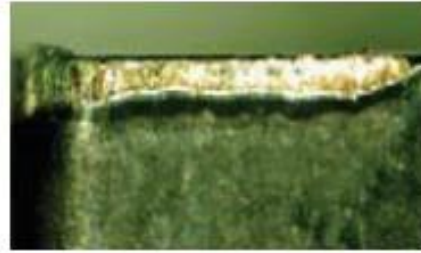


Рисунок 1.4 - Знос головної задньої поверхні ЗНБП токарного різця

Пластична деформація виникає, коли матеріал різальної частини ЗНБП токарного різця під дією високих температур і значних механічних навантажень зазнає незворотної форми (рисунок 1.5). Причиною зношення є висока температура в зоні різання, високі механічні навантаження та недостатня твердість матеріалу різця.

Пластична деформація є критичним видом зношування, особливо при обробці твердих та жаростійких матеріалів. Для її уникнення необхідно забезпечувати баланс між механічними та термічними навантаженнями на різець.

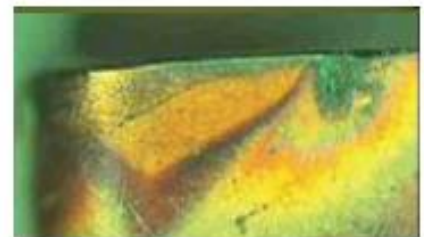
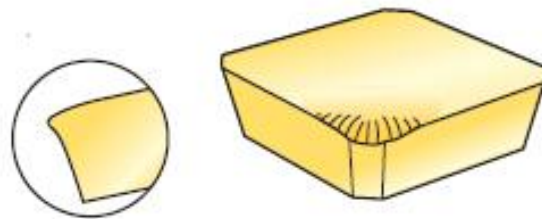


Рисунок 1.5 – Пластичний знос ЗНБП токарного різця

Термотріщини ЗНБП токарного різця (рисунок 1.6) — це мікроскопічні або видимі тріщини, які утворюються на різальній частині різця через повторювані цикли нагрівання та охолодження під час різання. Вони спричиняють руйнування поверхневих шарів інструменту та прискорюють його зношування.

Причиною цього виду зношування є:

- постійне нагрівання в зоні контакту під час різання та швидке охолодження через перерву або використання охолоджуючої рідини;
- використання матеріалів, які не витримують частих змін температури;

- підвищене тертя (високі температури створюють різкі контрасти температур у зоні різання).

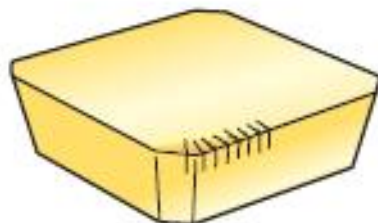


Рисунок 1.6 - Термотріщини по передній та головній задній поверхнях ЗНБП

Ознаки термотріщин:

- мікротріщини по передній та головній задній поверхнях ЗНБП;
- утворення видимих тріщин, які розповсюджуються від головної різальної крайки;
- погіршення якості оброблюваної поверхні через нестабільність різального леза;
- руйнування головної різальної крайки або її відкол.

Термотріщини є небезпечним видом зношування, що може привести до руйнування токарних різців. Для їх запобігання важливо забезпечити плавний тепловий режим роботи різця, оптимізувати режими різання та використовувати якісні термостійкі матеріали.

Скол вершини ЗНБП різця — це механічне пошкодження або руйнування головної та допоміжної різальних крайок різця в зоні вершини (рисунок 1.6). Виникає через перевищення допустимих механічних навантажень або дію ударних сил під час обробки матеріалу.

Причинами сколу є :

- перевищення допустимих сил різання через неправильний підбір режимів обробки;
- різання сплавів із домішками карбідів чи оксидів;
- низька жорсткість системи ВПД або неякісне закріплення заготовки;

- різке збільшення навантажень під час обробки нерівномірної або переривчастої поверхні;

- використання в якості інструментальних крихких матеріалів, наприклад, кераміки або твердих сплавів без модифікації структури.

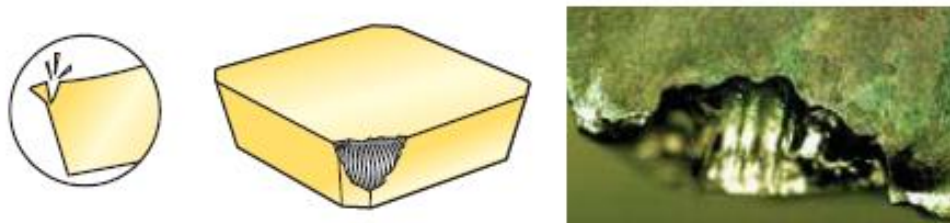


Рисунок 1.7 – Скол вершини різця

Ознаки сколу вершини різця:

- помітні відколи на вершині різального леза;
- раптове погіршення якості оброблюваної поверхні (шорсткість, хвилястість);
- збільшення зусиль різання, вібрації під час роботи;
- погіршення точності обробки.

Скол вершини різця є критичним видом зношування, який може виникати через невідповідність режимів обробки або неправильний підбір інструменту. Його запобігання залежить від оптимізації технологічних параметрів, використання якісних матеріалів і дотримання геометричних вимог до інструменту.

Відшарування - вид зношування, при якому з поверхонь різального леза інструменту відшаровуються дрібні частки матеріалу (рисунок 1.8). Цей процес викликаний циклічними механічними, термічними та хімічними впливами, що призводять до втрати частини матеріалу різця.

Причинами цього виду зношення є:

- комбінація тиску та теплових циклів (приводить до мікроруйнувань структури матеріалу);
- недостатня пластичність і ударостійкість, властиві, наприклад, твердим сплавам або кераміці;
- часте чергування нагрівання та охолодження (сприяє утворенню мікротріщин);

- наявність твердих включень або низької шорсткості на заготовці;
- завищені швидкість (подача чи глибина різання створюють умови для руйнування матеріалу).

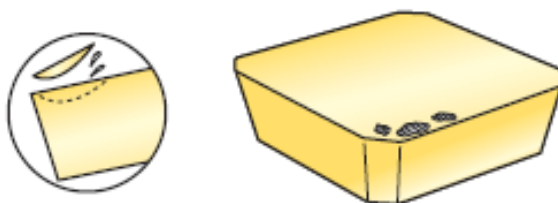


Рисунок 1.8 – Відшарування матеріалу ЗНБП токарних різців

Ознаки відшарування:

- утворення мікротріщин на передній поверхні ЗНБП токарного різця;
- відшарування дрібних часток матеріалу передньої поверхні ЗНБП токарного різця;
- нерівності або шорсткість на передній та головній задній поверхнях різця;
- зменшення гостроти головної різальної крайки.

Відшарування є складним видом зношування, який часто пов'язаний із комбінацією механічних, термічних і хімічних впливів. Для його запобігання важливо правильно підбирати режими різання, використовувати високоякісні інструменти та ефективні охолоджувальні системи.

Наростоутворення — це вид зношування, при якому на різальному лезі токарного різця утворюється так званий «наріст» із матеріалу оброблюваної заготовки (рисунок 1.9). Цей наріст є результатом зварювання або налипання частинок заготовки через високу температуру, тертя та хімічну взаємодію.

Причинами цього виду зношування є:

- тепло, що виникає під час різання, розм'якшує матеріал заготовки, полегшуючи його адгезію до різального леза;
- реакція між матеріалом токарного різця та заготовки сприяє утворенню зварювання на молекулярному рівні;
- відсутність або недостатній потік охолоджувальної рідини підвищує температуру та створює умови для утворення наросту;

- обробка в'язких і пластичних матеріалів (високолегована сталь), які легко утворюють наріст;

- гладка поверхня різального леза, сприяє кращій адгезії частинок.

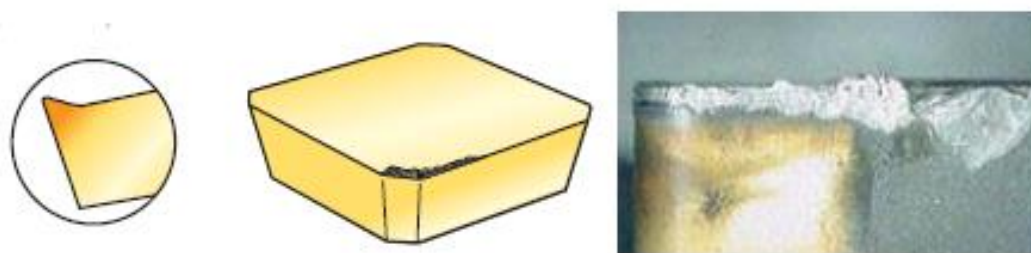


Рисунок 1. 9 – Наростоутворення на різальному лезі ЗНБП токарного різця

Фактори, що впливають:

- низькі або середні швидкості сприяють наростоутворенню, оскільки частинки заготовки мають достатньо часу для злипання;

- збільшення глибини створює вищі сили тертя, що сприяє утворенню наросту;

- невідповідні кути геометрії різального леза можуть сприяти налипанню частинок на різальному лезі ЗНБП токарного різця.

Наростоутворення — це небажане явище, яке впливає на якість обробки, ефективність різання та довговічність інструменту. Для його мінімізації необхідно використовувати правильні режими різання, матеріали інструменту та охолоджувальні системи.

1.3 Способи оцінювання зношування токарних різців

Передчасний знос токарних різців спричиняє прості обладнання, додаткові витрати матеріалів. Критерії причин зношування різального леза токарних різців визначаються в залежності від вимог до обробки валів при реалізації певної технологічної операції.

Зношування по головній задній поверхні токарних різців належить до першого виду зношування, і виглядає як локальна зона зносу, для якої діагностичною ознакою є висота зносу. Знос по передній поверхні (третій вид зношування) зазвичай є лункою діагностичними параметрам якої є довжина, ширина та глибина. Знос одночасно по передній та головній задній поверхні є другим видом

зношування, також має вигляд лунки або наросту. При наявності наросту лунка знаходиться на певній віддалі від головної різальної крайки при відсутності наросту лунка починається безпосередньо від головної різальної крайки. При обробці сталей зношування різальних лез токарних різців зустрічається перовий і другий вид однаково часто.

Відповідно до видів зношування токарних різців оцінювання їх зношування можна проводити в прямий та непрямий способів.

Прямий спосіб використовуються, коли необхідно діагностувати величину зносу головної різальної крайки токарного різця. Непрямий спосіб застосовується, коли необхідно визначити один з параметрів режимів різання. Прямий спосіб оцінювання зношування токарних різців реалізовується контактними та безконтактними методами діагностики. Для контактних методів діагностики використовуються вимірювальні щупи або за допомогою аналітичних ваг. Безконтактних методів діагностики використовуються оптичні приладі (відлікові інструментальні мікроскопи). При безконтактних способах контролю токарних різців відбувається визначення після завершення технологічної операції або переходу [6].

Існуючі методи вимірювання зносу різального інструменту вказано на рисунку 1.10.

Непрямі методи дають змогу оцінити стан інструменту безпосередньо в процесі оброблення за параметрами процесу різання. До параметрів, найбільш придатних до вимірювання, можна віднести: сили різання; вібродинаміку різання; електромагнітні явища, що виникають під час різання; температуру в зоні різання; термо-ЕРС різання; віброакустичний сигнал зони різання [6].

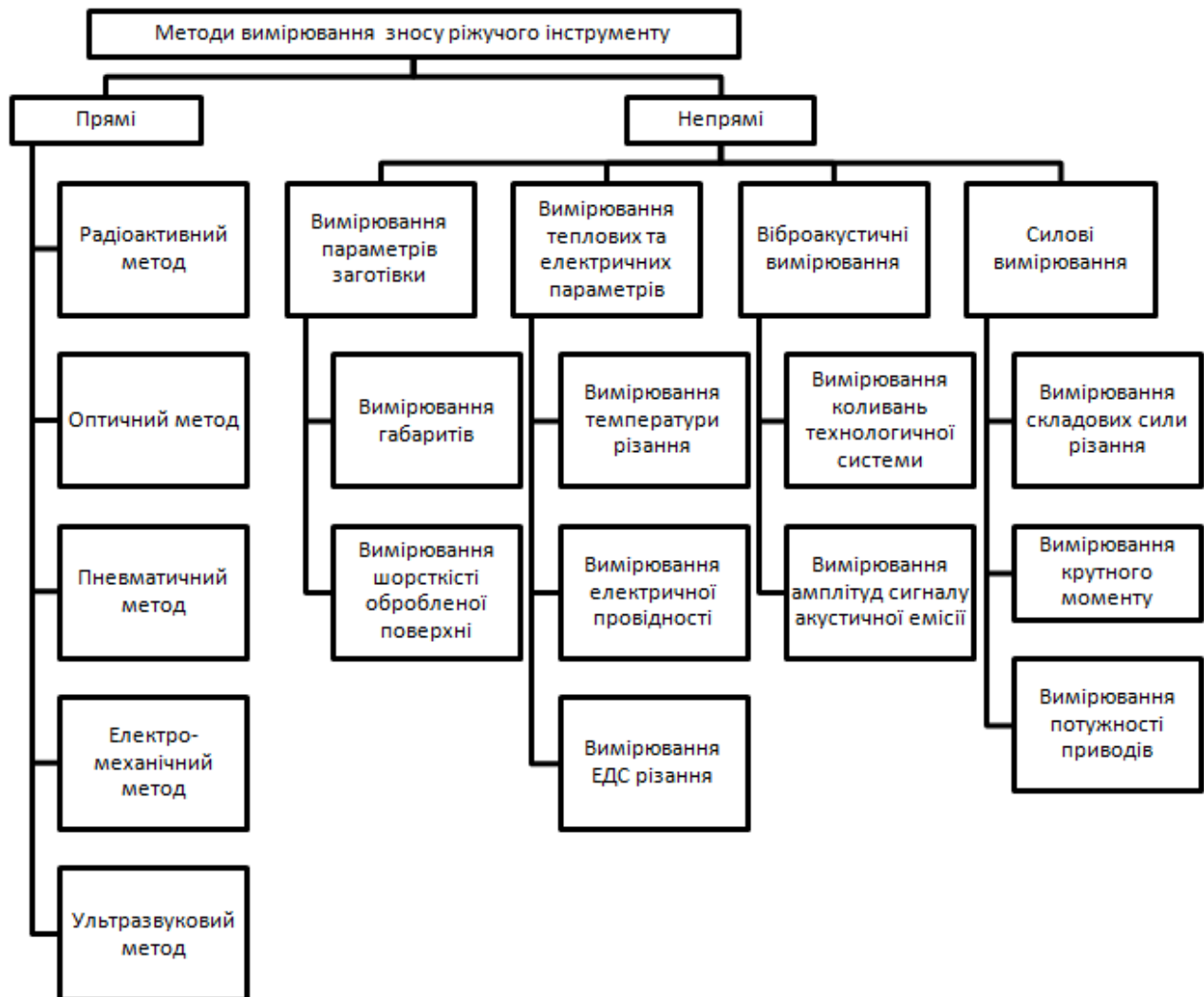


Рисунок 1.10 – Способи оцінювання зносу різального інструменту

У практиці широко використовуються такі методи, як вимірювання шорсткості при чистовому точінні, сил різання та крутного моменту при чорновому точінні, потужності різання при чорновому точінні, термічні та акустичні при всіх умовах токарної обробки, кожен з яких має свою специфічну сферу застосування. Слід зауважити, що більшість із них є затратними та потребують використання складного технічного обладнання.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Якість різального інструменту визначається властивостями, які забезпечують точність обробки, продуктивність та економічність його використання. Токарні різці характеризуються міцністю та зносостійкістю, які визначають їх продуктивність і стійкість до зношування.

Показники надійності залежать від призначення та умов експлуатації. Поділ на групи дозволяє оптимізувати вибір інструменту для різних технологічних процесів. Системний підхід до аналізу якості та надійності інструменту сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів.

Зношування різального інструменту – це неминуче явище, яке впливає на якість, продуктивність та економічність обробки. Воно залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, параметрів різання, використання мастильно-охолоджувальних рідин та інших факторів. Контроль цих параметрів, правильний вибір інструментів і режимів обробки дозволяє мінімізувати зношування, підвищити ефективність роботи обладнання та зменшити витрати на заміну інструменту.

Методи вимірювання зношування різального інструменту дозволяють вчасно оцінити його стан, запобігти виходу з ладу та підвищити ефективність обробки. Прямі методи забезпечують високу точність, а непрямі – зручність контролю в реальному часі. Їх правильне застосування сприяє зменшенню втрат і підвищенню продуктивності.

2 СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ

2.1 Види діагностики зношування різального інструменту

Час, витрачений на виявлення та усунення відмов токарних різців, становить у середньому 10% загальної верстатомісткості обладнання з ЧПК. Заміна інструменту може бути викликана раптовою або поступовою відмовою, а також вичерпанням його стійкості. Основним контрольованим параметром у таких випадках є ступінь зносу інструменту.

Контроль зношування токарних різців в основному відбувається шляхом вимірювання:

- сили різання;
- крутного моменту на шпинделі;
- потужності електродвигуна верстатного обладнання;
- температури різання через вимірювання температури стружки [6].

Точність діагностичних систем залежить від якості математичного забезпечення, характеристик технічних засобів та чутливих елементів контролю – давачів. За допомогою сучасних інтелектуальних способів оцінювання зношування токарних різців, з'являється можливість вимірювати динамічні та теплові характеристики процесу механічної обробки типових деталей. Чутливими елементами для контролю зносу токарних різців у сучасних системах діагностики широко застосовуються давачі, за сигналами яких вимірюються необхідні розміри зносу різальної частини токарних різців. При цьому давачі дотику розташовуються на досліджуваних частинах токарного різця, в такому випадку токарний різець виконує подвійну функцію - різання та контролю. При діагностиці оцінювання зношування токарних різців при чистовій обробці валів застосовуються давачі з можливістю замірів шорсткості обробленої поверхні, сигнали яких свідчать про знос головної різальної крайки цих інструментів. Керування надійністю різального інструменту передбачає дії, які спрямовуються на вимірювання параметрів інструменту, характеристик і умов обробки. Стан різального інструменту

характеризують сукупністю значень його параметрів у певний момент часу [6]. Алгоритм визначення зносу різального леза інструменту вказано на рисунку 2.1.

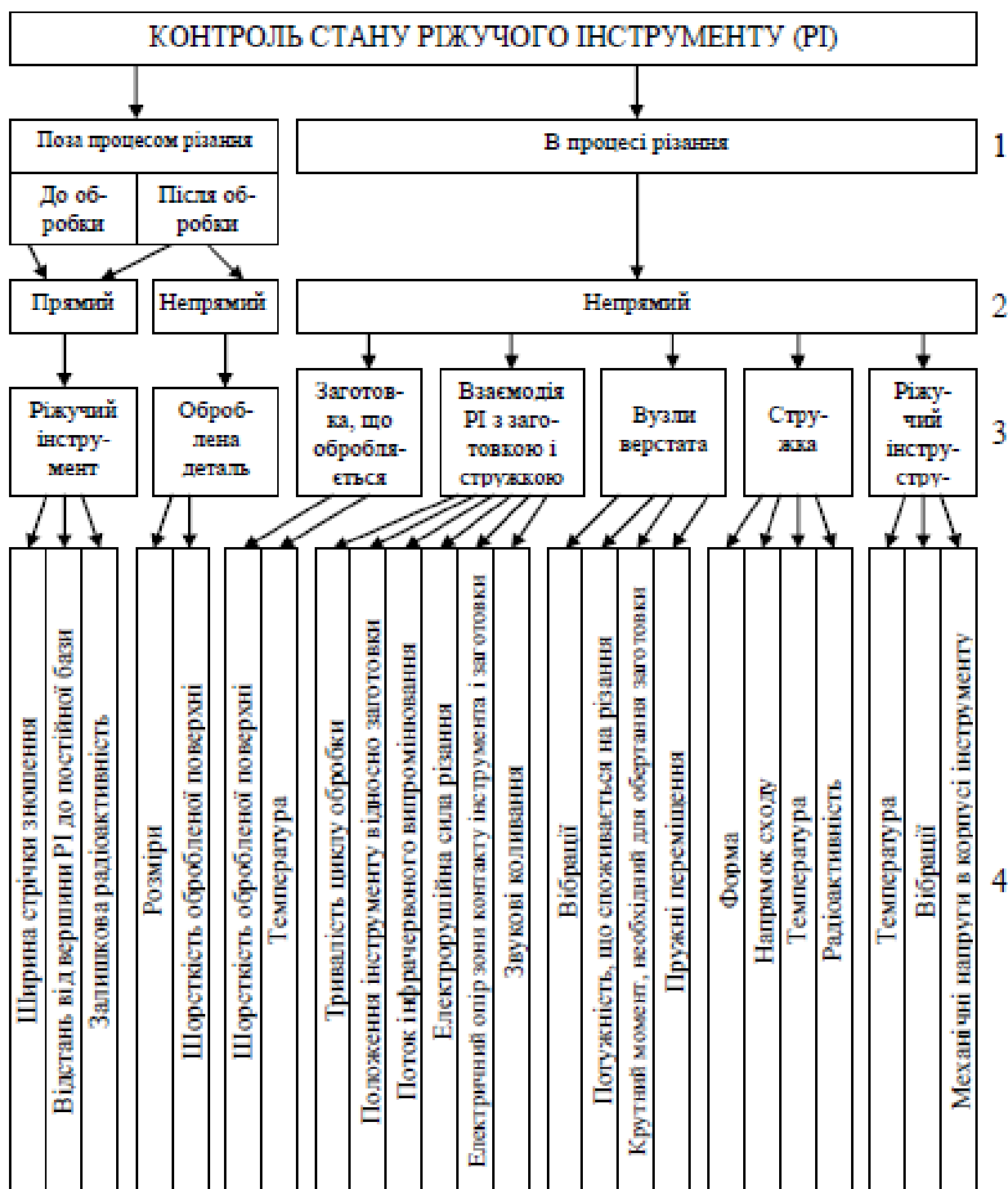


Рисунок 2.1 – Алгоритм визначення зносу різального леза інструменту

Пристрої контролю відрізняються за своїми можливостями та рівнем надійності залежно від використаних математичних і логічних методів обробки та аналізу даних, отриманих від вимірювальних пристроїв.

У таблиці 2.1 подано результати аналізу переваг та недоліків засобів контролю зношування токарних різців провідних фірм виробників. У цих пристроях застосовуються різні методи моніторингу стану токарних різців. Більшість пристроїв використовує силові параметри процесу різання як діагностичну інформацію, вимірюючи складові сили різання або крутного моменту. Це пояснюється високою інформативністю цих параметрів, відносною простотою їх вимірювання та обробки отриманих даних.

Для забезпечення достовірної та оперативної діагностики важливе значення має правильне розташування вимірювального перетворювача в технологічній системі. Силові параметри токарної обробки, безпосередньо впливають на токарний різець і оброблювану деталь. Це спричиняє пружні переміщення та деформації більшості складових технологічної системи.

Оптимальним джерелом інформації про силові параметри точіння є токарний різець, зокрема ЗНБП, яка безпосередньо відчуває навантаження. Однак обмежена площа ЗНБП викликає труднощі конструктивного характеру для встановлення необхідних датчиків.

Сучасний розвиток вимірювальної техніки та створення нових конструкцій різальних інструментів дає можливість розробляти комбіновані різальні інструменти-датчики, які забезпечують високу міцність і жорсткість технологічної системи. Особливо перспективним є використання магнітопружних вимірювальних перетворювачів силових параметрів.

Характеристика пристроїв контролю	Модель пристрою, фірма-виробник, країна					Модель пристрою, фірма-виробник, країна				
	Prometec Tool Monitor System, Prometec, Німеччина	LS 7330, Bosch, Німеччина	Widatron, Krupp Wida, Німеччина	Tool Monitor, Sandwik Coromant, Швеція	Tool Condition System, Wibra, Швеція	Monitor Model A, Fanuc, Японія	Nigata Monitoring System, Nigata, Японія	СМ-III, Osaka kiko, Японія	Tool Control Unit, Mitsui Seiki, Японія	Cutting monitoring device, Hitachi Seiki, Японія
Функціональні можливості:										
контроль зносу інструменту	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
контроль поломки інструменту	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
контроль перевантаження верстата	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
адаптивне регулювання подачі	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Параметри що контролюються:</i>										
крутний момент	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
складові сили різання	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
рівень вібрацій	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
час циклу	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
стійкість інструменту	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Вид датчика:</i>										
тензометричний перетворювач	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
шунт в ланцюзі електродвигуна	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
акселерометр	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
п'єзоелектричний перетворювач	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Місце монтування датчика:</i>										
опори ходового гвинта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
опори шпинделя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
шафа електроприводу	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
робочі органи верстата	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 2.1—Переваги на недоліки засобів контролю зношування токарних різців

Як показує аналіз таблиці 2.1, існує доволі велика кількість діагностичних систем західних фірм-виробників які забезпечують контроль ступеня зносу різального леза токарних різців та визначають момент катастрофічного зношування.

Тому такого роду системи класифікують за відповідними показниками (рисунок 2.2) в залежності від вибору металорізального обладнання, різального інструменту, габаритних розмірів деталі та схем механічної обробки [6].

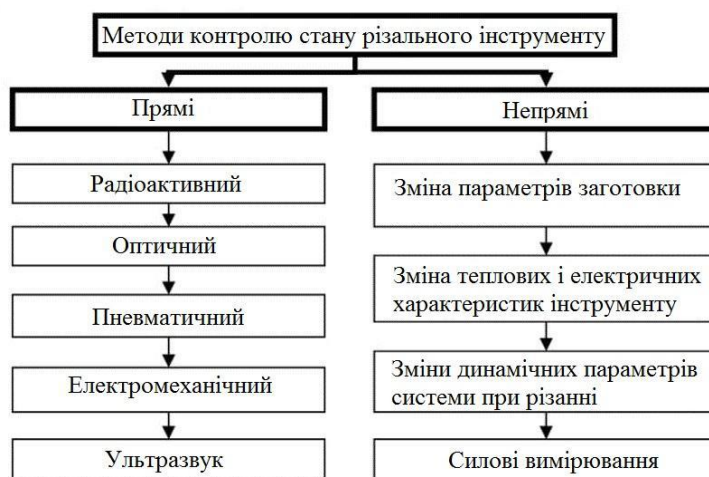


Рисунок 2.2 – Прямі та непрямі методи контролю зношування токарних різців

Системи контролю стану інструменту класифікуються залежно від часу збору інформації: одні працюють у режимі безперервного моніторингу під час обробки, інші – у перервах між операціями. У будь-якому випадку потрібен певний час для отримання та обробки даних. На верстатах із ЧПК, де участь оператора у процесі обробки мінімальна, системи активного (безперервного) контролю є особливо важливими.

Однак існують фактори, що знижують ефективність роботи таких систем. Наприклад, при оптичному методі складно забезпечити чітке спостереження за зношуванням головної різальної крайки токарного різця, при наявності технологічного середовища та недостатньої евакуації стружки з зони різання. Пневматичні й радіоактивні методи часто потребують модифікації стандартної оснастки, що ускладнює їх використання.

Найефективнішим підходом до контролю стану токарних різців є безперервний моніторинг у процесі обробки.

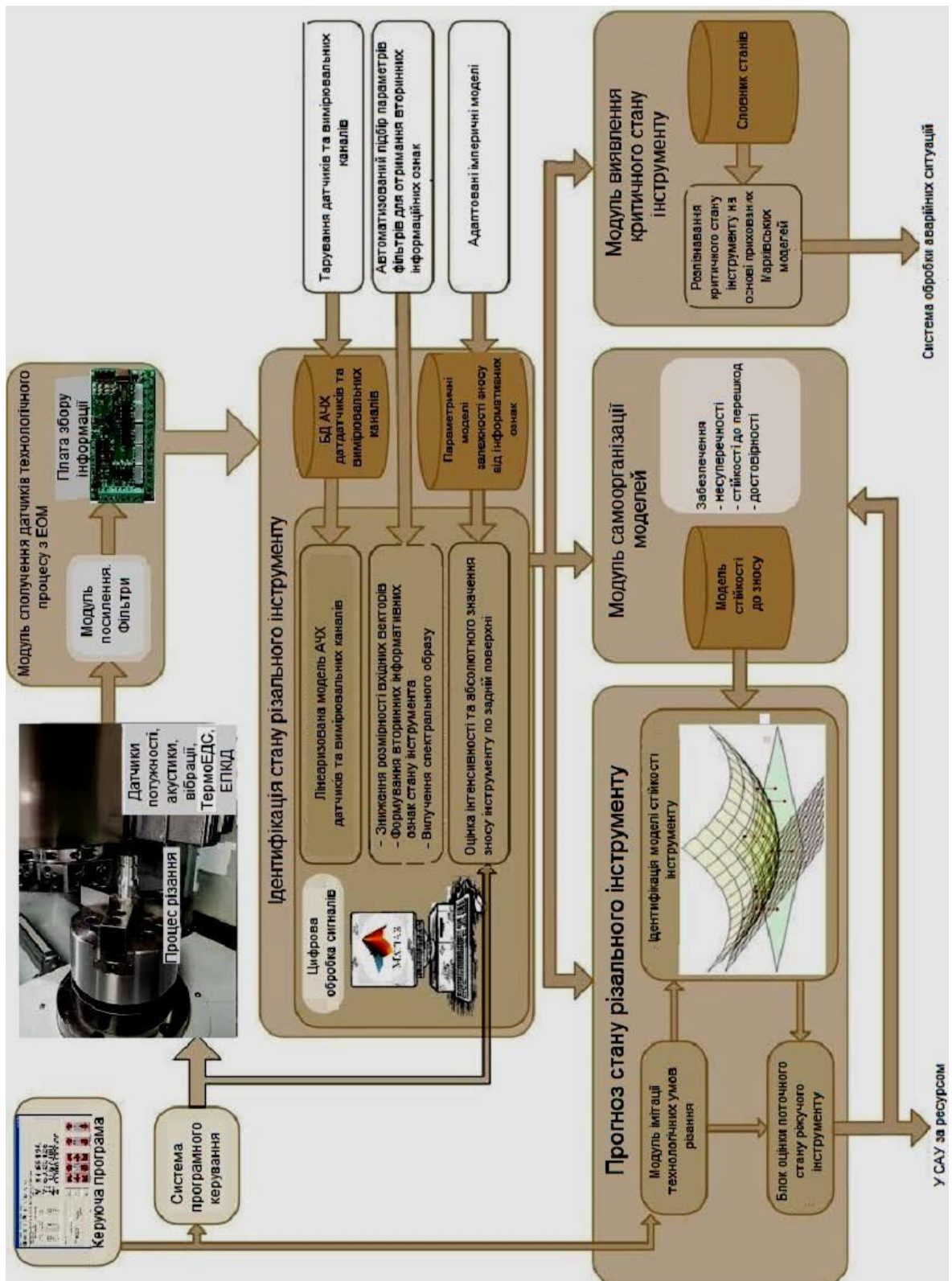


Рисунок 2.3 – Функціональна схема системи оперативної діагностики різального інструменту

На основі аналізу об'єкта діагностики, методів контролю стану інструменту та існуючих ефективних виробничих рішень розроблено функціональну схему системи оперативної діагностики стану різального інструменту (рисунок 2.3). Проведено обґрунтований вибір та реалізація методів контролю на основі електричних та віброакустичних параметрів.

2.2 Патентний пошук методів діагностики зношування різальних інструментів

З метою вдосконалення існуючих засобів контролю процесу зношування токарних різців проведено патентний аналіз вітчизняної бази.

З метою вдосконалення технічних засобів контролю зносу токарних різців здійснено аналіз вітчизняної патентної бази для отримання інформації щодо наявності винаходів в цьому напрямку [8]. Результати цього аналізу наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Результати патентного пошуку методів діагностики зношування

	Назва	Джерело	Автор	Сутність методу	Примітки
1	2	3	4	5	6
1	Спосіб випробування різального інструменту на зносостійкість	Патент № 14366	Скібін В. В., Гах В. М., Гузенко В. С., Черномаз В. М.	Винахід відноситься до області обробки матеріалів різанням і може бути використано при випробуваннях різального інструменту. Метою винаходу є розширення діапазону досліджуваних подач і скорочення трудомісткості процесу.	
2	Спосіб контролю якості різального інструменту	Патент № 21776	Остаф'єв Д. В., Остаф'єв С. В.	Винахід відноситься до обробки металів різанням і може бути використано для визначення якості покриття різального інструменту. Як прототип обраний спосіб визначення зносу інструменту, що полягає в тому, що визначається максимальна величина ЕРС різання перехідного процесу, і потім, в процесі різання, знаходять відношення поточного ЕРС	Недоліком способу є низька точність, так як використовується тільки один параметр оцінки - ЕРС різання

Продовження таблиці 2.2 - Результати пошуків інформації в патентних базах

1	2	3	4	5	6
3	Спосіб реалізації активного методу вимірювання і корегування зносу інструменту з використанням лазерних приладів на основі інтегрованої системи автоматизації виробництва штампів	Патент № 111088	Кудряшов В. О.	Спосіб реалізації активного методу вимірювання і корегування зносу інструменту з використанням лазерних приладів на основі інтегрованої системи автоматизації виробництва штампів, що полягає у використанні оптичних методів вимірювання та автоматичного управління корегуванням за зоною обробки деталей, який відрізняється тим, що застосовують розроблений вимірювальний канал активного лазерного приладу, що дає можливість візуально представити весь процес вимірювання: від вимірюваної деталі штампа до показань замірів на цифровому індикаторі, а також метрологічної оцінки та корегування зносу інструменту активними лазерними засобами вимірювання.	
4	Пристрій для вимірювання швидкості зносу різального інструмента	Патент № 70582	Демченко М. О., Волобуєва Г. В., Заєць В. С., Шевченко В. В., Заєць С. С., Матвієнко С. М.	Пристрій для вимірювання швидкості зносу різального інструмента містить термопару, що утворюється різальним інструментом і оброблюваною деталлю. Державку різального інструмента охоплює магнітний сердечник з обмоткою. Між державкою різального інструмента і магнітним сердечником розміщена ізоляційна прокладка. Підсилювач з'єднаний з обмоткою магнітного сердечника.	До недоліків належить те, що вимірювання зношування інструмента можливо при обробці деталей з металевих сплавів, які мають властивість проводити електричний струм, а також визначені показники температури при різанні.

Продовження таблиці 2.2 - Результати пошуків інформації в патентних базах

1	2	3	4	5	6
5	Спосіб визначення зносу різального інструмента	Патент №75978	Кузьменко А. Г., Стецьків О. П., <u>Сторощук В. А.</u>	Винахід відноситься до області машинобудування і може бути використаний для дослідження на знос пар тертя матеріалу різального інструмента по оброблюваному матеріалу. Відомий метод зворотного обертання шпинделю для дослідження на знос металорізальних різців. Випробування проводиться на токарному верстаті типу ТВ 320. Деталь виконується у вигляді сталеві труби діаметром 46,1мм, товщина стінки 1,05мм. Навантаження на різець виконується не <u>кінематично</u> від подачі супорта, а силове через спеціальний важіль.	Недолік методу, що він не дозволяє проводити дослідження на знос інструменту (паперорізальні ножі, <u>висікальні ножі</u>), коли оброблюваний матеріал є пластичний (папір, шкіра, гума, полімери) і в процесі дослідження не відтворюються тиски, які виникають при різанні.
§	Спосіб контролю якості різального інструменту при обробці деталей на верстатах з системою числового програмного керування	Патент № 99027	Філон М. Ю., Шевченко В. В., Андрєєв О. О.	Спосіб контролю якості різального інструменту, який включає вимірювання максимальної величини сигналу акустичної емісії в зоні різання при перехідному процесі, який відрізняється тим, що перед обробкою заготовки на ній не потрібно знімати фаску і сигнали вимірюють в двох зонах, а саме додатково вимірюють мінімальну величину сигналу акустичної емісії в зоні різання та інфрачервоного випромінювання із зони сходу стружки при перехідному процесі.	

Кінець таблиці 2.2 - Результати пошуків інформації в патентних базах

8	Метод визначення ударної мікротвердості металів та їх сплавів за <u>котречком</u>	Патент № 110576	<u>Котречко О. О.</u>	Належить до механічних випробувань матеріалів, зокрема до визначення ударної мікротвердості поверхневих шарів металевих виробів після хіміко-термічної обробки, лазерного і плазмового наплавлення, металізації, наклепу тощо.	Недоліком є те, що втиснення піраміди з кутом при вершині $\alpha=136^\circ$ у досліджуваний виріб під час переходу від пружних до пластичних деформацій супроводжується значним наклепом металу. При цьому величина наклепу постійно зростає, а отримані значення твердості металу перевищують дійсні.
---	---	-----------------	-----------------------	--	---

На сьогодні існує значна кількість способів оцінювання зношування різальних лез токарних різців, які базуються на різних теоріях, таких як теорія акустичної емісії чи теплового стану інструменту. Ці методи передбачають виконання численних експериментів або дозволяють здійснювати моніторинг стану головної різальної крайки токарного різця в реальному часі. Однак аналіз показав, що більшість із них або непридатні для безпосереднього використання під час механічної обробки в умовах автоматизованого виробництва, або вимагають значних витрат, що може суттєво знижувати собівартість виготовлення виробів.

2.3 Критерії вибору методів діагностики токарних різців для обробки валів

Системи діагностики токарних різців використовують для моніторингу стану різального інструменту під час обробки, що дозволяє підвищити якість продукції, зменшити витрати на виробництво та мінімізувати їх вихід з ладу. Ці системи

оцінюють зношування різців, вібрації, температуру в зоні різання, що впливають на ефективність технологічного процесу обробки валів [8].

Під час вибору методу враховують такі критерії:

- незалежність вимірюваного параметра від режимів токарної обробки;
- швидкість роботи алгоритмів розпізнавання, що базуються на цьому методі;
- висока точність вимірювань;
- надійність і тривалість збереження отриманої оцінки;
- досконалість технічної реалізації.

Вали широко використовуються у механізмах машин для передачі обертального руху та крутного моменту. Їх розрізняють за службовим призначенням, конструкцією, розмірами та матеріалом. Вони можуть бути безступінчасті та ступінчасті, суцільні та пустотілі, гладкі та шліцьові, вали-шестірні, а також комбіновані в різних поєднаннях. У машинобудуванні найбільш поширені ступінчасті вали діаметром 30–80 мм і довжиною 150–1000 мм, які складають понад 85% від загальної кількості типорозмірів валів. Ступінчасті вали поділяються на короткі (до 250 мм), середні (250–350 мм) та довгі (понад 350 мм). Жорсткими вважаються вали, у яких відношення довжини до діаметру не перевищує 10. Вали сприймають сили з боку передач і зазнають складної деформації: згин, кручення, розтяг, стискання. У процесі роботи можливі поломки статичні та утомні, а також деформації неприпустимих значень. У зв'язку з цим основними критеріями працездатності є міцність, жорсткість і вібростійкість. У валів, які працюють у парі з підшипниками ковзання, важливо забезпечити зносостійкість цапф. Практикою встановлено, що руйнування валів і осей швидкохідних машин у більшості випадків має утомний характер, тому основним для валів є розрахунок на опір утоми. Крім того, їх розраховують на жорсткість і вібростійкість [10].

Працездатними у виготовленні є ступінчасті вали, які мають шийки під підшипники та зубчасті колеса, шпонкові канавки, шліцьові та різьбові поверхні. Вали виготовляються із вуглецевих і легованих конструкційних сталей (35, 40, 45,

40Г, 50Г, 40Х, 50Х та ін.) і, як правило, піддаються термічній обробці. На рисунку 2.4 відображено класифікація типових валів [11].

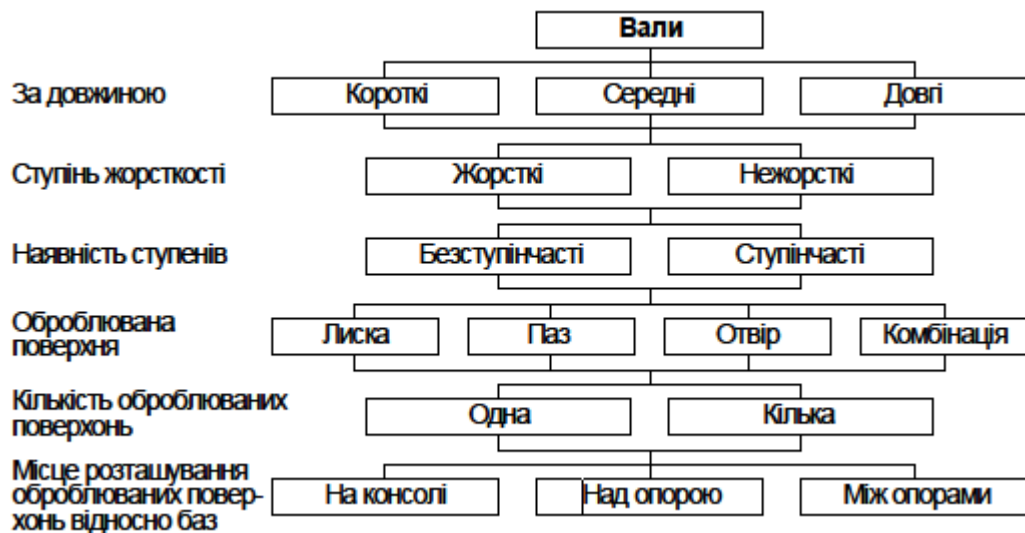


Рисунок 2.4 - Класифікація валів

Деталі типу вал обробляються на різних типах токарних, фрезерних, свердлильних та шліфувальних верстатів. Структура механічної обробки вала багато в чому залежить від точності розмірів, форми, взаємного розташування та шорсткості поверхонь. Токарна обробка є найбільш трудомісткою операцією обробки тіл обертання. При виготовленні валів працемісткість токарної обробки складає в середньому 64% від загальної працемісткості обробки деталі. Токарна обробка валів виконується на токарно-гвинторізних та токарно-револьверних верстатах, токарних верстатах із ЧПК, токарних багатоцільових верстатах та багатошпindelних і багаторізцевих токарних напівавтоматах. Залежно від концентрації технологічних переходів (послідовна, паралельна та послідовно-паралельна) застосовуються одно- або багаторізцеві налагодження з використання стандартних або спеціальних різальних та допоміжних інструментів [11].

Для визначення методу діагностики методу токарних різців необхідно визначити особливості конструкції їх різального леза.

Особливості конструкції токарних різців для обробки валів.

Для обробки валів найчастіше використовують такі типи різців(рисунок 2.5):

- прохідні;
- упорні;

- торцеві;
- канавкові;
- відрізні.

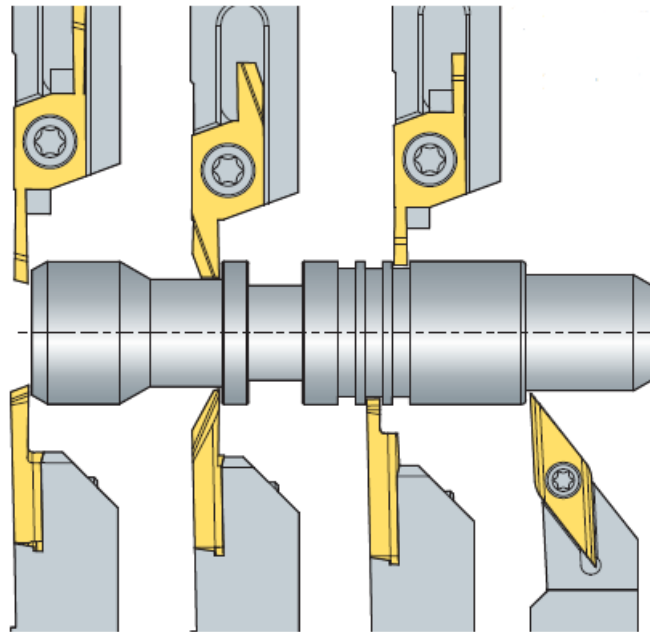


Рисунок 2.5 – Типи різців для обробки валів

Канавкові різці — це інструмент для токарної обробки, який використовується для створення канавок, підрізів, торцевих фасок або вирізання деталей певного профілю на заготовках. Вони можуть бути як монолітними, так і зі ЗНБП, що дозволяє оптимізувати процес обробки та продовжити термін служби інструменту. Канавкові різці забезпечують високу точність і якість поверхні, що робить їх незамінними в металообробці. Типи канавкових різців показано на рисунку 2.6.

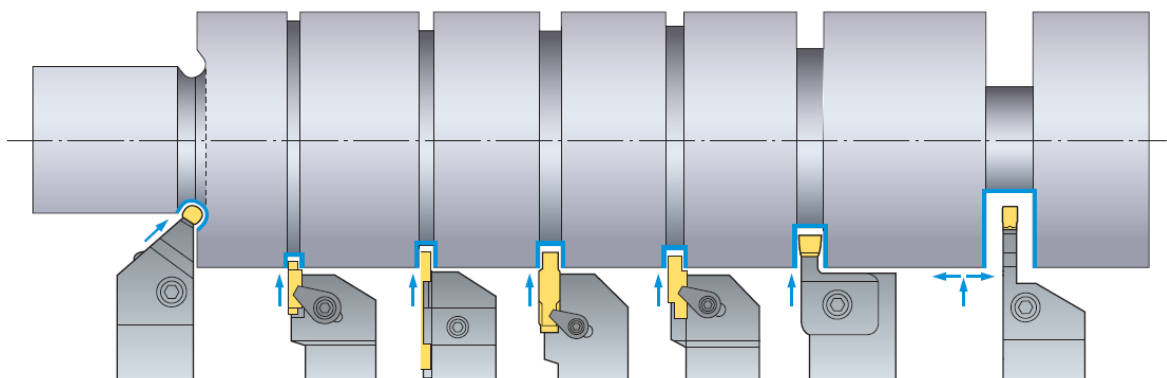


Рисунок 2.6 – Типи канавкових різців

Відрізні різці (рисунок 2.7) — це спеціалізований інструмент для токарної обробки, який використовується для відрізання заготовок або відокремлення готової

деталі з основного матеріалу. Вони мають тонку, витягнуту форму, що мінімізує втрачений матеріал і забезпечує точну форму поверхні.

Правильний вибір геометрії різця, подачі та швидкості різання забезпечує точність виконання розмірів і зменшує ризик деформації деталей.

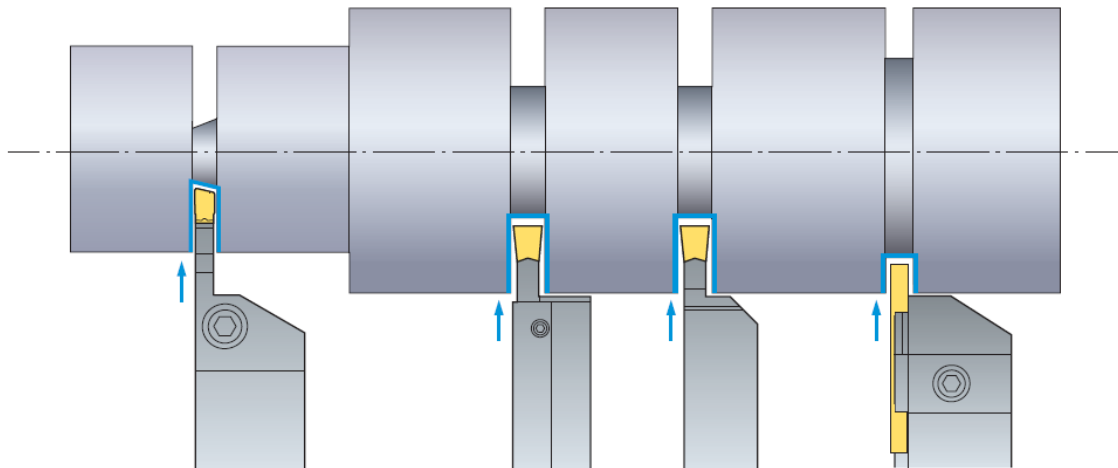


Рисунок 2.7 – Типи відрізних різців

Торцеві різці (рисунок 2.8) — це різновид токарного інструменту, призначений для обробки торцевих поверхонь деталей. Вони використовують для підрізання торців, створення фасок та інших операцій, які вимагають обробки торцевих площин. Використовуються для підрізання торцевих поверхонь, зазвичай мають просту геометрію і забезпечують високу якість обробки.

Торцеві токарні різці, оснащені ЗНБП, що дозволяє легко замінити елемент без необхідності заміни всього різця.

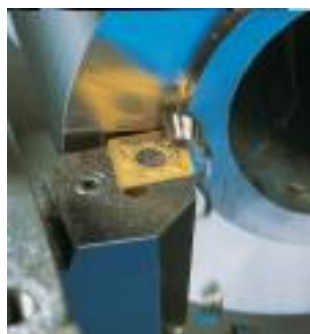


Рисунок 2.8 – Торцевий різець

Правильний вибір типу торцевого різця залежить від поставленої задачі, заготовки матеріалу та необхідної точності обробки.

Прямі методи вимірювання є найбільш точними, серед яких найпростішим є метод мікрометричного вимірювання. За допомогою цього методу можна вимірювати зменшення розміру від вершини різального леза токарного різця до базової поверхні або точки на інструменті. Цей вид зношування безпосередньо впливає на точність токарної обробки, спричиняючи похибки форми і розмірів оброблюваних поверхонь деталей є розмірним. Таке розмірне вимірювання проводять зазвичай за допомогою інструментальних мікроскопів [6].

Для більш точного оцінювання ступеня зносу токарних різців часто застосовують комбінація декількох методів. Найчастіше використовуються такі методи, як параметрів лунки зношування, геометрії різального клину токарних різців, та візуальну оцінку стану інструменту. Таким чином, верстатник може приймати рішення що до заміни ЗНБП токарного різця у відповідний момент.

Незалежно від вибраного методу вимірювання, відстеження ступеня зношування токарних різців є важливим етапом у технологічному процесі виготовлення валів.

2.4 Етапи побудови системи діагностики токарних різців

Першим етапом при побудові системи діагностики токарних різців є формування вимог до засобів їх діагностики, до яких належать:

- здійснення контролю працездатності інструменту з урахуванням умов його експлуатації;
- забезпечення безперервності контролю під час реалізації технологічного процесу виготовлення валів, не порушуючи ритму випуску продукції;
- забезпечення мінімального рівня витрат на контроль зношування токарних різців.

Структура системи контролю може бути побудована, якщо є така вихідна інформація:

- конструкторська та технологічна документація;

- типові процеси виготовлення валів;
- інструкції та програми контролю працездатності токарних різців ;
- каталоги та довідкові дані про існуючі сучасні засоби контролю токарних різців;

- стандарти й нормативи по технології контролю токарних різців/

Діагностичні системи можуть базуватися на трьох основних методах:

- інтуїтивному (евристичному), що використовує досвід спеціалістів, які після аналізу особливостей конструкції різального інструменту та умов роботи проєктують технологічний процес контролю його працездатності;

- аналоговому, при якому застосовуються відомості про контроль стандартних різальних інструментів;

- аналітичному, що базується на економіко-математичних моделях математичної статистики та теорії ймовірності/

Діагностичні системи, розроблені за таким алгоритмом, є оптимальними. Вони відповідають сучасному рівню техніки; добре адаптуються в автоматизовані системи на виробництві; забезпечують своєчасне виявлення та усунення дефектів різальних інструментів, зокрема, токарних різців (монолітної конструкції – для заміни дублерами та подальшого пере заточування; для різців складеної конструкції – ЗНБП або її перевстановлення) в результаті надання інформації для оперативного регулювання технологічним процесом завдяки зворотному зв'язку з автоматизованою системою управління.

Наступним етапом при побудові системи діагностики токарних різців є вибір схем контролю: визначення контрольних місць різальної частини токарного різця, де здійснюється збір інформації про контрольовані параметри; вибір поверхонь базування засобів контролю; оцінка точності та надійності базування давачів по відношенню до поверхонь зношування за типом різця в операціях діагностики його стану.

Важливим етапом при побудові системи діагностики токарних різців є вибір методу контролю - визначення його оптимального методу на базі встановлених показників контролю зношування токарних різців за видом.

Наступним етапом при побудові системи діагностики токарних різців є розробка документації результатів контролю зношування токарних різців за видом зношування (технологічних паспортів, карт вимірювань, журналів діагностики працездатності на базі нормативних документів, інструкцій, стандартів і вимог).

2.5 Алгоритм вибору системи діагностики токарних різців

Алгоритм вибору системи діагностики токарних різців можна представити у вигляді послідовності, в якій враховують певні важливі фактори.

Вид об'єкта контролю - токарного різця певного типу.

Тип токарного різця вимагає вимог до діагностичного обладнання. Наприклад, різці зі змінними пластинами потребують особливого підходу до контролю кріплень, а монолітні різці вимагають уваги до цілісності різальної частини. Доступність досліджуваних параметрів залежить від конструкції різця, яка може ускладнювати або спрощувати процес контролю.

Контрольовані параметри та ознаки. Параметри, які підлягають контролю, включають геометрію різальної частини, гостроту ріжучої крайки та стан її поверхні. Наприклад, важливо перевірити наявність сколів, тріщин або нерівностей, які можуть вплинути на якість обробки матеріалу.

Номінальне значення розмірів і допусків є основою для порівняння фактичних даних вимірювань. Наприклад, якщо допуск на відхилення кута заточки ріжучої частини перевищено, це можна вплинути на точність обробки.

Допуски на похибки вимірювання. Точність вимірювання має відповідати вимогам до контрольованого параметра. Використання обладнання з недостатньою точністю може призвести до неправильних висновків про якість різця.

Габарити різця впливають на вибір діагностичного обладнання, особливо для великих або нестандартних за формою різців. Маса різця може обмежувати можливість застосування певних засобів контролю.

Контактні методи діагностики, наприклад, механічні вимірювачі, можуть викликати мікро-пошкодження різної частини. Це робить недоцільним їх використання для контролю тонко заточених або спеціальних різців.

Технологічне середовище. На точність контролю можуть впливати фактори, такі як пил, вібрація або температура. У таких умовах потрібні системи, стійкі до зовнішніх впливів.

Продуктивність і відповідність ритму випуску виробів. Система діагностики має забезпечити швидкість перевірки, яка відповідає темпу виробництва. Це дозволяє уникнути затримок у технологічному процесі.

Останній вибір системи діагностики залежить від її вартості. Дорогі високоточні системи мають бути обґрунтованою потребою у відповідній точності вимірювань.

Результати діагностики можуть відобразитися у вигляді цифрових даних, графіків або звітів. Це впливає на швидкість аналізу та прийняття рішень щодо придатності різця.

Складні системи діагностики вимагають наявності кваліфікованого персоналу, здатного провести вимірювання та аналіз результатів. Низька кваліфікація може призвести до помилок у роботі.

Контрольна оснастка, така як калібри чи фіксатори, дозволяє забезпечити стабільність вимірювань.

Траєкторія руху контрольних пристроїв має мінімізувати час діагностики та забезпечити доступ до всіх основних поверхонь. Наприклад, автоматизовані траєкторії зменшують вплив людського фактора.

Похибка вимірювальних пристроїв повинна бути меншою за встановлені допуски на контрольовані параметри. В іншому випадку точність діагностики буде недостатньою.

2.6 Розробка системи контролю зношування токарних різців

Непрацездатний стан різального інструменту - це стан, за якого, в разі обробки ним, буде виявлено порушення хоча б однієї з вимог за встановлених вимог обробки. Тривкісне відмовлення леза різального інструменту (відмова за умови стійкості) це поступова відмова леза різального інструменту, що настає після досягнення ним критерію затупленості. Тривкість - здатність чинити опір незворотним негативним впливам технологічної системи. Стійкість різального інструменту – здатність відновлювати нормальний стан після відхилення від нього. Точнісне відмовлення леза різального інструменту (відмова за умови точності) – це поступове відмовлення леза різального інструменту, що настає після досягнення розмірами або формою, або розташуванням оброблюваної поверхні межі поля допуску. Надійність різального інструменту це одна з комплексних властивостей що зумовлює його якість та безвідмовність. Керування системою контролю зношування різального інструменту передбачає дії, які спрямовані на вимірювання важливих параметрів різального леза інструменту, характеристик і умов обробки [9].

До засобів систем контролю зношування різальних інструментів (рисунок 2.9) відносять різноманітні методи неруйнівного контролю для вивчення отриманої інформації про об'єкт досліджень.

Кожен вид системи контролю зношування здійснюють методами, які класифікують за такими ознаками:

- характером взаємодії фізичних полів або речовин з контрольованим об'єктом;
- первинним інформаційним параметром;
- способам отримання первинної інформації [7].

Однак, досить перспективними з точки зору наукових досліджень є акустичні методи контролю зношування різального інструменту.

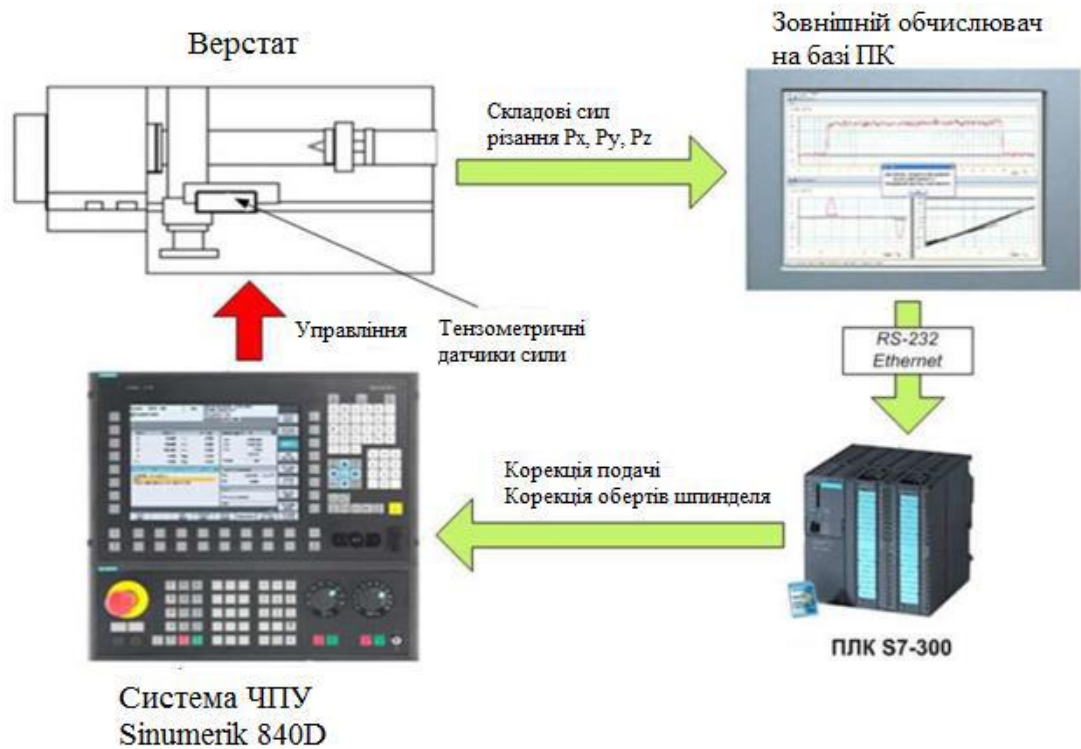


Рисунок 2.9 - Принципова схема системи діагностики токарних різців при обробленні валів

Виробництвом промислових систем діагностики контролю зношування різального інструменту займаються такі виробники: PROMETEC PRomos, NORDMANN, ARTIS Orantec, MONTRONIX DiagnosticTools, BrankampIMBoard, Brancamp CMS [7].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Діагностика зношування різального інструменту є ключовим етапом забезпечення ефективності та безпеки механічної обробки. Використання сучасних систем контролю, що базуються на вимірюванні силових, температурних, віброакустичних та інших параметрів, дозволяє оперативно визначати стан інструменту та запобігати його поломкам. Безперервний моніторинг під час обробки є найефективнішим методом, який сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню втрат. Розробка інтегрованих інструментів-давачів і вдосконалення методів обробки діагностичних сигналів відкривають нові перспективи для покращення точності та швидкості контролю.

Побудова системи діагностики токарних різців є багатоступеневим процесом, який включає формування вимог до засобів діагностики, вибір методів контролю, розробку документації та алгоритм вибору діагностичних систем. Ефективна діагностика забезпечується врахуванням конструкції різця, доступності параметрів контролю, точності вимірювань, адаптації до технологічного середовища та продуктивності процесу. Важливими аспектами є оптимізація витрат, швидкість перевірки та відповідність вимогам виробництва. Використання сучасних засобів і підготовка кваліфікованого персоналу дозволяють мінімізувати похибки, знизити час діагностики та покращити контроль стану різального інструменту.

Розробка системи контролю зношування різального інструменту базується на аналізі фізико-хімічних явищ, які виникають під час різання та взаємодії інструмента з матеріалом. Основними факторами, що впливають на знос, є неоднорідність матеріалів, умови зношування, зміна сил різання, вібрації та теплофізичні властивості. Ефективний контроль можна здійснювати за допомогою неруйнівних методів контролю, таких як магнітний, вихрострумний, акустичний, радіохвильовий тощо. Найбільш перспективними є акустичні методи через можливість раннього виявлення дефектів. Системи контролю дозволяють оперативно моніторити стан інструменту, оптимізувати режими різання та забезпечувати якість процесу.

3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

3.1 Технологічні фактори впливу на планування проведення експерименту

При визначення технологічних факторів при плануванні проведення експерименту необхідно врахувати аналіз вимог до розмірів та якості обробленої поверхні, тип операції (подовжня, торцева та профільна обробка), вид операції (чорнова, напівчистова або чистова обробка), кількість ходів, допуски на розміри деталі, та режими різання (рисунок 3.1).

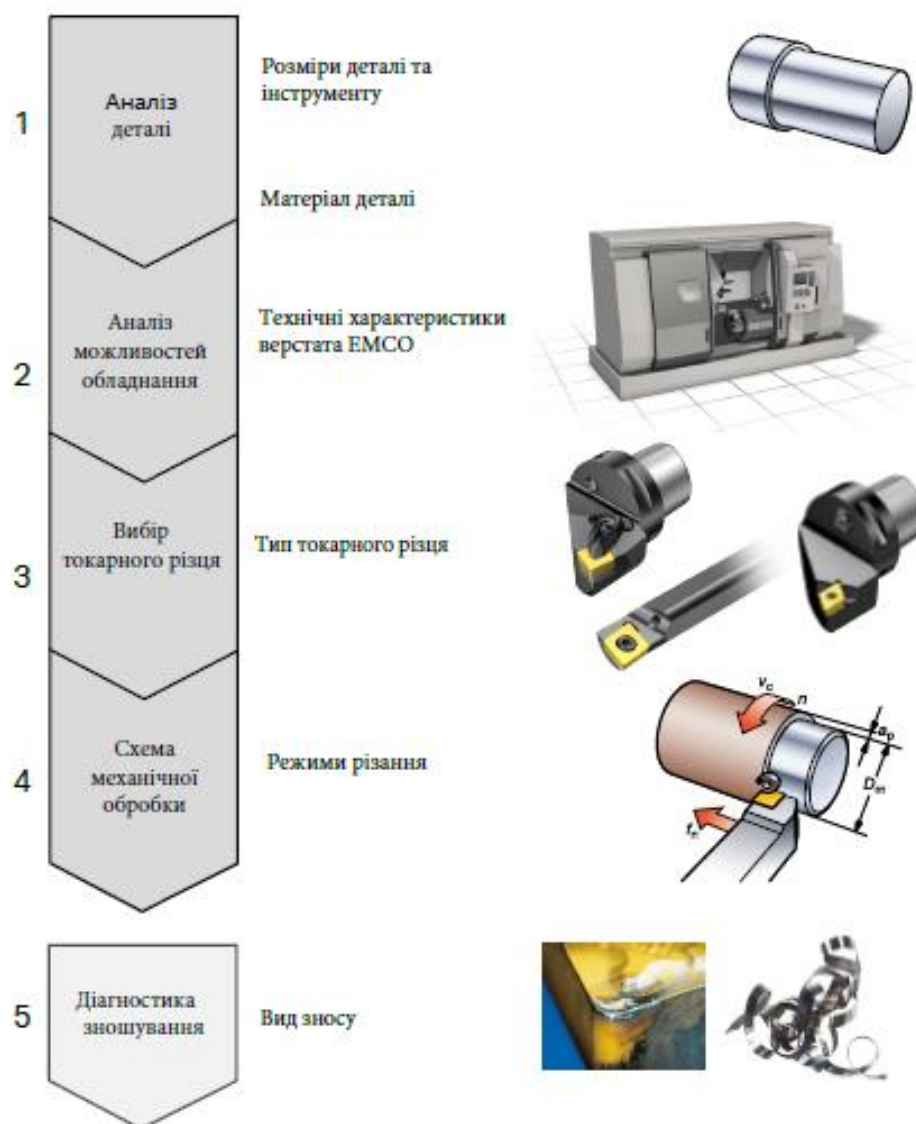


Рисунок 3.1 - Технологічні фактори впливу на планування проведення експерименту

Рисунок 3.1 демонструє основні етапи процесу токарної обробки типової деталі - вал: від початкового аналізу її характеристик і вибору обладнання до визначення оптимальних параметрів різання та діагностики зношування інструменту. Кожен із етапів враховує важливі фактори, такі як геометрія та матеріал деталі, технічні можливості верстата, тип і параметри різального інструменту, а також види зношування. Така структурована схема дозволяє забезпечити ефективність обробки та якість кінцевого виробу.

3.2 Планування проведення експерименту

Експеримент проводився на верстаті на токарному верстаті з ЧПК EMCOTURN S45 (рисунок 3.3) виробництва компанії EMCO Ges.m.b.H (Австрія) із системою управління Sinumerik 840D. Основні технічні характеристики верстата подано в таблиці 3.1.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд верстату EMCOTURN S45

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики верстата мод. EMCOTURN S45

Опис	Значення	Розмірність
Діаметр деталі, що встановлюється над станиною	Ø430	мм
Діаметр деталі, що встановлюється над поперечним супортом	Ø210	мм
Максимальний діаметр, що обробляється	Ø220	мм
Максимальна довжина деталі	310	мм
Максимальний діаметр прутка, що встановлюється в шпиндель	Ø45	мм
Частота обертів шпинделя	0-6300	об/хв
Момент	78	Нм
Потужність головного приводу 100/40% E.D.	7/11	кВт
Кількість позицій інструменту в револьверній головці	12	
Посадочні місця для інструментів VDI (DIN 69880)	VDI 30	мм
Максимальний переріз різців	20 x 20	мм
Частота обертів приводу інструменту	0-5000	об/хв
Максимальний момент (20% робочий цикл)	16	Нм
Потужність приводу (20% робочий цикл)	4	кВт
Встановлена потужність	20	кВт
Робоча температура	+10... +35	°C
Напруга	3x400 / PE	В
Частота	50/60	Г
Займана площа В×Т	2250×1630	мм
Повна вага верстата	3300	кг

Діаметр вала 200 мм, довжина 370 мм.

Матеріалом заготовки вала була вибрана сталь 40X13. Хімічний склад досліджуваної сталі показано в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Хімічний склад досліджуваної сталі

Марка сталі	Хімічний склад, %							
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe
40X13	0,35- 0,44	до 0,6	до 0,6	до 0,6	до 0,025	До 0,03	12-14	84

Експеримент проводився на трьох ЗНБП (матеріал NC3225) загальною кількістю 15 випробувань. При визначенні кількості факторів враховувались:

- швидкість різання;
- подача на оберт;
- глибина врізання різального інструменту.

Отже, кількість факторів $n = 3$

Об'єкт дослідження зношування ЗНБП по головній задній поверхні.

Глибина врізання $t = 0.2; 0.3; 0.4$ мм;

Подача на оберт $S_o = 0.2; 0.25; 0.3$ мм/об;

Швидкість різання $V = 80; 100; 120$ м/хв.

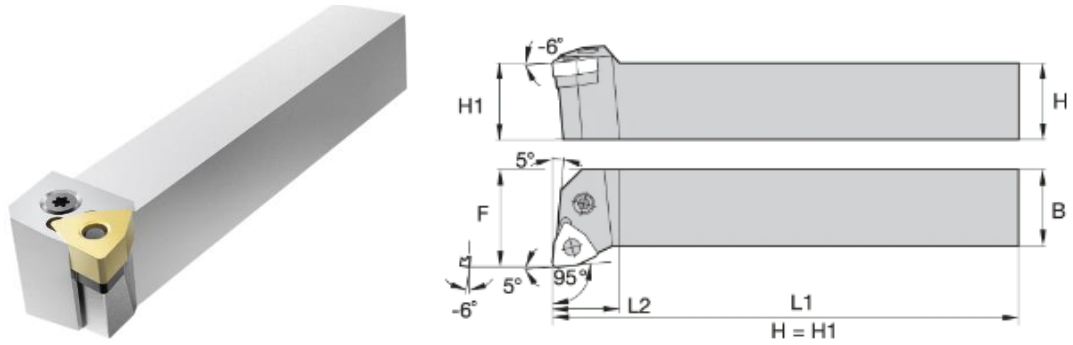
Методику проведення експерименту подано в додатку.

3.3 Лабораторні методи дослідження зношування різального інструменту

Для перевірки результатів моделювання проведено експеримент, під час якого одну заготовку обробляли трьома пластинами, однакової форми, з однаковими фізико-механічними властивостями, одного типорозміру WNMG 080408 (виробник Kennametal).

Код державки - PWLNR2020K06 (рисунок 3.4).

Схема механічної обробки – зовнішнє точіння вала токарним прохідним різцем.



H: 20

B: 20

F: 25

L1: 125

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд державки та її геометричні параметри:

$H=20\text{мм}$; $B=20\text{мм}$; $F=25\text{мм}$; $L_1=125\text{мм}$.

Геометричні параметри ЗНБП – $\varphi_1=25^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $\varphi=75^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=\alpha_1=5^\circ$, $r=0,2-0,3$ мм.



Рисунок 3.5 – ЗНБП форми W (одностароння)

Досліджуваний критерій зносу – h_3 (знос по головній задній поверхні).

Після заданого часу обробки ($T=20$ хв) було проведено контроль ступеня зношування на головній задній поверхні кожної з використаних ЗНБП. Використовуючи зображення майданчика зношування пластини на головній задній поверхні та масштабну лінійку, було виконано вимірювання лінійного значення зношування за допомогою мікроскопа типу ММІ-2. Мікроскоп інструментальний типу ММІ-2 (рисунок 3.6), застосовується для визначення розмірів прямокутних координатах. Мікроскоп складається з чавунної основи 1, на якій розташований вимірювальний стіл 2 з мікрометричними гвинтами для поздовжнього 7 і

поперечного δ переміщення, а також колонка 3, по напрямних якої рухається кронштейн 4 з мікроскопом за допомогою маховичків 5. Освітлювальний пристрій 8 вмонтований у задню стінку основи [17].

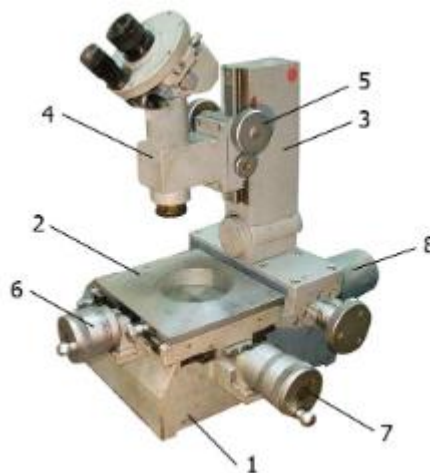


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд інструментального мікроскопа ММІ-2

На наведених рисунках ілюструється процес вимірювання зношування пластини по головній задній поверхні. Оскільки фотографії головної задньої поверхні пластини та масштабної лінійки були зроблені за допомогою однієї й тієї ж лінзи з однаковим збільшенням, можна використати масштабну лінійку (на рисунку 3.7 позначено розмір 1 мм) для визначення величини зношування h_3 , отриманої під час вимірювання на головній задній поверхні [8].

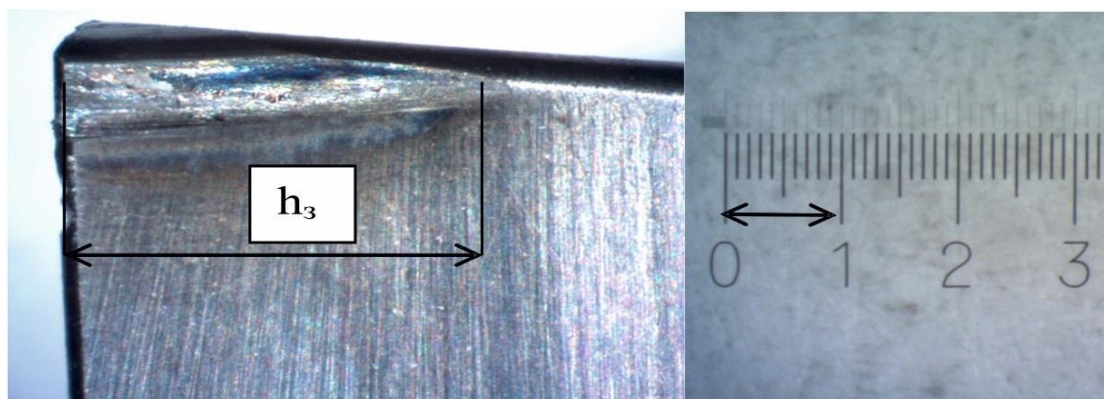


Рисунок 3.7 – Фотографія головної задньої поверхні пластини та масштабної лінійки

Згідно з графіком який показаний на рисунку 3.8:

Перша пластина (синя лінія) демонструє середню величину зношування по головній задній поверхні, яка залишається відносно стабільною протягом експериментів.

Друга пластина (червона лінія) має найнижчу величину зношування серед усіх трьох пластин, що свідчить про її вищу зносостійкість.

Третя пластина (зелена лінія) показує найбільшу величину зношування, яка є найвищою серед трьох пластин, що вказує на її меншу зносостійкість.

Таким чином, друга пластина є найбільш зносостійкою, а третя пластина – найменш стійкою до зношування.

Результати, отримані після проведення натурного експерименту показують, що величина зношування по головній задній поверхні буде у другій пластини (рисунок 3.8).

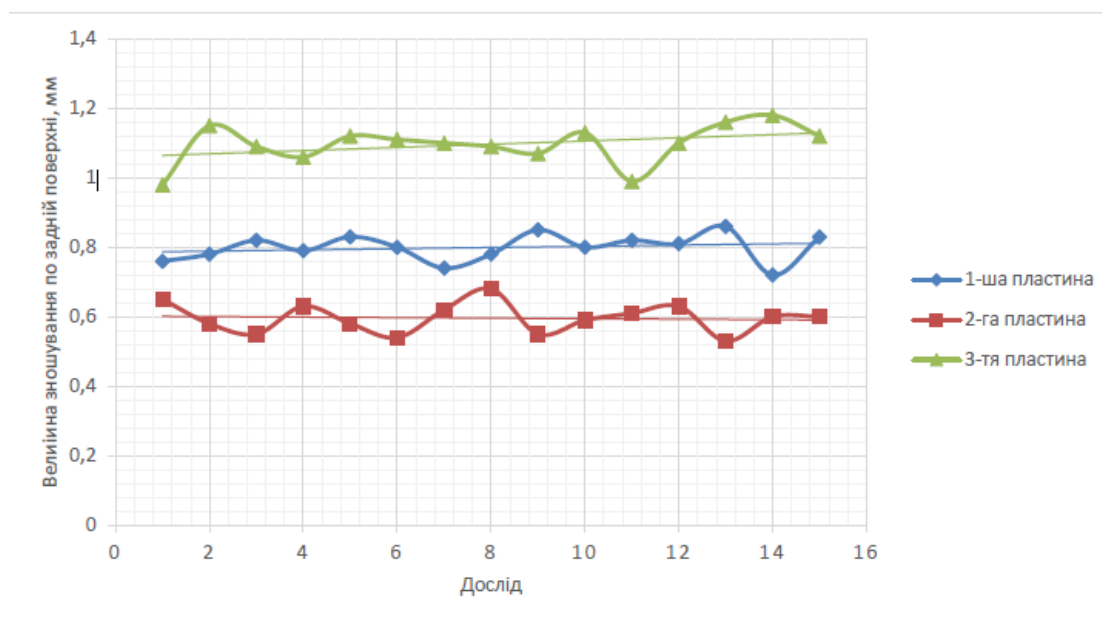


Рисунок 3.8 – Ступінь зношування по головній задній поверхні ЗНБП

Знос по задній поверхні є важливим показником довговічності ріжучого інструменту. Цей параметр залежить від матеріалу основи, типу покриття та умов різання. Наприклад, одна пластина може показувати рівномірний знос завдяки високій якості матеріалу, інша – демонструвати кращу стійкість через інноваційне зносостійке покриття, а третя – швидше зношуватися, але мати інші переваги, до

прикладу, меншу вартість. Таким чином, аналіз цих показників допомагає визначити оптимальний вибір ЗНБП для конкретних умов механічної обробки валів.

Стійкість ЗНБП значною мірою залежить від швидкості різання. Зі збільшенням швидкості різання теплове навантаження на токарний різець зростає, що прискорює процес зносу його різальної частини. У певному діапазоні швидкостей можна спостерігати оптимальну стійкість ЗНБП, однак перевищення цього діапазону приводить до різкого скорочення терміну служби інструменту через інтенсивне тертя та термічну деградацію. Залежність стійкості ЗНБП від швидкості різання показано на рисунку 3.9.

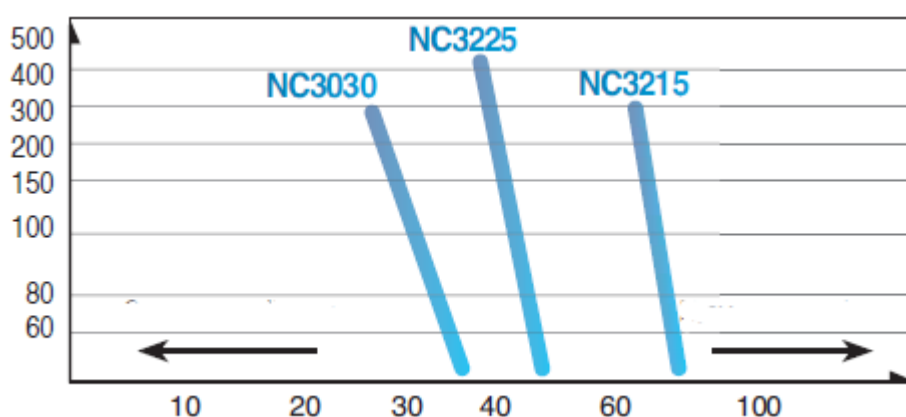


Рисунок 3.9 – Залежність стійкості ЗНБП від швидкості різання

Подача значно впливає на величину зносу головної задньої поверхні пластини ЗНБП (рисунок 3.10). Із збільшенням подачі зростає об'єм стружки, що підвищує навантаження на головну різальну крайку. Це приводить до інтенсивнішого тертя та механічного зношування. Водночас, при дуже малій подачі може виникати мікровібрація, яка також сприяє зносу. Оптимальний вибір подачі дозволяє мінімізувати зношування та забезпечити стабільність різального процесу обробляння валів .

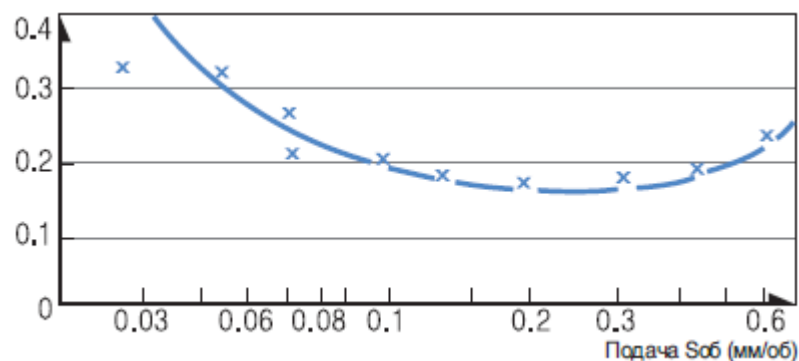


Рисунок 3.10 – Вплив подачі на величину зносу головної задньої поверхні ЗНБП

Глибина різання впливає на величину зносу головної задньої поверхні ЗНБП (рисунок 3.11), оскільки з її збільшенням зростає зона контакту головної різальної крайки з матеріалом заготовки. Це приводить до підвищення механічного навантаження та тепловиділення, що сприяє швидшому зношуванню ЗНБП. Водночас, занадто мала глибина різання може спричинити нерівномірний контакт і мікрівібрації, які також негативно впливають на стійкість ЗНБП токарних різців. Оптимальна глибина різання забезпечує баланс між продуктивністю токарного різця та стійкістю ЗНБП.

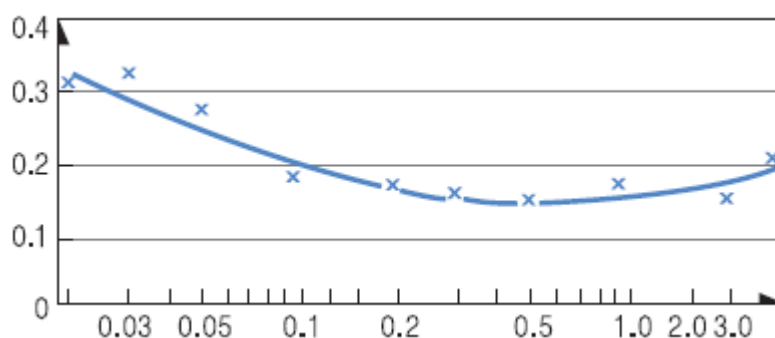


Рисунок 3.11 – Вплив глибини різання на величину зносу головної задньої поверхні ЗНБП

Величина зносу головної задньої поверхні ЗНБП значною мірою залежить від режимів різання, таких як швидкість різання, подача та глибина різання (рисунок 3.12).

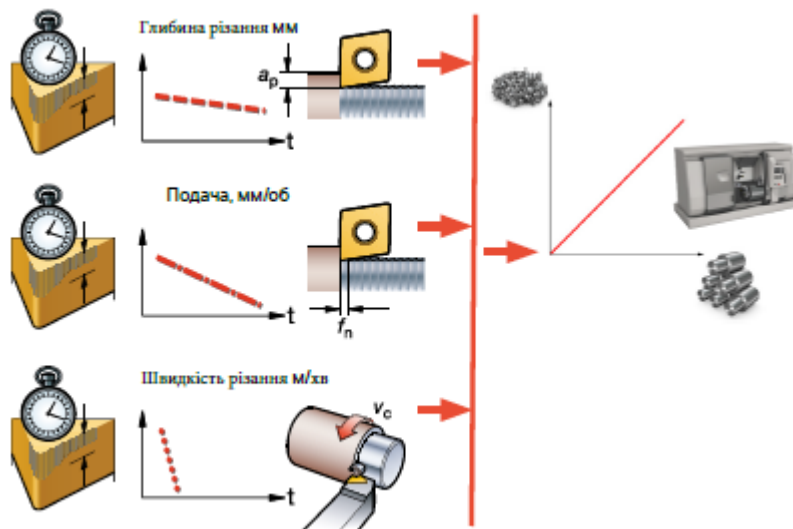


Рисунок 3.12 – Вплив режимів різання на стійкість ЗНБП

Підвищення цих параметрів збільшує механічне та теплове навантаження на головну різальну крайку, що прискорює зношування ЗНБП. Водночас, недотримання оптимальних значень, (занадто мала подача чи глибина різання), може спричинити мікровібрації та нерівномірне зношування (рисунок 3.13).

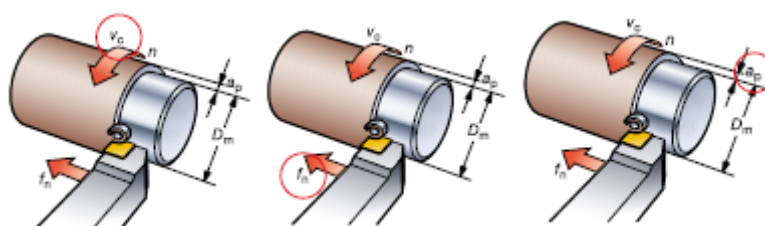


Рисунок 3.13 – Факторна важливість режимів різання

Правильний вибір режимів різання з урахуванням властивостей матеріалу заготовки, типу токарного різця та умов його роботи дозволяє мінімізувати знос і збільшити стійкість інструменту. Це забезпечує стабільність процесу токарної обробки, високу продуктивність і зменшує витрати на заміну інструменту. При цьому важать умови токарної обробки: чорнова, чистова чи викінчувальна (рисунок 3.14).

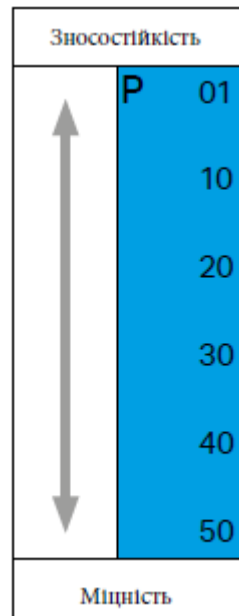


Рисунок 3.14 – Вплив умов роботи токарного різця на зносостійкість ЗНБП: P01 - чистове; P10 - контурне; P20 - контурне; P30 - чорнове; P40 - торцеве; P50 – обдирне точіння

P01. Чистове точіння: висока швидкість різання; невеликий припуск; гарна якість обробленої поверхні; висока точність; відсутність вібрації.

P10. Контурне точіння: висока швидкість різання; невеликий або середній припуск.

P20. Контурне точіння: профільне оброблення; середня швидкість різання; обробка торців з невеликим припуском; середні та важкі умови.

P30. Чорнове точіння: швидкість різання від низької до середньої; середній та великий припуск; включаючи операції з важкими умовами обробки.

P40. Торцеве точіння, відрізання заготовок, обробка канавок: низька швидкість різання; великий припуск; дуже важкі умови обробки.

P50. Надважкі умови точіння (обдирка): торцеве точіння, обробка канавок, відрізання заготовок, низька швидкість різання, великий припуск, вкрай важкі умови обробки.

За статистичними дослідженнями виробника Sandwik при підвищенні стійкості токарних різців на 50% собівартість продукції орієнтовно зменшується на 1% (рисунок 3.15).

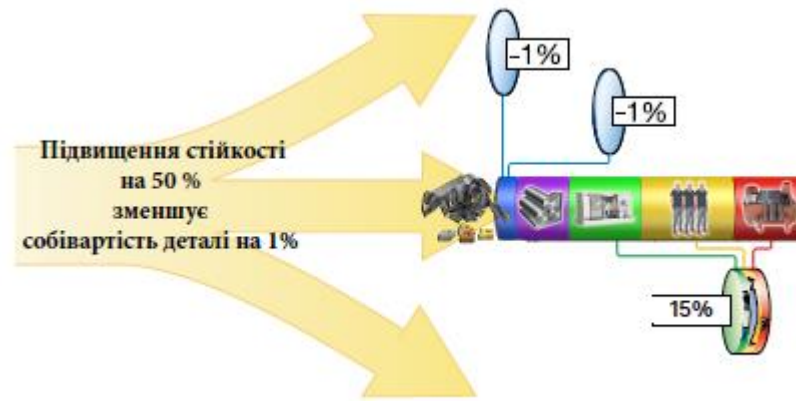


Рисунок 3.15 – Вплив стійкості токарного різця на собівартість механічної обробки валів

При оптимізації режимів різання собівартість продукції орієнтовно зменшується на 15%.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Теоретичні методи дослідження контактних явищ у процесі різання металів показують, що утворення стружки є результатом спрямованого руйнування матеріалу заготовки через тертя та формування напруженого стану в обробленому шарі. При цьому взаємодія між лезом інструменту, заготовкою та стружкою призводить до виникнення контактних процесів, які визначають ефективність та якість різання.

Проведений експеримент показав, що величина зношування головної задньої поверхні ЗНБП залежить від матеріалу вала, типу зносостійкого покриття ЗНБП токарного різця, швидкості різання, подачі та глибини різання. Результати досліджень підтвердили, що оптимальні значення цих параметрів дозволяють мінімізувати знос різального леза ЗНБП, забезпечуючи стійкість інструменту та стабільність процесу механічної обробки. Швидкість різання, подача та глибина різання значно впливають на процеси зношування токарних різців. Правильний вибір режимів різання забезпечує високу ефективність, продуктивність та зменшення витрат на заміну різального інструменту.

4 АКУСТИЧНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ

Акустичні методи базуються на взаємодії з контрольованим об'єктом пружних коливань і хвиль, що охоплюють широкий спектр частот. Основною проблемою є розробка методології та застосування математичних методів для аналізу акустичних сигналів. До методів акустичного контролю належать: активні, які включають випромінювання та прийом акустичних сигналів, і пасивні, що використовують лише прийом акустичних сигналів [1].

4.1 Метод акустичної емісії

Метод акустичної емісії (АЕ) є пасивним методом акустичного контролю, що застосовується для діагностики стану об'єктів. Це визначає конструкцію обладнання, основними функціями якого є прийом і розпізнавання АЕ-сигналів, їх посилення, обробка, виділення параметрів сигналів, реєстрація та подання результатів. Було проведено ряд досліджень, щоб визначити можливість контролю стану інструменту за допомогою акустичного випромінювання з зони різання. Акустичне випромінювання (емісія) вважається енергією, що вивільняється в матеріалі під час деформації або руйнування. Сигнал реєструється датчиком, який сприймає ударні хвилі, що виникають при вивільненні цієї енергії. Встановлено, що основні максимуми спектра АЕ-сигналів при нормальному різанні знаходяться в області 100 кГц, тоді як при дефектах різального інструменту вони зсуваються в діапазон 100–300 кГц. Тому при контролі стану інструменту через акустичне випромінювання межу нормальної роботи встановлюють на рівні 100 кГц, а частоти вище цієї межі вважаються ознакою ушкодження інструменту. Гостре лезо генерує в основному енергію високих частот, в той час як зношене лезо виробляє додаткову енергію в низькочастотній та високочастотній частинах спектра [4].

Експериментальні дослідження акустичної спектрометрії показали, що при зносі інструменту на 1 мм рівень коливань у низькочастотній області спектра збільшується в 5-8 разів, а у високочастотній – в 100 разів. Це свідчить про збільшення енергії акустичного сигналу на всьому спектрі в результаті тертя, яке

спричинене збільшеною площею зносу на передній і задній поверхнях інструменту, що контактують з оброблюваним матеріалом та стружкою. Збільшення енергії в різних частинах спектра відбувається нерівномірно. Між акустичним випромінюванням, яке генерується під час різання, і станом інструменту існує певна залежність: ступінь зносу поверхонь інструменту корелює з інтенсивністю акустичного сигналу. Акустико-емісійною апаратурою вважається обладнання, яке забезпечує прийом, обробку та реєстрацію АЕ-сигналів. Сучасні системи акустичної емісії виготовляються на основі комп'ютерних технологій і часто інтегруються в комп'ютери. Як правило, це універсальні системи, здатні контролювати різні об'єкти. Окремі АЕ-системи є автономними приладами з мікропроцесорними елементами, які призначені для контролю певних типів об'єктів і мають можливість підключення до персональних комп'ютерів [6].

Алгоритм виконання основних операцій процесу АЕ виглядає так.

На поверхню заздалегідь підготовленого різця розміщують приймальні перетворювачі АЕ (ПП), які встановлюються в залежності від геометрії інструменту і акустичних властивостей матеріалу. Перевіряється акустичний контакт за допомогою імітаторів, які випромінюють хвилі, подібні до тих, що виникають від тріщин. Якщо амплітуди імпульсів від імітатора перевищують певний поріг, а перешкод немає, це підтверджує готовність системи до перевірки. Здійснюється АЕ-контроль під час навантаження об'єкта контролю механічною силою та реєстрація акустичних сигналів, що виникають в об'єкті. Проводиться аналіз параметрів сигналів в процесі або після проведення контролю. Визначаються характеристики АЕ на основі попередніх випробувань і коригування за допомогою імітатора [17].

Переваги методу АЕ-контролю, які визначають його можливості та область застосування. АЕ-контроль дозволяє виявляти дефекти на стадії їх розвитку, класифікуючи їх не за розмірами, а за ступенем небезпеки; метод дуже чутливий до зростаючих дефектів, що дає змогу виявляти тріщини розміром до міліметра в умовах експлуатації. За теоретичними оцінками, чутливість акустико-емісійних систем становить близько $1 \cdot 10^{-6}$ мм², що дозволяє зафіксувати тріщину завдовжки

1 мкм на 1 мкм; інтеграційна властивість АЕ-методу дає змогу здійснювати повний контроль об'єкта з використанням одного або кількох ПАЕ, встановлених на його поверхні; АЕ дозволяє контролювати різні технологічні процеси і зміни в матеріалах; положення і орієнтація об'єкта не впливає на виявлення дефектів; метод має менші обмеження в порівнянні з активними методами контролю щодо властивостей і структури матеріалів; джерелом сигналу є сам матеріал, а не зовнішні джерела; АЕ-контроль є дистанційним, за умови правильного розміщення датчиків на об'єкті; визначення координат дефектів можливе без сканування поверхні [6].

В залежності від джерела сигналу, розрізняють такі види АЕ: матеріалу, тертя, при фазових перетвореннях, радіаційної взаємодії, при хімічних та електрохімічних реакціях. Серед цих видів найбільш часто застосовуються АЕ матеріалу. Для виділення АЕ-сигналів з шуму найефективнішими є методи частотної фільтрації, просторової селекції та амплітудної дискримінації. Частотна фільтрація є найбільш результативною для відокремлення сигналів АЕ від механічних шумів, оскільки спектр механічних ударів не перевищує 200 кГц, а спектр шумів від тертя може досягати 1 МГц, на високих частотах ультразвукові хвилі значно гаснуть, що обмежує ефективний діапазон роботи акустико-емісійної апаратури. Тому більшість АЕ-приладів працює в діапазоні від 20...100 кГц до 2...3 МГц. Аналіз існуючих систем АЕ-діагностики показує, що більшість з них мають пристрої з пороговим рівнем. Принцип функціонування таких систем зводиться до того, що після прийому сигналу давачем і його підсилення, сигнал фільтрується, і коли його амплітуда перевищує встановлений рівень, створюється вихідний імпульс [5].

Принцип фіксації сигналів акустичної емісії показаний на рисунку 4.1.

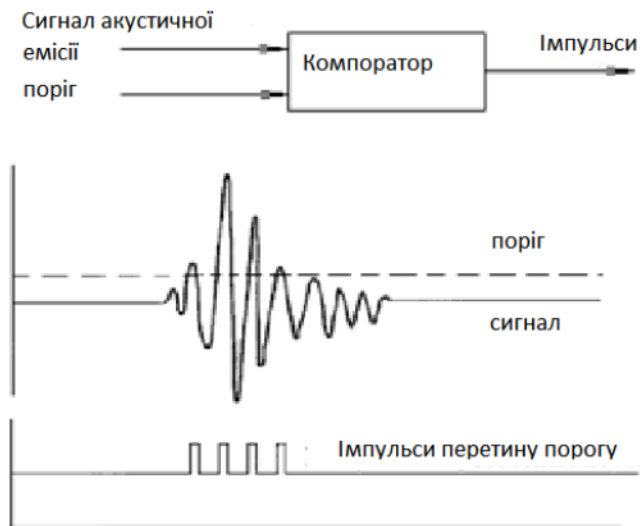


Рисунок 4.1 - Принцип фіксації сигналів акустичної емісії

Однак більшість сигналів акустичної емісії відсіюється, що призводить до втрати значної частини інформації. Амплітудна дискримінація дозволяє виділяти лише ті сигнали, які значно (на 6-8 дБ) перевищують рівень шуму. Сигнали, рівень яких близький до рівня шумів, не можуть бути виявлені за допомогою таких методів.

Рівень порогу, як правило, налаштовується оператором і є важливим параметром, який визначає чутливість акустико-емісійного методу під час тестування. Використання порогових пристроїв призводить до відсіювання більшості сигналів АЕ, що також спричиняє втрату важливої інформації. В результаті порогової обробки фіксуються лише ті сигнали, які значно (на 6-8 дБ) перевищують рівень шуму. Для обробки та аналізу сигналів АЕ використовують вибрану систему класифікації джерел АЕ та критерії оцінки результатів контролю. Перш ніж розпочати аналіз даних, проводиться фільтрація для видалення інформації, що не стосується процесів розвитку та зростання дефектів. Серед відомих методів оцінки процесів руйнування конструкцій при акустичній емісії можна виділити амплітудний, інтегральний, локально-динамічний та інтегрально-динамічний методи, які базуються на аналізі диференціальних характеристик сигналів АЕ [6].

4.2 Елементарні джерела акустичної емісії

В ідеальній кристалічній решітці атомів представлені теплові коливання, що створюють акустичний шум із частотою утворення до 10^{13} Гц. Внаслідок теплового руху атоми можуть залишити своє положення рівноваги, утворюючи дефекти: вакансії та впровадження атомів. Ці дефекти викликають спотворення решітки та накопичення додаткової енергії. Анігіляція дефектів супроводжується випромінюванням акустичного імпульсу (АЕ). Розглянемо структуру твердого тіла як плоску решітку, як показано на рисунку 4.3.

Поведінка кристалічної решітки значною мірою завдяки процесам пластичної деформації та формування тріщин. Розрив атомних зв'язків у тріщині до накопичення пружної енергії в атомних зв'язках, що розтягуються під дією зовнішньої сили. Розповсюдження тріщини є джерелом одиничних акустичних імпульсів, які фіксують як сигнали АЕ [17].

Тріщина, що виникає через розрив атомних зв'язків, швидко поширюється. Сила пластичної деформації тріщини розтягує решітку, внаслідок чого в повздовжніх атомних зв'язках накопичується пружна енергія.

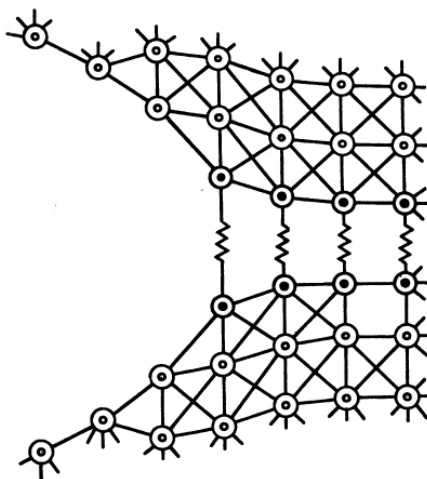


Рисунок 4.3 - Модель атомів на кінці тріщини

Повздовжніми зв'язками є атомні зв'язки, що орієнтовані вздовж напрямку прикладеного навантаження. Модель твердого тіла у такому вигляді описує руйнування решітки та супутнє акустичне випромінювання як дискретний процес.

4.3 Алгоритм проведення акустико-емісійного контролю

Завдяки своїй чутливості до витоків і швидкості їх виявлення в режимі реального часу технологія акустичної емісії привернула загальну увагу.

Місце обробки інформації в процесі роботи акустико-емісійної системи відбувається на кроці 5.

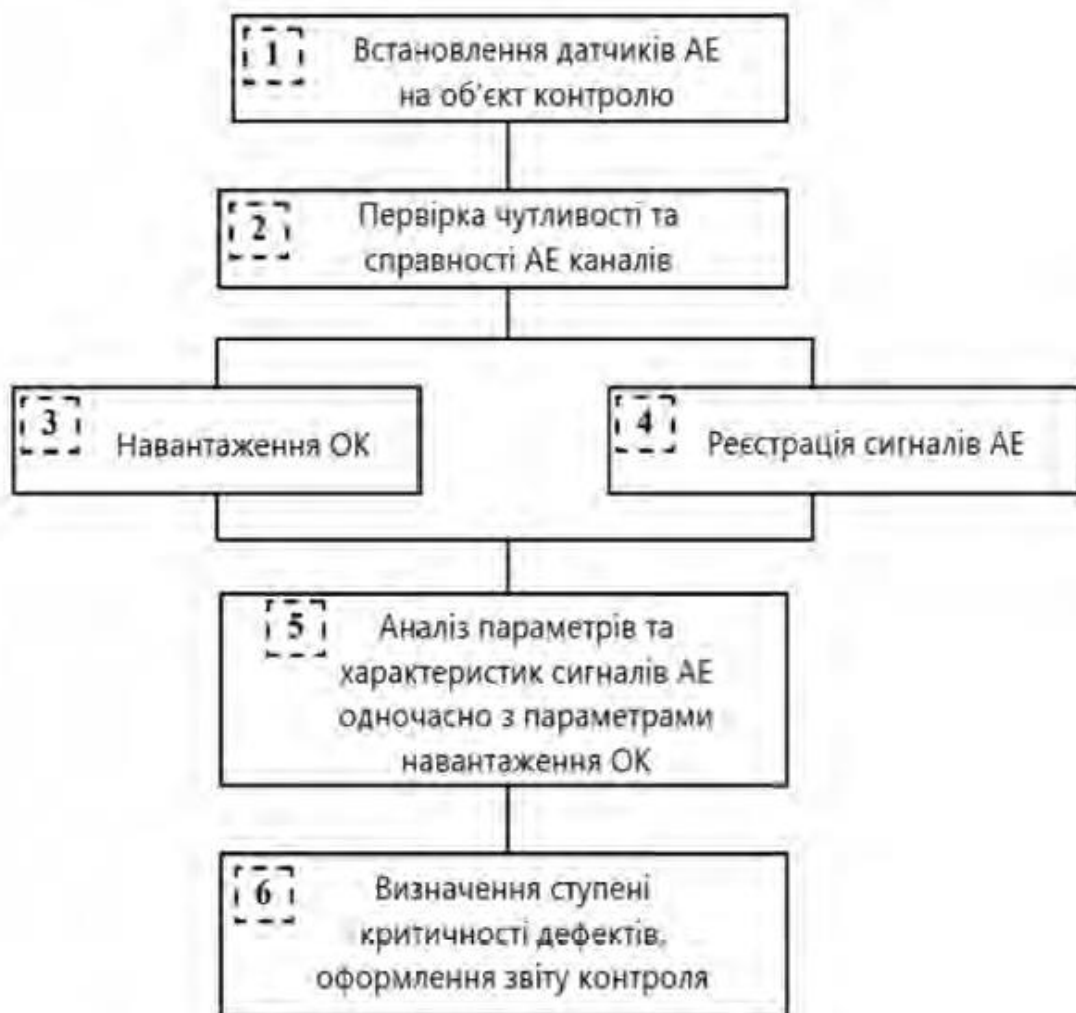


Рисунок 4.4 – Покроковий алгоритм проведення акустико-емісійного контролю

Пристрій обробки АЕ інформації містить у собі засоби відображення інформації та засоби управління АЕ системою, а також набір необхідного математичного забезпечення для чисельної оцінки прийнятого сигналу АЕ за різними параметрами проте не завжди це можна зробити якісно за допомогою виключно апаратної частини. Перспективним напрямом реалізації обробки даних видаються методи комп'ютерного зору, засновані на автоматизації обробки й аналізу зображень [11].

В даний час розроблено і використовується велика кількість різноманітних АЕ систем для комплексного моніторингу об'єктів різного рівня складності. Всі АЕ системи, що використовуються для контролю виробничих об'єктів повинні розроблятися з урахуванням стандартів [1].

Діагностичні системи АЕ мають типову структуру апаратури:

- комплект перетворювачів АЕ;
- комплект попередніх підсилювачів;
- кабельні з'єднувальні лінії та мережеві лінії зв'язку;
- блоки попередньої обробки та перетворення АЕ;
- ПК із необхідним математичним забезпеченням;
- засоби відображення інформації [12].

В структурній схемі функціонування системи діагностики методом акустичної емісії давачі встановлюються таким чином (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Розміщення давачів АЕ на токарному різці:
1- різцетримач, 2 - широкосмуговий, 3- вбудований в різець

На рисунку 4.6 показано необхідні контури контролю при механічній обробці на верстатному обладнанні системи CNC і різальним інструментом.

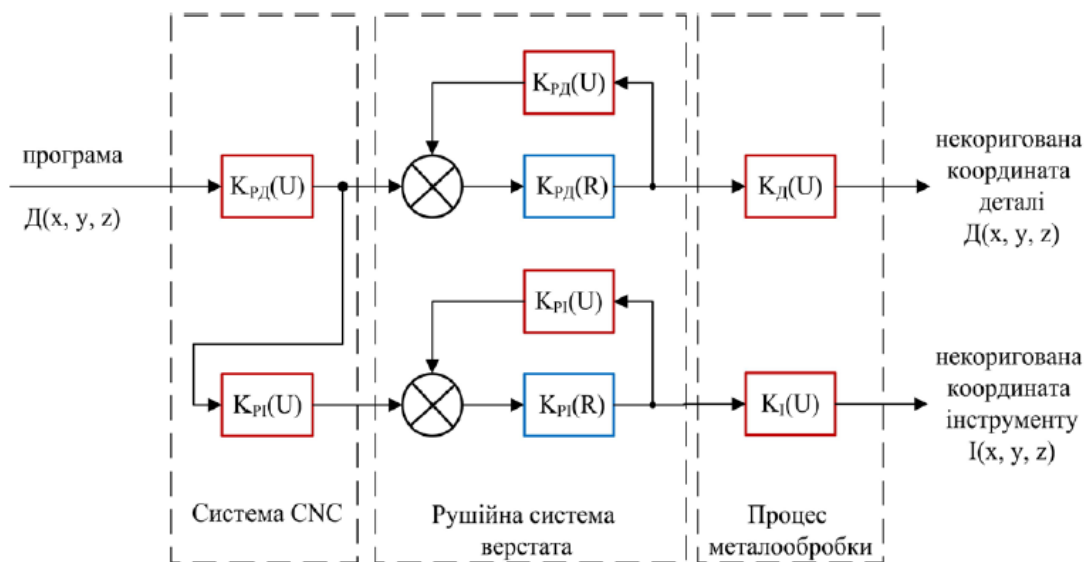


Рисунок 4.6 - Схема руху інструмента у системі CNC

Отже, система контролю зношування токарних різців повинна мати декілька контурів контролю. Один з них має відповідати за швидке реагування на критичний знос токарного різця, аж до аварійної зупинки, а інші контури мають прогнозувати стан токарних різців на основі аналізу комбінаційного параметру АЕ. При цьому має обчислюватись відхилення від нормативного зносу та у випадку перевищення допустимого відхилення за нормативне проводиться корекція режимів різання для забезпечення нормального зносу токарного різця [17].

4.4 Оцінка працездатності ЗНБП методом акустичної емісії

Для підвищення якості діагностики контрольні пристрої, які визначають величину зносу різального інструменту, працюють за алгоритмами, побудованими як багатопараметричні моделі тому, що діагностування за одним параметром в ряді випадків може не забезпечити необхідну точність розпізнавання стану інструменту через появу хибних сигналів про відмову, викликаних випадковими викидами значень контрольованої ознаки за межі допустимих. Точність розпізнавання підвищується, якщо рішення про відмову приймається за умови: значення декількох контрольованих ознак перевищують встановлені граничні. Тому виникає

доцільність отримувати від давачів певну значину сигналів. Це пов'язано з різними видами зносу різального клину інструментів [17].

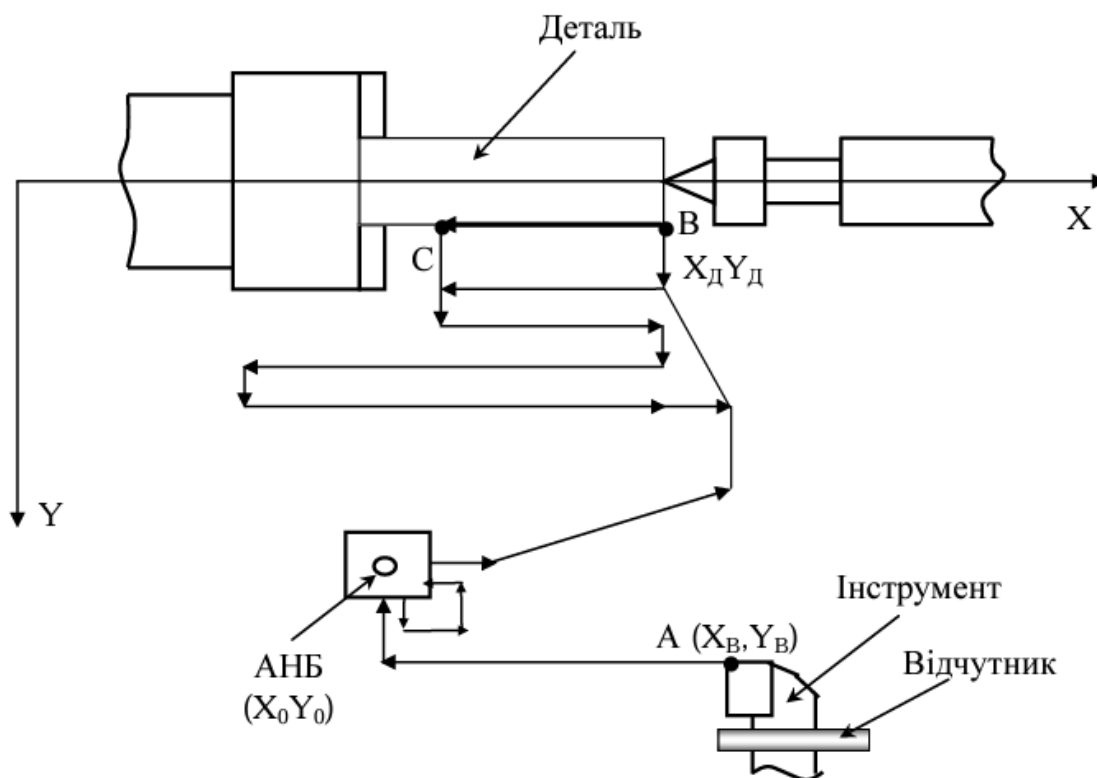


Рисунок 4.7 - Траекторія руху токарного різця під час визначення зони акустичної емісії присутності інструменту у токарній обробці вала

Головною ознакою величини зносу приймається параметр, який характерний для того чи іншого виду зношування різального інструменту, що характеризує його стійкість. Зазвичай це величина, яка визначає осередок зносу (лунка) або викришування. Граничне значення цієї величини є критерієм відмови. При цьому виявляють непрямі контрольовані ознаки можливих змін у стані інструменту. З них вибирають найбільш інформативну контрольовану ознаку [9].

Наступним етапом є розробка моделі, яка встановлює зв'язок між станом різального інструменту та відображеннями цього стану в контрольованих сигналах давачів, що в подальшому дає можливість розробити алгоритм і відповідне програмне забезпечення методу діагностики з використанням CNC верстатного обладнання.

На рисунку 4.8 представлений технологічний алгоритм діагностування стану токарних різців за АЕ сигналом та складовими сили різання. Сигнал АЕ дозволяє контролювати процеси зношування на ранньому етапі утворення тріщин в інструментальному матеріалі при крихкому руйнуванні. При цьому радіальна сила різання є головною ознакою зростання величини зносу інструменту на головній задній поверхні при токарній обробці [18].

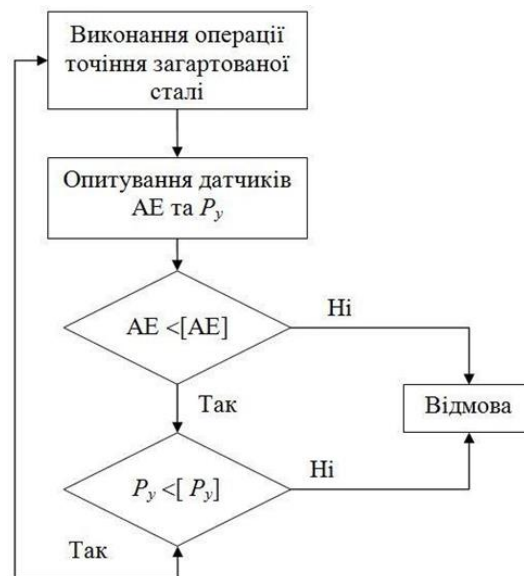


Рисунок 4.8 - Технологічний алгоритм діагностування стану токарних різців при токарній обробці

Система діагностики різального інструменту складається з давача вимірювання сигналу акустичної емісії 1 (рисунок 4.9), сигнал від якого через підсилювач 2 і фільтр низьких частот 3 надходить на вхід АЦП 6. Інший діагностичний сигнал від давача вимірювання потужності різання 4 через підсилювач 5 також надходить на вхід АЦП. Обробка та аналіз параметрів проводиться за допомогою ЕОМ 12, до складу якої входить: блок оцінки інтенсивності зносу 7, де на підставі даних про максимальне і мінімальне значення потужності різання 8 здійснюється моніторинг аварійного стану. В разі виходу значення потужності різання за допустимі межі на виконавчий механізм 15 (блок керування двигуном, блок керування приводом) подаються відповідні сигнали аварійної зупинки. В блоці оцінки інтенсивності зносу 7 фіксується значення зносу різального інструменту(БД 9). При оцінюванні зносу інструменту враховуються

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Акустичні методи контролю, зокрема метод акустичної емісії (АЕ), є ефективним інструментом діагностики стану конструкційних матеріалів і механічної обробки. Вони базуються на аналізі пружних коливань і хвиль, що виникають у матеріалі під час його деформації, руйнування або внаслідок інших фізичних явищ. Перевагами методу є висока чутливість, здатність виявляти дефекти на ранніх стадіях їх розвитку, універсальність у застосуванні до різних технологічних процесів і матеріалів, а також можливість дистанційного контролю без впливу на об'єкт.

Елементарні джерела акустичної емісії базуються на виявленні процесів пластичної деформації, утворення тріщин і анігіляції дефектів у кристалічній решітці, що супроводжується випромінюванням акустичних імпульсів. У сучасних системах контролю ці сигнали реєструються та обробляються за допомогою спеціалізованого обладнання і алгоритмів, що дозволяє визначати стан різального інструменту та характер зношування. Використання багатопараметричних моделей, врахування непрямих ознак і автоматизація обробки сигналів сприяють підвищенню надійності контролю та ефективності управління технологічними процесами. Це забезпечує можливість своєчасного реагування на критичні зміни, корекцію режимів роботи та підвищення точності обробки в умовах автоматизованого виробництва.

ВИСНОВКИ

1. Зношування різального інструменту – це неминуче явище, яке впливає на якість, продуктивність та економічність обробки. Воно залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, параметрів різання, використання мастильно-охолоджувальних рідин та інших факторів. Контроль цих параметрів, правильний вибір інструментів і режимів обробки дозволяє мінімізувати зношування, підвищити ефективність роботи обладнання та зменшити витрати на заміну інструменту.

Методи вимірювання зношування різального інструменту дозволяють вчасно оцінити його стан, запобігти виходу з ладу та підвищити ефективність обробки. Прямі методи забезпечують високу точність, а непрямі – зручність контролю в реальному часі. Їх правильне застосування сприяє зменшенню втрат і підвищенню продуктивності.

2. Безперервний моніторинг під час токарної обробки валів є найефективнішим методом, який сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню втрат. Розробка інтегрованих інструментів-давачів і вдосконалення методів обробки діагностичних сигналів відкривають нові перспективи для покращення точності та швидкості контролю зношування ЗНБП токарних різців.

Ефективна діагностика забезпечується врахуванням конструкції різця, доступності параметрів контролю, точності вимірювань, адаптації до технологічного середовища та продуктивності процесу. Важливими аспектами є оптимізація витрат, швидкість перевірки та відповідність вимогам виробництва. Використання сучасних засобів і підготовка кваліфікованого персоналу дозволяють мінімізувати похибки, знизити час діагностики та покращити контроль стану різального інструменту.

3. Контактні явища при різання металів і сплавів характеризуються утворенням різних класів стружки в залежності від групи оброблюваності металів і сплавів, що є результатом певного руйнування матеріалу заготовки за групами через тертя та створення напруженого стану в зрізаному шарі. При цьому взаємодія між

лезом токарного різця, заготовкою вала та стружкою приводить до виникнення різнопланових контактних процесів, які визначають ефективність та якість точіння.

Правильний вибір режимів різання забезпечує високу ефективність, продуктивність та зменшення витрат на заміну різального інструменту. Результати досліджень підтвердили, що оптимальні значення цих параметрів дозволяють мінімізувати знос різального леза ЗНБП, забезпечуючи стійкість інструменту та стабільність процесу механічної обробки. Швидкість різання, подача та глибина різання значно впливають на процеси зношування токарних різців.

4. Акустичні методи контролю, зокрема метод акустичної емісії (АЕ), є ефективним інструментом діагностики стану конструкційних матеріалів при механічній обробці. Вони базуються на аналізі пружних коливань і хвиль, що виникають у матеріалі під час його деформації, руйнування або внаслідок інших фізичних явищ. Перевагами методу є висока чутливість, здатність виявляти дефекти на ранніх стадіях їх розвитку, універсальність у застосуванні до різних технологічних процесів і матеріалів, а також можливість дистанційного контролю без впливу на об'єкт.

Елементарні джерела акустичної емісії базуються на виявленні процесів пластичної деформації, утворення тріщин і анігіляції дефектів у кристалічній решітці, що супроводжується випромінюванням акустичних імпульсів. У сучасних системах контролю ці сигнали реєструються та обробляються за допомогою спеціалізованого обладнання та алгоритмів, що дозволяє визначати стан різального інструменту та характер зношування. Використання багатопараметричних моделей, врахування непрямих ознак зношування та автоматизація обробки сигналів сприяють підвищенню точності контролю та ефективності управління технологічними процесами. Це забезпечує можливість своєчасного реагування на критичні зміни, корекцію режимів роботи та підвищення продуктивності обробки в умовах автоматизованого виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Неруйнівний контроль. Акустико-емісійний контроль (АТ). EN ISO 18081:2016, IDT. - 68 с.
2. Бринюк М.С. Діагностика і прогнозування зносу різального інструмента при обробці на верстатах з ЧПК/ М.С. Бринюк, О.Л. Кондратюк, В.О. Марков, А.О. Скоркін // *Машинобудування*. - ВИП. №31. - 2023. – С. 21 - 32.
3. Буряк А.В. Наукові основи до оцінки працездатності ріжучих інструментів за аналізом акустичних характеристик стану обробного і інструментального матеріалів / А.В Буряк, В.Г. Буряк // *Проблеми трибології*. – 2014. – № 4. – С. 23 - 30.
4. Буряк В.Г. Оцінка працездатності композиційних інструментів за аналізом акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 1998. – №1. – С. 49 - 56.
5. Буряк А.В. Технічна оцінка методики виконання аналізу акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу / А.В. Буряк, В.Г. Буряк // *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. - 2015. - № 3. – С 71- 77.
6. Доля В. М. Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання / В. М. Доля – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 129 с.
7. Залога В.О. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навчальний посібник/ Ю.М. Внуков, В.О. Залога. – Суми: Сумський державний університет, 2010. – 243с.
8. Звіт про науково-дослідну роботу фундаментальні аспекти прийняття рішень в системі інструментального забезпечення машинобудівних виробництв/ Д. І. Курбатов, В. О. Залога – Суми: СумДУ, 2017.-79 с.
9. Інструменти різальні. Терміни та визначення понять ДСТУ2233:2021.-80 с.
10. Карпусь В. Є. Технологічні основи машинобудування : навч. посібник / В Є. Карпусь. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2007. – 294 с.

11. Карпусь В. Є. Оптимізація механічної обробки тіл обертання : монографія / В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, В. О. Іванов.; за ред. В. Є. Карпуся. – Харків : НТМТ, 2012. – 296 с.

12. Марасанов В.В. Статистична обробка сигналів акустичної емісії та їх параметрів / В.В. Марасанов, О.В. Шарко, А.О. Шарко // Вісник Національного університету "Львівська Політехніка". - 2016. - С. 98-107.

13. Оптимізація механічної обробки тіл обертання : монографія / В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, В. О. Іванов.; за ред. В. Є. Карпуся. –Харків : НТМТ, 2012. – 296 с.

14. Пітулей Л.Д. Діагностика працездатності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва. / Л.Д. Пітулей, В.В. Бережанський // Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції "Прогресивні технології у машинобудуванні АТМЕ-2024"; 5-9 лютого 2024р., Івано-Франківськ - Яремче, 2024. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. - 2024.- С.132.

15. Розрахунки на міцність та випробування технічних виробів. Акустична емісія. Терміни та визначення. ДСТУ 2374-94

16. Філоненко С.Ф. Акустична емісія при механічній обробці матеріалів точінням / С. Ф. Філоненко, Т.В. Німченко // Технологические системы. – 2011. -- №3(56). – С. 80-88.

17. Шевченко В.В. Основи автоматизації технологічних процесів. Конспект лекцій: навчальний посібник / В.В. Шевченко, Г.С. Тимчик. – КПІ імені Ігоря Сікорського, 2023. – 111 с.

18. Шевченко В.В., Система діагностики працездатності різального інструменту на верстатах з ЧПК.// С.І. Коробцов, Є.В. Богачев, С.С. Заєць // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. ISSN 2663-5941. Том 29 (68), №2, 2018. – с.198 – 202.

Додаток А

Для планування експерименту обираємо симетричний ортогональний центральний композиційний план (ОЦКП).

Ядро плану повно факторного експерименту - $N_0 = 2^n = 2^3 = 8$ Кількість точок плану = 8.

Центральна точка плану для ОЦКП $n_0 = 1$.

$$\text{Плече «зоряних точок» } \alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{N \times N_0} - N_0)} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{15 \times 8} - 8)} = 1.215$$

«Зоряні точки» ($x_i = \pm\alpha$)

Загальна кількість дослідів в плані $N = N_0 + 2n + n_0, N = 8 + 2 \times 3 + 1 = 15$

Константа перетворення:

$$a = \sqrt{\frac{N_0}{N}} = \sqrt{\frac{8}{15}} = 0,73$$

Для отримання загального вигляду плану, розраховуємо значення:

$$1 - \alpha, -\alpha, \alpha^2 - \alpha$$

$$1 - a = 0,27$$

$$-a = -0,73$$

$$\alpha^2 - a = 0,75$$

Таким чином, загальний вигляд плану приведено в таблиці Д.1.1.

Таблиця Д.1.1 – Загальний вигляд плану експерименту

U	x0	x1	x2	x3	x1,2	x1,3	x2,3	x1,2,3	(x1') ²	(x2') ²	(x3') ²	h1	h2	h3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,27	0,27	0,27	0,77	0,62	1,1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,27	0,27	0,27	0,81	0,58	0,98
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,27	0,27	0,27	0,78	0,63	1,15
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	0,81	0,58	1,09
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27	0,79	0,54	1,06
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	0,8	0,62	1,12
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27	0,79	0,68	1,11
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,27	0,27	0,27	0,82	0,55	1,1
9	1	-1,215	0	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	0,81	0,59	1,09
10	1	1,215	0	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	0,81	0,61	1,07
11	1	0	-1,215	0	0	0	0	0	0,75	0,75	-0,73	0,74	0,63	1,13
12	1	0	1,215	0	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	0,85	0,53	0,99
13	1	0	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	0,75	0,75	0,79	0,6	1,16
14	1	0	0	1,215	0	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	0,82	0,6	1,18
15	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	0,79	0,55	1,12
$\Sigma x_i U$	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
$\Sigma x_i^2 U$	15		10,952				8			4,3727				

Вид загального поліному можна представити як:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot (x_1^2 - a) + b_{22} \cdot (x_2^2 - a) + b_{33} \cdot (x_3^2 - a)$$

Коефіцієнти полінома визначаються за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{U=1}^N x_{iU} Y_U}{\sum_{U=1}^N x_{iU}^2},$$

де x_{iU} – i -й фактор, що впливає на відгук;

Y_U – відгук.

Подальший розрахунок проведемо в програмному продукті Microsoft EXCEL.

Розрахування коефіцієнтів полінома.

Результати розрахунку представлено в таблиці Д.1.2

Таблиця Д.1.2 – Розраховані значення коефіцієнтів полінома

	Пластина 1	Пластина 2	Пластина 3
b_1	0,010043828	-0,01	0,077
b_2	0,014942476	-0,004	0,093
b_3	0,006067385	-0,002	0,1
b_{12}	0,00125	-0,028	-0,126
b_{13}	-0,00375	0,005	-0,096
b_{23}	0,00125	0,008	-0,141
b_{123}	0,00375	-0,025	0,109
b_{11}	0,238891303	0,23	0,298
b_{22}	0,262309328	0,206	0,294
b_{33}	0,001692318	0,016	-0,024
b_0	0,798666667	0,594	1,03

Приведемо поліном до спрощеного представлення:

$$Y = b'_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2,$$

де,

$$b'_0 = b_0 - b_{11} \cdot a - b_{22} \cdot a - b_{33} \cdot a$$

В результаті експерименту для пластини 1 $b_0' = 0,433$, пластина 2 $b_0' = 0,264$, пластина 3 $b_0' = 0,615$.

Перевірка відтворюваності дослідів.

При однаковій кількості паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів чинників відтворюваність процесу перевіряється за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{s_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n s_u^2} \leq G_{(0,05; f_n; f_u)}$$

Де s_u^2 – дисперсія, що характеризує розсіяння результатів дослідів на u -м поєднанні рівнів чинників:

$$s_u^2 = \frac{\sum_{p=1}^m (y_{up} - \bar{y}_u)^2}{m-1},$$

Де $p=1,2,\dots,m$ – число паралельних дослідів;

$s_{u \max}^2$ – найбільша з дисперсій в строчках плану;

$G_{(0,05; f_n; f_u)}$ – табличне значення критерію Кохрена при 5%-ном рівні значущості,

$$G_{(0,05; f_n; f_u)} = 0,33;$$

$f_n = n$ – число незалежних оцінок дисперсії, $f_n = 15$;

$f_u = m-1$ – число мір свободи кожної оцінки, $f_u = 2$.

Процес вважається відтворним, якщо виконується нерівність:

$$\sum_{u=1}^n s_{u1}^2 = 0,117; s_{u1 \max}^2 = 0,0257; G_1 = \frac{0,0257}{0,117} = 0,22 < 0,33.$$

$$\sum_{u=1}^n s_{u2}^2 = 0,058; s_{u2 \max}^2 = 0,0057; G_2 = \frac{0,0057}{0,058} = 0,1 < 0,33.$$

$$\sum_{u=1}^n s_{u3}^2 = 0,082; s_{u3 \max}^2 = 0,00996; G_3 = \frac{0,00996}{0,082} = 0,121 < 0,33.$$

Нерівність вірна – процес відтворюваний для трьох пластин. При цьому дисперсія відтворюваності (помилка досвіду) визначається по формулі:

$$s_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n s_u^2}{n}$$

Розрахункові значення дисперсії відтворюваності занесено до таблиці Д.1.3.

Таблиця Д.1.3 – Розрахункові значення дисперсії відтворюваності

	Пластина 1	Пластина 2	Пластина 3
Sy^2	0,634	0,354	1,126

Перевірка адекватності лінійної моделі виконується за допомогою критерію Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{s_{ад}^2}{s_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ад}; f_y)}$$

Де y_u – розрахункове значення відгуку в i -му досвіді;

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_u)^2}{n - k - 1}$$

$F_{(0,05; f_{ад}; f_y)}$ – критерій Фішера при 5 % - ному рівні значущості $F_{(0,05; f_{ад}; f_y)} = 23,69$;

$F_{об} = n - k - 1$ – число мір свободи дисперсії адекватності;

F_y – число мір свободи дисперсії відтворюваності.

$$s_{ад1}^2 = 8,738; F_1 = \frac{8,738}{0,638} = 13,69 < 23,69 .$$

$$s_{ад2}^2 = 8,147; F_2 = \frac{8,147}{0,638} = 12,76 < 23,69 .$$

$$s_{ад3}^2 = 11,424; F_3 = \frac{11,424}{0,638} = 16,73 < 23,69 .$$

Висновок: модель адекватна для трьох пластин.

Оцінка значущості коефіцієнта регресії проводиться за допомогою критерію Стюдента. Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05; f_y)} \frac{s_y}{\sqrt{n}}$$

де $t_{(0,05; f_y)}$ – 5 % - на точка розподілу Стюдента з $f_y = 14$ мірами свободи.

Для перевірки нерівності розрахуємо значення Δb_i . Результати занесені до таблиці Д.1.4.

Таблиця Д.1.4 – Розраховані значення Δb_i

	Пластина 1	Пластина 2	Пластина 3
Δb_i	0,045	0,033	0,148

Таким чином, у відповідності до виконання нерівності, можна скласти таблицю з прийнятими коефіцієнтами полінома.

Таблиця Д.1.5 – Прийняті коефіцієнти полінома

	Пластина1	Пластина2	Пластина3
1	2	3	4
b_1	0	0	0
b_2	0	0	0
b_3	0	0	0
b_{12}	0	0	-0,126
b_{13}	0	0	0
b_{23}	0	0	-0,141
b_{123}	0	0	0
b_{11}	0,239	0,23	0,298
b_{22}	0,262	0,206	0,294
b_{33}	0	0	0

Запишемо поліном у кодованому вигляді для всіх трьох пластин:

$$Y_1 = 0,433 + 0,239 \cdot x_1^2 + 0,263 \cdot x_2^2$$

$$Y_2 = 0,264 + 0,23 \cdot x_1^2 + 0,206 \cdot x_2^2$$

$$Y_3 = 0,615 - 0,126 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,141 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,298 \cdot x_1^2 + 0,294 \cdot x_2^2$$

Декодування полінома виконується за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - x_{i0}}{\delta_i},$$

де X_i - натуральне значення чинника;

x_{i0} - значення i -го чинника на нульовому рівні;

δ_i - інтервал варіювання i -го чинника.

$$\begin{aligned}
h_1 &= 0,433 + 0,239 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \right)^2 + 0,262 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right)^2 = 0,433 + \\
&+ 0,239 \cdot (0,0025 \cdot V^2 - 0,5 \cdot V + 25) + 0,262 \cdot (400 \cdot S^2 - 100 \cdot S + 25) = \\
&= 0,433 + 0,001 \cdot V^2 - 0,001 \cdot V + 0,063 + 104,92 \cdot S^2 - 26,23 \cdot S + 6,56 = \\
&= 7,06 + 0,001 \cdot V^2 - 0,001 \cdot V + 104,92 \cdot S^2 - 26,23 \cdot S
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_2 &= 0,264 + 0,23 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \right)^2 + 0,206 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right)^2 = \\
&= 0,264 + 0,23 \cdot (0,0025 \cdot V^2 - 0,5 \cdot V + 25) + 0,206 \cdot (400 \cdot S^2 - 100 \cdot S + 25) = \\
&= 0,264 + 0,001 \cdot V^2 - 0,115 \cdot V + 5,75 + 82,4 \cdot S^2 - 20,6 \cdot S + 5,15 = \\
&= 11,164 + 0,001 \cdot V^2 - 0,001 \cdot V + 104,92 \cdot S^2 - 26,23 \cdot S
\end{aligned}$$

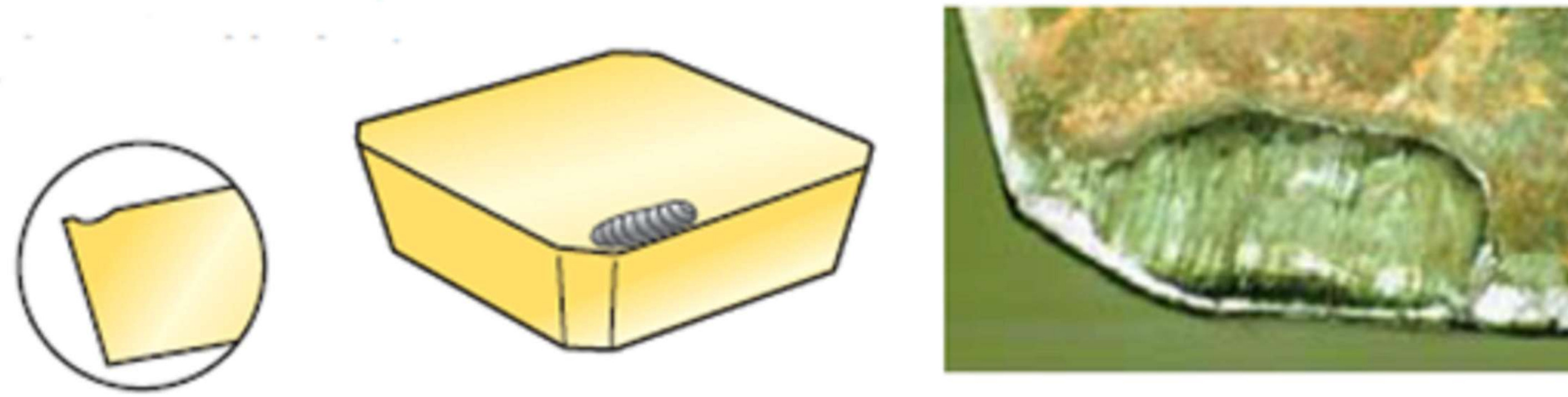
$$\begin{aligned}
h_3 &= 0,615 - 0,126 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \cdot \frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right) - 0,141 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \cdot \frac{t-0,3}{0,3-0,2} \right) + \\
&+ 0,299 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \right)^2 + 0,294 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right)^2 = 0,615 - 0,126 \cdot (V \cdot S - 0,25 \cdot V - 100 \cdot S + 25) - \\
&- 0,141 \cdot (200 \cdot S \cdot t - 50 \cdot t - 60 \cdot S + 150) + 0,299 \cdot (0,0025 \cdot V^2 - 0,5 \cdot V + 25) + \\
&+ 0,294 \cdot (400 \cdot S^2 - 100 \cdot S + 25) = 0,615 - 0,126 \cdot V \cdot t + 0,03 \cdot V + 12,6 \cdot S - 3,15 - 28,2 \cdot S \cdot t + \\
&+ 7,05 \cdot t + 8,46 \cdot S - 21,15 + 0,001 \cdot V^2 - 0,15 \cdot V + 7,48 + 117,6 \cdot S^2 - 29,4 \cdot S + 7,75 = \\
&= -8,46 - 0,126 \cdot V \cdot t + 0,03 \cdot V + 12,6 \cdot S - 28,2 \cdot S \cdot t + 7,05 \cdot t + 8,46 \cdot S + 0,001 \cdot V^2 - \\
&- 0,15 \cdot V + 117,6 \cdot S^2 - 29,4 \cdot S
\end{aligned}$$

Таблиця Д.1.6 – Отриманні залежності відгука від факторів, що впливають на досліджуваний процес

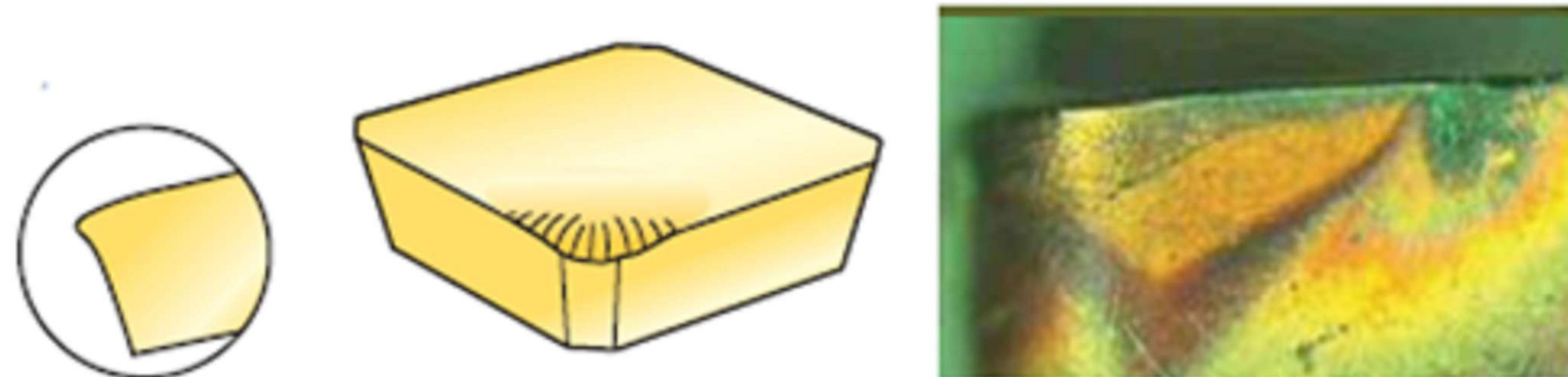
Пластина	Поліном
1	$h_1 = 7,06 + 0,0006 \cdot V^2 - 0,0013 \cdot V + 104,92 \cdot S^2 - 26,23 \cdot S$ <p>Критерій Фішера $F_1 = 13,69 < 23,69$ – модель адекватна.</p>
2	$h_2 = 0,264 + 0,23 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \right)^2 + 0,206 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right)^2 =$ $= 11,164 + 0,001 \cdot V^2 - 0,001 \cdot V + 104,92 \cdot S^2 - 26,23 \cdot S$ <p>Критерій Фішера $F_2 = 12,76 < 23,69$ – модель адекватна</p>

3	$h_3 = 0,615 - 0,126 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \cdot \frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right) - 0,141 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \cdot \frac{t-0,3}{0,3-0,2} \right) +$ $+ 0,299 \cdot \left(\frac{V-100}{120-100} \right)^2 + 0,294 \cdot \left(\frac{S-0,25}{0,3-0,25} \right)^2 = -8,46 - 0,126 \cdot V \cdot t + 0,03 \cdot V +$ $+ 12,6 \cdot S - 28,2 \cdot S \cdot t + 7,05 \cdot t + 8,46 \cdot S + 0,001 \cdot V^2 - 0,15 \cdot V + 117,6 \cdot S^2 - 29,4 \cdot S$ <p>Критерій Фішера $F_3 = 16,73 < 23,69$ – модель адекватна</p>
---	--

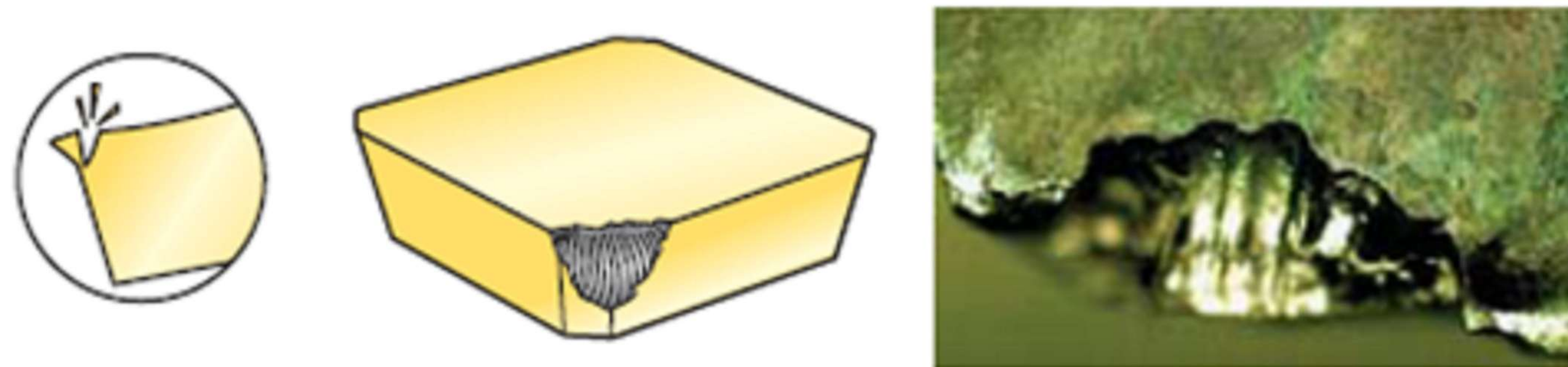
Отримані моделі поліномів дозволяють детально оцінити вплив кожного фактору експерименту, результативність і стабільність системи. Правильне використання цих даних сприяє підвищенню ефективності застосування ЗНП, покращенню якості обробки валів та мінімізації негативних впливів в зоні різання, що є ключовими аспектами для підвищення зносостійкості токарних різців.



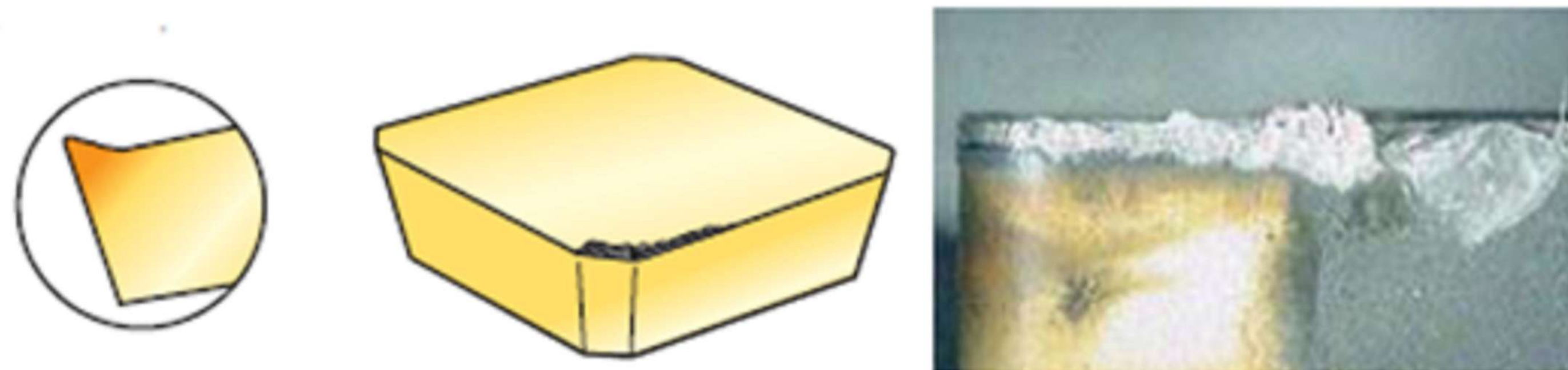
Утворення жолоба на передній поверхні ЗНБП токарного різця



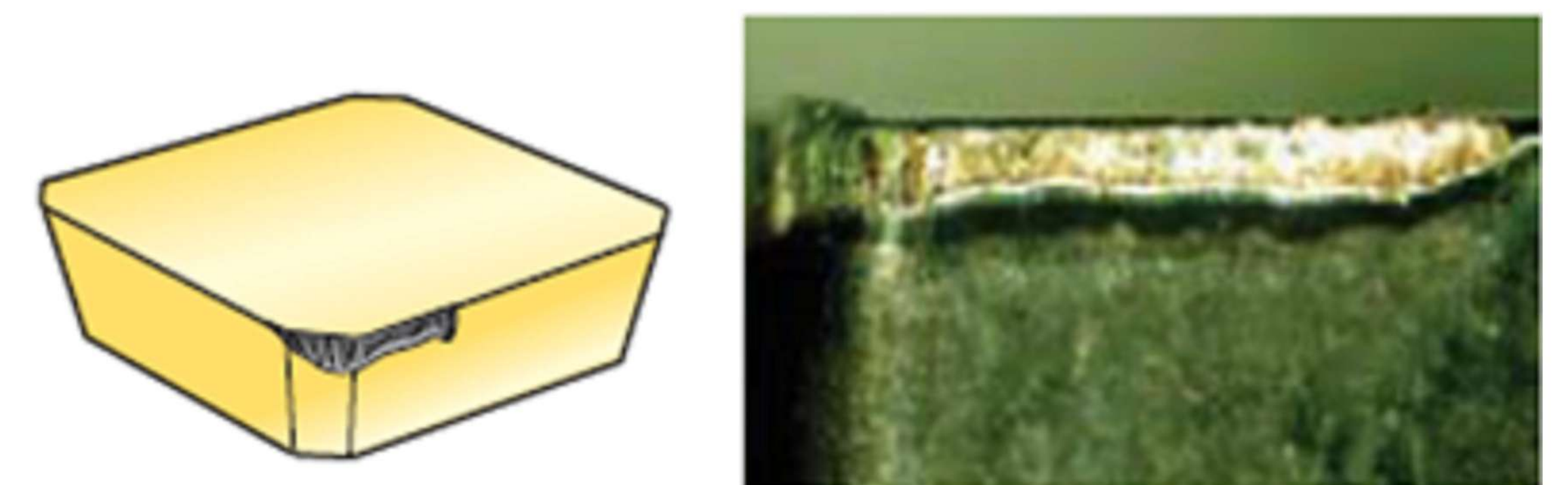
Пластичний знос ЗНБП токарного різця



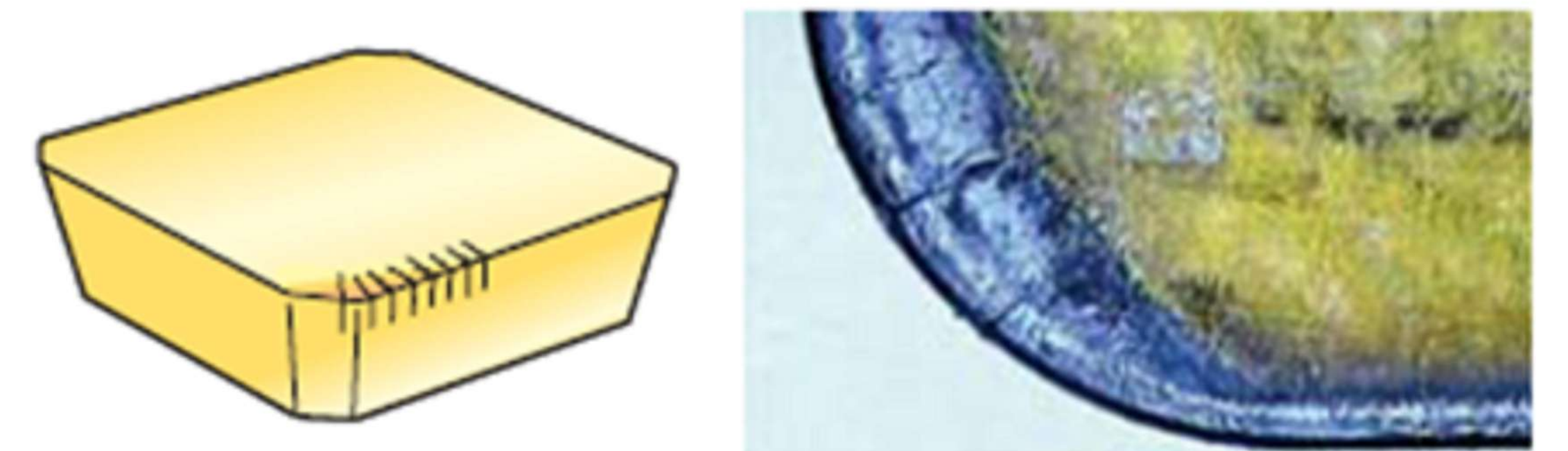
Скол вершини різця



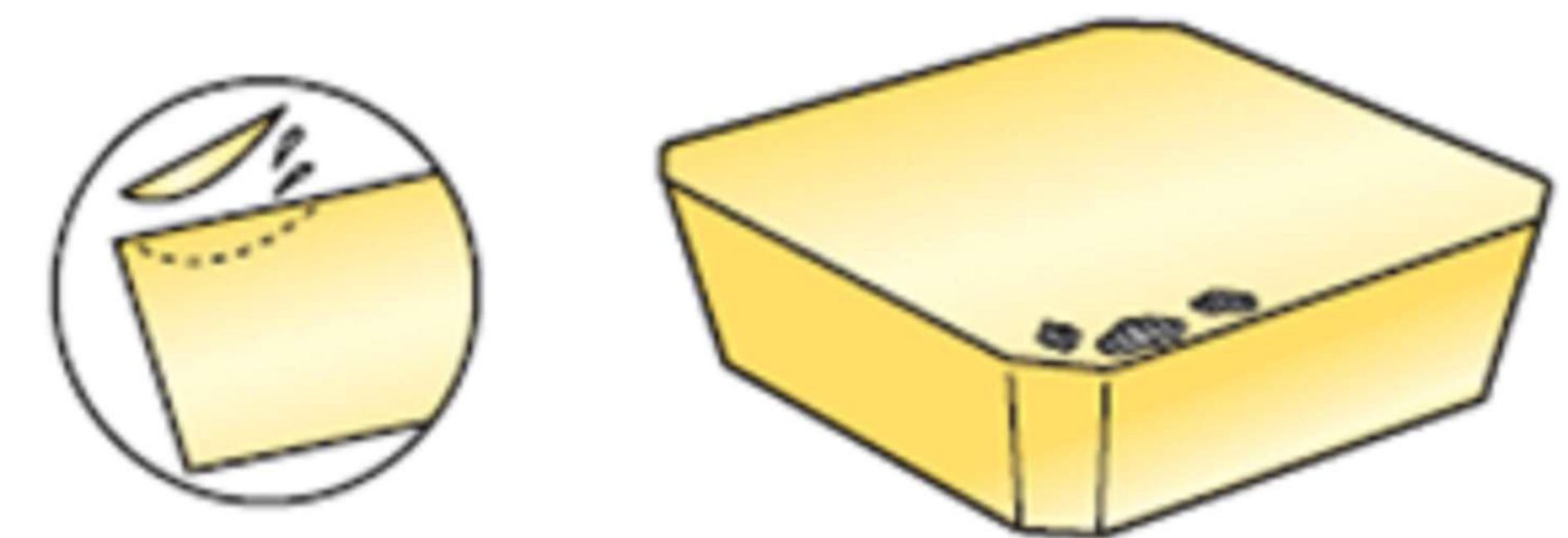
Наростоутворення на різальному лезі ЗНБП токарного різця



Знос головної задньої поверхні ЗНБП токарного різця

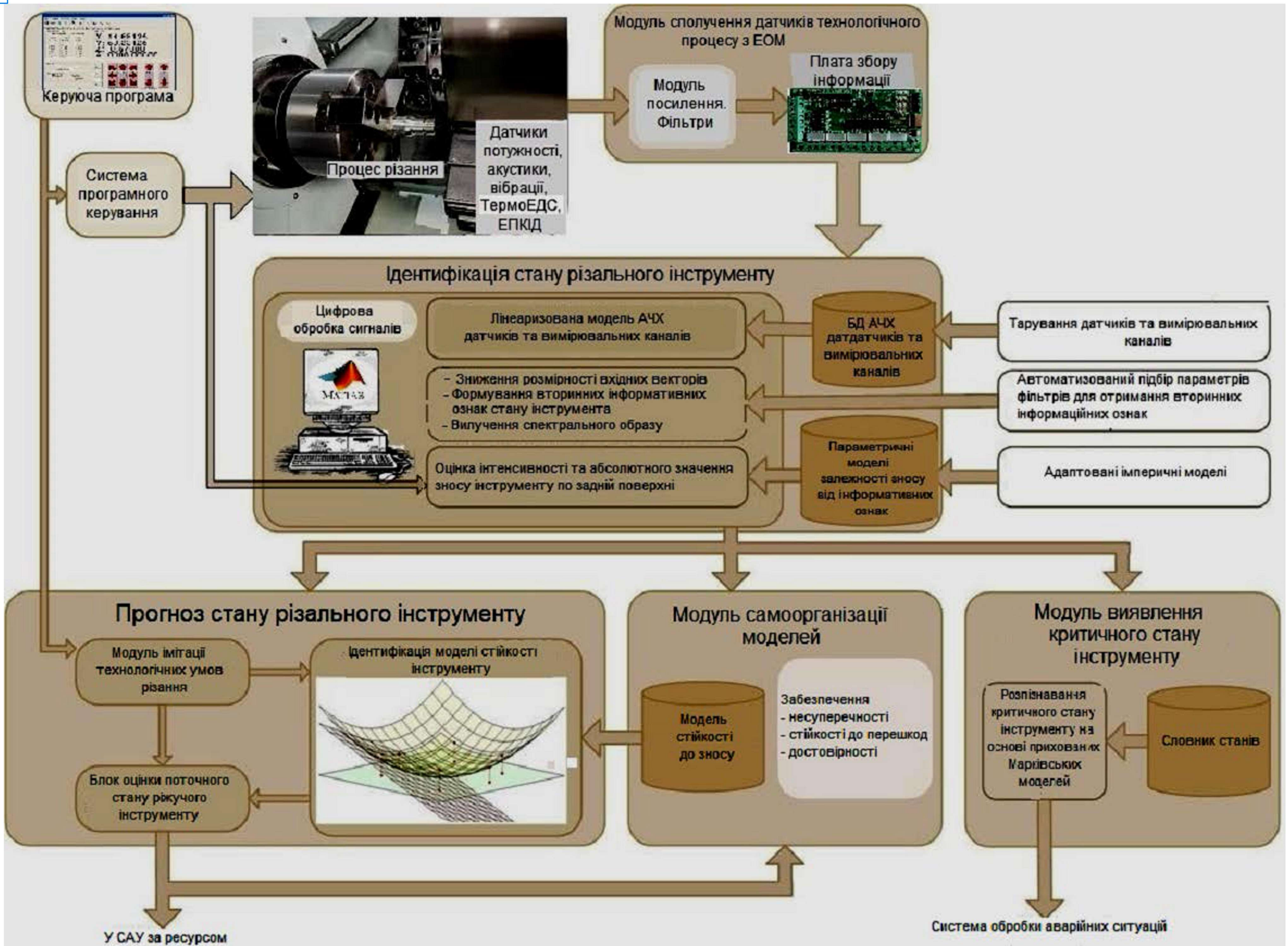


Термотріщини по передній та головній задній поверхнях ЗНБП

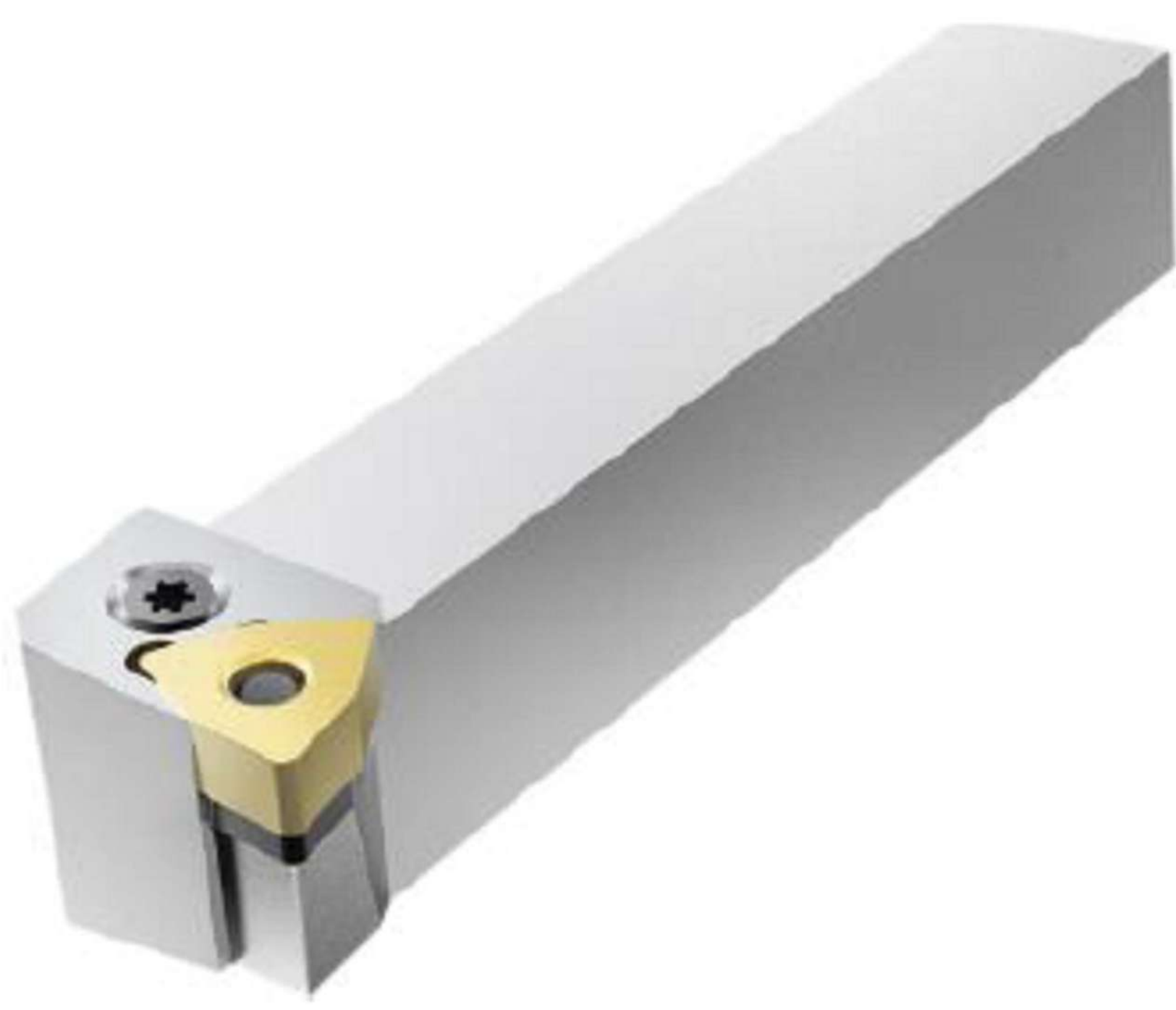
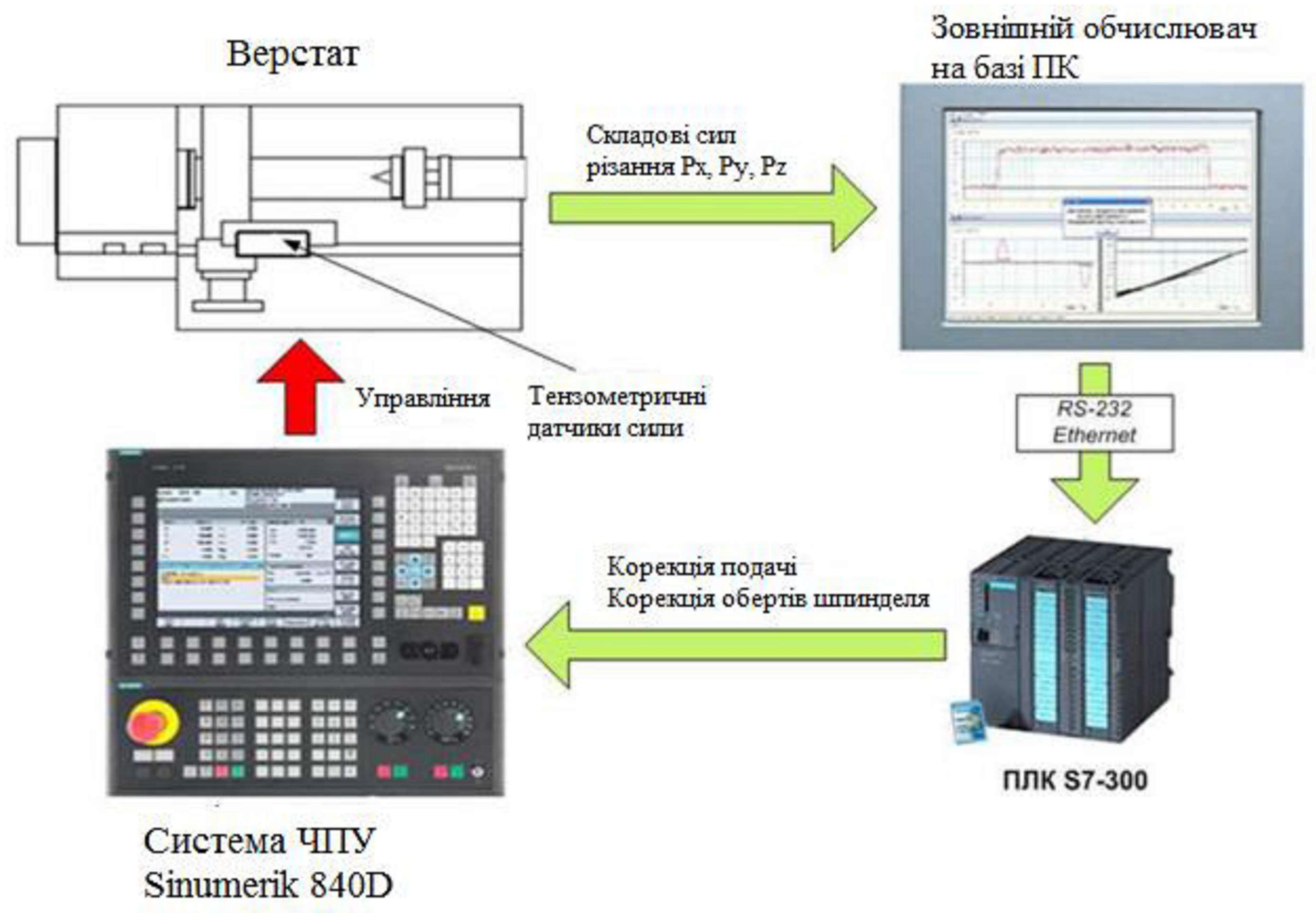


Відшарування матеріалу ЗНБП токарних різців

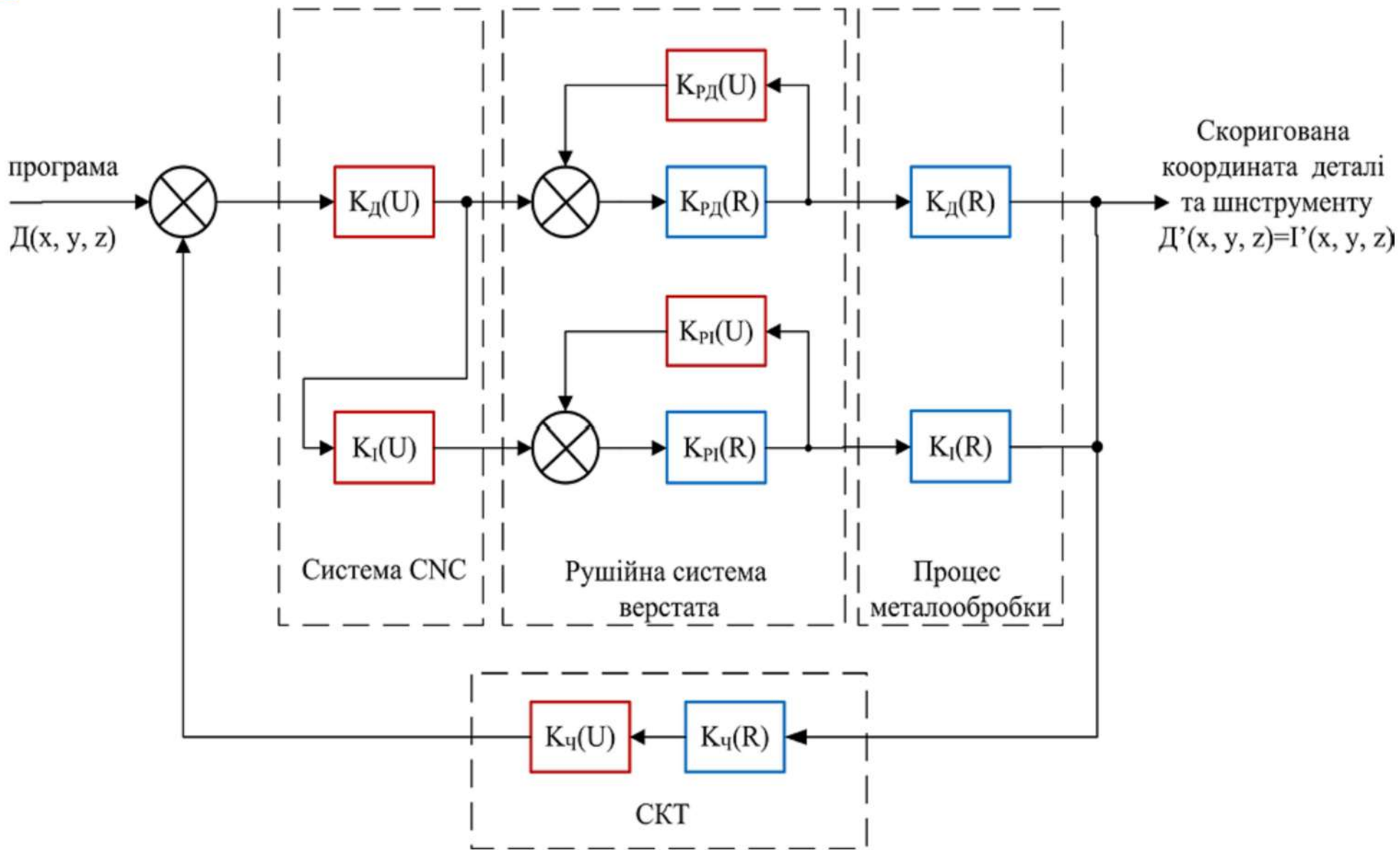
				MP.ПМКМ-24.00.00.000			
Зм.	Арж.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Зм.	Арж.	№ док.	Підп.	Дата			1:1
Розробив	Бережанський						
Перевірив	Пітцелей Л.Д.						
Т. контр.					Арж.	Арж.	1
Н. контр.	Пітцелей Л.Д.				ФНУНГ		
Затвердив	Панчук В.Г.				ПМКМ-23-01		
							А1



				МР.ПМКМ-24.00.00.000 СХ		
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса
Розробив	Бережанський					
Перевірив	Піцилей Л.Д.					1:1
Т. контр.					Архив	Архив 1
Н. контр.	Піцилей Л.Д.				ФНУНГ	
Затвердив	Панчук В.Г.				ПМКМ-23-01	
						А1

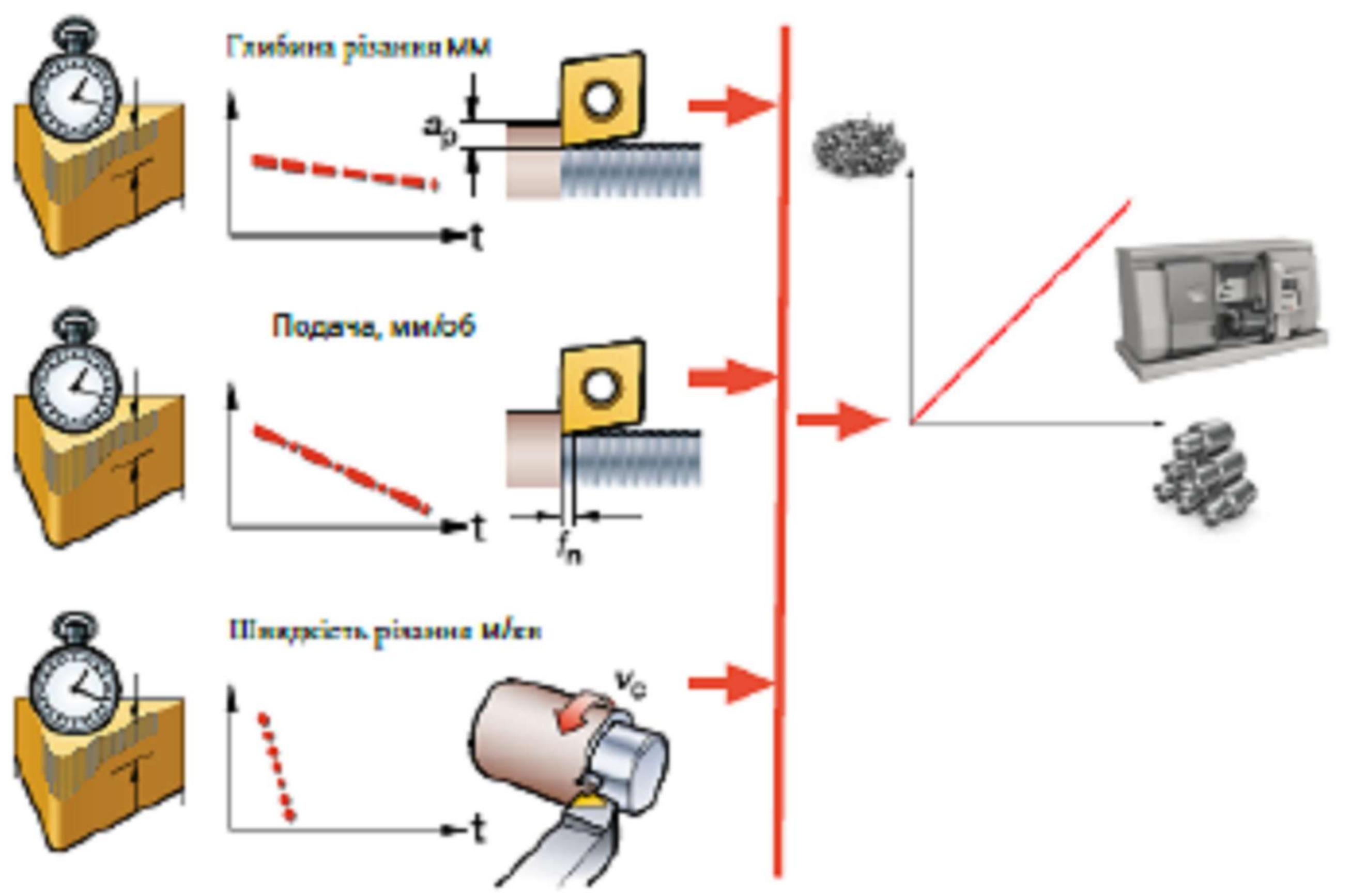
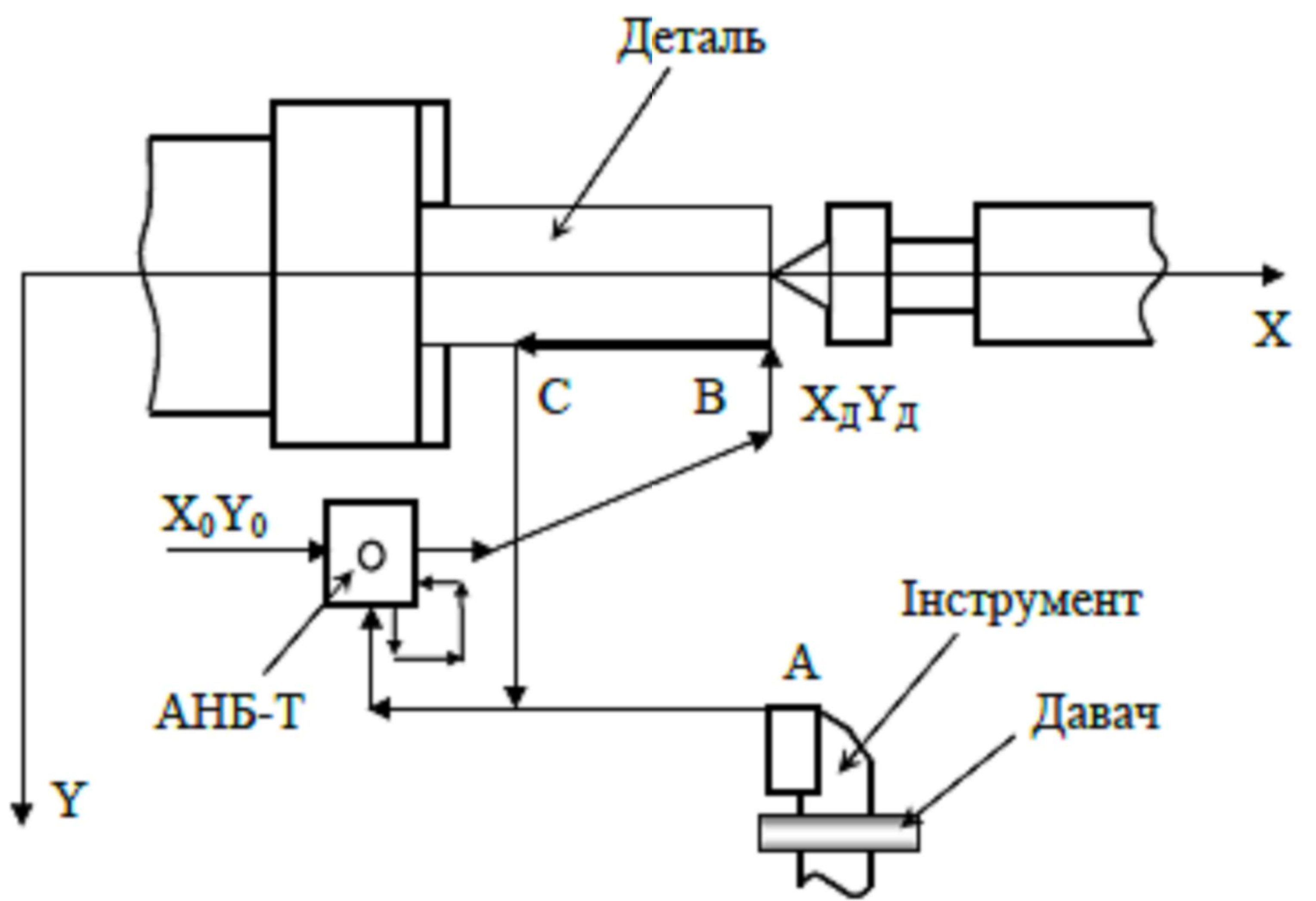
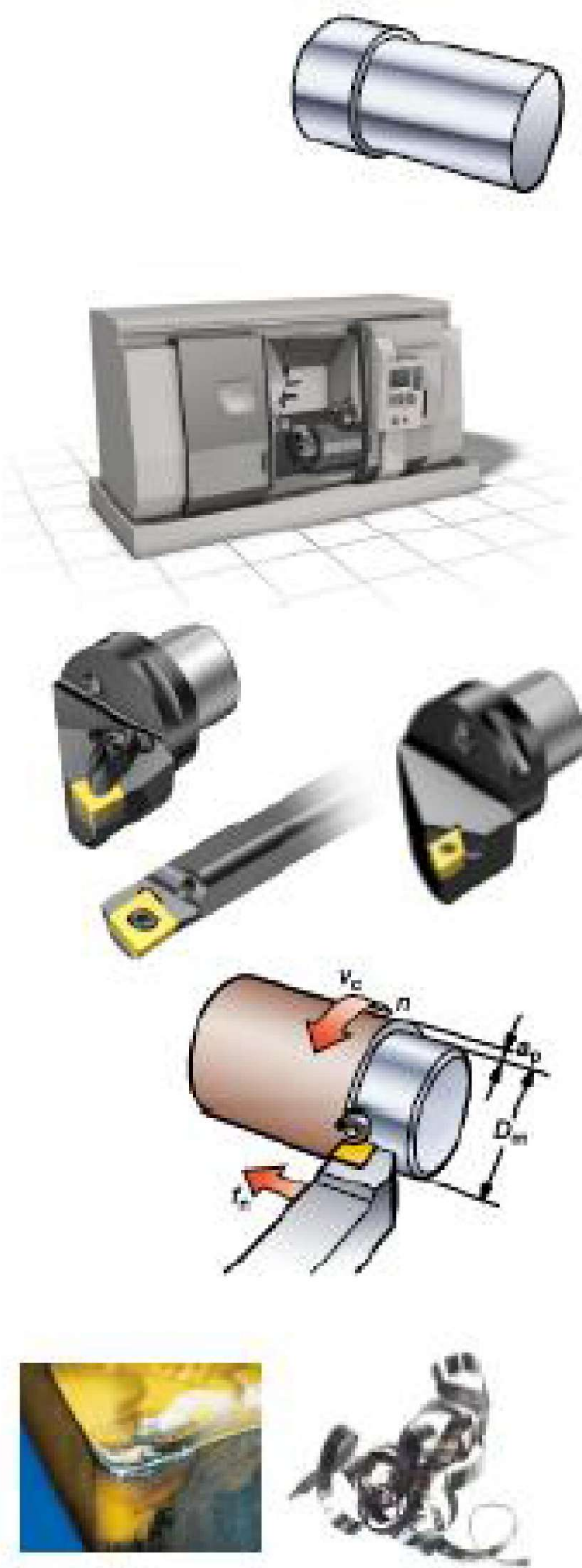
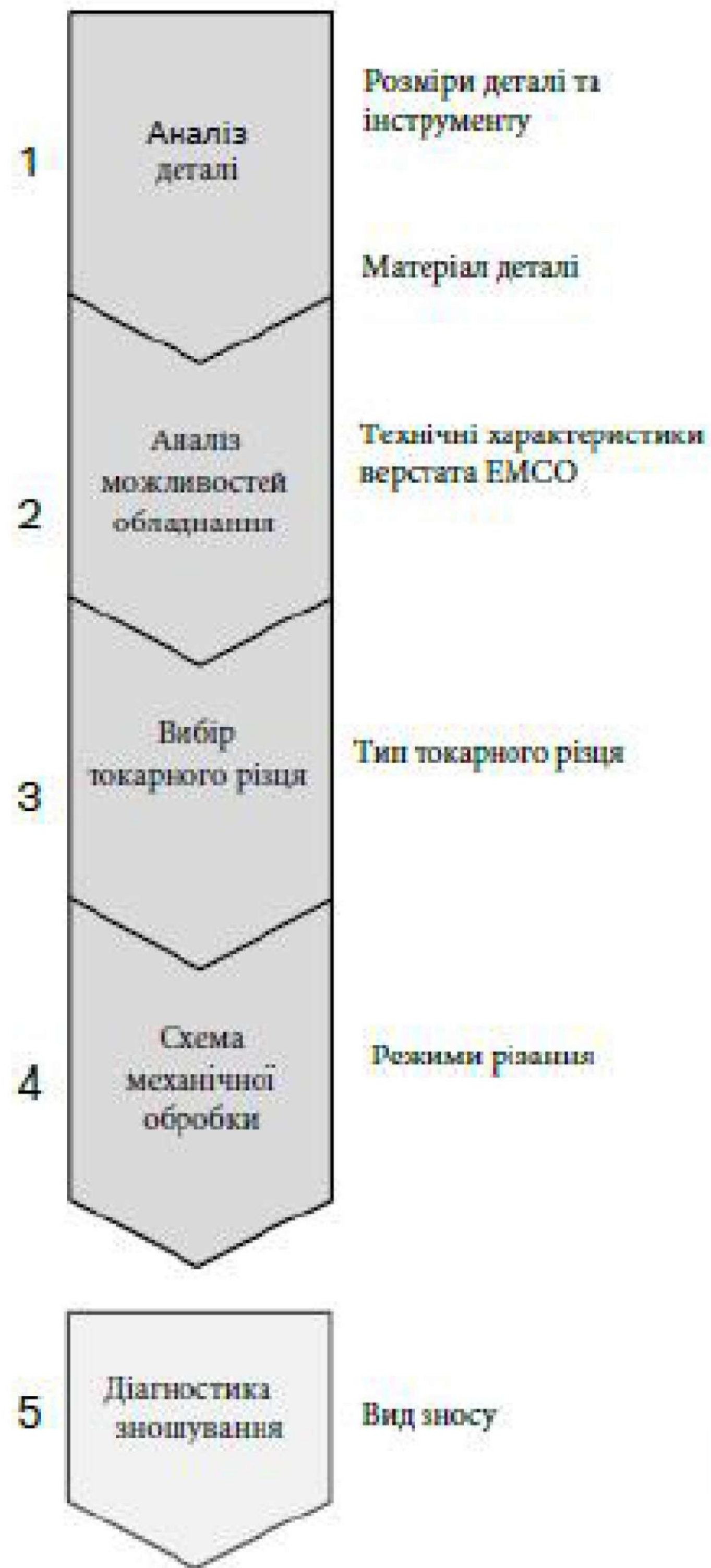


				МР.ПМКМ-24.00.00.000 СХ			
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Разробив	Бережанський						1:1
Перевірив	Пітцлей Л.Д.				Архив	Архив	1
Т. контр.					ФНУНГ		
Н. контр.	Пітцлей Л.Д.				ПМКМ-23-01		
Затвердив	Панчук В.Г.						А1



- $K_d(U)$ - уявна функція геометрії деталі, яка зберігається у пам'яті CNC;
- $K_i(U)$ - уявна функція руху інструмента, яка повинна забезпечувати реалізацію функції $\text{lim } K_d(U) = D(x, y, z)$;
- $K_{pD}(R)$ - реальна функція координатного руху деталі у розімкненому стані;
- $K_{pD}(U)$ - уявна функція координатного руху деталі із відповідними корекціями;
- $K_{pI}(R)$ - реальна функція координатного руху інструмента у розімкненому стані;
- $K_{pI}(U)$ - уявна функція координатного руху інструмента з відповідними корекціями;
- $K_U(R)$ - реальна функція давача торкання;
- $K_U(U)$ - уявна функція давача торкання.

				MP.ПМКМ-24.00.00.000 СХ		
Зм. Док.	КР. Доким	Годн.	Датум	Схема керування рухом інструмента та деталі		Лист 11
Розробка	Бережиський			Архив	Архив	1
Г. комп.	Григорук Д.В.			ІФНУНГ		
Н. комп.	Лавичка В.І.			ПМКМ-23-01		
Затверд.				41		



				МР.ПМКМ-24.00.00.000 СХ		
Зм. Арк	№ док.м.	Підп.	Дата	Зона акустичної емісії інструменту у токарній обробці вала		
Розробив	Бережанський			Лит	Маса	Масштаб
Перевірив	Піцилей Л.Д.					1:1
Т. контр.				Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.	Піцилей Л.Д.			ФНУНГ		
Затвердив	Панчук В.Г.			ПМКМ-23-01		
				А1		

