

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

На правах рукопису»

УДК 621.951.45

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.А.Пасічник

(підпис)

“17” грудня 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133. Галузеве машинобудування

на тему: Фреза торцева для оброблення корозійно-стійких сталей

Виконала: студентка 6 курсу, групи МІ-71мп

Кареліна Ольга Олександрівна

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Корбут Є.В.

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент проф, д.т.н., доцент Воронцов Б.С.

(підпис)

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

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 8.05050302 Інструментальне виробництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А.Пасічник

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Кареліній Ользі Олександрівні

1. Тема дисертації Фреза торцева для оброблення корозійно-стійких сталей, науковий керівник дисертації Корбут Є.В., к.т.н., доцент затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження Процес різання торцевою фрезою із зносостійким покриттям дискретноо типу та його вплив на підвищення працездатності РІ
4. Предмет дослідження Вплив оптимізації геометричних та конструктивних параметрів різальної частини фрези на процес торцевого фрезерування КСС
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: обґрунтувати науковий підхід щодо підвищення працездатності РІ шляхом нанесення на різальну пластину зносостійкого типу, яке забезпечує йому належний напружено-деформований стан, оптимізувати геометрію кромки, проаналізувати та вибрати склад покриття та спосіб його нанесення, провести дослідження

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: фактори, що ускладнюють обробку КСС, аналіз конструкцій ТФ, методи удосконалення РІ, типи округлення РК, способи формування покриттів, вимоги до покриття, методика досліджень, результати випробувань, стартап-проект.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз роботи базового інструменту	01.10.1017	
2	Огляд літературних джерел	01.11.2017	
3	Аналіз та розробка методів підвищення працездатності РІ	25.12.2018	
4	Аналіз впливу округлення РК на продуктивність обробки	26.10.2018	
5	Аналіз впливу виду і методів нанесення покриття на працездатність РІ	26.10.2018	
6	Проведення силових та триботехнічних дослідень	15.11.2018	
7	Проведення досліджень акустичної емісії	15.11.2018	
8	Розробка стартап проекту	01.12.2018	

Студент _____

Кареліна О.О.

Науковий керівник дисертації _____

Корбут Є.В.

АНОТАЦІЯ

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю: 8.05050302 інструментальне виробництво. – Національний технічний університет Україна «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» - Київ, 2018 р.

В результаті проведених досліджень розроблено та науово обгрунтовано основи підвищення працездатності різального інструменту, які полягають в розробці теорії створення відповідного напружено-деформованого стану робочих поверхонь шляхом округлення різальної кромки інструмента та формування зносостійкого покриття дискретного типу. Доведена можливість керованого впливу на властивості інструментального матеріалу за рахунок зміни конструкції та процесу нанесення покриттів.

Визначено, що триботехнічні властивості робочих поверхонь з суцільними покриттями дискретного типу покращуються порівняно з властивостями поверхонь з суцільними покриттями: знижується коефіцієнт тертя та швидкість зношування, зменшується адгезійна взаємодія між оброблюваним та інструментальним матеріалами. Застосування вакуум плазових покриттів дискретного типу на різальному інструменті дозволяє зменшити величини складових сил різання при обробці корозійно-стійких сталей на 10..15% порівняно з інструментами з суцільними покриттями та покращити якість оброблюваних поверхонь.

Вакуум плазові покриття дискретного типу на основі нітриду титану на твердому сплаві дозволили збільшити стійкість в 1,4..1,8 рази.

В дисертаційній роботі розроблено рекомендації та промислові технології підвищення працездатності різального інструменту та покращення його різальних властивостей на основі проектування та формування зносостійких покриттів дискретного типу.

Ключові слова: різальний інструмент, лезова обробка, торцева фреза, зносостійкі покриття, покриття дискретного типу, когезійна міцність, адгезійна міцність, тертя, зношування, стійкість, акустична емісія.

ABSTRACT

MSc thesis by specialty: 8.05050302 Tool production. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute"- Kyiv, 2018

In a result of the conducted researches, the bases of increasing the efficiency of the cutting tool developed and scientifically substantiated, which consist in the development of the theory of creation of a stress-strain state of the working surfaces by the rounding of the cutting edge of the tool and the formation of a wear-resistant cover of the discrete type. The possibility of controlled influence on the properties of the tool material due to the change of design and coating process is proved.

It is determined that the tribotechnical properties of working surfaces with continuous coatings of discrete type are improved in comparison with the properties of surfaces with continuous coatings: the coefficient of friction and wear rate decreases, and the adhesive interaction between the processed and the tool materials decreases. The use of discrete type vacuum coatings on the cutting tool allows reducing the components of the cutting forces in the treatment of corrosion-resistant steels by 10..15% compared to continuous coatings and improving the quality of the surfaces to be treated.

Vacuum plate coverings of a discrete type based on titanium nitride on a solid alloy have allowed to increase the resistance in 1,4 ... 1,8 times.

In the dissertation the recommendations and industrial technologies of increasing the efficiency of the cutting tool and improving its cutting properties are developed on the basis of designing and forming of the wear-resistant coatings of the discrete type.

Key words: cutting tool, blade processing, face milling, wear-resistant coating, discrete type coating, cohesive strength, adhesion strength, friction, wear, resistance, acoustic emission.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	6
Розділ 1 Аналіз стану проблеми торцевого фрезерування корозійно- стійких сталей.	10
1.1 Обґрунтування актуальності обробки торцевими фрезами плоских поверхонь деталей з корозійно-стійких сталей.	10
1.2 Вплив вибору схеми різання на процес торцевого фрезерування...	17
1.3 Використання нестандартної конструкції торцевої фрези для покращення процесу торцевого фрезерування.	21
1.4 Вплив об'єднання чистової та чорнової обробки на продуктивність обробки деталей торцевим фрезеруванням	24
1.5 Вдосконалення процесу торцевого фрезерування за рахунок оптимізації режимів різання	29
Розділ 2 Методи підвищення працездатності різального інструменту	32
2.1 Оптимізація робочої частини інструменту, оснащеного пластинами з твердого сплаву.	32
2.2 Вплив форми різальної кромки на процес різання	32
2.3 Дослідження впливу виду матеріалу і типу покриття на працездатність різального інструменту	36
2.4 Обґрунтування та вибір способу нанесення покриття	29
2.5 Акустична емісія при механічній обробці матеріалів	32
2.6 Методологічні аспекти дослідження акустичної емісії при механічній обробці матеріалів	33
2.7 Загальна концепція застосування методу АЕ при діагностиці механічної обробки матеріалів	36
Розділ 3 Дослідження фізико-механічних та трибологічних характеристик інструментальних матеріалів зі зміцнюючими покриттями	38
3.1 Вибір та обґрунтування матеріалу покриття	38

3.2	Оцінка триботехнічних характеристик інструментальних матеріалів з покриттями	39
3.3	Оцінка абразивної стійкості інструментальних матеріалів з покриттям	42
3.4	Устаткування для дослідження складових сили різання	44
3.5	Дослідження фізико-механічних та трибологічних характеристик інструментальних матеріалів зі зміцнюючими покриттями	45
3.6	Дослідження впливу виду покриття на складові сили різання при обробці твердосплавними пластинами	48
3.7	Закономірності зміни акустичної емісії при механічній обробці матеріалів з кристалічною структурою	51
3.8	Експериментальні дослідження впливу форми різальної кромки та покриття на процес різання	53
	Розділ 4 Startup-проект	58
4.1	Опис ідеї проекту	58
4.2	Технологічний аудит ідеї проекту	62
4.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	63
	Список використаної літератури	80

Розділ 1. Аналіз стану проблеми торцевого фрезерування корозійно-стійких сталей.

1.1 Обґрунтування актуальності обробки торцевими фрезами плоских поверхонь деталей з корозійно-стійких сталей.

На даному етапі розвитку машинобудування серед оброблюваних матеріалів широкого розповсюдження набувають важкооброблювані матеріали. Саме цим матеріалам властиві такі експлуатаційні та фізико-хімічні властивості, як корозійна стійкість, в'язкість при великих температурах та тисках, жароміцність, механічна міцність та пластичність. Проте, їх обробка може викликати певні труднощі та супроводжуються значними температурами в зоні різання й силовими напруженнями. А це в свою чергу знижує продуктивність та якість обробки.

Корозійно-стійкі сталі відносяться до матеріалів, які важко обробляються різанням, та зокрема, фрезеруванням. Значну роль у реалізації цього процесу відіграє конструкція та геометрія інструменту.

Корозійно-стійкі сталі мають певні властивості, що ускладнюють їх обробку: самозміцнення при деформації (наклеп), складнощі зі стружкодробленням (через високу міцність), низька теплопровідність (у порівнянні зі сталлю 45), висока міцність (через наявність легуючих елементів), утворення заусенців при різанні та схильність до налипання на поверхні різця (нарос).

У промисловості, а саме у атомному виробництві, використовують сталь 08X18H10T, хімічний склад якої представлено в таблиці 1.1, а фізико-механічні властивості представлені у таблиці 1.2. Дану сталь використовують для виготовлення технологічних трубопроводів, шахт реактора, шахт пастки розплаву, центрального залу реактору та басейну витримки.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі 08X18H10T

Хімічний елемент	%
Кремній (Si), не більше	0,8
Марганець (Mn) , не більше	2
Мідь (Cu), не більше	0,3
Нікель (Ni)	9-11
Сірка (S), не більше	0,02
Вуглець (C) , не більше	0,08
Фосфор (P), не більше	0,035
Хром (Cr)	17-19
Залізо(Fe)	65

Також з цієї сталі виготовляють багато медичних інструментів та приладів (наприклад, скальпелі і магнітно-резонансні томографи), медичні меблі, операційні столи.

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі 08X18H10T

Режим термообробки, стан поставки	Перетин, мм	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %
Прутки. Гартування 1020-1100 °С, повітря, мастило, вода.	60	196	490	40	55
Прутки шліфовані, оброблені на задану прочність.	1-30	-	590-830	20	-
Листи гарячекатані й холоднокатані: - Гартування 1000-	більше 4	206	509	43	-

1080 °С, вода, повітря - Гартування 1050- 1080 °С, вода, повітря.	до 3,9	-	520	40	-
Поковки. Гартування 1050- 1100 °С, вода або повітря.	1000	196	490	35	40
Труби безшовні гарячедеформовані без термообробки	3,5-32	-	510	40	-

Для підвищення працездатності торцевих фрез для обробки корозійно-стійких сталей необхідно розглянути наступні питання:

1. Самозміцнення

При натисканні різця (ріжучої кромки фрези) на заготовку з корозійно-стійкої сталі матеріал заготовки під час врізання різця деформується і набуває більш високої твердості. Ступінь наклепу найбільша в місці врізання різця, і зменшується в напрямку віддалення від місця деформації.

У зоні різання твердість корозійно-стійкої сталі може збільшитися значно (на 100%), і на наступному проході різцю доводиться зрізати шар зміцненого матеріалу, що призводить до швидкого зносу ріжучої кромки фрези та, в результаті, одержання неякісної поверхні деталі. Погіршити ситуацію може неправильно підібраний або зношений інструмент.

2. Низька теплопровідність

За рахунок більш низької теплопровідності у корозійно-стійкої сталі тепло, що виділяється при різанні, гірше відводиться із зони різання. Як наслідок - матеріал і різець фрези набувають більш високої температури. Фреза починає працювати при підвищених температурах, для роботи при яких вона не

призначена. Це негативно впливає на термін служби фрези і веде до її інтенсивного зносу.

3. Висока міцність

Корозійно-стійкі сталі мають підвищену міцність, що перевершує міцність звичайних сталей. Тому зусилля, що виникають при різанні і які діють на різальну кромку фрези, є набагато більшими, ніж при обробці сталі⁴⁵. Це призводить до інтенсивного зносу різальних кромок і порушення геометрії фрези.

4. Наліпання на ріжучу кромку (нарост)

В процесі обробки корозійно-стійка сталь має здатність налипати на різальну частину фрези, утворюючи нарост. Нарост дуже негативно впливає на процес різання, так як порушується геометрія різця і зусилля різання значно збільшуються.

5. Стружкоутворення та стружкодроблення

Труднощі зі стружкодробленням через високу міцності сталі і утворення задирок в ході обробки теж не кращим чином впливають на продуктивність фрезерування корозійно-стійких сталей. А саме: стружка погано відводиться, налипає на інструмент та деталь. Особливо це помітно, якщо інструмент спочатку був підібраний неправильно.

За рахунок зміни (у міру зношування) геометрії ріжучої частини фрези, всі вищеназвані фактори починають діяти ще більш інтенсивно, і продуктивність обробки фрезеруванням різко падає. Фреза приходить в непридатність, якість оброблюваної поверхні знижується. Все це негативно позначається на продуктивності фрезерувальних робіт.

Як відомо, через особливі фізико-механічні властивості при обробці ВМВ виникають вібрації, великі сили різання (в 1,5–2,5 раза більші, ніж при обробці сталі⁴⁵) та значні температури в зоні різання (в 2–3 рази більші, ніж при обробці сталі⁴⁵), що є основною причиною низької оброблюваності цих матеріалів ([1-8]).

Авторами [1-28] був досліджений процес торцевого фрезерування важкооброблюваних матеріалів, але в більшості це стосується обробки деталей стандартними торцевими фрезами (ТФ). Дане дослідження показало, що процес торцевого фрезерування супроводжується такими негативними явищами: нерівномірне зношування різальних кромки ножів; удари на вході та виході в зонах контакту із заготовкою; биття різальних кромки; нерівномірність навантаження окремих ножів ТФ тощо [9–14].

Для обробки деталей з корозійно-стійких сталей зарубіжні фірми пропонують наступні фрези, конструкції яких представлені на рис. 1.1, 1.2 та 1.3:

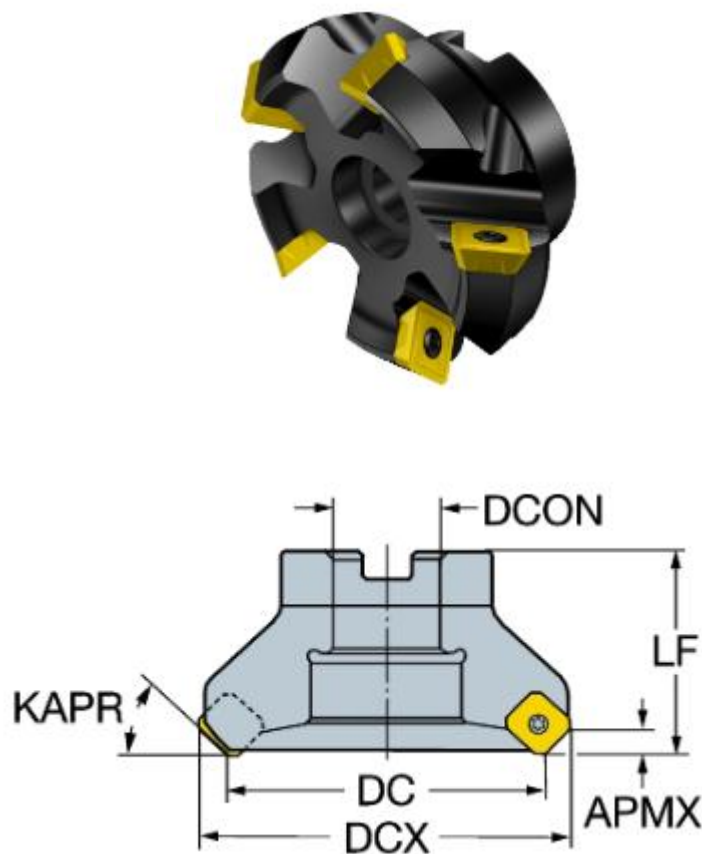


Рисунок 1.1. Торцева фреза CoroMill®245 фірми Sandvik Coromant

Дана конструкція торцевої насадної фрези має пластинки квадратної форми, які кріпляться на гвинт в центрі пластинки. Особливість такої конструкції полягає в тому, що пластинки розміщуються з додатнім кутом лямбда, що дозволяє зменшити зусилля різання та дає змогу обробляти плоскі поверхні деталей з корозійно-стійких сталей.

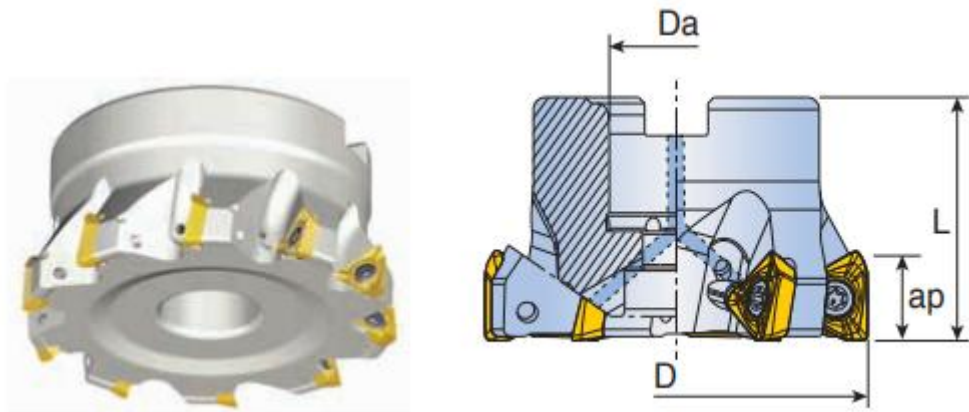


Рисунок 1.2. Торцева фреза Mill Rush 3P TF90 фірми Taegutec

Конструкція даної торцевої насадної фрези має ряд особливостей. Складається з корпуса, в якому виготовлені канали для подачі СОЖ, що дає змогу зменшити кількість використовуваної рідини та підвищує її ефективність за рахунок більш точної подачі її в зону різання.

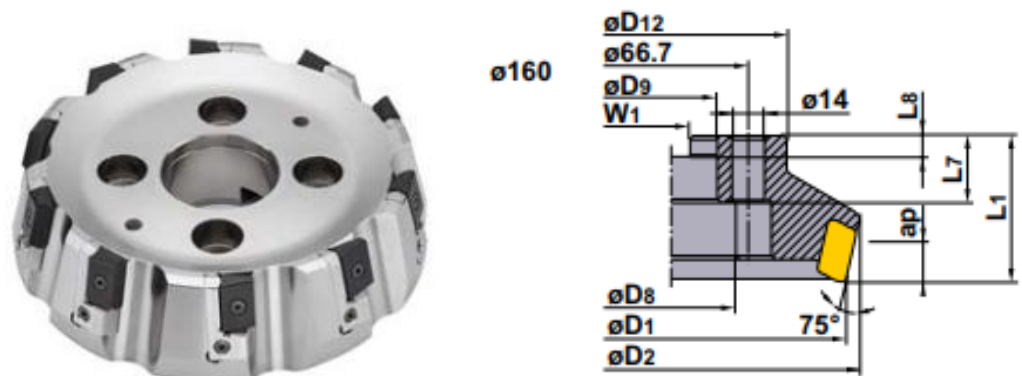


Рисунок 1.3. Торцева фреза ANM75 фірми Mitsubishi

Модель даної конструкції торцевої, насадної фрези має пластини паралелограмної форми з від'ємним заднім кутом. Використання таких пластин, дає змогу зменшити сили різання, що веде за собою ряд переваг. Якість обробленої поверхні має високу якість та після обробки не утворюється наклепаний шар металу, що дає змогу для неускладненої, подальшої обробки деталі.

Підвищення продуктивності та якості обробки деталей з КСС є комплексним питанням. Так на ряду з розглядом конструкцій фрез необхідно звернути увагу на: використання конструкцій ТФ зі східчастою схемою різання; оптимізацію режимів різання, вибір способу обробки та інструментального матеріалу, геометрію інструменту, використання торцевих фрез з нестандартною робочою частиною інструменту та спосіб розміщення на ній різальних ножів, об'єднання чорнової і чистової обробок поверхні.

1.2 Вплив вибору схеми різання на процес торцевого фрезерування.

Існуючі та нові конструкції торцевих фрез направлені на пошук нових прогресивних форм різальної частини торцевої фрези, які б зменшили сили різання при обробці важкооброблюваних матеріалів та, зокрема, корозійно-стійких сталей.

Проблему нерівномірного навантаження різальних кромek ножів торцевої фрези автори пропонують вирішити шляхом використання різних конструкцій ТФ [14–18]. Це дає змогу мінімізувати вплив биття лез ножів, а це підвищує кількість різальних ножів від 20–40 % участі для стандартних фрез до 60–100 % – для східчастих ТФ, а також збільшити реальну глибину різання, зменшити габарити фрези та підвищити якість оброблених площин деталей.

Для підвищення продуктивності та точності обробки необхідно підвищити точність та жорсткість верстата, на який встановлюється фреза. Верстат повинен мати високу вібростійкість, безззорну установку шпинделя та достатню його збалансованість. Суттєве значення для стабільної роботи ТФ також має і її кріплення на верстаті, тобто точність та жорсткість з'єднання хвостовика зі шпинделем верстата [25-26].

Причиною ударних процесів при обробці торцевим фрезеруванням може бути як одночасність входу і виходу всіх точок різальних кромek у припуск заготовки, так і биття різальних кромek, що призводять до нерівномірного фрезерування. При косокутному різанні ножами з обраною вище безвершинною формою різальної частини цей недолік частково знижується, але повне його

зняття буде мати місце після використання задовільної східчастої схеми різання. Крім того, східчасті схеми різання характеризуються участю в різанні практично всіх ножів, що свідчить про підвищення продуктивності обробки.

Східчасті схеми різання можна реалізувати складним шляхом розташування ножів на різних спіралях та встановлення з розрахунковим вильотом відносно корпусу фрези. Або шляхом вибору такої форми корпусу фрези, щоб було можливим розташування на спіралях з однаковим вильотом ножів відносно корпусу.

Структурна оптимізація схем різання ТФ полягає в використанні всіх діючих ножів для досягнення певного критерію оптимізації. Чорнові ножі, що зрізають припуск біля поверхні заготовки, характеризуються відносно великими кутами в плані і великою товщиною зрізу. Тому для зменшення їх зношування потрібно збільшувати їх кількість. Чистові ножі характеризуються відносно малими кутами в плані і тонкими зрізами з невеликими товщинами, тобто тонкими енергонапруженими зрізами та великою чутливістю до биття, а тому зрозуміло, що їх кількість потрібно зменшувати.

Автором [28] було досліджено існуючі схеми різання, та показано, що:

- при оптимізації (рис. 1.4) за критерієм максимального об'єму знятого припуску необхідно кількість повних спіралей виконувати рівною 3 і більше (а) або одну повну спіраль та 5 і більше неповних спіралей (б).

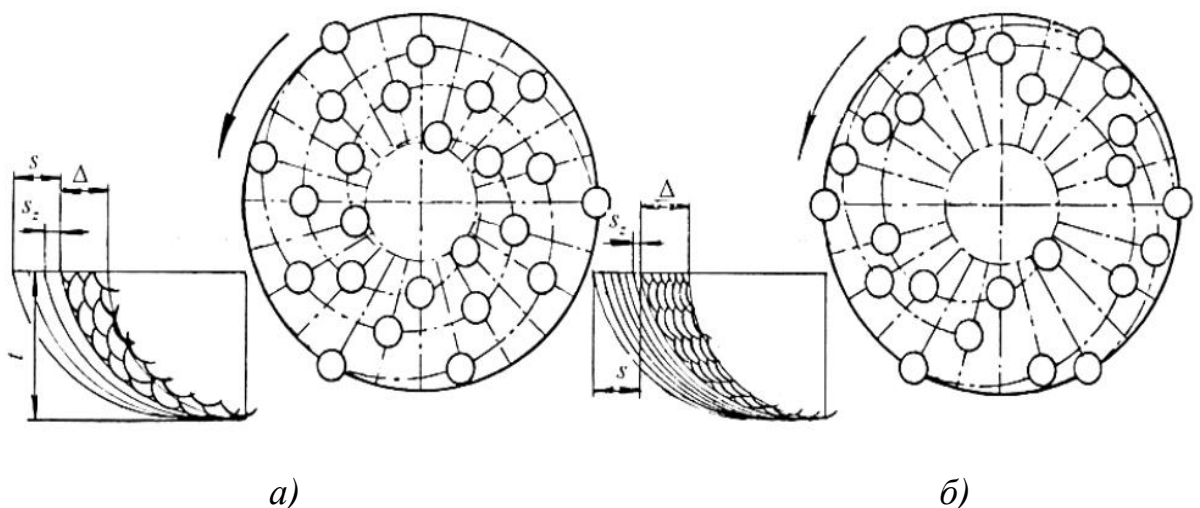


Рисунок 1.4. Структурна оптимізація схеми різання ТФ за найбільшим об'ємом шару припуску, що зрізується.

- при оптимізації схеми різання ТФ (рис. 1.5) за критерієм максимальної площі обробленої поверхні можливо при обмеженій кількості повних спіралей 1–2 (а), а також неповних спіралей 3–4 (б).

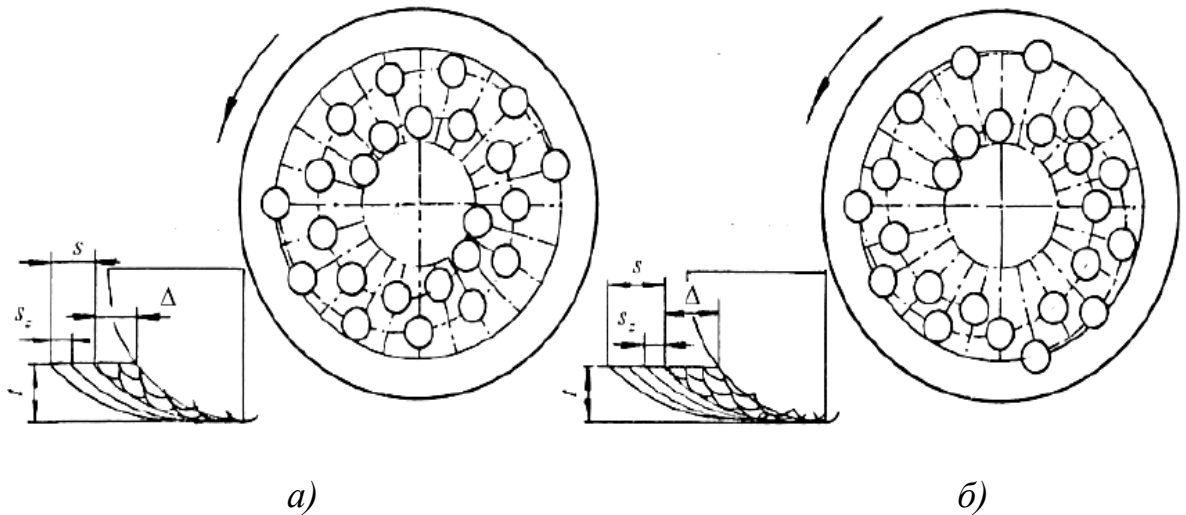


Рисунок 1.5. Структурна оптимізація схеми різання ТФ за максимальною площею обробленої поверхні.

- для подальшого зменшення чутливості процесу різання до величини биття ножів доцільно використовувати не прості, повторювані за висотою сусідні зрізи, а форми зрізу типу «риб'яча луска», коли глибини зрізів для ножів суміжних спіралей виконуються відносно зміщеними. Це дає змогу зменшити вимоги до точності установки ножів, не знижуючи їх відсоткової участі в процесі різання.

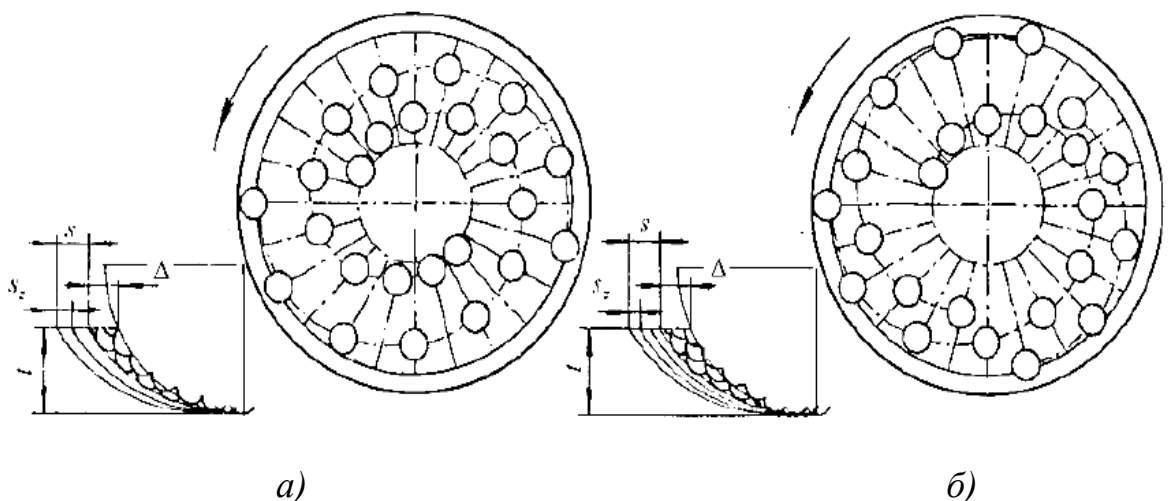


Рисунок 1.6. Структурна оптимізація схеми різання ТФ за найменшою чутливістю до биття ножів.

Схема різання зі зниженою чутливістю до биття, що виконується на 2-х повних спіралях ножів, наведена на рисунку 1.6. В цьому випадку одна базова повна спіраль виконується за відомою схемою, а друга – виконується шляхом зміщення ножів у проміжки між ножами першої спіралі. Подальше зниження чутливості до биття можливо за схемою (б), виконаною з трьома спіралями: 1 повна базова та 2 неповні спіралі. Ножі неповних спіралей розташовуються на проміжних радіусах і глибинах відносно базової спіралі.

Для отримання максимальної площинності обробленої поверхні в умовах чистової обробки необхідно забезпечити високу рівномірність процесу різання, що можливе лише за максимальної участі більшості ножів у процесі різання. Таку максимальну площинність можна досягти при розташуванні ножів на двох повних спіралях, які зсунуті одна відносно одної за схемою «риб'ячої луски» (рис. 1.7, а), або при їх розташуванні на 1 повній та 2-х неповних спіралях (рис. 1.7, б).

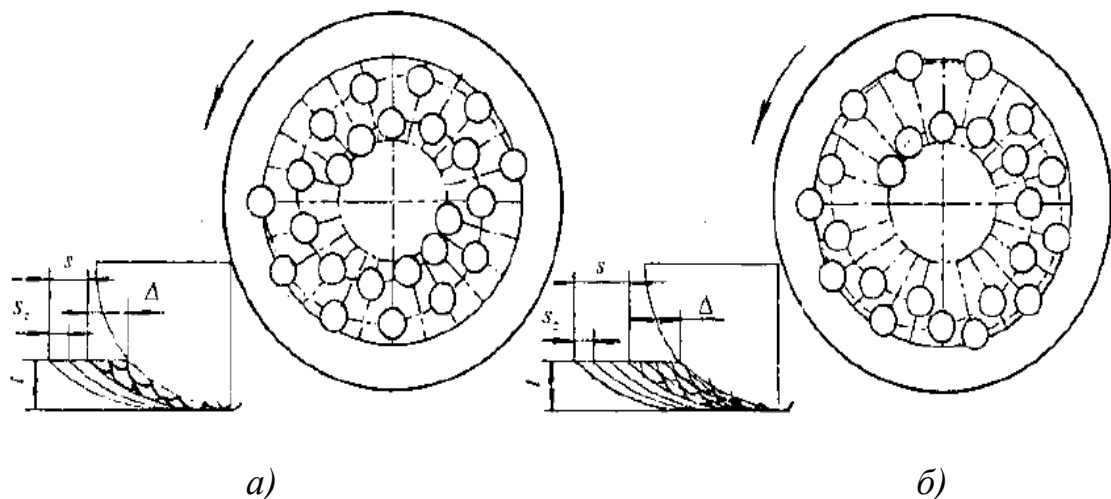


Рисунок 1.7. Структурна оптимізація схеми різання ТФ за максимальною площинністю обробленої поверхні.

Автором [28] було розроблено конструкцію торцевої фрези у якій для забезпечення зрізання шарів типу «риб'яча луска» доцільно спіралі з 4 і 3 ножами виконати зсунутими в радіальному та осьовому напрямках.

Таким чином, використання цієї торцевої фрези дозволяє вдосконалити процес торцевого фрезерування плоских поверхонь деталей з ВОР, зокрема з загартованих сталей, стосовно підвищення продуктивності та покращання показників якості.

У результаті проведених досліджень встановлено, що впровадження ТФ призводить до підвищення продуктивності в 2,9 раза, порівняно з обробкою шліфуванням, та покращання показників якості (мінімальні шорсткість $R_a = 1,2$ мкм та відхилення від площинності $\Delta = 25$ мкм). Результати були отримані завдяки оптимізації режимів різання розробленою ТФ, оснащеною пластинами з гексаніту-Р при обробці заготовок із загартованої сталі 35ХГСА за критеріями шорсткості обробленої поверхні та відхилень від площинності.

1.3 Використання нестандартної конструкції торцевої фрези для покращення процесу торцевого фрезерування.

Одним зі шляхів підвищення якості та точності обробки деталей торцевим фрезеруванням ВОР є використання інструменту, оснащеного твердими матеріалами. Більшість торцевих фрез виготовляється згідно до загальновідомих стандартів, при цьому фрези можуть бути як праворіжучими, так і ліворіжучими. Широку гаму торцевих фрез надають зарубіжні фірми, при цьому створюються торцеві фрези й нестандартного виконання. Проте, суттєвими недоліками торцевої фрези є мала кількість ріжучих ножів, що веде к зниженню продуктивності обробки, та недостатня жорсткість кріплення пластини при роботі з підвищеними глибинами різання та подачами.

З урахуванням наведених недоліків автором [27] була запропонована нестандартна конструкція торцевої фрези. Головною відмінністю даної фрези є можливість її роботи у важких умовах (великі припуски та подачі) при забезпеченні високої жорсткості.

Оскільки існуючі торцеві фрези з чотиригранними пластинами в основному не мають можливості регулювання величини осьового вильоту ріжучої вставки відносно корпусу інструменту через те, що пластини

встановлюються безпосередньо в тілі корпусу фрези, то вирішити цю проблему запропоновано шляхом застосування циліндричного типу ріжучої вставки.

При цьому збільшення жорсткості вставки досягнуто збільшенням зовнішнього діаметра ріжучої вставки до 32 мм. У свою чергу це призводить до підвищення жорсткості всього вузла кріплення ріжучої вставки і, відповідно, всієї фрези в цілому.

Запропоноване виконання вузла кріплення ріжучої вставки (зжим двома гвинтами по бічній лисці) є досить компактним і забезпечує можливість розміщення в корпусі фрези великої кількості ріжучих вставок. При необхідності можна здійснювати регулювання величини осьового вильоту ріжучої вставки з БНП при розкріпленні бічних кріпильних гвинтів. Залежно від величини припуску, що знімається, фреза може містити одну, дві і більше ріжучі ступені. Закріплення БНП виконано за допомогою проміжної тяги шляхом обертання гвинта з боку торцевої неробочий поверхні ріжучої вставки.

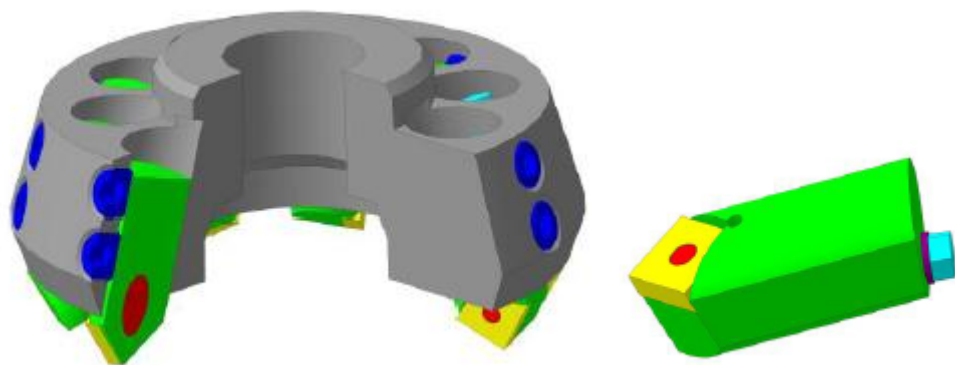


Рисунок 1.8. Розріз торцевої фрези і циліндрична ріжуча вставка, що містить чотиригранну твердосплавну пластину (3D-модель)

Таким чином, в результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Підвищити ефективність (продуктивність і якість) чорнового торцевого фрезерування можна шляхом збільшення жорсткості вузла кріплення ріжучої вставки.

2. Підвищити жорсткість вузла кріплення ріжучої вставки можна шляхом збільшення жорсткості самої ріжучої вставки, зокрема, шляхом збільшення площі її поперечного перерізу.

3. При використанні циліндричного типу ріжучої вставки, збільшення жорсткості вставки може бути досягнуто збільшенням зовнішнього діаметра ріжучої вставки.

4. Застосування гвинтового закріплення циліндричної ріжучої вставки по бічній лисці вставки дає можливість при необхідності здійснювати регулювання положення різальних кромek чотиригранних твердосплавних пластин відносно корпусу фрези. Це дозволяє як знижувати биття різальних кромek (підвищення якості обробки і стійкості інструменту), так і виробляти розбивку загального припуску на обробку на кілька ступенів (збільшення сумарної глибини різання).

1.4 Вплив об'єднання чистової та чорнової обробки на продуктивність обробки деталей торцевим фрезеруванням

Сучасний рівень технології виготовлення заготовок відповідальних деталей машин і механізмів забезпечує їх максимальну наближеність за розмірами і властивостями поверхневого шару до вимог конструкторської документації, але, як правило, механічна обробка окремих поверхонь залишається поки єдиним методом забезпечення точності розмірів і якісних експлуатаційних характеристик цих деталей.

Високі вимоги до поверхонь деталей за технологічними регламентами передбачають чорнову і далі чистові обробки. Чорнова обробка створює необхідний однаковий припуск для проведення чистових операцій. Деякі точні і відповідальні поверхні вимагають проведення декількох чистових операцій, а також створення на них відповідного регулярного мікрорельєфу. Така побудова послідовності обробки значно підвищує собівартість кінцевого виробу через значні витрати часу, енергоресурсів, відповідного обладнання, кваліфікованого персоналу тощо.

Можна розглядати декілька шляхів вирішення проблеми суміщення:

1. Забезпечити жорсткість технологічної обробної системи до таких значень, коли зміна сил різання викликала б незначні (в межах поля допуску) пружні деформації, що, безумовно, викликає збільшення матеріалоємності та складності конструкції верстатів.

2. Застосовуючи ступінчастий спосіб видалення припуску, поділити його на такі частини, які б не викликали значної зміни складової сили різання.

3. Запровадити адаптивне управління процесом обробки із застосуванням чутливих пристроїв до зміни сил різання та пружної деформації технологічної обробної системи.

4. Здійснюючи суміщення, не допускати збігу в часі чорнового з чистовим різанням.

5. Мінімізувати під час чорнового видалення припуску (бажано і під час чистового) радіальну складову сили різання (спосіб урівноваження).

Перших три напрямки достатньо глибоко досліджені та описані в літературі, хоча пошуки продовжуються, особливо в напрямку удосконалення адаптивного управління процесом різання.

Спосіб обробки з кінематично перетвореною з колової на прямолінійну перпендикулярну до вектора подач траєкторією рухів різальних елементів (патент України на винахід № 83071 від 10.06.2008 р.) забезпечує використання в процесі різання кожного ножа окремо, тобто чистовий (останній за один цикл-оберт інструмента) прохід відбувається без впливів інших. Інструмент забезпечує можливість налагодження ступінчастого способу видалення припуску на обробку (рис. 1.9).

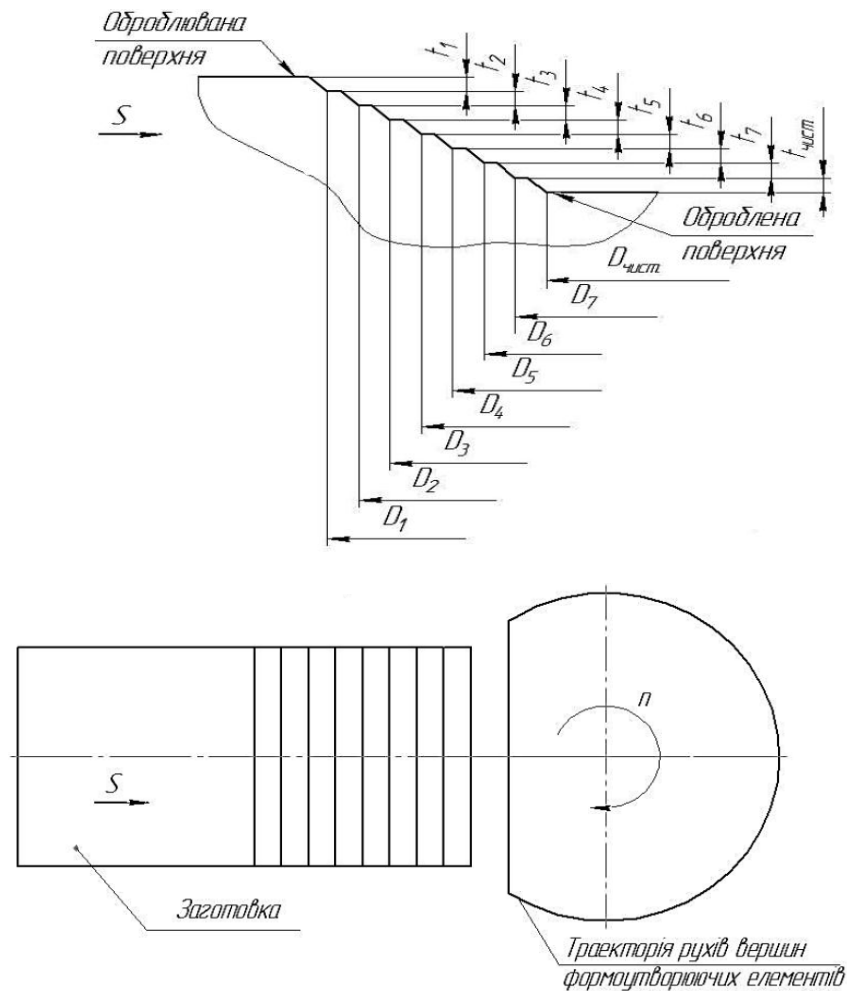


Рисунок 1.9. Схеми видалення припуску за кінематичного перетворення рухів різальних елементів та ступінчастого різання

Конструкцією інструмента (патент України на винахід № 84478 від 27.10.2008 р.) передбачена можливість після чистового проходу проводити поверхневе легування методом металопереносу і вигладжування обробленої поверхні, які також проводяться як окремі проходи за кожен оберт інструмента.

За глибини різання чистовим різальним елементом 0,5 мм максимальна товщина припуску, що видаляється, може становити 3,5...4 мм.

Спосіб урівноваження радіальної складової сили різання виконанням головного кута в плані більше 90° як для деталей типу тіл обертання, так і площинних був розроблений, у першу чергу, для обробки нежорстких заготовок (патент України на винахід № 93641 від 25.02.2011 р.).

На рисунку 1.10 зображена схема утворення складової сили різання, що урівноважує складову сили різання в процесі точіння.

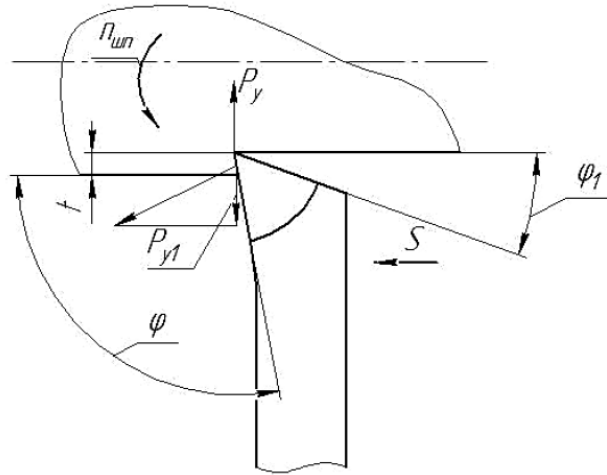


Рисунок 1.10. Схема урівноваження радіальної складової сили різання в процесі токарної обробки

На рисунку 1.11 зображена схема утворення урівноваження радіальної складової сили різання в процесі торцевого фрезерування з кутом $\varphi > 90^\circ$.

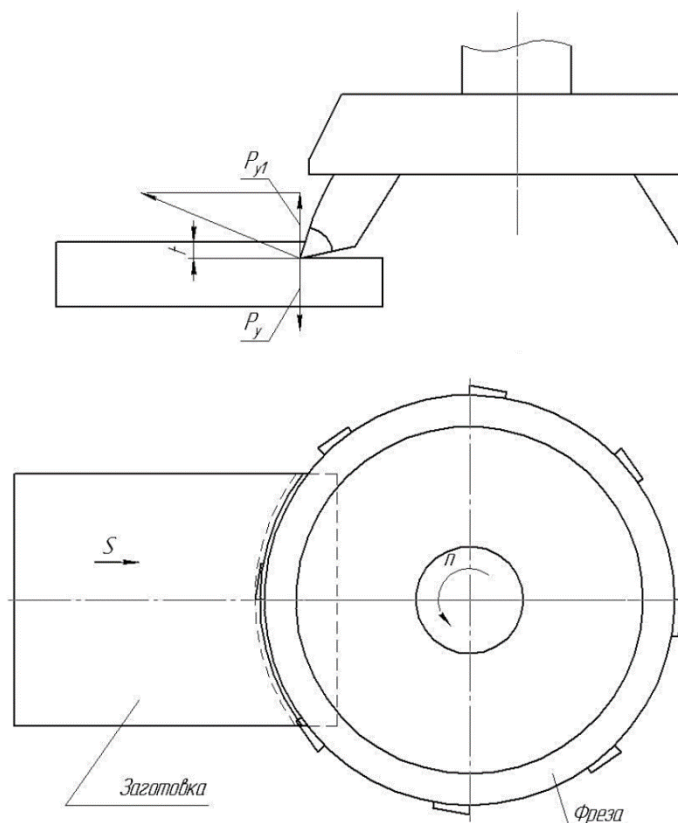


Рисунок 1.11. Схема видалення припуску у процесі торцевого фрезерування з урівноваженням радіальної складової сили різання

Перетворення чорнової і чистової обробок на один процес із видаленням припуску, поділеного на частини, із забезпеченням мінімального можливого

часу використання кожного леза багатолезового торцевого інструмента в процесі різання, особливо виражений у розробленому інструменті з планетарним рухом формоутворюючих елементів (рис. 1.12).

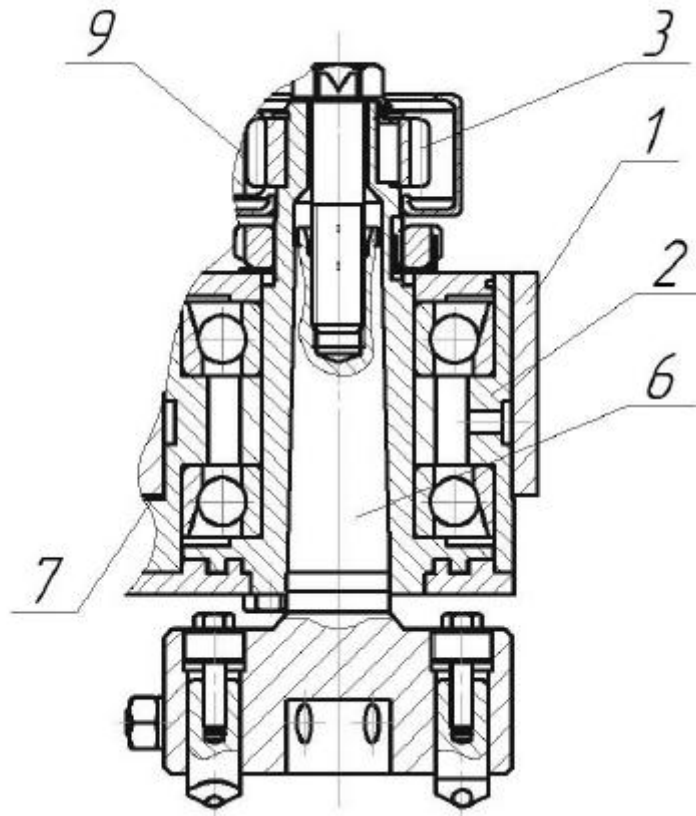


Рисунок 1.12. Торцевий багатолезовий інструмент із планетарним рухом формоутворюючих елементів

Головним впливовим фактором на утворювану шорсткість обробленої поверхні є налагодження однакового осьового вильоту кожної з шести фрез.

Розроблений торцевий інструмент з планетарною траєкторією рухів формоутворюючих елементів дає можливість зменшити максимальне зусилля під час переривчастого різання зі змінною товщиною зрізу та мінімальним шляхом від точки врізання в метал до точки утворення максимальної товщини зрізу.

Короткочасність впливу високої температури на оброблену поверхню не дозволяє їй проникнути на значну глибину і, відповідно, змінити фазово-структурну побудову поверхневого шару деталі. Так само не відбувається

нагрівання передньої та задньої поверхонь різальної пластинки. Короткий час нагріву і тривале охолодження сприяють збільшенню стійкості інструмента [29].

1.5 Вдосконалення процесу торцевого фрезерування за рахунок оптимізації режимів різання

Важкооброблювані матеріали (ВОМ) використовуються при виготовленні відповідальних деталей в різних галузях машинобудування. Більшість з експлуатаційних властивостей деталей машин визначаються контактною взаємодією деталей, що характеризується різними параметрами, в тому числі шорсткістю та відхиленнями від геометричної форми спряжених поверхонь. Особливо ці параметри важливі при обробці плоских протяжних поверхонь деталей з ВОМ. Для отримання цих характеристик поверхні використано торцеве фрезерування плоских поверхонь з метою дослідження та знаходження оптимальних режимів різання як альтернатива плоского шліфування.

Проблемам геометричних параметрів якості обробленої поверхні присвячено багато досліджень. Якість обробленої поверхні при торцевому фрезеруванні залежить від багатьох факторів, в тому числі від матеріалу, що оброблюється, інструменту, жорсткості ТОС, режимів різання та ін. Одним з важливих показників якості та більш досліджуваному є шорсткість обробленої поверхні.

Тому ряд наукових робіт присвячено саме питанню утворення шорсткості обробленої поверхні при обробці різними інструментами для всіх типів оброблюваних матеріалів. Загальний вплив режимів різання на шорсткість обробленої поверхні достатньо широко досліджено, але до цих пір не існує надійних моделей для прогнозування шорсткості в залежності від режимів різання. Також важливим показником якості обробленої поверхні є відхилення від площинності, але вплив вищенаведених факторів є менш дослідженим[30].

Актуальним завданням металообробного виробництва є підвищення продуктивності обробки деталей. Досягнення високої продуктивності є можливим при інтенсифікації параметрів процесу, зокрема підвищення

швидкості різання або подачі. Ефективність запровадження таких операцій має оцінюватись забезпеченням певного рівня зносостійкості інструменту.

Відомо, що використання інструментів, оснащених твердими матеріалами, дозволяє збільшувати швидкість різання, що для процесу торцевого фрезерування призводить до лінійного збільшення хвилинної подачі, яка і визначає продуктивність.

Застосування ступінчастих схем різання при конструюванні торцевих фрез з дозволяє розширити область їх використання і на чорнові процеси. Однак питання зносостійкості торцевих фрез в умовах інтенсифікації режимів різання не повністю вивчені. Зокрема існує ряд розбіжностей стосовно ступеня впливу швидкості різання і подачі на інтенсивність зношування інструменту. Дослідження стійкості фрез показали, що за якісними значеннями найбільший вплив на працездатність мають швидкість різання і подача, меншою мірою – глибина різання.

В роботі [31] наводяться результати аналізу типів зношування та їх комбінацій, які описують умови виходу з ладу інструменту. Вважається, що комбінація абразивного та хімічного типів зношування спричиняє появу лунок на передній поверхні інструменту. Явищу термічної втоми відповідає поява тріщин на різальній кромці інструменту. Хімічний знос викликає появу рисок та борозн, в основному по задній поверхні пластини. Вплив ударного навантаження викликає на поверхні інструменту викришування та утворення відколів. Визначення характеру руйнування пластин і факторів, які мають найбільший вплив на інтенсивність зношування, дає результати, які свідчать про те, що на передній поверхні інструменту утворюється лунка, риси і борозни, орієнтовані у напрямку сходження стружки. Істотний вплив на характер руйнування має товщина зрізу. При її великих значеннях можливе утворення великих відколів на головній задній поверхні.

У процесі обробки автором [32] проводилась реєстрація величина фаски зносу по задній поверхні, інтенсивності збільшення фаски в процесі обробки та проводився аналіз зношених передньої та задньої поверхонь ножів фрези при

різних режимах різання. За отриманими значеннями періоду стійкості, отриманим згідно з планом повнофакторного експерименту, проводилась оцінка достовірності результатів.

Аналіз характеру зношування при проведенні стійкісних досліджень показав, що найбільш характерним видом зношування при заданих умовах проведення експерименту є рівномірне зношування по задній поверхні з утворенням незначної за розмірами лунки на передній поверхні. Нетиповим видом зношування є утворення сколів з подальшим їх розгалуженням та руйнуванням твердого матеріалу, що спостерігалось в умовах максимального навантаження інструменту.

За результатами досліджень зі встановлення впливу режимів різання на період стійкості та характер зношування та руйнування різальної частини торцевих фрез, оснащених твердими матеріалами, визначено, що інтенсифікація режимів різання, за умови застосування раціональних геометричних параметрів, дозволяє досягти рівного характеру зношування та забезпечити рівень періоду стійкості, притаманний чистовим процесам обробки торцевими фрезами.

Висновок:

2.

2.1 Оптимізація робочої частини інструменту, оснащеного пластинами з твердого сплаву.

Підвищення працездатності різального інструменту є багатоплановим питанням і полягає в вирішенні декількох взаємопов'язаних задач. До них можна віднести формування оптимальних геометрії і мікрогеометрії робочих елементів різального інструменту, при умові забезпечення відповідного зміцнення. Їх вирішення полягає в комплексному підході до процесів оброблення, в особливості, на фінішних етапах виготовлення інструменту. При цьому важливим є врахування таких взаємопов'язаних технологічних аспектів обробки як ступінь зміцнення, так і мікрогеометричних параметрів робочих елементів різального інструменту, і в особливості тонких, загострених різальних кромки.

Традиційно вважають, що чим гостріша різальна кромка, тим менші зусилля будуть виникати при експлуатації інструменту. Проте застосування різноманітних методів зміцнення, які збільшують жорсткість поверхневого шару, сприяють підвищенню поверхневої твердості і це може призвести при експлуатації інструменту до небажаних явищ, таких як викришування тонких загострених кромки з подальшим зниженням як працездатності інструменту, так і якості оброблення. Форма та розміри РК мають значний вплив на процес різання. На них в процесі оброблення діють значні механічні та термічні навантаження. Тому для підвищення продуктивності та якості оброблення необхідно велику увагу приділяти саме стану РК. Тому якість оброблюваних деталей, стійкість та надійність РІ значно залежать саме від стану РК інструменту, а для підвищення працездатності твердосплавного РІ це має ключове значення. Саме тому в останні роки суттєву увагу приділяють питанням підготовки та формуванню РК різноманітного РІ. Використання РІ з РК оптимальної форми з заданою мікрогеометрією крім покращення якості оброблення, може забезпечити зменшення вартості оброблення, особливо важкооброблюваних матеріалів.

Як зазначалось, найбільш ефективним способом підготовки РК є їх округлення. Типи округлення різальних кромки наведені на рис.2.1.

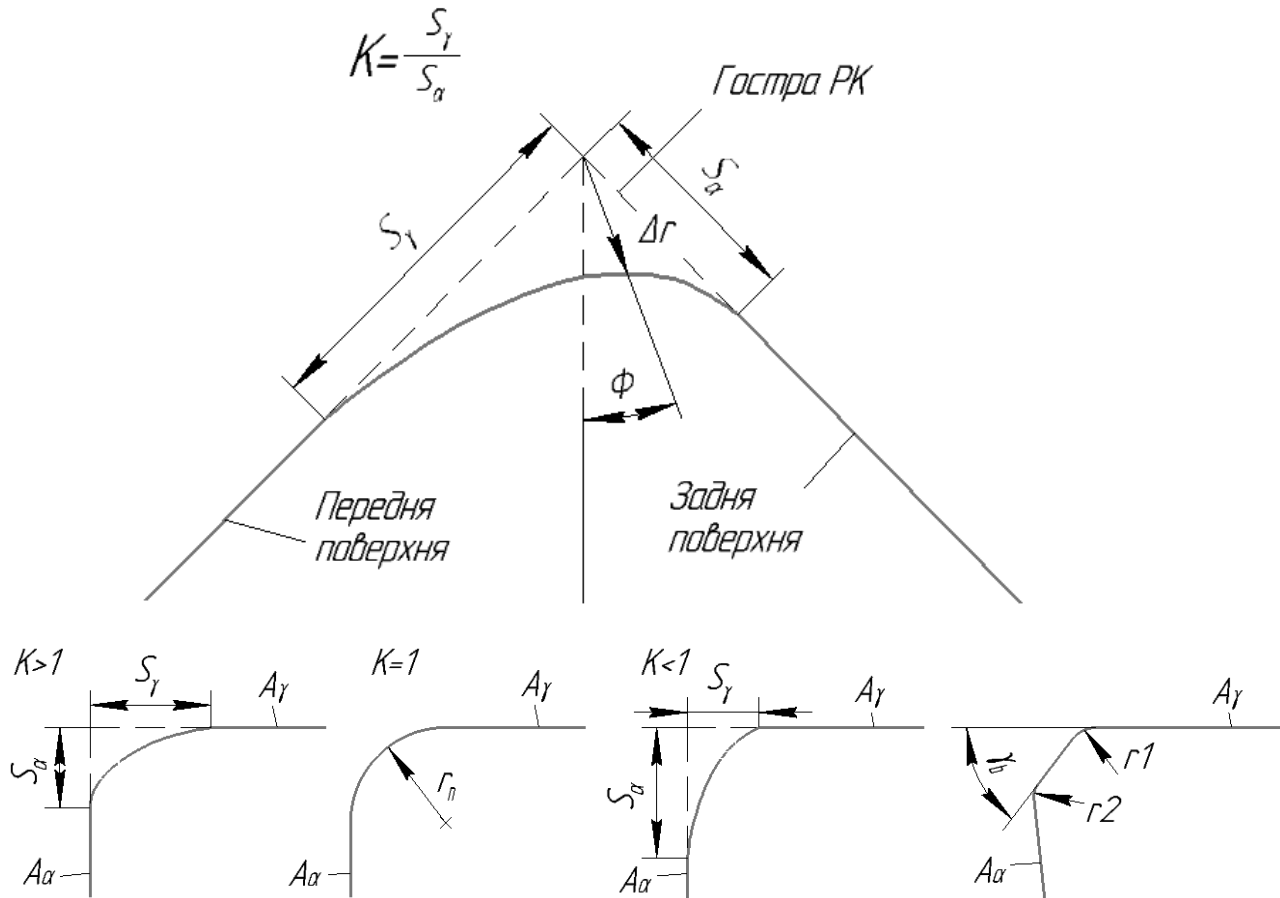


Рисунок 2.1 Типи округлення різальних кромки

Описувати форму і мікрогеометрію різальних кромки було запропоновано Денкеном. В якості критерія класифікації РК, наведених на рис.2.1, була вибрана величина K – фактору (форм – фактору). K – фактор – це співвідношення S_γ/S_α , де S_α та S_γ – це відстань між точкою розділу округленої РК, точкою, в якій починається перехід від плоскої поверхні до округленої РК, та кінчиком інструменту з ідеально гострою РК на задній та передній поверхнях відповідно. Δr та кут ϕ описує затуплення РІ та вимірюється як найкоротша відстань та зміщення між ідеально гострою та округленою РК.

Таким чином форму РК можна розділити на 3 класи: $K = 1$ – описує симетричну мікрогеометрію РК, $K > 1$ – вказує на нахил на передню поверхню, $K < 1$ – вказує на нахил на задню поверхню. Визначено, що величина K -фактору має значний вплив не тільки на механізм зношення РІ, а й на механічне та

термальне навантаження РК. Асиметрична РК має переваги завдяки великому впливу на поведінку РІ в процесі роботи. Сукупність усіх вище зазначених параметрів дозволяє в повній та достатній мірі описати мікрогеометрію РК.

Для симетрично округленої РК зі збільшенням величини її радіусу округлення збільшуються розмір зони гальмування матеріалу перед РК та висота точки розділу матеріалу. Для несиметричної РК величина зони гальмування матеріалу менша в порівнянні з симетричною РК, а на висоту точки розділення матеріалу найбільший вплив має саме величина $S\alpha$, в той час коли $S\gamma$ на ці параметри значного впливу не має. Також величина $S\alpha$ має значний термічний вплив на РК, що є результатом збільшення площі контакту між задньою поверхнею та оброблюваною деталлю.

Форма РК має безпосередній вплив на складові сили різання та траєкторію руху матеріалу при різанні. В порівнянні з гострими РК у округлених сила різання та подачі більші, а при однакових умовах різання та при збільшенні величини округлення РК вона може бути лінійно апроксимована і зі збільшенням величини радіусу сили різання ростуть. При збільшенні радіусу округлення РК зростають і середні сили різання, але для асиметричних РК ці величини будуть значно менші, ніж для симетричних з такою ж величиною радіусу округлення, не залежно від величини К-фактору. А величина осьової сили для РК з переважанням $S\gamma$ буде меншою, що пояснюється збільшенням сил тертя.

Важливо відмітити, що величина та форма радіусу округлення РК має відповідати типу різання, режимам різання та властивостям інструментального та оброблюваного матеріалів.

Слід відзначити, що при округлені різальної кромки, вздовж неї мікрогеометрія в кожній її точці буде різною.

Для вирішення даної гіпотези виникає задача геометричного моделювання форми різальної кромки для певних оброблюваного та інструментального матеріалів.

Аналіз показує, що К-фактор характеризується значенням більшим чи меншим одиниці. Проте при аналізі досліджень рекомендовані значення щодо

вибору К-фактору при різній геометрії для того чи іншого інструменту в літературних джерелах не виявлено.

Для досягнення високої ефективності роботи твердосплавного інструменту необхідно дотримання заданої форми різального леза, його макро- і мікрогеометрії, забезпечити на стадії виготовлення і заточення необхідний радіус заокруглення, відсутність на ньому мікроконцентраторів. Для вирішення зазначених проблем в сучасному виробництві використовують різноманітні способи, які в більшості не дозволяють комплексно вирішувати зазначені проблеми, або є досить коштовними. [33]

2.2. Методи підвищення працездатності різального інструменту

Необхідність збільшення надійності і стійкості різального інструменту викликає потребу використання матеріалів і сплавів з кращими фізико-механічними властивостями. В інструментальному виробництві використовуються різні методи поліпшення якості поверхневого шару різального і формуючого інструмента, технологічної оснастки. Перша група передбачає зміцнення матеріалу, з якого виготовлений інструмент, причому зміцненню можуть піддаватися, як обмеженні приповерхневі зони, так і весь об'єм інструмента. Друга група методів характеризується тим, що на робочі поверхні тим або іншим чином наносять шар з матеріалу, що має більш високу зносостійкість, ніж основний матеріал.

Відомо, що практично всі процеси, які призводять до відмови інструмента – (зношування, ріст втомних тріщин) починаються з поверхні і визначаються властивостями відносно тонкого поверхневого шару. Одним з шляхів вирішення цієї задачі є використання тонких зносостійких покриттів, коли їх захисні властивості уже ефективно проявляються, а погіршення міцностних характеристик пов'язаних зі збільшенням їх товщини ще не відбуваються. Ефект від тонкоплівкового зміцнення можна значно збільшити шляхом використання багатофункціональних покриттів з різними властивостями.

При цьому з'являється можливість альтернативного вибору тієї чи іншої

технології в умовах конкретного виробництва з урахуванням специфіки матеріалу інструмента, особливостей його обробки, можливості створення комбінованих методів і гібридних технологій, коли поєднання різних механізмів окремих процесів приводить до принципово нових технологічних ефектів.

У промисловості все ширше застосовуються матеріали з покриттям, які є типовими композитами, що мають високу зносостійкість в поєднанні з досить задовільною міцністю при вигині, ударною в'язкістю, тріщиностійкістю. Використання покриттів дає можливість більш раціонально використовувати фізико-механічні властивості інструментальних матеріалів і підвищити працездатність і надійність різального інструменту.

Загальні експлуатаційні вимоги до покриттів: покриття повинно мати високу твердість, достатню дифузійну стійкість та стійкість до окислювального зношування, зберігати свої фізико-механічні властивості при високих температурах; не мати дефектів.

У зв'язку з технологічним призначенням покриття для різального інструменту повинні мати: твердість, яка в 1,5-2 рази перевищує твердість матеріалу основи; низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом; мінімальну здатність до дифузійного розчинення в оброблюваному матеріалі та мінімальну відмінність кристалічних структур покриття і матеріалу основи.

Прогрес технології в галузі інженерії поверхні дає можливість використовувати різні метали, сплави і псевдосплави шляхом нанесення їх на робочі поверхні інструменту з різних матеріалів та сплавів для підвищення ефективності їх експлуатації. Одним із напрямків інженерії поверхні є формування поверхневих шарів – найбільш активних областей конструкційних інструментальних матеріалів, що приймають участь в обміні енергією і речовиною з зовнішнім середовищем. Це призводить до їхньої більш ранньої пошкоджуваності порівняно з глибинними шарами. В більшості випадків працездатність різального інструменту залежить не стільки від якості матеріалу основи, скільки від властивостей поверхневих шарів. Використання покриттів сприяє зміцненню поверхневого шару, збільшенню терміну експлуатації

різального інструмента, заміні дорогих інструментальних матеріалів більш дешевими.

Вирішення проблеми підвищення якості інструменту та поліпшення їх експлуатаційних властивостей, може здійснюватись, як за рахунок застосування вже існуючих методів зміцнення, так і за рахунок їхнього удосконалення й створення нових. У зв'язку з цим виникає необхідність систематизації й класифікації наявних методів нанесення покриттів.

Вибір конкретного методу формування поверхневого шару являє собою складну техніко-економічну задачу. Проведений аналіз способів формування зміцнюючих покриттів показав, що існує понад 130 методів нанесення функціональних покриттів, які можна класифікувати на шість основних груп згідно методам їх утворення (рис. 2.2).

Серед методів фізичного зміцнення деталей і інструментів широко розвиваються вакуумні, лазерні технології та електроіскрове легування. Термовакuumний метод напилювання, заснований на нагріванні у вакуумі речовини до температури випаровування, перенесенні часток і конденсації пару на деталі, відбувається при перевищенні тиску пару над тиском у робочій камері. До зміцнення іонним осадженням відносять процеси, в яких поверхня бомбардується іонами, що мають енергію, достатню для створення змін у структурі поверхневого шару. Речовина, яка наноситься, випаровується чи розпорошується, а джерелом іонів є плазма тліючого розряду. Позитивні іони складових покриття прискорюються полем і бомбардують основу, яка знаходиться під високим від'ємним потенціалом. При бомбардуванні прискореними іонами відбуваються такі фізичні процеси, як розпилення матеріалу основи, утворення недосконалостей кристалічних ґраток, прискорення дифузії, локальне нагрівання. Усе це викликає зміну в структурі і властивостях покриттів у порівнянні з нанесенням без іонного бомбардування. При цьому є можливість ефективного очищення поверхні різального інструменту шляхом розпилення при бомбардуванні іонами інертного газу.

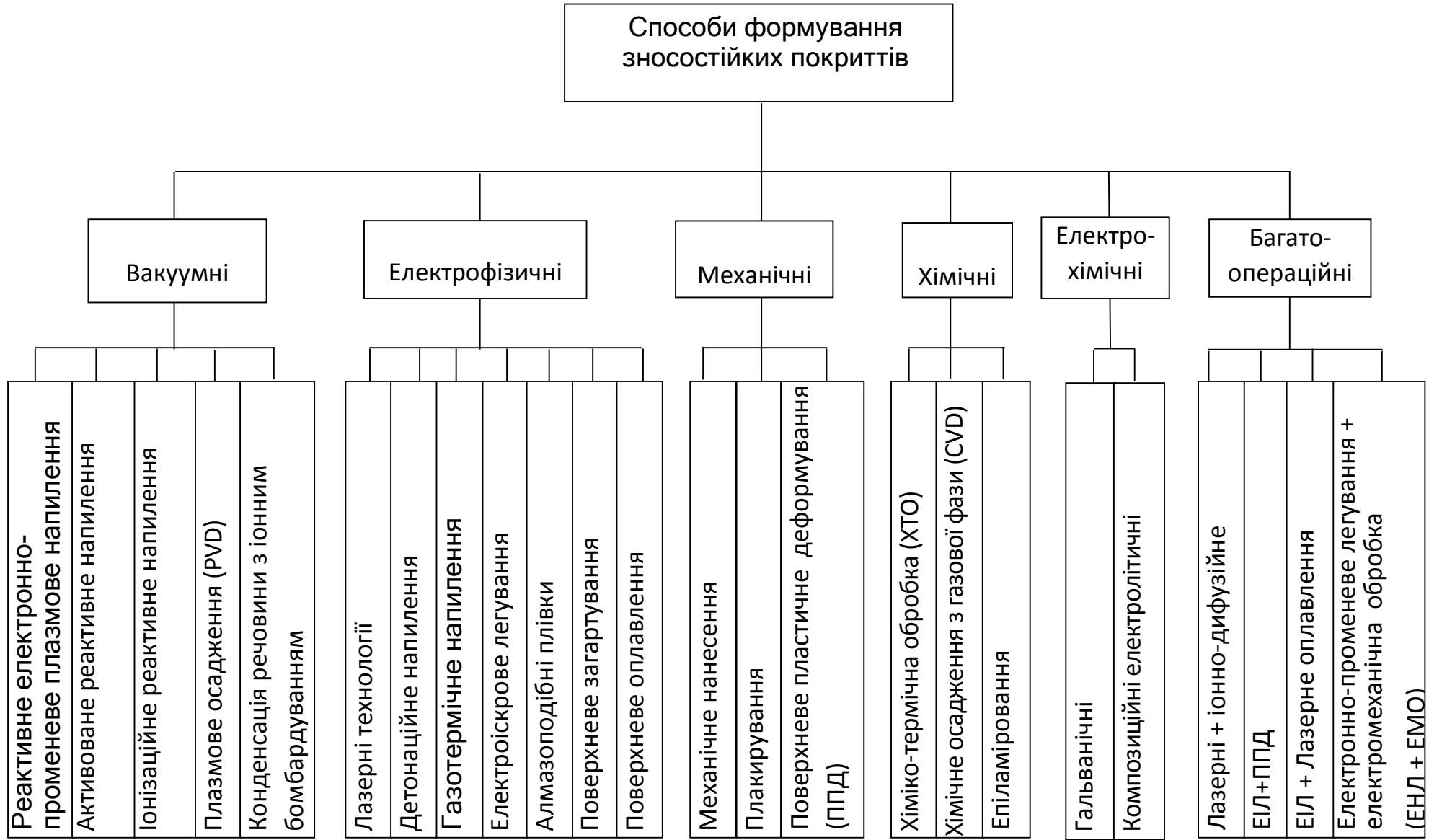


Рисунок.2.2. Класифікація способів нанесення зміцнюючих покриттів

Відомо, що для підвищення зносостійкості деталей на поверхнях різної форми створюють регулярні ділянки з компактним розміщенням більш твердих матеріалів та регулярним рельєфом, геометричні параметри яких можуть змінюватись в широких межах. Для деталей, які працюють у важких умовах, пропонується застосовувати захисні покриття дискретного типу і створювати на їх основі композиційні структури з мінімальним зносом.

Ідея принципу формування покриттів дискретного типу полягає в тому, що суцільний шар покриття змінюють переривчастим (фрагментованим) шаром. Вони дозволяють зберегти екрануючу функцію суцільних покриттів і одночасно з цим уникнути таких недоліків покриттів суцільного типу, як когезійне розтріскування та адгезійне відшарування. Застосування покриттів дискретної структури показали їх високу ефективність на різальному інструменті. Так, при обробці високоміцних сталей металорізальний інструмент з дискретними нітридтитановими покриттями показав значне підвищення зносостійкості порівняно з суцільними покриттями.

Поряд з позитивними ефектами зносостійкості покриття суцільної структури часто не використовують своїх можливостей через когезійне розтріскування або адгезійне відшарування. Крім того, дискретна структура поверхневого шару забезпечує можливість проникнення мастильного середовища в зону тертя, сприяє утворенню вторинних структур, та охолодженню контактної поверхні. Утворений мікрорельєф призводить до локалізації абразивних часток та продуктів зношування, що змінює характер зношування. Характеристики таких покриттів, залежать від технологічних параметрів процесу їх формування і повинні враховувати умови експлуатації – характер навантаження, допустиму величину зносу, тощо.

2.3. Акустична емісія при механічній обробці матеріалів

Використанню методу акустичної емісії (АЕ), з урахуванням специфіки будови і руйнування КСС та умов експлуатації, приділяється значна увага. Результати проведених досліджень показують, що характер і параметри акустичного

випромінювання, яке виникає при механічній обробці КСС, змінюються під впливом багатьох факторів. Це приводить до виникнення протиріч у отриманих результатах і значних проблем при визначенні інформативності параметрів АЕ. Крім того, проблема ускладнюється і відсутністю адекватних моделей, які описують акустичне випромінювання при механічній обробці КСС з урахуванням дії різних чинників та кінетики процесів руйнування КСС. Рішення проблеми потребує визначення закономірностей зміни параметрів акустичного випромінювання з урахуванням дії різних чинників, що впливають, розробку АЕ критеріїв та методів, необхідних для створення спеціалізованих методик та засобів АЕ контролю, діагностики, моніторингу та управління технологічними процесами механічної обробки матеріалів при виготовленні виробів з КСС.

Розроблено моделі акустичного випромінювання з їх математичним описом при механічній обробці КСС при переважному термоактиваційному і переважному механічному руйнуванні поверхневого прошарку оброблюваного матеріалу, а також з урахуванням зносу оброблюваного матеріалу. В основі розроблених моделей покладено існуючі уявлення о послідовності протікання процесів руйнування поверхневого прошарку при механічній обробці матеріалів і зносі оброблюваного матеріалу, які є джерелами випромінювання імпульсних сигналів АЕ, з урахуванням переважного механізму руйнування, кінетики його протікання та випадкової складової його розвитку в часі. Встановлено, що зростання швидкості механічної обробки КСС та глибини різання (площі руйнування) та нерівномірності властивостей КСС, для переважного термоактиваційного і механічного руйнування його поверхневого прошарку приводить до зростання амплітудних параметрів результуючих сигналів АЕ. Однак найбільше зростання спостерігається в дисперсії середнього рівня амплітуди результуючих сигналів АЕ. При цьому найбільше зменшення спостерігається в дисперсії середнього рівня амплітуди результуючих сигналів АЕ. Визначено, що при зносі різального інструменту із КСС для керованої глибини різання амплітудні параметри АЕ зростають, а для не керованої глибини різання – знижуються. Найбільше зростання спостерігається у середньому рівні

амплітуди, а найбільше падіння - у дисперсії середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ. [34]

2.4. Методологічні аспекти дослідження акустичної емісії при механічній обробці матеріалів

При виконанні механічної обробки матеріалів з КСС проводяться широкі дослідження акустичного випромінювання. Такі дослідження стосуються всіх видів мікро- та макро-механічної обробки матеріалів – точіння та фрезерування. Дослідження базуються на існуючих уявленнях про можливі джерела акустичного випромінювання або акустичної емісії (АЕ). Такими джерелами АЕ можуть бути (рис. 2.3):

- процеси тертя оброблюваного матеріалу по передній грані обробного інструменту;
- процеси тертя обробного інструменту по оброблюваній поверхні або тертя по задній грані обробного інструменту;
- залишкові напруження, які виникають в оброблюваному матеріалі і обробному інструменті при знятті поверхні оброблюваного матеріалу;
- пластична деформація оброблюваного матеріалу;
- руйнування сформованої стружки;
- падіння стружки на оброблюваний матеріал при її руйнування або зіткнення зруйнованої стружки з оброблюваним матеріалом;
- температурі фазові перетворення, які відбуваються за рахунок зростання температури в зоні зняття поверхневого прошарку матеріалу;
- руйнування оброблюваного інструменту та інші.

При подібності процесів механічної обробки (точіння, фрезерування) КСС вважається і подібність джерел АЕ. Провести виділення окремих джерел випромінювання, безумовно, не представляється за можливе. Однак, з точки зору енергетики процесів, що відбуваються в зоні різання матеріалу безумовно, що витрати на деформування і руйнування поверхневого прошарку матеріалу перевищують інші витрати.

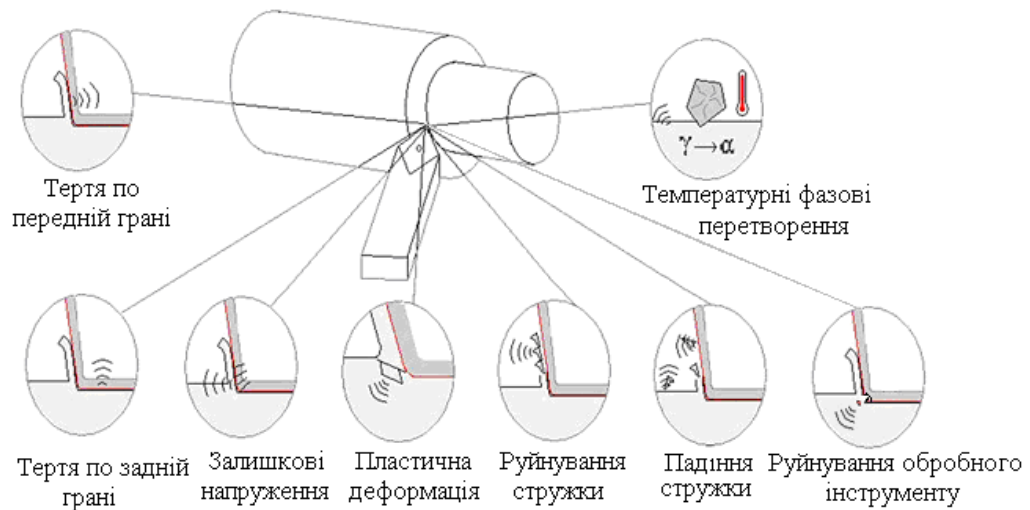
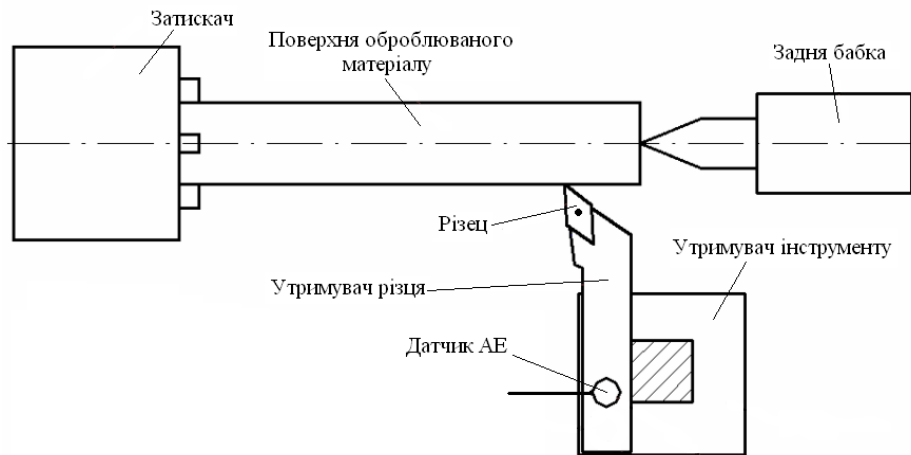


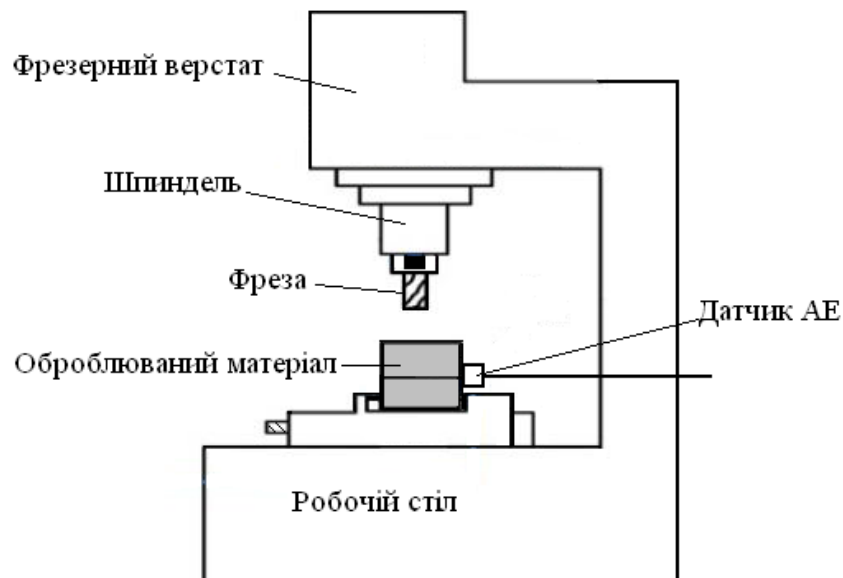
Рисунок 2.3 – Джерела акустичного випромінювання при механічній обробці КСС

При проведенні експериментальних досліджень процесів механічної обробки КСС з реєстрацією та обробкою сигналів АЕ первинний перетворювач розміщують в зоні, яка розташована поблизу від зони, де відбувається зняття оброблюваного матеріалу. При виконанні операції точіння датчик АЕ розміщують на утримувачі різця (рис. 2.4, а). При виконанні операції фрезерування датчик АЕ розташовується на оброблюваному матеріалі але поблизу від місця зняття поверхні матеріалу (рис. 2.4, б). Вихідний кабель датчика АЕ підключається до акусто-емісійної апаратури, яка дозволяє проводити різноманітну обробку та аналіз реєстрованого сигналу АЕ. Дослідження АЕ при механічній обробці КСС проводять у лабораторних або промислових умовах з використання верстатів або оброблювальних центрів. Верстати та оброблювальні центри оснащуються додатковим обладнанням для отримання додаткової інформації, яка необхідна при визначенні зв'язку параметрів АЕ з параметрами технологічних процесів механічної обробки матеріалів.

Результати експериментальних досліджень акустичного випромінювання показують, що при виконанні операцій точіння та фрезерування КСС зареєстровані сигнали АЕ, в основному, є неперервними сигналами з сильно порізаною формою.



a



б

Рисунок 2.4 – Розташування датчика АЕ при виконанні операцій механічної обробки матеріалів: *a* – точіння; *б* - фрезерування

Виходячи з неперервності реєстрованих сигналів АЕ відбувається обробка їх параметрів. До таких параметрів відносять: середньквдратичне або середнє значення амплітуди, площа під обвідною сигналу або її накопичене значення, рахунок енергії, рахунок сигналів при введенні порогу обмеження, накопичена енергія, потужність, а так же спектри загальних реєстрованих сигналів АЕ на часових інтервалах, спектри сигналів після їх фільтрації з використанням низькочастотних або високочастотних фільтрів та інші параметри.

Крім параметрів сигналів АЕ проводяться дослідження і закономірностей зміни їх форми на всіх стадіях механічної обробки КСС. Такі дослідження показують, що неперервні сигнали АЕ мають складний характер зміни форми на протязі часу виконання операцій механічної обробки. Дослідження форми сигналів АЕ при проведенні експериментів також показують, що крім неперервних сигналів АЕ фіксуються і імпульсні сигнали. Імпульсні сигнали АЕ спостерігаються у вигляді викидів амплітуди на фоні неперервного сигналу. Такі сигнали, як правило, пов'язують з руйнуванням стружки, її зіткнення з оброблюваним матеріалом та руйнуванням різального інструменту.

2.5. Загальна концепція застосування методу АЕ при діагностиці механічної обробки матеріалів.

При проведенні досліджень, як відмічено вище, досить важко провести виділення сигналів АЕ від окремих джерел акустичного випромінювання. Тому при обробці і аналізу сигналів АЕ застосовують наступний концептуальний підхід або застосування АЕ при контролі, діагностики і моніторингу технологічних процесів механічної обробки КСС.

По перше, виходячи з різної енергетики процесів, що можуть бути джерелами акустичного випромінювання та існування двох типів сигналів АЕ вважається, що неперервні сигнали безпосередньо пов'язані з роботою різального інструменту при знятті поверхні оброблюваного матеріалу. При цьому вважається, що неперервне акустичне випромінювання виникає при роботі інструменту у двох станах. Перший стан - нормальний стан різального інструменту. У даному стані інструмент є гострим і не має зносу, викрашування тощо. Другий стан – інструмент може бути притупленим, має знос, викрашування тощо. Другий стан, у більшості випадків, пов'язують із зносом різального інструменту. Такі два стани інструменту змінюють умови зняття поверхневого прошарку оброблюваного матеріалу і повинні приводити до змін як у вигляді формованого акустичного випромінювання, так і його параметрах.

По друге, вважається, що основними джерелами формування імпульсних сигналів АЕ, у вигляді викидів амплітуди на фоні неперервного сигналу, є руйнування стружки та руйнування різального інструменту. При цьому також вважається, що з енергетичної точки зору дані джерела випромінювання різняться між собою, тобто більш потужним випромінюванням є випромінювання при руйнуванні різального при якому відбувається зменшення або зникнення випромінювання від зняття поверхні оброблюваного матеріалу. Крім того достатньо потужне імпульсне акустичне випромінювання може формуватися і при руйнуванні оброблюваного матеріалу. Наприклад, при виникненні тріщин, розшарування, викрашування у оброблюваному матеріалі, тощо при виконанні всіх видів їх механічної обробки.

Розглянута концепція є основою проведення експериментальних досліджень акустичного випромінювання при механічній обробці КСС, пошуку закономірностей зміни його параметрів і розробки методів та засобів контролю, діагностики та моніторингу технологічних процесів.

Висновок:

3

3.1. Оцінка триботехнічних характеристик інструментальних матеріалів з покриттями

Методика дослідження триботехнічних властивостей сталевих зразків включає в себе вивчення впливу технологічних параметрів електроіскрової обробки на характеристики триботехнічних властивостей металополімерної пари тертя: швидкість зношування зразка з КСС.

Випробування КСС проводили в умовах тертя ковзання без мастильного матеріалу і абразивного зношування.

Триботехнічні характеристики у цьому випадку визначалися на машині тертя, схема вузла тертя якої зображена на рис. 3.1.

Вузол тертя машини складається з корпусу 6, усередині якого на підшипниках встановлено основний вал. Співвісно з валом на підшипниках, встановлених на корпусі, змонтовано каретку, що гойдається 5. На торці каретки закріплено важільну систему навантаження 2. Досліджуваний зразок 3 із тримачем зразка встановлено на рухомому важелі системи навантаження.

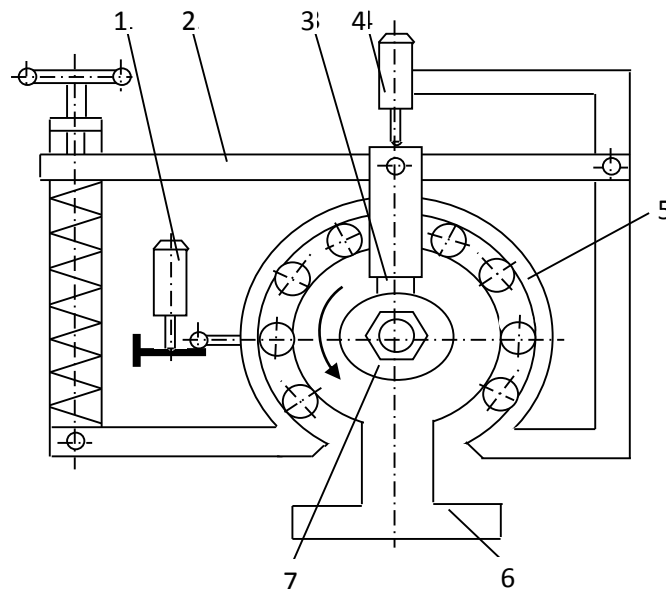


Рисунок 3.1 – Схема вузла тертя установки: 1 – датчик сили тертя із динамометричною пружиною; 2 – важільна система навантаження; 3 – зразок,

що досліджується; 4 – датчик лінійного зношування; 5 – каретка, що гойдається; 6 – корпус; 7 – ролик – контртіло

Контртіло 7 у вигляді змінного ролика встановлено на основному валу, привід якого здійснюється через клиноремінну передачу зі змінними шківками. Пружина притискає зразок до зовнішньої циліндричної поверхні контртіла, при обертанні якого сила тертя, що утворюється від цього, прагне повернути зразок та пов'язану з ним каретку навколо вісі. Повертання каретки перешкоджає динамометрична пружина, протарована по величині сили тертя F_{TP} . Співпадання вісі валу з віссю гойдання каретки забезпечує збереження контакту зразка та контртіла при повертанні каретки.

Дослідження проводилися у таких умовах: мастильне середовище відсутнє; зусилля притискання – 100...200 Н; швидкість ковзання – 0,1- 0,4 м/с; шлях тертя – 1000 м.

Робоча поверхня контртіла після шліфування мала шорсткість $R_a = 0,25...0,35$ мкм.

Контакт пари тертя відбувався за схемою “диск-колодка”. Для цього робочі поверхні зразків виконувалися у формі угнутого циліндра діаметром 40 мм.

У процесі досліджень за допомогою електронної вимірної системи моделі 217 з індуктивними датчиками переміщень моделей 234–М безперервно вимірювалася та реєструвалася сила тертя F_{TP} . Коефіцієнт тертя розраховувався як частка від ділення сили тертя F_{TP} на зусилля притискання P .

Для проведення випробувань на машині СМЦ-2 виготовляються спеціальні зразки - ролики (Рис.3.2.).

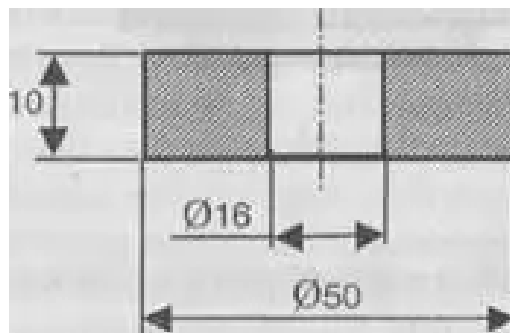


Рисунок 3.2. – Зразки – ролики для випробувань на машині тертя

Триботехнічні характеристики покриттів визначали по критеріях оцінки механізму руйнування поверхні тертя:

1) $I_c; I_d$ – показники зносу зразка (глибина доріжки тертя h) на ділянках відповідно квазістаціонарного і динамічного режимів навантаження;

2) показнику відносної інтенсивності динамічного зношування

$$K_I = \frac{(I_d - I_c)}{I_c};$$

3) коефіцієнту варіації показника зносу ($V_I^c; V_I^d$) на ділянках відповідно квазістаціонарного і динамічного навантаження $V_I = \frac{\sigma_u}{\bar{I}}$, де σ_u – дисперсія показника зношування; \bar{I} – середнє значення показника зношування;

4) показнику пластифікації ($K_{nl}^c; K_{nl}^d$), який визначається по відношенню сумарної площі видавленого матеріалу (S^g) і площі доріжки тертя (S) на ділянках квазістаціонарного і динамічного навантаження, відповідно:

$$K_{nl}^c = \frac{(S_c^g)}{S_c} \text{ та } K_{nl}^d = \frac{(S_d^g)}{S_c};$$

5) показнику диспергування ($K_{on}^c; K_{on}^d$) який корелює з ваговим зносом:

$$K_{on}^c = \frac{S_c - S_c^g}{S_c} \text{ та } K_{on}^d = \frac{S_c - S_d^g}{S_c}.$$

3.2. Оцінка абразивної стійкості інструментальних матеріалів з покриттям.

Випробування на стійкість до абразивного зносу проводять на експериментальній установці Бринеля - Хаворта. Процес тертя моделювався у присутності вільного нежорсткозакріпленого абразиву. Зразки зношуються вільним абразивом, який подається гумовим роликком на поверхню тертя. В якості абразиву використовувався кварцовий пісок (SiO_2) зернистістю 250 мкм та 500 мкм. Знос заміряють ваговим методом на електронних вагах AXIS з точністю до 0,0001 г. До і після випробувань зразки необхідно промити в етиловому спирті,

просушити і зважити. Металографічні дослідження проводяться на мікроскопі МБС 9.

Експерименти проводили на машині тертя відповідно до ГОСТ 23.208-79 (рис.3.3.), яка використовується для порівняльної оцінки зносостійкості матеріалів і покриттів при терті в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок.

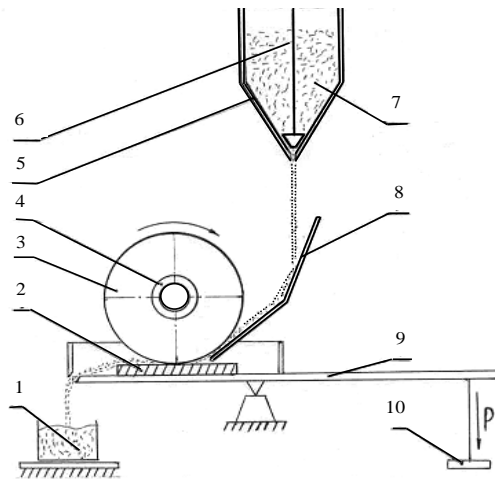


Рисунок 3.3. – Схема експериментального обладнання Бринеля - Хаворта.

1 – бункер для збирання відпрацьованого абразиву; 2 – зразок матеріалу, що досліджується; 3 – циліндр, що обертається; 4 – втулка для циліндру; 5 – бункер для вільного абразиву; 6 – важіль для регулювання швидкості подачі абразиву; 7 – вільний абразив; 8 – лоток для подачі абразиву; 9 – важіль для регулювання зусиль притискування циліндру до тертьової поверхні з абразивом; 10 – навантаження важеля силою P .

Сутність методу заключається у наступному. Різальна пластина прижималась гумовим роликком з діаметром 50мм. Коли ролик крутиться, то в зону контакту подаються тверді абразивні частини із бункера.

Зусилля прижиму регулювалось за допомогою рычага і навантаження 44,1 Н. В якості абразиву використовували кварцевий пісок (SiO_2) зернитістю 250 мкм та 500 мкм та карбід бору B_4C . Знос замірювали ваговим методом на електронних вагах з точністю до 0,0001 г. Перед випробуванням зразки промивали у спирті, висушували і зважували.

Експеримент проводили при швидкості ковзання 1 м/с, навантаженні 20 кг (при плечі 272 мм) і шляху тертя 200 м.

3.3. Устаткування для дослідження складових сили різання.

При обробці КСС різанням сила різання є результатом глибокої пластичної та пружної деформації матеріалу, що перетворюється в стружку, а також тертя між інструментом і деталлю, що обробляється. В процесі експериментів при обробці матеріалів інструментом з покриттями досліджували сили і температури при різанні. Для досліджень використовували автоматизований комплекс апаратних і програмних засобів для вимірювання і аналізу зусиль різання, що виникають при обробці.

Для визначення зусиль та напружень при різанні використовували універсальні комплекси УДМ-600 Автоматизований комплекс складається з трьох окремих частин: датчика вимірювального; персонального комп'ютера; електронного блока узгодження, що дозволяє зберігати і виводити інформацію в числовому і графічному вигляді. В процесі вимірювання миттєві числові значення з вимірювальних датчиків, які перетворювали величини сил різання в пропорційні їм електричні сигнали в режимі реального часу поступали в персональний комп'ютер, який їх зберігав, виконував числову обробку результатів вимірювань вираховував математичні моделі і виводив результати в графічному або числовому вигляді на екран або на тверду копію. Електронний блок, який забезпечував узгодження персонального комп'ютера з вимірювальним датчиком, складається з двох окремих блоків: зовнішнього блока підсилювачів та плати АЦП. Сигнал з вимірювального датчика поступав в блок підсилювачів блоку узгодження, а далі на вхід відповідного каналу АЦП, після чого, в цифровій формі, поступав на вхід ПЕОМ, де за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення виконується декодування сигналу з наступним відображенням на екрані монітора. Результати вимірювань друкувались у вигляді графіків залежності $P(t)$.

3.4. Дослідження фізико-механічних та трибологічних характеристик інструментальних матеріалів зі зміцнюючими покриттями

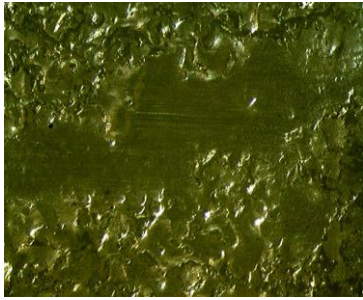
Одним з основних шляхів підвищення зносостійкості деталей трибосистем з наявністю абразиву є використання технологічних методів поверхневого зміцнення робочих органів машин і механізмів. Покриття наносили методом електроіскрового легування (EIL) на установці “Alier-52” на твердосплавні пластини з використанням 2-х режимів: 1. Час імпульсу $t_{imn} = 20$ мкс, енергія імпульсу $E_{imn} = 0,045$ Дж; 2. $t_{imn} = 170$ мкс, $E_{imn} = 0,61$ Дж. Час нанесення покриттів становив $1 - 2$ хв/см², а товщина отриманих покриттів становила $5 - 10$ мкм.

В якості електродів використовували твердий сплав ВК8, диборид титану-хрому ((Ti,Cr)B₂), сплав TiN, а також композиційні матеріали на основі системи ((Ti,Cr)B₂)–NiAlCr з співвідношенням тугоплавкої і металевої складових 50:50. Електродні матеріали системи (Ti,Cr)B₂– NiAlCr були розроблені в Інституті проблем матеріалознавства НАН України та отримані методом спіканням у вакуумі. Дані матеріали та покриття на їх основі показали високий рівень зносостійкості в широкому діапазоні режимів та умов тертя, тому були запропоновані для роботи в умовах абразивного зношування.

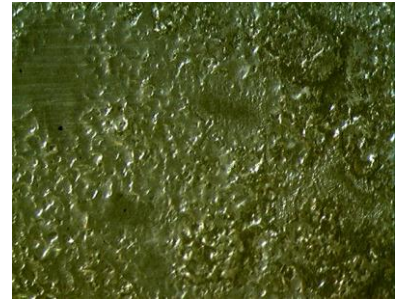
Випробування покриттів на зносостійкість проводили на експериментальній установці відповідно до ГОСТ 23.208-79. Процес тертя моделювався у присутності вільного нежорсткозакріпленого абразиву. Зразки зношувалися вільним абразивом, який подавався гумовим роликком на поверхню тертя. В якості абразиву використовувався кварцовий пісок (SiO₂) зернистістю 250 мкм та 500 мкм. Знос заміряли ваговим методом на електронних вагах AXIS з точністю до 0,0001 г. До і після випробувань зразки промивали в етиловому спирті, просушували і зважували. Експеримент проводили при швидкості ковзання 1 м/с, навантаженні 20 кг (при плечі 272 мм) і шляху тертя 200 м. Металографічні дослідження проводили на мікроскопі МБС 9.

Металографічні дослідження показали, що при випробуванні зразків з покриттям TiCrB₂ + 50 % AlN, нанесеного по другому режиму, зношування

протікає рівномірно по всій площі контактування, глибокі вириви та подряпини майже відсутні (рис.3.4) [Корбут Є.В.]



а



б

Рисунок 3.4. Поверхня тертя зразка з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{AlN}$, нанесеного по другому режиму при терті в середовищі кварцевого піску зернистістю 500 мкм (а) та зернистістю 250 мкм (б), х60

Аналіз отриманих результатів (рис 3.5.) показав, що:

- зі зростанням зернистості від 250 до 500 мкм абразивна стійкість зміцнених зразків зменшується;
- найкращу абразивну стійкість мають покриття з твердого сплаву ВК8, що можна пояснити його високими міцністними властивостями;
- наближеною до них за значеннями показників зносостійкістю володіють покриття $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{AlN}$, нанесені по 1-му та 2-му режимам.

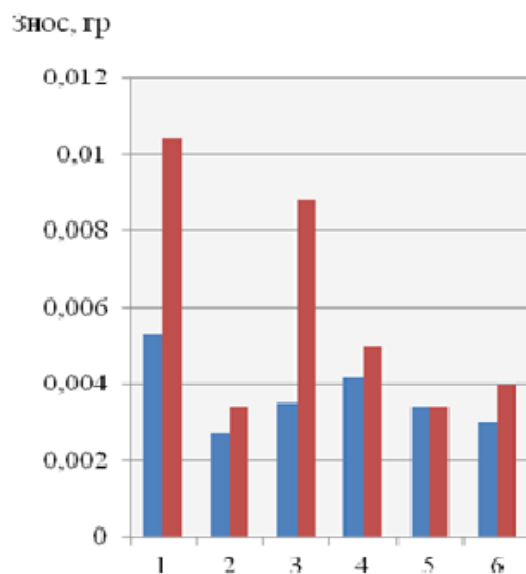


Рисунок 3.5. Результати випробування на абразивну стійкість в середовищі кварцевого піску зернистістю 250 мкм (ряд 1) та 500 мкм (ряд 2)

Зразки, які досліджували: 1- без покриття; 2 - покриття ВК8; 3 - покриття TiN, нанесене по першому режиму; 4 – покриття TiN, нанесене по другому режиму; 5 - покриття $TiCrB_2 + 50\% AlN$, нанесене по першому режиму; 6 - покриття $TiCrB_2 + 50\% AlN$, нанесене по другому режиму;

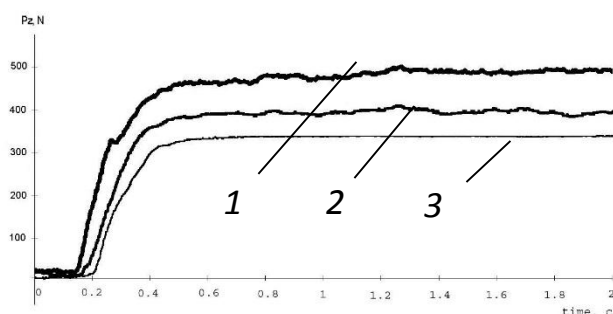
Отже, оскільки, в Україні намагаються відійти від покриття ВК8 через необхідність покупки його за кордоном, для подальших досліджень обираємо покриття $TiCrB_2 + 50\% AlN$.

3.5. Дослідження впливу виду покриття на складові сили різання при обробці твердосплавними пластинами

Для визначення впливу виду покриття та режимів обробки інструментом з покриттями на складові сил різання проводили експерименти при токарній обробці сталі 08X18H10T інструментом без покриття та з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$ суцільного і дискретного типу. Товщина покриття для всіх типів покриття складала 6 мкм, а щільність дискретного покриття вибирали в межах 57% при параметрах дискретної ділянки 120x120 мкм.

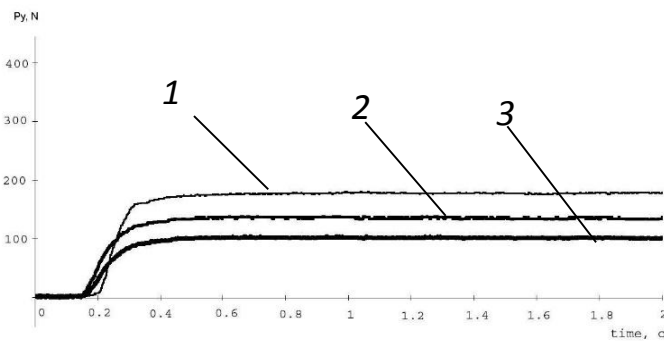
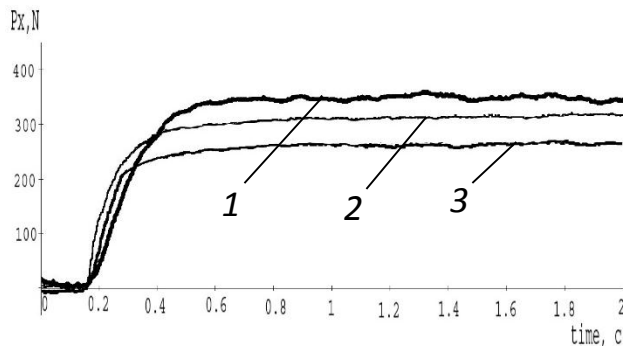
Як різці використовували твердосплавні пластини T15K6 з наступними геометричними параметрами: передній кут $\gamma - 6^\circ$, задній кут $\alpha - 8^\circ$ і головний кут в плані $\phi - 45^\circ$, а режими різання варіювали в межах: швидкість різання $V - 1,0...2,5$ м/с; $s - 0,3...0,6$ мм/об, глибина різання $t - 0,1...0,5$ мм.

На рис. 3.6 приведені осцилограми складових сили різання P_x , P_x , P_x при точінні сталі 08X18H10T твердосплавним різцем T15K6 з вакуум-плазмовими



a)

покриттями $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{ AlN}$ суцільного та дискретного типу з режимами різання: $V = 2 \text{ м/с}$, $s = 0,3 \text{ мм/об}$, $t = 0,25 \text{ мм}$.



б)
в)

Рисунок 3.6. Осцилограми складової сили різання P_z (а) P_x (б) P_y (в) при точінні сталі 08X18H10T твердосплавним різцем Т15К6:

1 – без покриття;

2 – $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{ AlN}$ –суцільне;

3 – $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{ AlN}$ –дискретного типу.

На рис. 3.7 наведено порівняльні діаграми величин складової сили різання P_y , при токарній обробці сталі 08X18H10T твердосплавним інструментом Т15К6 з округленою та неокругленою різальною кромкою з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{ AlN}$ дискретного типу та без покриття. Режими різання: $V = 2,0 \text{ м/с}$; $s = 0,3 \text{ мм/об}$; $t = 0,25 \text{ мм}$.

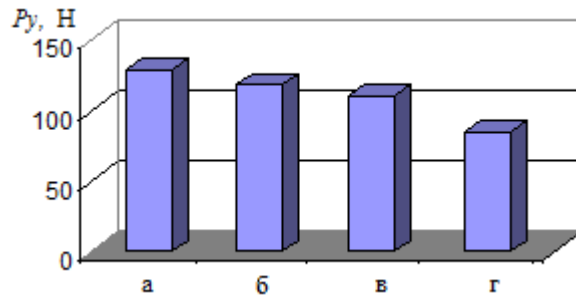


Рисунок 3.7. Порівняльні діаграми величин складових сил різання P_y при обробці сталі 08X18H10T інструментом Т15К6: а - без покриття, гостра РК; б – без покриття, округлена РК; в - з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$, гостра РК; г - з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$, округлена РК

Аналіз впливу щільності покриття ψ на складові сили різання P_z, P_y, P_x при точінні сталі 08X18H10T твердосплавним інструментом Т15К6 з покриттям - з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$ показав, що зі збільшенням величини щільності складові сили різання зменшуються до визначеної величини ($\approx 60\%$), а потім збільшуються. На рис. 3.8 наведено залежність сили різання P_z від щільності покриття ψ при точінні сталі 08X18H10T інструментом Т15К6 з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$ з режими різання: $V = 2$ м/с; $s = 0,3$ мм/об; $t = 0.25$ мм:

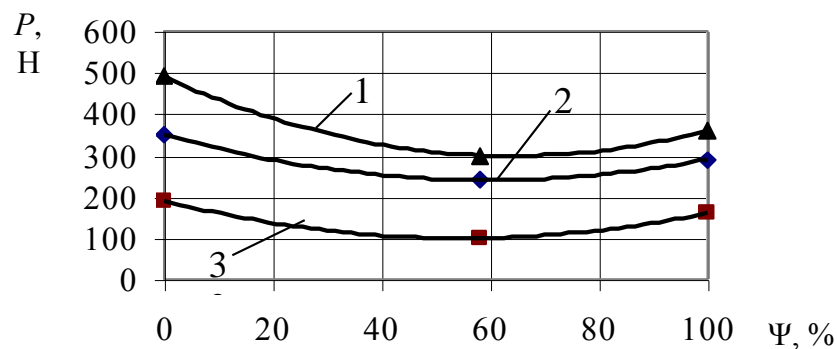


Рисунок 3.8. Залежність складових сили різання P від щільності покриття ψ при точінні сталі 08X18H10T інструментом Т15К6 з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$:

- 1 – складова сили різання P_z ;
- 2 – складова сили різання P_y ;
- 3 – складова сили різання P_x .

Аналіз отриманих результатів показав, що покриття дискретного типу призводять до зменшення енергетичних параметрів процесу різання за рахунок зниження складових сили різання.

3.6 Закономірності зміни акустичної емісії при механічній обробці матеріалів з кристалічною структурою

Дослідження АЕ при виконанні операцій механічної обробки КСС точінням, та фрезеруванням виконують у двох основних напрямках: оптимізація технологічних параметрів механічної обробки; контроль, діагностика та моніторинг технологічного процесу механічної обробки. У другому випадку, в основному, це контроль, діагностика та моніторинг стану різального інструменту.

Виходячи з даних напрямів проводиться широке коло досліджень параметрів АЕ при зміні технологічних параметрів механічної обробки КСС. У першому напрямку, проводяться визначення впливу швидкості обробки, швидкості продольної подачі, глибини різання, розміру стружки, що формується, матеріалу обробного інструменту тощо на параметри сигналів АЕ. У другому напрямку, проводяться додаткові дослідження, які пов'язані з визначенням стану (зносу) різального інструменту та його впливу на параметри реєстрованих сигналів АЕ. Розглянемо деякі результати досліджень окремо для операцій точіння та фрезерування.

Аналіз спектрів сигналів АЕ, проведений при точінні нержавіючої сталі показав, що при виконанні операції механічної обробки матеріалу в часі відбувається перерозподіл переважних частот в спектрі реєстрованого сигналу АЕ. При цьому існують дві полоси в спектрі сигналів. На початку виникнення зносу різального інструменту відбувається зростання частоти в спектрі амплітуд та енергій сигналів АЕ. Однак при зростанні зносу різального інструменту відбувається зменшення основної високої частоти в спектрі сигналу. У той же час при точінні КСС показано, що із зростанням швидкості механічної обробки матеріалу відбувається зростання основної частоти в спектрі реєстрованого сигналу АЕ. Також було встановлено, що при зростанні швидкості механічної обробки різних марок корозійно-стійких сталей відбувається зростання середнє квадратичного значення амплітуди та абсолютної

енергії сигналів АЕ (рис. 3.9). При цьому метод АЕ показує більшу чутливість до інтенсивності процесів пластичної деформації, ніж інші механічні параметри.

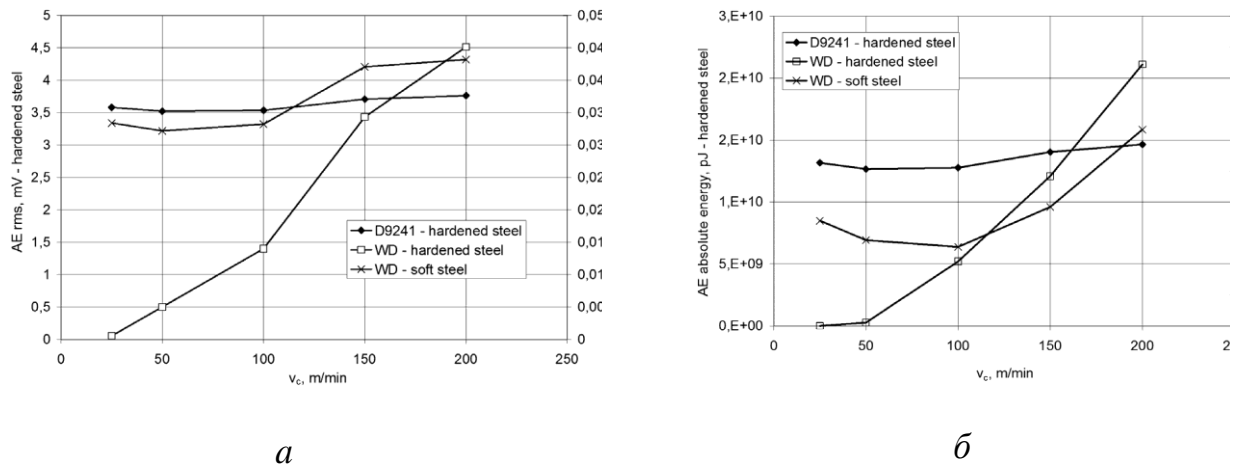


Рисунок 3.9 Залежності зміни параметрів сигналів АЕ від швидкості механічної обробки різних марок корозійно-стійкої сталі : *a* - середнє квадратичного значення амплітуди сигналів АЕ; *б* – значення абсолютної енергії сигналів АЕ

Складність спектрів сигналів АЕ відмічено і при точінні різних марок нержавіючої сталі. Показано, що в залежності від швидкості механічної обробки відбувається зміна положення піків у спектрі реєстрованих сигналів. Отримано залежності зміни середнє квадратичного значення амплітуди та енергії сигналів АЕ від об'єму оброблюваного матеріалу для різних швидкостей обробки і різних частотних діапазонах. Показано, що залежності мають складний характер зміни. Однак при зростанні швидкості механічної обробки амплітудні і енергетичні параметри на низьких частотах мають менші значення і їх зростання відбувається більш повільне при зростанні об'єму оброблюваного матеріалу. Така ситуація спостерігається і на більш високих частотах реєстрації сигналів АЕ. У той же час показано, що із зростанням швидкості механічної обробки матеріалів відбувається зменшення основної частоти в спектрі реєстрованих сигналів АЕ. Зменшення основної частоти в спектрі реєстрованих сигналів спостерігається і при зростанні глибини різання.

3.7. Модель акустичного випромінювання при механічній обробці композиційного матеріалу для переважного термоактиваційного руйнування поверхневого прошарку

Припустимо, що ми маємо зразок КСС із визначеними фізико-механічними характеристиками. Зразок КСС піддається механічній обробці точінням з використанням різального інструменту (рис. 3.10). Будемо вважати, що обробка КСС відбувається з постійними технологічними параметрами: з постійною глибиною різання (h); постійною швидкістю різання (V); постійною швидкістю повздовжньої подачі (r). З урахуванням існуючих представлень о послідовності протікання процесів руйнування поверхневого прошарку при механічній обробці матеріалів, припустимо, що на малих проміжках часу відбувається послідовне руйнування площадок поверхневого прошарку матеріалу. При постійній глибині і швидкості різання, а також величини повздовжньої подачі будемо вважати, що послідовно зруйновані площадки матеріалу S_T мають однакову площу (рис. 3.10). Іншими словами, при механічній обробці КМ в одиницю часу руйнуються однакові за площею площадки матеріалу. Також будемо вважати, що руйнування кожної площадки приводить до формування акустичного випромінювання у вигляді імпульсного сигналу АЕ. При цьому процесами тертя та зношування будемо нехтувати, тобто будемо вважати, що вони не впливають на акустичне випромінювання.

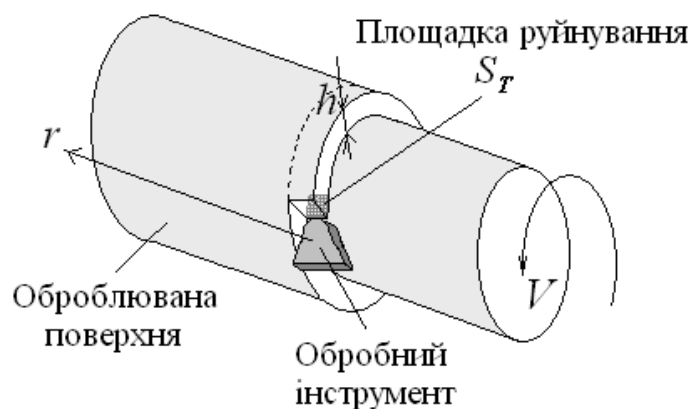


Рисунок 3.10 – Умови проведення механічної обробки КСС

З урахуванням прийнятих умов, результуючий сигнал АЕ можна представити у вигляді суми послідовно формованих імпульсних сигналів АЕ при руйнуванні поверхневого прошарку оброблюваного матеріалу

$$U_p(t) = \sum_j U_j(t - t_j), \quad (3.1)$$

де t_j - моменти часу появи імпульсних сигналів АЕ U_j , що виникають при руйнуванні j -их площадок КСС в процесі механічної обробки матеріалу.

Будемо вважати, що руйнування кожної площадки супроводжується імпульсним сигналом АЕ, який формується при переважному термоактиваційному механізмі процесу руйнування. Згідно результатів досліджень, такий імпульсний сигнал АЕ, що формується при переважному термоактиваційному механізмі процесу руйнування КСС описується виразом виду

$$U_T(t) = u_0 \alpha t e^{-\chi(t_0 - t)} e^{-\frac{1}{\tau_0 \chi} (\dot{a}^{-\chi(t_0 - t)} - \dot{a}^{\chi t_0})}, \quad (3.2)$$

де τ_0 – параметр, який за величиною співпадає з періодом теплових коливань атомів ґратки твердого тіла; α – швидкість зміни прикладеного навантаження (напруження); t – поточний час; $u_0 = \frac{N_0}{\tau_0} \beta \delta_s$ - максимальне можливе зміщення, що

виникає при миттєвому руйнуванні заданої площі КСС, яка складається з N_0 зруйнованих елементів; β – коефіцієнт пропорційності між напруженням руйнування і амплітудою одиночного імпульсу збурення при руйнуванні одного

елементарного елемента КСС; $\delta_s = \int_{t-\frac{\delta}{2}}^{t+\frac{\delta}{2}} a(\tau) d\tau$; δ - тривалість одиночного імпульсу збурення при руйнуванні одного елементарного елемента КСС; $a(\tau)$ - функція, яка

визначає форму одиночного імпульсу збурення; $\chi = \frac{\gamma \alpha}{kT}$; $t_0 = \frac{U_0}{\gamma \alpha}$; U_0 – початкова енергія активації (величина початкового енергетичного бар'єра) процесу руйнування КСС; k – постійна Больцмана; T – температура; γ – структурно чутливий коефіцієнт.

Розглянемо часові параметри формування сигналів імпульсних АЕ, тобто моменти часу t_j . При постійній глибині і швидкості різання, а також величині повздовжньої подачі моменти часу t_j появи кожного наступного сигналу АЕ, який

входить у вираз (3.1), можна записати у вигляді

$$t_j = j\Delta t_j, \quad (3.3)$$

де Δt_j - інтервал часу між початком формування наступного імпульсного сигналу АЕ, по відношенню до початку формування попереднього імпульсного сигналу АЕ при руйнуванні площадок матеріалу.

Якщо виконується умова (3.3), а також прийняті умови механічної обробки КСС, а також відсутня випадкова складова розвитку процесу руйнування у часі, то результуючий сигнал АЕ, згідно (3.1), з урахуванням (3.2) і (3.3), буде представляти собою сигнал, близький до синусоїдального сигналу. Це буде відповідати послідовній появі імпульсних сигналів АЕ при послідовному руйнуванні площадок поверхневого прошарку КСС. Такі умови є ідеальними.

В реальних умовах існують деякі фактори, які впливають на не стабільність процесу руйнування поверхні КСС. До таких факторів відносяться: дисперсність властивостей оброблюваного матеріалу; нестабільність швидкості обертання оброблюваного зразка; нестабільність швидкості повздовжньої подачі різця; нестабільність розмірів площадок S_T , що руйнуються у часі та інші фактори. Всі ці фактори, безумовно, будуть мати вплив на тривалість послідовних процесів руйнування площадок поверхневого прошарку матеріалу, і, як наслідок, будуть впливати на тривалість формованих імпульсних сигналів АЕ. Виходячи з даних умов, момент часу t_j появи кожного наступного сигналу АЕ при механічній обробці КСС можна представити у вигляді

$$t_j = j\Delta t_j \pm \delta, \quad (3.4)$$

де Δt_j - інтервал часу між початком формування наступного імпульсного сигналу АЕ, по відношенню до початку формування попереднього імпульсного сигналу АЕ при руйнуванні площадок КМ; $j = 0, \dots, n$; δ - випадкова складова в моменті часу появи кожного наступного імпульсного сигналу АЕ, яка виникає за рахунок нестабільності протікання процесу руйнування КСС.

Проведемо моделювання результуючого сигналу АЕ у вигляді залежності зміни його амплітуди в часі у відносних величинах. Моделювання залежності зміни

амплітуди результуючого сигналу АЕ проведемо за виразом (3.1), з урахуванням виразів (3.2) і (3.4).

При моделюванні зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі параметри, які входять до виразу (3.2), приведемо до безрозмірних величин, а час будемо нормувати на t_0 . Амплітуду сигналів АЕ будемо нормувати на значення u_0 . Величину γ/kT приведемо до одиничного нормованого значення. За таких умов $\chi = \alpha$. Значення параметру τ_0 прийемо рівним $\tilde{\tau}_0 = 10^{-7}$. Величину $\tilde{\chi}$ прийемо рівною $\tilde{\chi} = 20$. Інтервал часу $\Delta\tilde{t}_j$ між появою кожного наступного і попереднього сигналів АЕ будемо задавати виходячи з тривалості формованих імпульсних сигналів АЕ. Його значення прийемо рівним $\Delta\tilde{t}_j = 0,1$. Значення $\tilde{\delta}$ будемо змінювати у діапазоні величин від 0 до 0,16 довільним чином.

При проведенні розрахунків і побудові залежності зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ будемо враховувати наступне. Модель імпульсного сигналу АЕ, який формується при термоактиваційному руйнуванні заданої площі КСС, будувалась з урахуванням термоактиваційної теорії (формули Журкова). Дана теорія і, відповідно, формула передбачає визначення часу, який залишається до руйнування матеріалу. Тобто при розрахунках зміни амплітуди імпульсних сигналів АЕ, згідно (3.2), відбувається розрахунок зворотного часу або часу, який залишається до руйнування. Іншими словами, за шкалою часу відбувається зсув. Тому при розрахунках і побудові залежності зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ проводилася трансформація шкали часу для її приведення до часу початку руйнування площадок поверхневого прошарку КСС, тобто обертання шкалі часу.

Результати проведених розрахунків у вигляді залежності зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі у відносних одиницях при механічній обробці КСС для переважного термоактиваційного руйнування поверхневого прошарку наведено на рис. 3.11. На графіках рис. 3.3 час нормовано на час розвитку процесу руйнування поверхні КСС при його механічній обробці.

Результати проведених досліджень (рис. 3.11) показують, що для прийнятих умов моделювання акустичного випромінювання при механічній обробці КСС і

переважному термоактиваційному руйнуванні поверхневого прошарку результируючий сигнал АЕ представляє собою неперервний сигнал. При цьому сигнал, який характеризує залежність зміни амплітуди акустичного випромінювання в часі, має сильно порізану форму. Така форма сигналів АЕ спостерігається і у результатах експериментальних досліджень.

Параметри таких неперервних сигналів АЕ можна характеризувати статистичними параметрами, а саме середнім рівнем амплітуди на заданих інтервалах аналізу, а також його стандартним відхиленням і дисперсією. Результати статистичного аналізу амплітуд результируючого сигналу АЕ (рис. 3.11) на заданих інтервалах аналізу приведено у табл.3.1. В табл. 3.1 прийняті наступні позначення: \tilde{U} - середній рівень амплітуди результируючого сигналу АЕ; $s_{\tilde{U}}$ - стандартне відхилення середнього рівня амплітуди результируючого сигналу АЕ; $s_{\tilde{U}}^2$ - дисперсія середнього рівня амплітуди результируючого сигналу АЕ.

Результати статистичної обробки даних моделювання (табл. 3.1) у вигляді графіків зміни середнього рівня амплітуди результируючого сигналу АЕ, його стандартного відхилення і дисперсії на заданих інтервалах аналізу у відносних одиницях наведено на рис. 3.12.

Із отриманих результатів (табл. 3.1, рис. 3.12) видно, що при механічній обробці КСС, коли відбувається переважне термоактиваційне руйнування його поверхневого прошарку, у випадку стабільності протікання процесу руйнування, на різних інтервалах аналізу спостерігається стабільність значень статистичних амплітудних характеристик результируючого сигналу АЕ, а саме середнього рівня амплітуди, його стандартного відхилення та дисперсії.

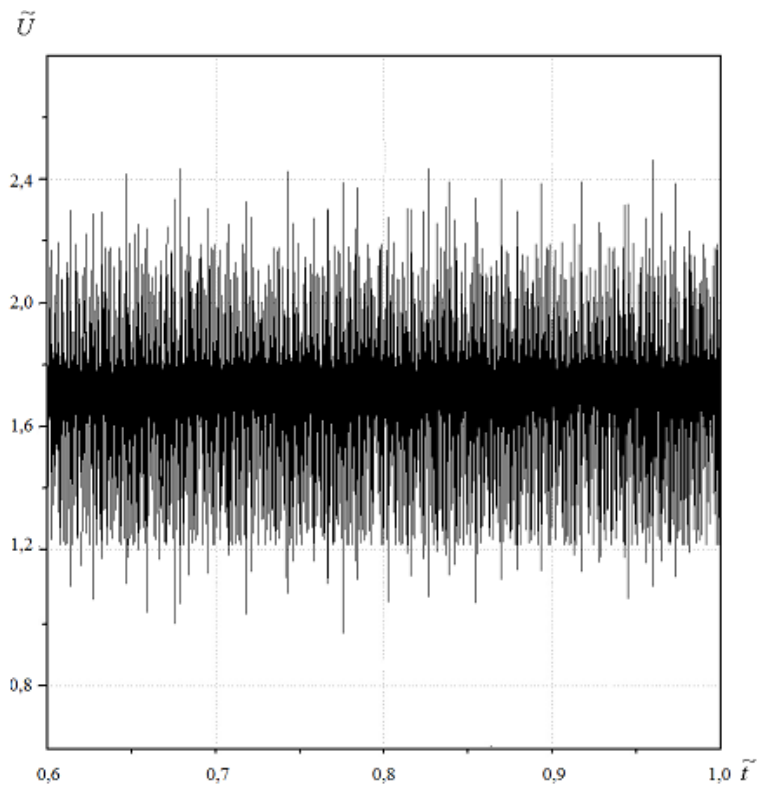


Рисунок 3.11 – Графік зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі у відносних одиницях при механічній обробці КСС різцем з твердосплавною гострозаточеною пластиною без покриття. Параметри моделювання: $\tilde{\chi} = 20$; $\Delta \tilde{t}_j = 0,1$; $\tilde{\tau}_0 = 10^{-7}$. Значення $\tilde{\delta}$ змінюється у діапазоні величин від 0 до 0,16

Таблиця 3.1 Амплітудні статистичні характеристики результуючого сигналу АЕ на заданих інтервалах аналізу

Інтервал аналізу (число точок)	T_0 0.....4000	T_1 0.....1000	T_2 1001....2000	T_3 2001....3000	T_4 3001....4000
\tilde{U}	1,70117 $\cdot 10^{-5}$	1,70704 $\cdot 10^{-5}$	1,70983 $\cdot 10^{-5}$	1,70155 $\cdot 10^{-5}$	1,68585 $\cdot 10^{-5}$
$s_{\tilde{U}}$	2,51114 $\cdot 10^{-6}$	2,50959 $\cdot 10^{-6}$	2,49308 $\cdot 10^{-6}$	2,52237 $\cdot 10^{-6}$	2,50301 $\cdot 10^{-6}$
$s_{\tilde{U}}^2$	6,30581 $\cdot 10^{-12}$	6,29804 $\cdot 10^{-12}$	6,21545 $\cdot 10^{-12}$	6,36233 $\cdot 10^{-12}$	6,26506 $\cdot 10^{-12}$

Дійсно, статистична обробка отриманих даних показує, що максимальне відхилення середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ на проміжних інтервалах аналізу (T_1, \dots, T_4), по відношенню до загального максимального інтервалу аналізу (T_0), не перевищує 0,9%. Для стандартного відхилення середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ таке відхилення не перевищує 0,7%. Для дисперсії середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ таке відхилення не перевищує 1,4%.

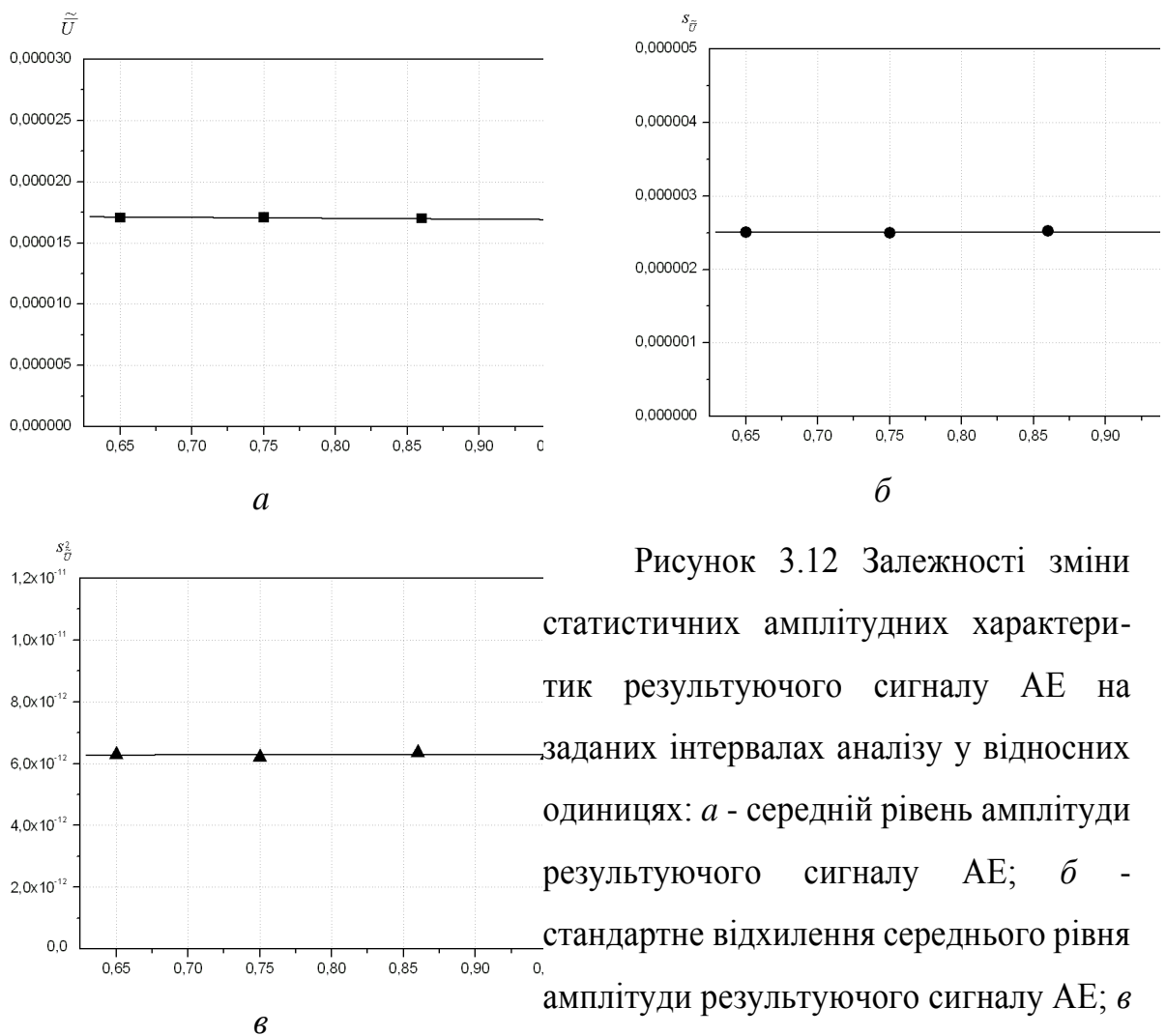


Рисунок 3.12 Залежності зміни статистичних амплітудних характеристик результуючого сигналу АЕ на заданих інтервалах аналізу у відносних одиницях: *a* - середній рівень амплітуди результуючого сигналу АЕ; *б* - стандартне відхилення середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ; *в* - дисперсія середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ. Інтервал аналізу 0,1 у відносних одиницях (1000 аналізованих точок)

Безумовно, що при зміні умов руйнування поверхневого прошарку КСС, перш за все, збільшення зносу різального інструменту, буде відбуватися зміна умов формування акустичного випромінювання. У свою чергу, це повинно приводити до зміни значень і статистичних характеристик результуючого сигналу АЕ, що може бути використано при контролі, діагностиці і моніторингу технологічних процесів механічної обробки КСС.

Для оцінки достовірності отриманих результатів було проведено дослідження акустичної емісії процесу фрезерування сталі 08Х18Н10Т твердосплавним інструментом Т15К6 сталі 08Х18Н10Т твердосплавним інструментом Т15К6 з гострою та округленою РК з покриттям $TiCrV_2 + 50\% AlN$ та без.

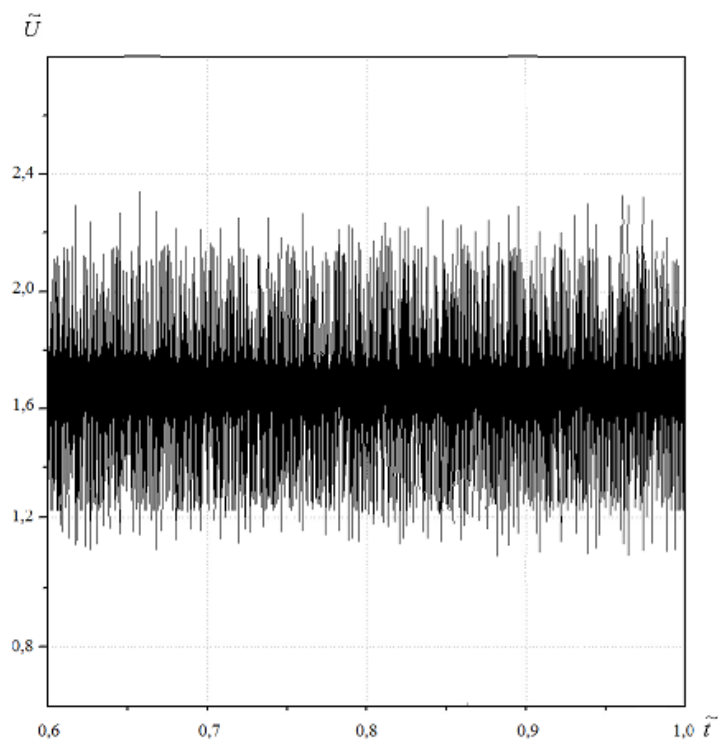


Рисунок 3.13. Графік зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі у відносних одиницях при механічній обробці КСС різцем з твердосплавною закругленою пластиною без покриття.

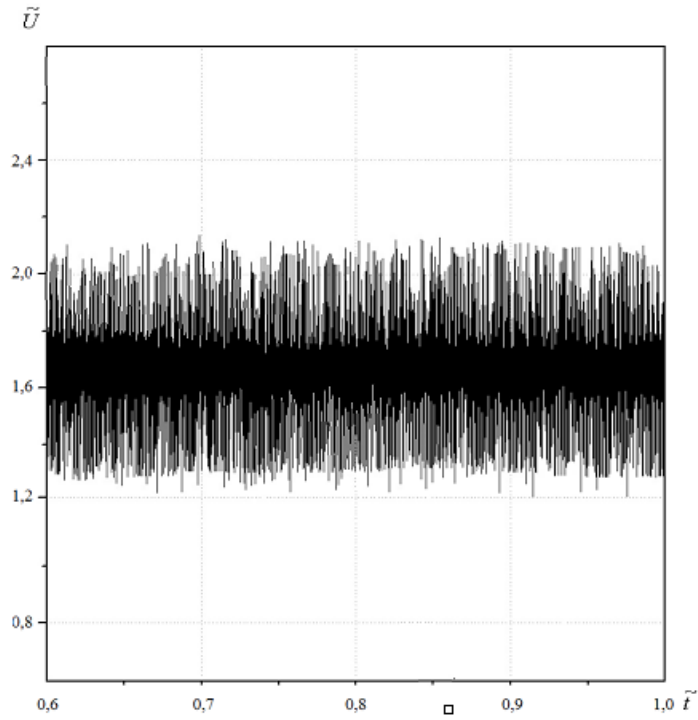


Рисунок 3.14. Графік зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі у відносних одиницях при механічній обробці КСС різцем з твёрдосплавною гострозаточеною пластиною з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{ AlN}$.

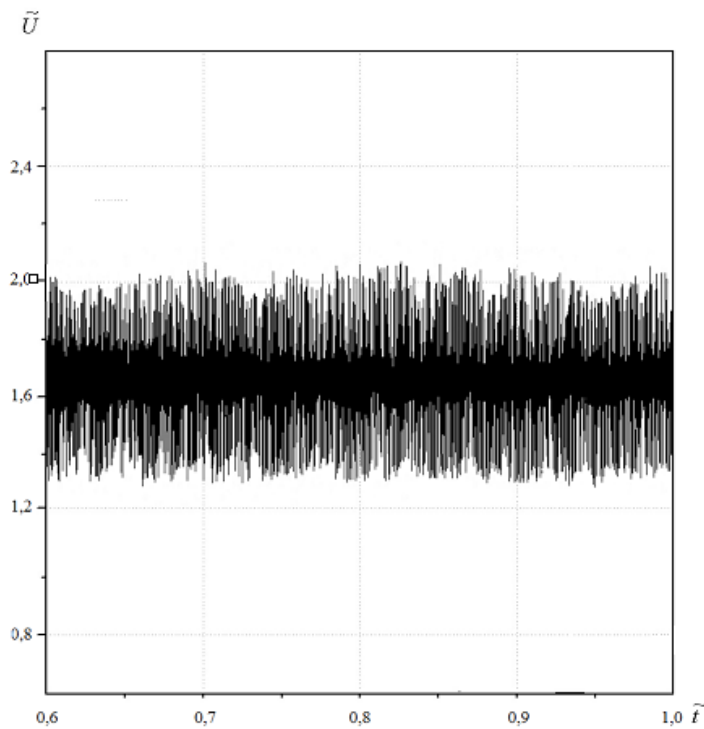


Рисунок 3.15. Графік зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі у відносних одиницях при механічній обробці КСС різцем з твёрдосплавною

закругленою пластиною з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 50\% \text{AlN}$.

Висновок:

1	Вартість	Торцева фреза із закругленими змінними твердосплавними пластинами з покриттям $TiCrB_2 + 50\% AlN$	Торцева фреза CoroMill® 245 фірми Sandvik Coromant	Торцева фреза Mill Rush 33 TF90 фірми Taegutec	Торцева фреза ANM75 фірми Mitsubishi	+	-	-
2	Експлуатація					-	+	-
3	Точність виготовлення					-	+	-
4	Функціонал					+	-	-
5	Естетика					-	-	+

Представлені конкуренти:

1. Sandvik Coromant - шведська компанія, що входить до складу Sandvik Machining Solutions, що належить, в свою чергу, Sandvik AB. Штаб-квартира розташована в Стокгольмі, Швеція. Є виробником різального інструменту. Представництва компанії працюють більш ніж в 130 країнах.. Ціна товару – 559 €.

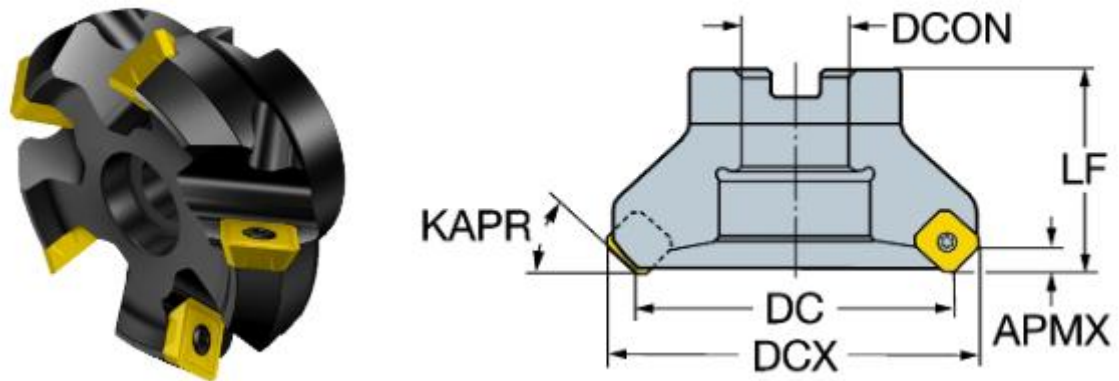


Рисунок. 4.1. Торцева фреза CoroMill®245 фірми Sandvik Coromant

2. Південно-корейська компанія TaeguTec є однією з провідних постачальників металорізального інструменту, вольфрамомістких порошків, твердосплавних валків і зносостійких деталей з твердого сплаву і кераміки. Фахівці компанії постійно створюють нові конструкції різальних інструментів, які застосовуються в різних галузях таких, як автомобільна, аерокосмічна, обробка штампів і прес-форм, важке машинобудування. Ціна - 495 €

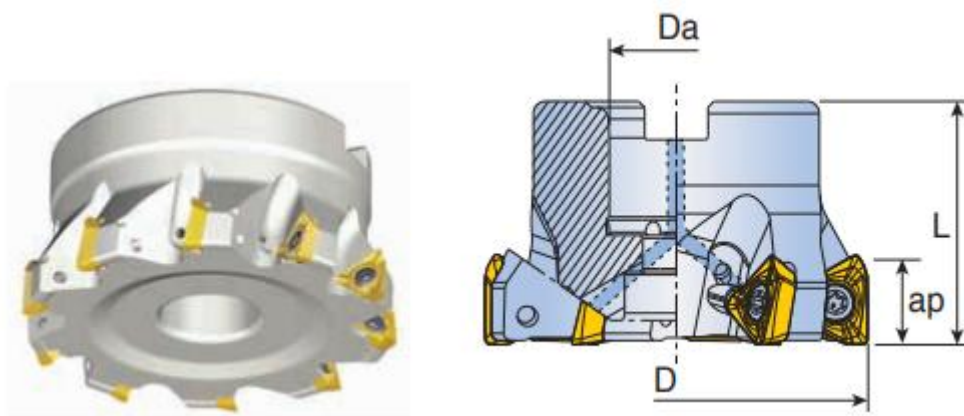


Рис 4.2. Торцева фреза Mill Rush 33 TF90 фірми Taegutec

3. Корпорація MITSUBISHI MATERIALS - один зі світових лідерів в області розробки і виробництва матеріалів, покриттів і точних інструментів для глобальної металообробної промисловості.

Асортимент продукції включає широкий спектр токарних, фрезерних і свердлильних інструментів, а також спеціальний інструмент для різання металу.

Ціна - 515 €

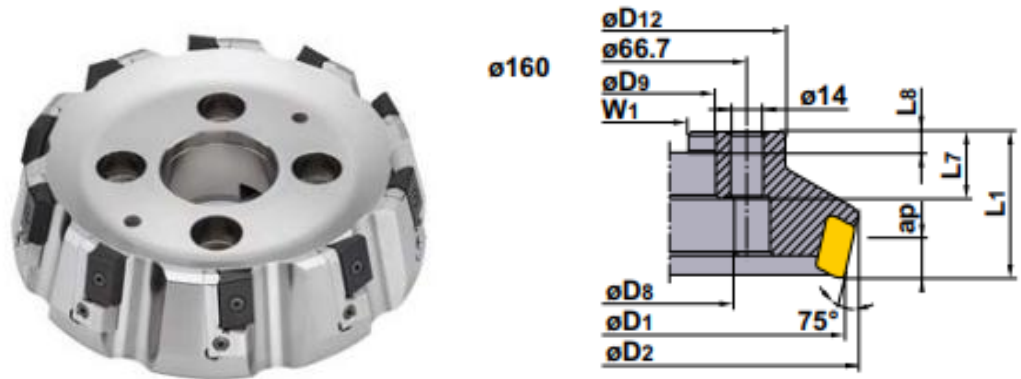


Рис. 4.3. Торцева фреза АНМ75 фірми Mitsubishi

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Виготовлення корпусу фрези	Покупка сталевих прутків та інструментів, необхідних для виготовлення корпусу фрези, та подальша обробка	+	+
2	Комплект змінних твердосплавних пластин	Покупка комплекту змінних твердосплавних пластин, їх закруглення, нанесення покриття	+	+
3	Комплект елементів кріплення	Покупка комплекту гвинтів для закріплення пластин	+	+
4	Вимірювальний пристрій	Покупка вимірювального пристрою для контролю інструменту	+	+
5	Допоміжне пристосування	Покупка цангового патрону	+	+

	для закріплення державки у верстаті			
--	-------------------------------------	--	--	--

Представлені технологічні рішення вибрані з огляду на доступність та наявними на ринку.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.

Таблиця 4.4. – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показник стану ринку(найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	31
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	-
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Обмеження можуть виникати через конкуренцію та економічне становище в країні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Технічні умови; підтвердження і дотримання стандартів Державного комітету по стандартизації, метрології та сертифікації на всіх стадіях виробництва інструменту; обов'язкова сертифікація для можливості виходу на міжнародний ринок
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	19%

В Україні ринок для даного виробу є досить великим. Окрім цього, даний товар має попит на міжнародному ринку, а також є конкурентоспроможним.

Основні країни виробники – це Японія, Швеція, США, Німеччина, Китай, Південна Корея.

Таблиця 4.5. – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Підвищена стійкість пластин	Середньостатистичні приватні особи або підприємці в галузях, що тісно пов'язані з металообробленням, деревообробленням чи будівництвом	Ціна на продукцію; Технічні характеристики; Загальний стан на ринку; Попит в представлених галузях; Висока експлуатаційна завантаженість	-До продукції: якість продукції; її довговічність у використанні, стабільна робота продукції; дотримання всіх стандартів і рівня запропонованої продукції
	Можливість легкої та швидкої заміни різальної частини інструменту			- До компанії постачальника: цілодобова підтримка; гарантія на певний термін експлуатації продукції
	Отримання високоякісної деталі відповідної точності			

Таблиця 4.6. – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Динаміка курсу національної валюти	Цей фактор в залежності від глибини і темпів змін з певною силою впливає на експортерів та імпортерів продукції	Притаманний згасаючий вплив на компанію
2	Податковий	Впливає на витрати, рівень чистого прибутку і інші параметри діяльності підприємства	Зменшення прибутку
3	Конкурентний	Впливає на умови конкуренції, рекламну діяльність	Збільшення витрат задля конкурентної спроможності продукту
4	Рівень інфляції	Впливає на вартість ресурсів, придбаних підприємством, рівень процентних ставок по кредитах, структуру попиту на певні групи товарів	Збільшення витрат на виробництво

Таблиця 4.7. – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Міжнародний ринок	При дотриманні всіх стандартів, сертифікатів, а також підтримки інвесторів, можливий вихід	Вихід на новий ринок призводить до збільшення

		продукції на міжнародний ринок	обороту, виробництва продукції, якості за рахунок нової клієнтури
2	Технологічний	Нові технологічні рішення, особливо ті, які знаходять застосування у виробництві масових товарів, сильно змінюють загальні умови підприємницької діяльності, положення на ринку або інших товаровиробників. Крім того, з'явилися і активно використовуються нові матеріали, нові технології виробництва та задоволення потреб	Чим гучніше є технологічні досягнення, тим глибше і масштабніше вони перетворюють економічне життя в суспільстві, ринкові відносини

Таблиця 4.8. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції - монополістична	Конкуренція, яка має місце на ринку з багатьма продавцями і покупцями і значною кількістю реалізованих	Можливе складне економічне становище підприємства на початку виробництва, проте при правильному

	товарів за різними цінами	підході – значне економічне зростання
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Оскільки основний ринок для даної продукції і її використання – є міжнародним, то і основні ставки будуть робитись саме на цьому	Захоплення ринку на міжнародному рівні
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Охоплює декілька галузей діяльності людини (металообробка, деревообробка, будівництво)	Збільшений попит за рахунок використання приладу в різних сферах діяльності людини
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Мається на увазі конкуренція між фірмами-виробниками різального інструменту
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Збільшення якості інструменту, можливість використання при чистовому та чорновому обробленні, удосконалення конструкції	Можливий неоднозначний вплив на діяльність, оскільки, якщо продукт матиме високу цінову вартість, то попит на неї може впасти. Тому доцільно дотримуватись правил рівності ціни-якості
6. За інтенсивністю - марочна	Оскільки даний продукт є продуктом широкого	Збільшення попиту на товар, оскільки все

	використання, то марочна політика є доцільною	більше і більше людей буде запам'ятовувати продукцію і компанію за її маркою
--	---	--

Таблиця 4.9. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Виробник метало-різального інструменту – Sandvik Coromant (Швеція)	Виробник метало-різального інструменту – Технострой (Україна, Мелітополь)	Виробник пристрою для вимірювання радіальног о биття - Szreitzer	Зменшенн я ціни виробу та збільшення функціо-нальності	Кінцеві фрези зі змінними твёрдо-сплавними пластинами
Висновки:	Удосконалення конструкції, простоти у використанні та збільшення функціо-нальних можливостей	В даному випадку основним критерієм конкуренції є цінова політика	Умови як і для всіх інших клієнтів. Можлива зміна ціни на необхідне обладнан-ня через економіч-не становище	Можли-вість проведен-ня робіт по зменшен-ню собівар-тості приладу та підґрунтя для удоскона-	Складність конкурува-ти в універсаль-ності обробки

				лення приладу	
--	--	--	--	------------------	--

Таблиця 1.10. – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Вартість	Ціна-якість-функціонал відповідають один одному і є значно дешевшими порівняно з аналогами, представленими на ринку
2	Експлуатація(використання)	В порівнянні з торцевими фрезами інших виробників значних відмінностей немає
3	Точність виготовлення	Точність поверхні деталі отриманої після обробки набагато краща
4	Функціонал	Так як зробити округлення та нанести покриття можна на будь-яку пластину, є можливість використовувати більш дешеві пластини і отримувати при цьому необхідну якість поверхні
5	Естетика	В порівнянні з торцевими фрезами інших виробників значних відмінностей немає

Таблиця 1.11. – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін розробленої торцевої фрези

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали(1-20)	Рейтинг товару виробника Sandvik Coromant						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Вартість	15						+	
2	Експлуатація	10				+			
3	Точність виготовлення	9				+			
4	Функціонал	17							+

5	Естетика	10				+			
---	----------	----	--	--	--	---	--	--	--

Таблиця 1.12. – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота використання; вартість; широка область застосування	Слабкі сторони: складність виготовлення
Можливості: Можливість використання більш дешевих пластини і отримувати при цьому необхідну якість поверхні	Загрози: пошук інвестицій

Таблиця 1.13. – SWOT-аналіз стартап-проекту

№	Альтернатива(орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів,%	Строки реалізації, місяців
1	Кінцеві фрези	50	18
2	<i>Існуючи торцеві фрези</i>	50	12

Таблиця 1.14. – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживача сприйняти продукт,%	Орієнтований попит в межах цільової групи ,комплектів/рік	Інтенсивність конкуренції в сегменті,%	Простота входу у сегмент,%
1	Підприємства, що займаються металообробленням	85	600	70	80
2	Підприємства-виробники	70	200	45	55

	меблів, та виробів з деревини				
3	Будівельні підприємства	30	50	80	30

Примітка: Виділений варіант є обраним

Таблиця 1.15.–Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Існуючі торцеві фрези	Вибіркова	Вартість, естетика, легкість використання	Стратегія комбінування

Таблиця 1.16.–Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем" на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих конкурентів	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Так	Ні	Пристосовницький тип стратегії

Таблиця 1.17.–Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Вартість	Стратегія комбінування	+	+/-
2	Легкість використання		+	+
3	Велика функціональність		+	+
4	Естетична складова		+/-	+
5	Точність виготовлення		+	+

Таблиця 1.18.– Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами(існуючи або які потрібно створити)
1	Вартість	Загальна вартість продукту	Використання більш дешевих пластин і отримання при цьому якісної поверхні деталі

2	Легкість використання	Простота заміни різального елемента у разі затуплення	Немає необхідності використовувати спеціальне пристосування для закріплення
3	Велика функціональність	Можливість використання різальних пластин будь-яких фірм-виробників	Наявність покриття та закруглення РК робить пластину більш довговічною
4	Точність виготовлення	Одержання високої точності поверхні	Через форму різальної кромки та властивості покриття якість поверхні є доволі високою

Таблиця 1.19.– Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові	
1.Товар за задумом	Простий, дешевий інструмент з можливістю використання більш дешевих пластин і отримання при цьому якісної поверхні деталі	
2.Товар у реальному виконанні	Властивості характеристики	
	1. Вартість 2.Легкість використання 3.Велика функціональність 4.Точність виготовлення	
Захист товару організовано за рахунок захисту інтелектуальної власності		

Таблиця 1.20. – Визначення меж встановлення цін.

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи	Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар
1	700	500	-	500-700

Таблиця 1.21. – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функція збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Поступове	Безпосередньо продаж продукції та окремих її компонентів, консультація, налагодження контактів щодо сервісу обслуговування	Нульовий рівень каналу	Вертикальна корпоративна система

Таблиця 1.22. – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користується клієнт	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
-------	---------------------------------------	---	--	----------------------------------	--------------------------------

1	Вимоги щодо зручності використання, надійності конструкції та якості кінцевого продукту	Веб-сторінка, консультація клієнта в онлайн-режимі, демонстрація роботи у соц-мережах	Якість, вартість, легкість використання, функціональність	Максимально інформативно донести до аудиторії, суть продукту з використанням простих схем, графіків та малюнків.	
---	---	---	---	--	--

Висновок:

Загальні висновки:

Література

1. Режимы резания труднообрабатываемых материалов : справочник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. – 1-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 176 с.
2. Режимы резания труднообрабатываемых материалов : справочник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 240 с.
3. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов : учеб. пособие / В.Н. Подураев. – М. : Высшая школа, 1974. – 587 с.
4. Резание труднообрабатываемых материалов / под ред. проф. П.Г. Петрухи. – М. : Машиностроение, 1972. – 175 с.
5. Подпоркин В.Г. Фрезерование труднообрабатываемых материалов / В.Г. Подпоркин, Л.Н.Бердников. – Л. : Машиностроение, 1972. – 112 с.
6. Подпоркин В.Г. Фрезерование труднообрабатываемых материалов / В.Г. Подпоркин, Л.Н.Бердников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1983. – 136 с.
7. Обработка резанием высокопрочных, коррозионностойких и жаропрочных сталей / под ред. П.Г. Петрухи. – М. : Машиностроение, 1980. – 167 с.
8. Основы теории и практики фрезерования материалов / Е.Н. Сенькин и др. – Библиотечка фрезеровщика. – Вып. 2. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. – 103 с.
9. Васильев Д.Т. Динамическое изменение основных параметров при фрезеровании / Д.Т. Васильев // Фрезы : сборник докладов Всесоюзного совещания ; под ред. М.Н. Ларина и К.Ф. Романова. – М., 1968. – С. 438–443.
10. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании металлов / Г.С. Андреев // Вестник машиностроения. – 1971. – № 3. – С. 65–68.
11. Бер А. Влияние радиального биения на износ зубьев торцовых фрез / А.Бер, Д.Фельдман. – «CIRP Ann.», 1977. – 26, № 1. – С. 1–4.
12. Шохов И.С. Влияние биения зубьев фрез на процесс фрезерования жаропрочных сталей и сплавов / И.С. Шохов. – М. : ГИОП, 1955. – 59 с.
13. Крепак А.С. Влияние биения и колебаний фрез на их стойкость / А.С. Крепак // Резание и инструмент. – Харьков : Республ. междуведом. научно-тех., 1980. – № 24. – С. 124–127.
14. Филиппов Г.В. Режущий инструмент / Г.В. Филиппов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1981. – С. 188.
15. Сенькин Е.Н. Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами / Е.Н. Сенькин, Г.В. Филиппов, А.В. Колядин. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1988. – С. 34–37.
16. Виговський Г.М. Процес різання торцевими ступінчастими фрезами з косокутною геометрією різальних частин, що оснащені надтвердими матеріалами (НТМ) / Г.М. Виговський, М.М. Мельничук // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 7 / Технічні науки. – С. 73–81.

17. Лищинский Н.Я. Новые конструкции торцовых ступенчатых фрез с резаками из сверхтвердых материалов / Н.Я. Лищинский // Сверхтвердые материалы. – 1980. – № 3. – С. 28–30.
18. Андреев В.Н. Конструкция и эксплуатация ступенчатых фрез с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок / В.Н. Андреев, С.С. Тамбовцев // Фрезы : сборник докладов Всесоюзного совещания по фрезам. – М. : ВНИИ, 1968. – С. 69–74.
19. Глембоцька Л.Є. Схеми різання при обробці торцевими фрезами плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів / Л.Є. Глембоцька, П.П. Мельничук // Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 3(38) / Технічні науки. – С. 3–10.
20. Зорев Н.Н. Обработка стали твердосплавным инструментом в условиях прерывистого резания с большими сечениями среза / Н.Н. Зорев // Вестник машиностроения. – 1963. – № 2. – С. 62–66.
21. Петросян Г.М. Силы при фрезеровании торцовой фрезой с цилиндрическими передними поверхностями режущих элементов / Г.М. Петросян, Чинь Минь Ты // Чистовая обработка деталей машин. – Вып. 2. – Саратов, 1976. – С. 9–15.
22. Петросян Г.М. Особенности износа фрезы с цилиндрическими передними поверхностями при чистовом фрезеровании / Г.М. Петросян, Чинь Минь Ты // Технол. и организ. произв-ва : научн. произв. сб. – 1977. – С. 23–25.
23. Резников А.Н. Резцы с цилиндрической передней поверхностью / А.Н. Резников, И.Я. Козин // Станки и инструмент. – 1968. – № 12. – С. 24–25.
24. Козин И.Я. Геометрия резцов с цилиндрической передней поверхностью / И.Я. Козин, В.И. Киршбаум, И.Я. Заславский // Известия ВУЗов. – 1969. – № 3. – С. 155–160.
25. Левина З.М. Контактная жесткость машин / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
26. Grossmann Gunter. Влияние усилия затяжки инструмента в шпинделе станка на процесс резания // Schweiz. Maschinenmarkt. – 1989. – 89. – № 3. – С. 38–39, 41, 43.
27. Кушников, П.В. Повышение эффективности чернового торцового фрезерования [Текст] / А.Ю.Ценцера, П.В.Кушников, Б.А.Ступин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции (19-20 марта 2015 года) / ред-кол.: Горохов А.А.(отв. Ред.); в 4-х томах, Том 4, Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2015. – С. 235-237.
28. Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П. Вдосконалення процесу торцевого фрезерування загартованих сталей: проблеми, пропозиції, обґрунтування
29. Наукове обґрунтування та технологічне забезпечення об'єднання чорнової та чистової обробок плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом/ П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев
30. Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П., Черпицький В.О. Оптимізація режимів різання при торцевому фрезеруванні плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів

31. Клименко С.А., Муковоз Ю.А., Ляшко В.А. и др. К вопросу об износе инструмента из кубического нитрида бора // Сверхтвердые материалы. - 1988. - №2. – С. 42-45.
32. Виговський Г.М., Бушля В.М. Визначення впливу режимів обробки на період стійкості та характер зношування торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами при чорновій обробці сірого чавуну
33. Музиченко. Основи теорії проектування різальних інструментів для високошвидкісної обробки
34. Філоненко С. Акусто-емісійна діагностика механічної обробки композиційних матеріалів точінням