

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: «Дослідження прогресивних методів шліфування відповідальних
поверхонь корпусних деталей»

Пояснювальна записка

Виконав: студент 6 курсу, групи 6ТМ
Спеціальності _____131_____

(шифр і назва спеціальності)

Іл'їн В.Б. _____

(прізвище та ініціали)

Керівник _____Дмитрієв Д.О._____

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____Селівертов І.А._____

(прізвище та ініціали)

Херсон, Хмельницький - 2023

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Інженерії та транспорту

Кафедра, циклова комісія Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістра

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової
комісії _____

Д.О.

Дмитрієв

“ _____ ”

2023 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Іл'їн Віктор Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту **«Дослідження прогресивних методів шліфування
відповідальних поверхонь корпусних деталей»**

керівник проекту (роботи) Дмитрієв Д.О., д.т.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “05” 10 2023 року № 404-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 08.12.2023р.

13. Вихідні дані до проекту (роботи) технічна документація Аналіз

літературних даних, аналіз вимог до деталей, виготовлених зі сталі при роботі за підвищених температур.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) теоретичне обґрунтування, огляд типових, патентний пошук, геометричний, кінематичний розрахунок робочого органу, технологічний розрахунок параметрів робочого процесу, розрахунок приводу, рахунок навантажень вузла опори, розрахунок і підбір підшипників вузла опори, розробка модернізованої конструкції з покращеними характеристиками, розділ охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень або слайдів електронної презентації)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата
--------	------------------------------	--------------

	консультанта	завдання видав	завдання прийняв
Конструкторський	Дмитрієв Д.О.	05.10.23	05.10.23
Дослідницький	Дмитрієв Д.О.	05.10.23	05.10.23
Охорона праці	Кузнєцов С.І.	05.10.23	05.10.23

7. Дата видачі завдання 05.10.23

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Проведення експериментальних досліджень		
2	Написання літ огляду щодо теми магістерської дисертації		
3	Наведення матеріалів та методики дослідження		
4	Проведення розрахунків з експериментальними даними		
5	Розробка технологічних рекомендації		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8			
9			

Студент
(підпис)

Іл'їн В.Б. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дмитрієв Д.О.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Дипломна робота Іл'їна В.Б. присвячена вивченню та дослідженню сучасних прогресивних методів шліфування в контексті обробки відповідальних поверхонь корпусних деталей. Робота включає аналіз використання новітніх абразивних матеріалів, таких як наноматеріали, синтетичні алмази, абразиви на основі карбідів, та їхній вплив на якість та ефективність обробки.

Ретельно розглянуто технічні аспекти та властивості різних класів абразивів, представляючи їхнє застосування у сучасному виробництві. Дослідження висвітлює важливі аспекти використання наноматеріалів, синтетичних алмазів та інших прогресивних абразивів для досягнення високої точності та якості обробки поверхонь.

Структура роботи є логічною та послідовною, а аргументація автора підкреслює високий рівень обізнаності та професійної компетентності. Робота також включає рекомендації для подальших досліджень та розглядає перспективи використання інноваційних матеріалів у сфері обробки відповідальних поверхонь корпусних деталей.

Дипломна робота є важливим внеском у вивчення сучасних технологій шліфування та полірування, зокрема в контексті обробки відповідальних деталей. Її результати та рекомендації можуть бути використані в реальному виробництві для покращення якості та ефективності виробничих процесів.

Annotation

Il'in V.B.'s diploma thesis is dedicated to the exploration and investigation of modern progressive grinding methods within the context of processing critical surfaces of casing components. The work involves an analysis of the utilization of cutting-edge abrasive materials such as nanomaterials, synthetic diamonds, and carbide-based abrasives, and their impact on the quality and efficiency of processing.

The technical aspects and properties of various classes of abrasives are thoroughly examined, presenting their application in contemporary manufacturing. The research highlights crucial aspects of using nanomaterials, synthetic diamonds, and other progressive abrasives to achieve high precision and surface quality.

The structure of the thesis is logical and coherent, with the author's arguments underscoring a high level of expertise and professional competence. Additionally, the work includes recommendations for further research and discusses the prospects of incorporating innovative materials in the processing of critical surfaces of casing components.

This diploma thesis constitutes a significant contribution to the study of modern grinding and polishing technologies, particularly in the context of processing critical components. The results and recommendations it provides can be applied in real-world manufacturing settings to enhance the quality and efficiency of production processes.

Зміст

Вступ

Розділ 1. Сучасний стан проблеми шліфування в машинобудуванні

1.1. Класифікація видів шліфування, режими, інструментальні матеріали та середовища

1.2. Види деталей та складних поверхонь, що потребують фінішної абразивної обробки

1.3. Сучасні тренди способів фінішної обробки шліфуванням, включаючи ЧПК

Розділ 2. Дослідження прогресивних методів абразивної обробки

2.1. Точність та забезпечення якості поверхні надскладних виробів абразивною обробкою

2.2. Результати магнітно-абразивної обробки інструментальних матеріалів як перспективна технологія

2.3. Розрахунок режимів шліфування, основні критерії та параметри

Розділ 3. Технічні засоби покращення шліфувальних технологій

3.1. Пропозиції удосконалення технологічного обладнання для шліфування і полірування

3.2. Застосування прогресивних абразивних матеріалів

3.3. Теорія різання абразивного зерна

Висновки

Література

Вступ

Обираючи тему для своєї дипломної роботи, я вирішив зосередитися на дослідженні прогресивних методів шліфування відповідальних поверхонь корпусних деталей. Це вибір обумовлений декількома ключовими міркуваннями та практичними перспективами.

По-перше, сучасна промисловість вимагає високої точності та якості продукції, особливо в галузях зі складними кузовними деталями. Забезпечення високої якості обробки таких елементів є значним викликом для багатьох галузей промисловості, включаючи аерокосмічну, медичну та машинобудівну.

По-друге, розробка нових матеріалів, таких як високоміцні сплави та композитні матеріали, вимагає адаптації сучасних методів шліфування, які гарантують ефективну обробку цих матеріалів. Дослідження в цій галузі можуть сприяти розробці більш ефективних та економічно вигідних методів обробки.

По-третє, зростаюче значення високоточних деталей у виробництві підкреслює важливість дослідження та оптимізації методів шліфування. Ця тема не тільки вирішує поточні проблеми, але й пропонує нові можливості для розвитку інноваційних технологій та підвищення якості виробництва.

Крім того, вивчення прогресивних методів шліфування відкриває можливості не лише для вирішення поточних проблем, але й для створення нових, більш ефективних рішень. Це викликає в мені зацікавленість та бажання внести свій вклад у розвиток виробництва, забезпечуючи йому сучасні та ефективні інструменти.

Завдяки обраній темі, я маю намір розкрити та розвинути поняття ефективності в обробці корпусних деталей, що, безумовно, знайде своє віддзеркалення у практичному використанні.

Таким чином, обрана тема відображає важливість розвитку методів шліфування в сучасній промисловості та відкриває можливості для подальших досліджень у цій галузі.

Розділ 1. Сучасний стан проблеми шліфування в машинобудуванні

У світі масового виробництва і технічного прогресу машинобудування є важливою основою розвитку економіки і промислового сектора. У цій складній галузі обладнання машини стали невід'ємною частиною сучасного життя, а перед

технічними фахівцями та інженерами постійно стоїть завдання досягти більш високого рівня точності, надійності та ефективності виробництва.

В цьому контексті шліфування, як важливий етап обробки, займає центральне місце у створенні високоякісних компонентів та деталей. Його роль полягає в наданні поверхневої обробки, що впливає на фінальні характеристики виробу, включаючи якість, розмір та форму.

У сучасних умовах швидких технологічних змін і все більш жорстких виробничих вимог процеси шліфування в машинобудуванні перебувають під особливо пильною увагою. Постійний пошук оптимальних методів, новітніх технологій і вдосконалення процесів відображає необхідність підтримки високої якості продукції і досягнення високої продуктивності в машинобудівній галузі.

Задачі вдосконалення процесів шліфування стають важливою складовою стратегічних цілей виробництва, оскільки вони визначають якість, надійність та конкурентоспроможність виробів. Враховуючи постійний розвиток індустрії та підвищену конкуренцію, дослідження сучасних аспектів шліфування у машинобудуванні визначається як важлива задача для забезпечення подальшого розвитку та успіху цієї стратегічно важливої галузі.

У цій статті ми докладемо зусиль для розкриття сучасних викликів та можливостей в галузі шліфування в машинобудуванні, проведемо глибокий аналіз технічних та технологічних аспектів цього процесу. Розглядаючи питання технічної застарілості обладнання, високих стандартів екологічної безпеки, ролі інновацій у підвищенні ефективності, ми будемо спрямовані на виявлення ключових напрямків для розвитку та вдосконалення шліфувальних технологій.

Проблеми:

I. Обмежені технічні можливості в контексті шліфування в машинобудуванні вказують на недостатність чи відсутність необхідних технічних характеристик, параметрів та можливостей обладнання для забезпечення оптимальної, ефективної та якісної обробки виробів. Розглянемо цей процес більш детально:

1. Точність обробки: Застаріле обладнання може бути не в змозі забезпечити необхідний рівень точності, необхідний для виробництва високоякісних деталей машин. Нехтування цим аспектом може призвести до дефектів та невідповідності розмірів і форми деталей.

2. Швидкість і продуктивність: Через обмежені технічні характеристики старе обладнання може працювати неефективно і не досягати необхідної швидкості обробки, що призводить до зниження загальної продуктивності.

3. Комплексність обробки: Сучасні матеріали та деталі вимагають від обладнання більшої комплексності в роботі, такої як багатоосевість, різноманітність інструментів чи адаптивність до різних типів матеріалів, яка може відсутня в застарілому обладнанні.

4. Контроль якості: Недостатня технічна компетентність може ускладнити контроль якості обробки, що має вирішальне значення для забезпечення відповідності стандартам і вимогам замовника.

5. Гнучкість виробництва: Сучасні ринкові умови вимагають від компаній гнучкості у виробництві, але обмежені технічні можливості обладнання можуть обмежувати можливість швидкого перемикання між різними типами обробки та виробництва.

6. Ефективність ресурсів: Застаріле обладнання може призвести до неефективного використання ресурсів (наприклад, енергії та абразивних матеріалів), що призводить до додаткових витрат і збільшення відходів виробництва.

Отже, обмежені технічні можливості обладнання у шліфуванні в машинобудуванні не лише знижують загальну ефективність виробництва, але й стають перешкодою для досягнення високих стандартів якості, точності та ефективності, що є критично важливими в сучасному виробничому середовищі.

II. Низька автоматизація в сфері шліфування в машинобудуванні вказує на обмежену чи відсутню імплементацію сучасних автоматизованих технологій та систем у виробничих процесах. Це може призводити до ряду проблем, включаючи низьку продуктивність та витрати робочого часу. Розглянемо докладніше цей аспект:

1. Ручна праця та втручання оператора: У менш автоматизованих середовищах багато завдань виконуються вручну, що може призвести до збільшення робочого часу та низької продуктивності. Оператори будуть залучені до багатьох рутинних і монотонних операцій, які впливають на продуктивність і створюють потенціал

для

помилки.

2. Обмеження швидкості та пропускну здатності: Автоматизовані системи значно швидші та ефективніші, ніж ручні процеси. Низький рівень автоматизації обмежує швидкість обробки та виробничі потужності для виконання великих замовлень.

3. Високе споживання ресурсів: Це призводить до надмірного використання ресурсів, таких як ручна праця, робочий час, енергія та обладнання. Ефективна автоматизація може заощадити ці ресурси та оптимізувати виробничі процеси.

4. Високі витрати на робочу силу: Ручна праця часто пов'язана з високими витратами на заробітну плату та навчання персоналу. Автоматизація може впорядкувати робочі процеси та зменшити витрати на робочу силу.

5. Зниження якості та послідовності: Ручна праця може призвести до змін у якості продукції через людські помилки, втому та неуважність. З іншого боку, автоматизовані системи можуть забезпечити послідовне і рівномірне виробництво.

6. Надмірна залежність від персоналу: За відсутності автоматизації компанії можуть занадто покладатися на навички та наявність кваліфікованого персоналу, що може бути проблематично на ринках, де існує дефіцит фахівців.

Поширеними проблемами, пов'язаними з недостатнім рівнем автоматизації, є зниження конкурентоспроможності на ринку та труднощі з швидкою адаптацією до мінливих вимог і технологічних інновацій. Впровадження автоматизованих систем може допомогти компаніям підвищити продуктивність, знизити витрати і забезпечити стабільне, якісне виробництво.

III. У машинобудуванні високі вимоги до якості та повторюваності операцій механічної обробки відображають необхідність забезпечення надійності, ефективності та безпеки виробів, що використовуються в широкому спектрі промислових і технічних застосувань. Як важливий виробничий процес, шліфування відіграє ключову роль у виконанні цих вимог. Розглянемо його докладніше:

1. Стандартизація процесу: Висока якість і повторюваність вимагають дотримання чітко визначених стандартів і специфікацій, встановлених для кожного типу продукції. Процеси шліфування повинні бути стандартизовані та

оптимізовані, щоб забезпечити надійну та ефективну обробку.

2. Контроль якості: Важливим фактором досягнення високої якості є систематичний і надійний контроль якості на кожному етапі виробництва. У випадку шліфування це означає застосування технології та методів контролю, які дозволяють відстежувати та оцінювати параметри процесу в режимі реального часу.

3. Точність і відповідність геометричним параметрам: У машинобудуванні першорядне значення має відповідність заданим геометричним і технічним параметрам виробу. Щоб досягти цього, в процесі шліфування необхідно дотримуватися високих стандартів точності та повторюваності.

4. Мінімізація дефектів і відхилень: Процес шліфування повинен здійснюватися таким чином, щоб звести до мінімуму такі дефекти, як тріщини, відшарування і нерівності поверхні, які впливають на якість і функціональність виробу.

5. Стабільність і надійність обладнання: для забезпечення повторюваності важливо, щоб шліфувальне обладнання було стабільним, надійним і відповідало чинним технічним стандартам. Використання старого або невідповідного обладнання може призвести до погіршення якості та повторюваності.

6. Постійне вдосконалення та інновації: У сучасному машинобудуванні важливо постійно вдосконалювати технології та методи шліфування, впроваджуючи новітні розробки та інноваційні рішення для підвищення якості та ефективності виробництва.

Тому високі вимоги до якості та повторюваності в машинобудуванні вимагають комплексного підходу до організації та вдосконалення процесів шліфування з акцентом на стандартизацію, контроль якості, точність, надійність обладнання та інновації в технології виробництва.

IV. Складні матеріали та нестандартна геометрія деталей стають все більш поширеними в сучасному машинобудуванні для надання виробам покращених механічних та фізичних властивостей. Однак, коли мова йде про шліфування, виникає ряд технічних і технологічних проблем. Розглянемо їх докладніше:

1. Тверді та складні матеріали: Сучасні матеріали, такі як вуглецеві композити, титан, кераміка та високоміцні сплави, можуть бути твердими та складними для

обробки. Висока міцність і стійкість ускладнюють їх шліфування, що вимагає застосування спеціальних абразивних матеріалів і методів обробки.

2. Високі температури обробки: Під час шліфування твердих матеріалів виділяється значна кількість тепла. Це може спричинити високі температури на поверхнях заготовки та інструменту і вимагає додаткового контролю та запобіжних заходів для запобігання деформації та погіршення властивостей матеріалу.

3. Особливості обробки кераміки Керамічні матеріали мають високу твердість і стійкість, але є дуже крихкими. Шліфування кераміки вимагає особливої уваги до вибору абразивного зерна і оптимальних умов, щоб уникнути розтріскування і руйнування.

4. Нестандартна геометрія деталей: Вироби з нестандартною геометрією можуть бути складними для обробки, оскільки звичайні методи шліфування неефективні або непридатні. Це особливо актуально, коли потрібно обробити важкодоступні ділянки або деталі складної геометрії.

5. Вимоги до точності та повторюваності: Зростаючі вимоги до точності та повторюваності у виробництві складних матеріалів вимагають складних систем контролю якості та використання високоточного шліфувального обладнання та інструментів.

Для вирішення цих завдань важливо розвивати технології шліфування та використовувати новітні технології. Використання абразивів високої твердості, адаптивних систем контролю температури та передових технологій обробки може допомогти оптимізувати процес шліфування складних матеріалів і нестандартної геометрії деталей.

V. Висока енергоємність процесу подрібнення є серйозною проблемою, оскільки вона не тільки збільшує собівартість продукції, але й негативно впливає на навколишнє середовище через високі викиди CO₂. Розглянемо докладніше фактори, що сприяють виникненню цієї проблеми:

1. Високе енергоспоживання: операції шліфування, особливо твердих і складних матеріалів, можуть вимагати великої кількості енергії для забезпечення необхідного тиску і швидкості обертання шліфувальних інструментів.

2. Високі температури під час обробки: Під час шліфування може виділятися значна кількість тепла через тертя між інструментом і оброблюваним матеріалом. Це може вимагати додаткових витрат енергії на охолодження та контроль температури.

3. Високі втрати матеріалу: шліфування часто пов'язане зі стиранням оброблюваної поверхні та зняттям матеріалу. Підвищені втрати матеріалу означають, що для процесу потрібно більше енергії і утворюється велика кількість відходів.

4. Використання старого обладнання: Старе шліфувальне обладнання має низьку енергоефективність і може не відповідати останнім стандартам енергозбереження.

5. Неefективна технологія: Використання застарілих технологій і методів подрібнення може призвести до високих енерговитрат через низьку ефективність і неefективне використання ресурсів.

Щоб зменшити вплив високих енергетичних витрат у процесах шліфування, можна вживати наступні заходи:

1. Використання енергоефeктивних технологій: використання сучасних технологій та обладнання, які споживають менше енергії при збереженні високої продуктивності.

2. Оптимізація параметрів процесу: Регулювання та оптимізація параметрів шліфування, таких як швидкість обертання і тиск на інструмент, для мінімізації енергоспоживання.

3. Використання енергозберігаючих абразивних матеріалів: використання нових абразивних матеріалів з кращими характеристиками та меншим споживанням енергії.

4. Рекуперація тепла: використання технологій для рекуперації та утилізації теплової енергії, що утворюється в процесі шліфування.

Високе споживання енергії в процесі шліфування свідчить про необхідність технологічних удосконалень та енергоефeктивних рішень. Це важливий крок до скорочення витрат, зниження викидів CO₂ і більш сталого виробництва в машинобудівній галузі.

VI. Дефіцит кваліфікованих кадрів у сфері шліфування є серйозною проблемою в машинобудівній галузі. Це пов'язано з тим, що цей технічно складний процес вимагає спеціальних навичок і знань. Розглянемо докладніше, як ця проблема впливає на виробництво:

1. Складність техніки та обладнання: сучасні методи шліфування використовують високотехнологічне обладнання, яке вимагає від працівників високого рівня кваліфікації та розуміння принципів роботи.

2. Необхідність координації та контролю якості: процеси подрібнення вимагають точних налаштувань обладнання та високого ступеня контролю якості. Відсутність кваліфікованого персоналу може призвести до неправильних налаштувань і низької якості роботи.

3. Розуміння властивостей матеріалу: оператори повинні добре розуміти властивості матеріалу, що шліфується, щоб виконувати ефективну обробку і запобігати пошкодженням.

4. Безпека працівників: шліфування є технічно складним процесом і вимагає високих стандартів безпеки. Недостатня підготовка або нестача кваліфікованих працівників може призвести до травм і нещасних випадків.

5. Новітні технології та інновації: Швидкий розвиток технологій вимагає постійного навчання та адаптації. Брак кваліфікованих працівників може стати перешкодою на шляху до успіху нових технологій та інновацій.

6. Конкурентоспроможність на ринку праці: наявність висококваліфікованих фахівців зі шліфування визначає конкурентоспроможність компанії. Відсутність таких працівників може обмежити можливості компанії на ринку праці.

Для вирішення цієї проблеми необхідно зосередити увагу на системі підготовки та підвищення кваліфікації працівників, підвищити інтерес молоді до машинобудівної та шліфувальної галузі та впроваджувати навчальні програми, спрямовані на оволодіння новітніми технологіями. Лише шляхом покращення навчальної інфраструктури та залучення кваліфікованих фахівців можна ефективно вирішити проблему нестачі кваліфікованих працівників у шліфувальній галузі.

VII. Екологічні проблеми, пов'язані з процесами шліфування в машинобудуванні,

виникають через викиди та відходи, які можуть мати негативний вплив на повітря та воду. Розглянемо докладніше, чим це загрожує навколишньому середовищу:

1. Пил і абразивні частинки в повітрі: Під час шліфування утворюється пил і дрібні абразивні частинки, які можуть потрапляти в повітря навколо виробничої зони. Це може призвести до забруднення повітря токсичними речовинами, які негативно впливають на якість повітря та здоров'я людей.

2. Викиди газів і парів: Теплові та хімічні реакції, що виникають під час шліфування, можуть призвести до викидів шкідливих газів і парів, таких як оксиди азоту та сірки, які можуть спричинити забруднення повітря.

3. Витоки абразиву та мастильно-охолоджувальної рідини: водні розчини та мастильно-охолоджувальні рідини, що використовуються в процесі шліфування, можуть містити хімічні речовини, які в разі потрапляння у водойми можуть спричинити забруднення води та вплинути на водні екосистеми.

4. Технологічні матеріали та відходи: Велика кількість технологічних матеріалів і відходів, що утворюються в процесі шліфування, може спричинити труднощі з вивезенням та утилізацією відходів, що призводить до неналежної утилізації та негативного впливу на навколишнє середовище.

5. Шумове забруднення: Операції шліфування можуть створювати високий рівень шуму, який може бути шкідливим для навколишнього середовища і викликати стрес у сусідніх мешканців і тварин.

Для зменшення екологічного впливу шліфувальних процесів можна вживати такі заходи:

1. Використання систем пиловидалення: встановіть системи пиловидалення, щоб зменшити викиди пилу в атмосферу.

2. Ефективне використання мастильно-охолоджувальних рідин: вибирати та використовувати екологічно чисті мастильно-охолоджувальні рідини.

3. Удосконалення методів шліфування: Використовуйте сучасні технології та абразивні матеріали для зменшення споживання матеріалів та енергії.

4. Управління відходами та їх переробка: Ефективне управління відходами та їх переробка для запобігання потраплянню відходів у навколишнє середовище.

5. Впровадження заходів щодо зниження рівня шуму: Впровадження та вдосконалення заходів щодо зниження рівня шуму для зменшення шумового

забруднення виробничого середовища.

Загальний підхід до зменшення екологічного впливу шліфувальних процесів передбачає поєднання технічних інновацій, регулювань у виробництві та відповідальної екологічної політики підприємства.

VIII. Оскільки шліфування часто здійснюється з використанням важкої техніки і високотехнологічного обладнання, витрати на технічне обслуговування і ремонт в шліфувальній промисловості є важливим аспектом процесу шліфування. Ось декілька ключових моментів щодо цієї проблеми:

1. Знос інструменту та абразиву: Процес шліфування спричиняє значний знос абразивних інструментів і вимагає їх регулярної заміни та технічного обслуговування. Чим вище робоче навантаження, тим швидше відбувається знос і тим вища вартість запасних частин і ремонту.

2. Технічна складність обладнання: Важке обладнання, що використовується в шліфуванні, має складну конструкцію і високу технічну складність. Це може призвести до більш частого і дорогого технічного обслуговування для забезпечення безперебійної роботи обладнання.

3. Потреба у кваліфікованих спеціалістах: спеціалізоване обладнання та інструменти потребують кваліфікованих спеціалістів для обслуговування та ремонту. Високий попит на таких спеціалістів може призвести до збільшення їхньої заробітної плати та загальних витрат на робочу силу.

4. Регулярне та профілактичне обслуговування: обладнання потребує регулярного огляду, профілактики та обслуговування для підтримки ефективності та продуктивності, що збільшує загальні витрати.

5. Труднощі із заміною та модернізацією: заміна та модернізація обладнання коштує дорого і займає багато часу. Це особливо дорого, коли обладнання застаріває або потребує модернізації.

6. Виробничі випробування: обладнання піддається високому навантаженню під час пікових періодів виробництва, що може призвести до частих поломок і необхідності швидкого втручання сервісної служби.

Для оптимізації цих витрат, підприємства можуть зосередитися на превентивному обслуговуванні, інвестуванні у високоякісні матеріали та навчанні

персоналу, а також враховувати можливість заміни застарілого обладнання новітніми технологіями.

Підсумовуючи сучасні проблеми шліфування в машинобудуванні, можна сказати, що цей процес стикається з низкою викликів і обмежень, які впливають на ефективність і якість виробництва. Ці проблеми можуть бути спричинені технічними обмеженнями обладнання, оброблювальних матеріалів та процесів і вимагають постійного вдосконалення та розробки нових стратегій для подолання цих викликів. Для забезпечення надійного виробництва високоякісних деталей і компонентів у машинобудуванні важливо вдосконалювати технології та забезпечувати високий рівень точності, надійності та швидкості обробки.

1.1. Класифікація видів шліфування, режими, інструментальні матеріали та середовища.

Шліфування є важливим етапом обробки матеріалів у багатьох галузях промисловості, де важливо досягти високої якості та точності поверхонь. У цьому процесі абразивні матеріали використовуються для поліпшення текстури, форми і стану поверхні виробу. Класифікація видів шліфування, визначення режимів і використання різних інструментальних матеріалів і середовищ ілюструють широкий спектр застосування цього процесу у виробництві.

I. Класифікації:

1. Кругле зовнішнє шліфування - це вид шліфування, при якому обробляється зовнішня поверхня циліндричних або колоподібних деталей. Основна мета цього процесу - досягнення високої точності та якості зовнішніх циліндричних поверхонь.

2. Кругле врізне шліфування - це метод шліфування, при якому інструмент поступово вводиться в матеріал для обробки, формуючи круглу або циліндричну поверхню. Цей процес використовується для створення вирізів, горизонтальних або вертикальних вирізів, а також для формування певної конфігурації на зовнішній поверхні оброблюваної деталі.

3. Безцентрове шліфування - це метод шліфування, при якому деталь утримується між двома шліфувальними колесами, але не закріплюється за допомогою центрувальних пристроїв. У цьому процесі шліфувальне колесо обертається навколо своєї осі, а деталь рухається вздовж осі між шліфувальними колесами.

4. Кругле внутрішнє шліфування - це метод шліфування, спрямований на обробку внутрішніх циліндричних або конічних отворів у деталях. Він використовується для досягнення високої точності та якості обробки внутрішніх поверхонь виробів.

5. Плоске шліфування периферією круга - це метод шліфування, при якому зовнішня частина оброблюваного предмета має форму круга або близьку до кругової. У цьому процесі плоске шліфувальне колесо використовується для обробки зовнішньої поверхні предмета, форма якої відповідає периферії круга.

6. Плоске шліфування торцем круга - це метод обробки, при якому торець (плоска

поверхня в перпендикулярному напрямку до осі) круглої заготовки обробляється за допомогою плоского шліфувального інструменту. Цей метод широко використовується для створення плоских, паралельних та високоточних торцевих поверхонь.

Ця класифікація та систематизація варіантів шліфування відкриває широкий спектр можливостей для вдосконалення та оптимізації виробничих процесів. Важливість шліфування полягає не лише у підвищенні якості виробів, а й у досягненні високої точності та відповідності високим стандартам у будь-якій галузі промисловості.

II. Режими шліфування:

1. Грубе шліфування - це перший етап обробки поверхні, при якому використовують грубозернисті абразивні матеріали для швидкого видалення великої кількості матеріалу. Основна мета грубого шліфування полягає в швидкому формуванні обробленої поверхні та видаленні нерівностей, залишків матеріалу, подряпин, а також вирівнюванні заготовки.

2. Середнє шліфування - це процес підготовки поверхні, який слідує за чорновим шліфуванням і передує чистовому шліфуванню. У цьому процесі використовуються менш грубозернисті абразиви, ніж при чорновому шліфуванні, і додатково покращується форма, гладкість і точність поверхні.

3. Фінішне шліфування є завершальним етапом підготовки поверхні і використовує дуже дрібні абразиви для досягнення високоточної, гладкої та якісної поверхні. Цей процес усуває будь-які недоліки, що залишилися, і забезпечує високу якість обробки поверхні.

Починаючи від плоского та циліндричного шліфування для оброблення різних форм виробів до внутрішнього шліфування для точної обробки отворів, шліфування дозволяє досягти не лише високої якості, але й відповідати різноманітним виробничим потребам. Режими грубого, середнього та фінішного шліфування визначають етапи процесу, в яких досягається необхідна обробка матеріалу.

III. Інструментальні матеріали:

Абразиви - це матеріали, які використовуються для шліфування, полірування, або видалення матеріалу шляхом тертя чи абразивного зносу. Їхні частки або зерна є твердими та грубими, і вони призначені для зношування чи обробки інших матеріалів. Основні типи абразивів включають:

1. Шкурка(абразивний папір): дрібні абразивні частинки, закріплені на паперовій або текстильній основі. Використовується для ручного або машинного шліфування.

2. Шліфувальні круги: тверді бруски або камені з абразивним зерном, що використовуються для точіння, ручного шліфування та обробки деяких металевих поверхонь.

3. Абразивні диски: плоскі диски з абразивними частинками, що використовуються для шліфування, різання та полірування.

4. Алмази: алмази використовуються як абразиви для обробки твердих матеріалів, таких як скло та кераміка, а також у металообробці, де потрібна висока твердість.

5. Абразивні пасти: спеціалізовані пасти, що містять абразивні частинки, які використовуються для шліфування та фінішної обробки поверхонь.

6. Карбід кремнію, оксид алюмінію та ін.: використовуються як абразивні матеріали в різних формах, таких як порошки, шліфувальні круги та диски.

Зв'язуючі речовини, які часто називають сполучними або в'язучими, - це речовини, які слугують для зв'язування абразивних зерен у тверду структуру. Ці матеріали використовуються для виготовлення абразивних інструментів, таких як шліфувальні круги, зачисні круги, покриття та полірувальні пластини.

Основна роль зв'язуючих речовин в абразивних матеріалах полягає в тому, щоб утримувати абразивні зерна разом:

1. Утримувати абразивні зерна разом: Зв'язка утримує абразивні зерна разом, утворюючи структуру, яка може ефективно взаємодіяти з оброблюваним матеріалом.

2. Збереження форми: Зв'язка допомагає підтримувати форму та структуру

абразивного зерна під час шліфування.

3. Зчеплення: Зв'язка з'єднує абразивні зерна з основою інструмента і відіграє важливу роль у стабільності та ефективності процесу.

4. Термостійкість: шліфування може піддаватися високим температурним навантаженням, тому зв'язка повинна мати високу термостійкість.

5. Твердість і гнучкість: забезпечують необхідний рівень твердості або гнучкості в залежності від типу і природи оброблюваного матеріалу.

Залежно від властивостей абразиву і вимог застосування використовуються різні типи зв'язки. До найпоширеніших зв'язувальних матеріалів належать смоли, каучук, керамічні матеріали, металеві сплави та віск.

Інструментальні матеріали, такі як абразиви та зв'язуючі речовини, відіграють ключову роль у формуванні ефективних шліфувальних інструментів.

IV. Середовища:

Абразивне середовище - це умови, в яких відбувається абразивна підготовка поверхні. Ці умови залежать від конкретних вимог, оброблюваного матеріалу і типу абразивного інструменту.

Основними абразивними середовищами є:

1. Сухе шліфування - це метод шліфування, при якому обробка здійснюється без використання рідини або охолоджуючих середовищ. Різниця між сухим і мокрим шліфуванням полягає у використанні або невикористанні рідини або інших охолоджуючих середовищ під час обробки.

Основні аспекти сухого подрібнення:

1. Відсутність рідин: При сухому шліфуванні не використовуються рідини або мастильні матеріали для змащування абразивних зерен або охолодження оброблюваної поверхні.

2. Утворення пилу та тепла: Під час сухого шліфування утворюється більше пилу та тепла, ніж під час мокрого шліфування. Це може вплинути на комфорт оператора і вимагає відповідних заходів безпеки.

3. Екологічні переваги: сухе шліфування не вимагає використання великої кількості води або рідини, а тому є менш шкідливим для навколишнього

середовища.

4. Використання в спеціальних умовах: сухе шліфування може бути більш практичним там, де мокре шліфування непрактичне або небажане, наприклад, у виробництві електроніки або обробці певних матеріалів.

Сухе шліфування має деякі переваги, але необхідно враховувати характеристики матеріалу та інструменту, щоб уникнути перегріву та зносу.

2. Мокре шліфування - це метод шліфування, при якому процес виконується з застосуванням рідин або охолоджувальних рідин. Використання рідини має кілька важливих функцій під час обробки.

Основні аспекти мокрого шліфування:

1. Охолодження і змащення: Використовується для охолодження шліфувальних інструментів і заготовок, запобігання перегріву, зниження температури під час процесу шліфування і забезпечення змащення для зменшення тертя.

2. Видалення стружки та пилу: Мокре шліфування допомагає видаляти стружку та пил, що утворюються під час обробки, покращуючи якість обробки та подовжуючи термін служби інструменту.

3. Зниження ризику деформації: Використання ЗОР допомагає запобігти деформації заготовки, особливо при обробці матеріалів, схильних до перегріву.

4. Покращена якість поверхні: Вологе шліфування сприяє отриманню більш гладких, якісно оброблених поверхонь завдяки зменшенню накопичення тепла і створенню кращих умов обробки.

Мокре шліфування широко використовується в різних галузях промисловості, включаючи металообробку, обробку скла, кераміки та інших матеріалів, де необхідно забезпечити високу якість обробки та уникнути перегріву.

Середовище, в якому відбувається шліфування, відіграє важливу роль у процесі обробки матеріалу і можуть бути сухими або вологими. При виборі між цими двома методами необхідно враховувати різні міркування та виробничі вимоги.

Мокре шліфування з використанням рідини або охолоджувальної рідини має кілька важливих переваг. Воно забезпечує ефективне охолодження і змащення абразивних зерен і обробного інструменту, запобігає перегріванню і забезпечує

тривалий термін служби інструменту. Вологе шліфування також допомагає видаляти пилю і стружку, покращує якість обробки і знижує ризик деформації заготовки.

Сухе шліфування, з іншого боку, має такі переваги, як економія ресурсів і спрощення обробки, оскільки не вимагає використання мастильно-охолоджувальної рідини. Однак при цьому також утворюється багато пилю, тому необхідно враховувати заходи безпеки для здоров'я працівників і навколишнього середовища.

Тому вибір між сухим і мокрим шліфуванням повинен враховувати конкретні виробничі потреби, властивості матеріалу та об'єктів, що обробляються, щоб забезпечити оптимальні умови для досягнення високої продуктивності та якості.

1.2. Види деталей та складних поверхонь, що потребують фінішної абразивної обробки.

Фінішна абразивна обробка є важливим етапом в виробництві різноманітних деталей, який має вирішальне значення для досягнення високої точності та якості в кінцевому продукті. В процесі виготовлення деталей з різних матеріалів, таких як метал, пластик чи кераміка, різноманітність їхніх форм та функціональних властивостей часто вимагає деталей великої точності та гладкості поверхні. Таким чином, розгляд аспектів, пов'язаних із фінішною абразивною обробкою, стає невід'ємною частиною технологічного процесу, спрямованого на виробництво високоякісних деталей.

Деталі, які піддаються фінішній абразивній обробці, можуть включати в себе широкий спектр виробів - від складних машинних компонентів до дрібних деталей для електроніки. Поверхнева якість грає важливу роль у забезпеченні правильної функціональності деталей, а також визначає їхній зовнішній вигляд. У зв'язку з цим, розуміння різних видів деталей, що піддаються фінішній абразивній обробці, є важливим аспектом в контексті вдосконалення технологічних процесів та досягнення високих стандартів якості в виробництві.

Ось деякі типи деталей, які часто потребують фінішної абразивної обробки:

1. Автомобільні металеві деталі: Поршні, циліндри, гідравлічні деталі тощо.

2. Медичні інструменти: Чутливі медичні інструменти, такі як ножиці, пінцети, стоматологічні інструменти, які вимагають високої гладкості та гостроти.
3. Шестерні та механічні передавальні пристрої: Високоточні шестерні та механічні передавальні компоненти для забезпечення ефективної роботи та мінімізації шуму.
4. Аерокосмічні компоненти: Деталі для авіаційної та аерокосмічної промисловості, де важлива легкість та точність деталей.
5. Інструменти для обробки деревини: Точно виготовлені ножі, фрези та інші інструменти для обробки деревини.
6. Шпиндельні частини: Шпиндельні частини для обладнання, які вимагають високої точності та стабільності обертання.
7. Оптичні лінзи та дзеркала: Точно виготовлені елементи для виробництва оптичних систем.
8. Електронні компоненти: Високоточні електронні компоненти, що використовуються в прецизійних приладах та обладнанні.
9. Хірургічні імплантати: Високоточні індивідуальні компоненти для хірургічних імплантатів.

У сучасному виробництві вимоги до точності та якості складних поверхонь стають все більш високими. З моменту створення виробів із складними формами та деталями, необхідність у використанні фінішної абразивної обробки стала визнаним стандартом. Споживачі вимагають не лише функціональність, але й бездоганний зовнішній вигляд виробів, що визначається якістю їхніх складних поверхонь.

Сучасні технології виготовлення деталей забезпечують створення виробів з найскладнішими геометричними формами та поверхнями, такими як конструкції для авіації, автомобілебудування, медичинські інструменти та інші високоточні вироби. Однак досягнення високої якості цих складних поверхонь без фінішної абразивної обробки є великим викликом через особливості їхнього створення та обробки. У цьому контексті розгляд різних видів складних поверхонь, що вимагають фінішної абразивної обробки, стає ключовим елементом в удосконаленні технологічних процесів та забезпеченні високих стандартів якості

виробів.

Ось деякі з найскладніших типів поверхонь, для яких часто потрібні фінішні абразиви:

1. Деталі, надруковані на 3D-принтері: 3D-друковані деталі мають шарувату структуру і можуть мати нерівну поверхню, яка потребує фінішної обробки для видалення шарів і поліпшення гладкості.

2. Деталі для медичних імплантатів: Деталі складної геометрії для медичних імплантатів, де точність і якість поверхні важливі для забезпечення сумісності з організмом.

3. Аеродинамічні компоненти для літаків і транспортних засобів: Складні поверхні для аеродинамічних компонентів, що використовуються в літаках і транспортних засобах для оптимізації аеродинамічного опору.

4. Оптичні компоненти складної форми: оптичні компоненти, такі як лінзи та дзеркала з нестандартною геометрією, що вимагають високої точності обробки.

5. Складні промислові форми: Компоненти промислових машин і пристроїв зі складною геометрією та внутрішніми каналами обтікання.

6. Мікроелектронічні компоненти: Деталі для виробництва мікроелектроніки з великою кількістю дрібних деталей та крапель.

7. Складні зубчасті шестерні: Виготовлення високоточних шестерень зі складною формою зубців.

8. Біометричні інструменти: Деталі для складних біометричних пристроїв, де важлива точність та ергономіка.

1.3. Сучасні тренди способів фінішної обробки шліфуванням, включаючи ЧПК.

У світі виробництва, де якість та точність є ключовими аспектами, фінішна обробка шліфуванням стає вирішальним етапом для створення високоякісних та естетичних виробів. Сучасні тенденції у цій галузі відображають важливі кроки у напрямку використання передових технологій, які полегшують та удосконалюють цей процес.

Щоденно ми оточені виробами, які вражають не лише своєю функціональністю, але й неперевершеним виглядом. Завдяки використанню комп'ютерно-чисельного керування (ЧПК), виробництво стає більш ефективним та гнучким. Технології стають нашими союзниками у творенні деталей, що вражають своєю докладністю та ідеальною поверхнею.

У цьому науковому дослідженні ми розглянемо не лише новітні техніки шліфування, але й спробуємо відчутти дух інновацій та високих технологій, які змінюють обличчя цієї важливої галузі виробництва. Дізнаємося, як сучасні тренди, включаючи ЧПК, формують майбутнє фінішної обробки та як це впливає на те, що потрапляє до наших рук та повсякденного використання.

Сьогодні фінішна обробка шліфуванням переживає епоху новаторства, адже технологічний прогрес надає цьому процесу нові можливості та ефективність. Один із головних трендів - використання комп'ютерно-чисельного керування (ЧПК) - відкриває двері для нового рівня точності, гнучкості та автоматизації в області фінішної обробки.

1. Точність та Повторюваність: Впровадження ЧПК дозволяє досягати неймовірної точності в кожному кроці шліфування. Системи автоматизованого керування робочими інструментами забезпечують повторюваність, що особливо важливо при обробці великої кількості деталей.

2. Гнучкість та Адаптивність: ЧПК дозволяє швидко змінювати програми обробки відповідно до різних потреб та матеріалів. Це дозволяє виробникам адаптувати процес до різних виробничих завдань без значних затримок та втрат часу.

3. Складні Геометрії та 3D-моделювання: Сучасні системи ЧПК можуть працювати з складними 3D-моделями, виготовляючи вироби зі складною

геометрією та нестандартною формою без втрати точності.

4. Оптимізація Швидкості та Продуктивності: Автоматизоване керування шліфувальними процесами дозволяє оптимізувати швидкість обробки, зменшуючи час виготовлення та підвищуючи загальну продуктивність.

5. Моніторинг та Керування за Допомогою Даних: Використання сучасних систем ЧПК дозволяє збирати дані про процес обробки, використовуючи їх для моніторингу якості та вчасного виявлення можливих несправностей.

6. Екологічна Свідомість: Сучасні системи ЧПК спрямовані на оптимізацію використання ресурсів, що сприяє підвищенню екологічної ефективності виробництва шляхом зменшення відходів та використання ефективних матеріалів.

Ці тренди відображають важливий крок уперед у розвитку фінішної обробки шліфуванням, зробленої завдяки інтеграції високотехнологічних рішень у виробничий процес.

Розділ 2. Дослідження прогресивних методів абразивної обробки

Проведено аналіз сучасного стану проблеми підвищення якісних параметрів кілець роликотідшипників в умовах серійного переналагоджувального виробництва. Розглянуто особливості та структура технологічних процесів підшипникового виробництва, наведено характер взаємозв'язків між конструктивними особливостями деталей підшипників та структурою технологічних процесів.

На рис. 1 показано взаємозв'язки показників процесу шліфування з чинниками, які впливають на ефективність шліфування та якісні показники шліфованих поверхонь.

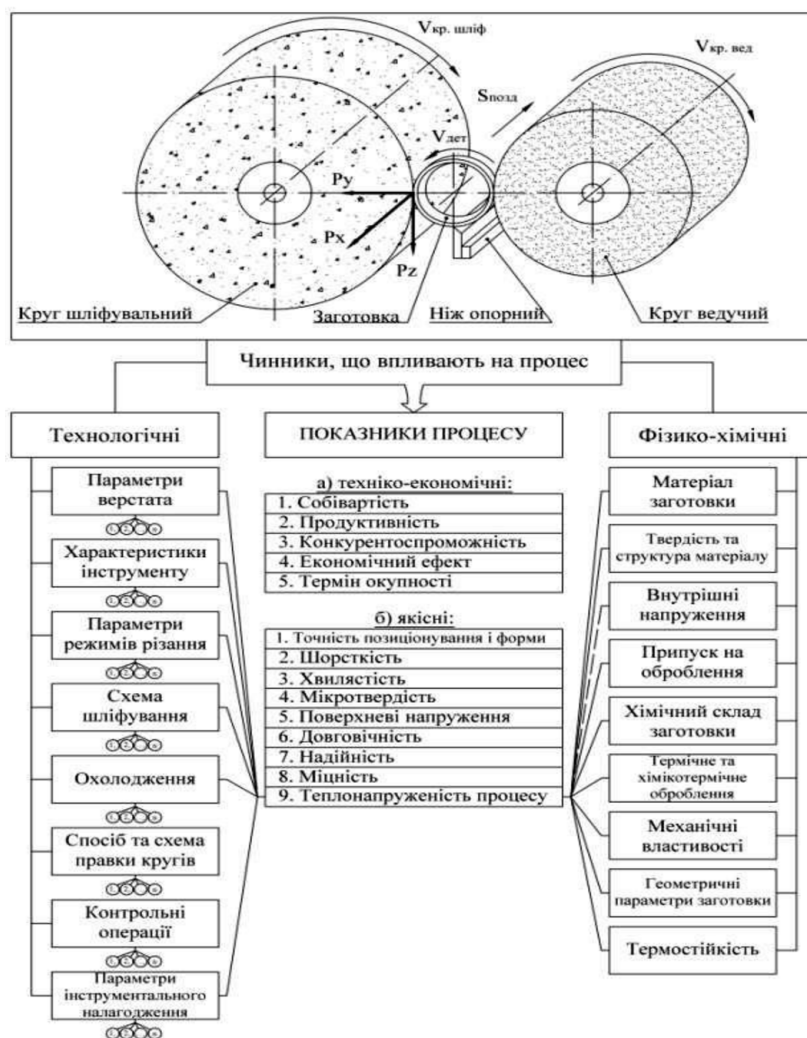


Рис. 1. Чинники та показники операцій шліфування кілець роликотідшипників

На підставі аналізу літературних джерел та виробничого досвіду розглянуто причини виникнення та характеристика виробничих дефектів, що

спостерігаються під час операцій безцентрового шліфування циліндричних поверхонь кілець роликотідшипників. Встановлено, що найпоширенішими дефектами, що виникають під час шліфувальних операцій деталей роликотідшипників є температурні дефекти, а також ті, що пов'язані з вимогами до якості поверхонь деталей. Причинами виникнення температурних дефектів є складний характер взаємозв'язків між режимами механічного оброблення, температурою, що виділяється в зоні різання, та фізико-механічними характеристиками оброблених поверхонь. Особливо актуальними ці взаємозв'язки є для шліфувальних операцій.

Аналізуючи схему (рис. 1) можна зробити висновок, що на показники ефективності та якості шліфування впливає множина чинників, які можна розділити на дві групи – технологічні, які пов'язані з процесом оброблення та фізико-хімічні, які характеризують властивості шліфованої заготовки. Основним завданням дослідження було встановити взаємозв'язки між множинами конструкторсько-технологічних чинників, що впливають на техніко-економічні показники процесу і на параметри якості та точності шліфованих поверхонь, як результат реалізації технологічного процесу

При аналізі наукових робіт учених, до яких слід віднести: П.І. Ящеріцина, Є.Н. Маслова, О.В. Якімова, В.П. Ларшина, В.М. Вerezуба, В.А. Сипайлова, Л.М. Філімонова, Ю.Н. Полянчикова, Ю.В. Петракова, В.Г. Лебедева, В.І. Марчука, С.С. Шахновського, П.Р. Родіна, В.М. Сухарева, А.В. Корольова, А.М. Баландіна, створені наукові основи процесу шліфування, розроблені технологічні методи абразивного оброблення, що широко й успішно застосовуються в різних галузях машинобудування. Цими роботами і досвідом підприємств наведено широкі можливості процесів шліфування щодо забезпечення високої якості деталей машин при обробленні. Разом з тим, недостатньо досліджень спрямовано на вивчення потенційних можливостей процесу переривчастого шліфування, який дозволяє значно підвищити продуктивність, стабілізувати якість внаслідок зменшення теплонапруженості процесу. Сформульовано мету та задачі дослідження

У другому розділі на підставі відомих підходів до моделювання температури під час безцентрового шліфування, запропоновано підхід до моделювання теплових процесів в зоні різання під час шліфувального оброблення поверхонь обертання кілець роликотідшипників.

Для моделювання теплових процесів в зоні різання прийнята умова, що за час впливу теплового потоку q відбулося перерізування сегмента довжиною l_0 проміжок часу в результаті різання виділилась певна кількість тепла Q_0 (де l_0 – за цей швидкість перерізування сегмента, м/с) (рис. 2).

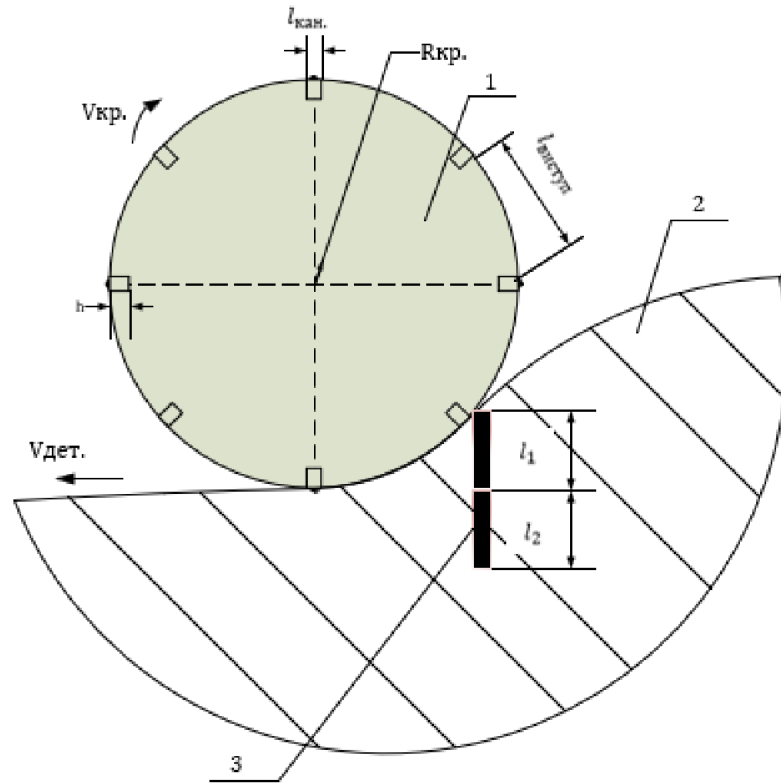


Рис. 2. Розрахункова схема теплопровідності в зоні шліфування переривчастим кругом: 1 – шліфувальний круг; 2 – деталь (заготовка); 3 – адіабатичний стержень

Ця температура використовується на нагрівання сегмента довжиною l_2 за рахунок теплопровідності оброблюваної деталі (витрачена кількість тепла Q_2). (1)

В результаті перетворень рівність (1) можна представити у вигляді

$$Q = Q_1 + Q_2$$

диференційного рівняння за температурою:

$$\theta_2' \cdot \theta_2 + A \cdot \theta_2 = B, \quad (2)$$

де $AA = \frac{w_{\text{різ}} \cdot NN}{2}$; $BB = \frac{NN}{2}$; NN – потужність теплового джерела, Вт; $\lambda\lambda$ – коефіцієнт

=

$$\frac{\lambda\lambda SS}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot SS^2}$$

теплопровідності деталі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{°C}$; c – питома теплоємність деталі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; $\rho\rho$ –

густина матеріалу деталі, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; SS – площа поперечного перерізу сегмента, м^2 .

Після виконання певних перетворень розв'язок диференціального

рівняння (2) буде мати наступний вигляд:

$$\theta = \frac{B}{A} \cdot \left[1 - e^{-\frac{A^2}{B} \left(\tau + \frac{\theta}{A} \right)} \right]. \quad (3)$$

Як бачимо із залежності (3), характер зміни температури $\theta\theta$ від часу дії теплового потоку $\tau\tau$ підпорядковується складній закономірності, через те, що температура $\theta\theta$ є в лівій і в правій частині залежності (рис.3.).

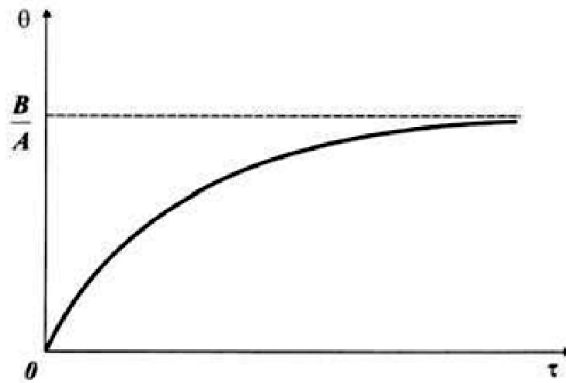


Рис. 3. Залежність величини температури θ від часу дії теплового потоку τ
 В результаті проведених перетворень отримаємо:

1 Таблица 1

Розрахункові значення безрозмірної величини ll

$\omega\omega$	0,095	0,172	0,323	0,54	0,687	0,814	0,89	0,9	0,999	0,9999
1	0,004	0,015	0,072	0,193	0,368	1,0477	1,4	2,005	3,6	6,0

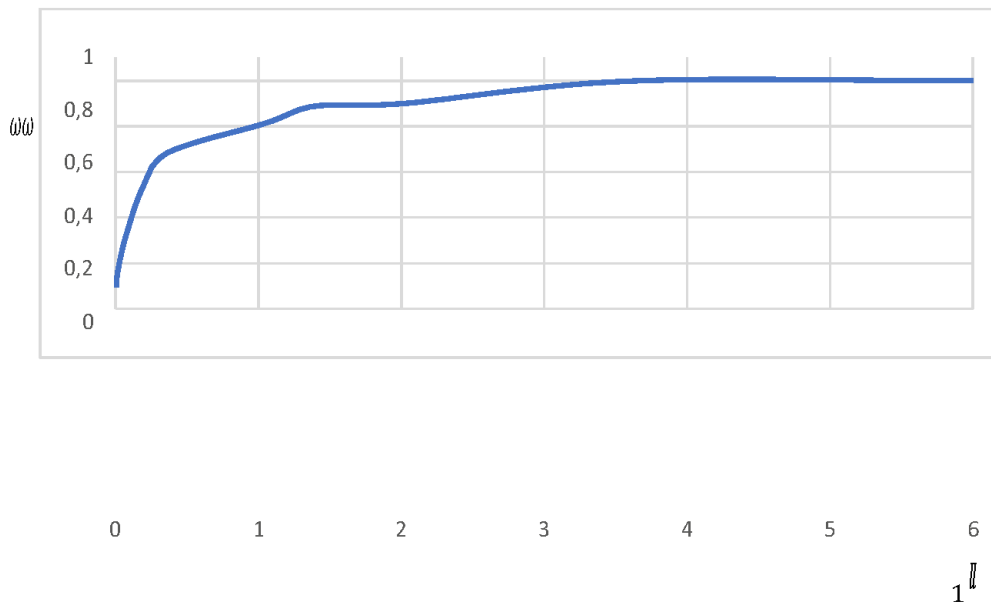


Рис. 4. Залежність показника приведеної температури $\omega\omega$ від параметра ll
 З рис. 3 можна зробити висновок, що чим більша безрозмірна величина

В результаті проведених теоретичних досліджень, отримано аналітичну залежність, що дозволяє в явному вигляді виразити температуру в зоні різання, через параметри процесу шліфування, такі як товщина шару, що піддається тепловому впливу, який складається з поверхневого шару обробленої деталі та зрізаного припуску, швидкості переміщення теплового джерела в глибину поверхневого шару деталі, умовного напруження різання й фізико-механічних

характеристик матеріалу заготовки.

Отримані залежності створюють передумови прогнозування шляхів та способи зменшення температури шліфування на етапі технологічного проектування переналагоджувального підшипникового виробництва. Встановлено, що зі збільшенням показника приведеної температури $\omega\omega$ для умов безцентрового шліфування кілдець роликотідшипників кількість тепла, яке переходить в стружку, збільшується, наближаючись до 70%, а кількість тепла, що переходить в адіабатичний сегмент, зменшується, наближаючись до 30%.

На підставі теоретичного підходу до розрахунку теплового балансу під час безцентрового шліфування, визначені основні умови зменшення температури і відповідно підвищення якості оброблення, які полягають в зменшенні кількості тепла, що передається в деталь та збільшення кількості тепла, що передається в стружку, за рахунок зменшення величини припуску, швидкості переміщення теплового джерела в глибину поверхневого шару і застосування переривчастих шліфувальних кругів.

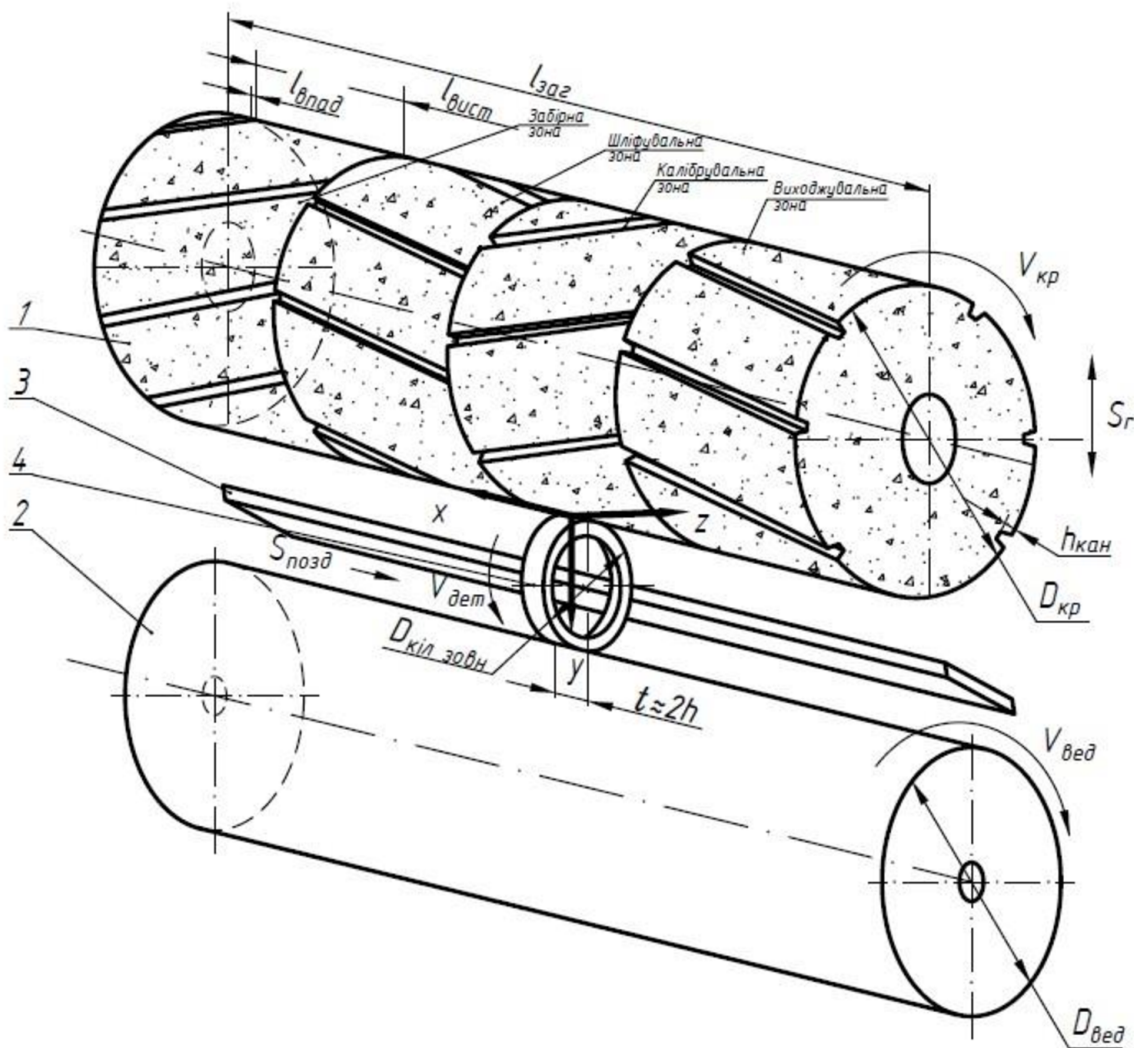


Рис. 5. Розрахункова схема утворення нескінченного сегментоподібного теплового джерела: 1 – шліфувальний круг; 2 – ведучий круг; 3 – ніж опорний; 4 – заготовка

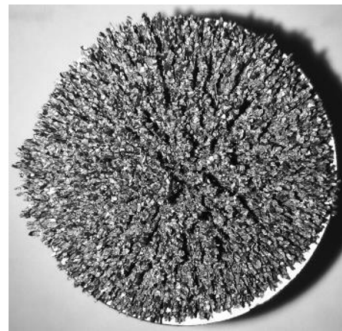
2.1. Точність та забезпечення якості поверхні надскладних виробів абразивною обробкою.

В якості основних елементів робочих головок були розглянуті можливості використання потужних неодимових магнітів у вигляді циліндра діаметром 40 мм і висотою 20 мм і двох кільцевих циліндрів однакової висоти, вставлених один в одного так, щоб вони були орієнтовані на робочу поверхню з протилежними полюсами. Типовий вигляд розташування магнітного абразивного порошку на робочій поверхні головок торцевого типу показаний на малюнку 1. Умовно головки були названі за зовнішнім виглядом МАІ, сформованого на робочій поверхні у вигляді полутора з пензлем.

На першому етапі вивчалася зміна величини магнітної індукції – B в залежності від відстані від робочої поверхні головок. Результати, отримані для максимального значення магнітної індукції, наведені на рисунку 2. Показано, що зі збільшенням відстані від робочої поверхні величина магнітної індукції зменшується відповідно до залежностей, близьких до лінійних. При цьому швидкість зниження значення B для щіткової головки вона становить 0,0228 Т/мм, а для секводоносного горизонту – 0,0335 Т/мм. Така різниця в характері зменшення магнітного потоку пов'язана як зі ступенем намагнічування магнітів, так і з особливостями розподілу магнітних силових ліній поблизу торцевої поверхні головок.



а) півтора



б) Пензлик

Рис. 1. Розташування порошку на робочих поверхнях робочих головок після циклу МАО ферромагнітних деталей

На другому етапі були випробувані головки з гладкою робочою поверхнею з МАІ виду полуторної щітки на робочих зазорах (висота МАІ) 2 і 3 мм.

Випробування робочих головок проводилися при частоті обертання головок 900 об/хв, швидкість подачі

10 мм/хв. В якості магнітно-абразивного порошку використано феррокарту з розміром частинок 630/400 мкм. В якості оброблюваного матеріалу використовувалася попередньо фрезерована деталь зі сталі 45 з $Ra = 0,9-1$ мкм.

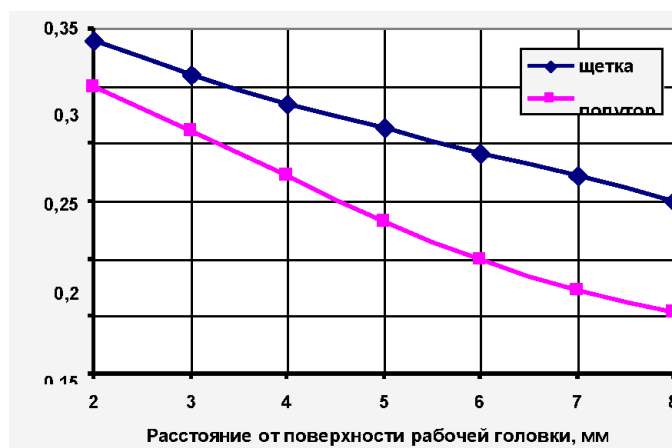


Рис. 2. Зміна величини магнітної індукції в залежності від відстані від робочої поверхні головок

Зауважимо, що ця шорсткість вимірювалася в напрямку, який збігався з напрямком подачі під час фрезерування. Результати представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зміна параметра Ra після MAO головками з MAI різної висоти і різною магнітною індукцією в робочому зазорі

Тип MAI	Висота MAI, мм	Магнітна індукція в робочому зазорі, Т	Ra_{ref} , мкм	ΔRa , мкм	$\Delta Ra/Ra_{ref}$
Півтора	3	0,26	0,95	0,17	0,18
	2	0,3	0,9	0,16	0,18
Щітка	3	0,305	1	0	0
	2	0,34	0,99	0,02	0,02

Спостереження за особливостями поведінки MAI при реальній обробці показали, що не виконується друга головна умова забезпечення ефективного MAI – відсутнє достатнє відносне зміщення MAI і оброблюваної поверхні. Зафіксовано переважний рух MAI по поверхні головок, що призвело в основному до обробки її робочої поверхні та нагрівання. Ці ефекти не допускаються. Забезпечити виконання другої основної умови ефективного MAO запропоновано використовувати різні форми робочої поверхні магнітних головок: з кільцевим виступом по периферії головки, з радіальними радіальними виступами і групою радіально розташованих пірамідальних виступів висотою 2–3 мм (рис. 1). 2).

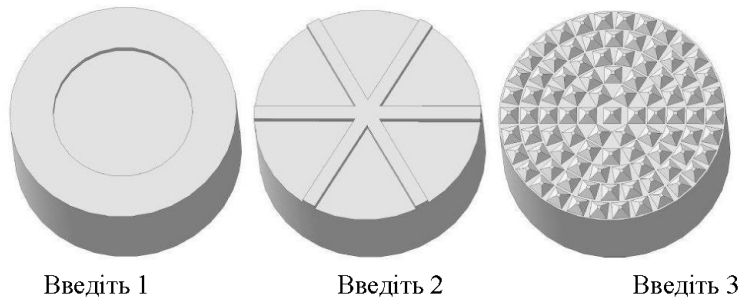


Рис. 3. Конструкції робочих поверхонь магнітних головок

Результати експериментальних випробувань представлені в таблиці 2. Показано, що вже при наявності кільцевого виступу на периферії робочої поверхні головки (тип 1) проявляється різке підвищення ефективності процесу MAO за рахунок обмеження зони активної обробки і створення зон глушіння при формуванні МАІ. Причому для головки, в якій використовуються два кільцевих магніту (полуторний), ефект заклинювання більш виражений. Для щіткоподібної головки МАІ найкращі результати досягаються при робочому зазорі 4 мм. Збільшення і зменшення робочого зазору призводить до незначного зниження ефективності MAO. Застосування робочих поверхонь другого і третього типів на головках, що утворюють МАІ у вигляді полутора, призвело до негативних результатів, так як утворилися виступи призводили до розриву, що утворився по кільцю МАІ між протилежними полюсами магнітів, і третя умова не виконувалася.

Таблиця 2

Зміна параметра Ra після MAO різними магнітними головками

Тип робочої поверхні головок	Тип МАІ	Висота МАІ, мм	Ra_{ref} , мкм	ΔRa , мкм	$\Delta Ra/Ra_{ref}$
1	Півтора	4	0,89	0,75	0,84
		3	0,95	0,85	0,89
	Щітка	4	0,83	0,74	0,89
		3	0,72	0,57	0,79
2	Півтора	4	1,24	0,62	0,5
	Щітка	4	1,29	1,1	0,85
3	Півтора	4	0,67	0,19	0,28
			1,57	1,42	0,9
	Щітка	4	0,77	0,7	0,91

Отримані результати показали, що перспективним напрямком у створенні конструкцій головок з МАІ щіткового типу будуть ті, що мають виступи різної форми, нанесені на робочу поверхню. У той же час такі головки будуть ефективні в тому випадку, коли $\Delta Ra/R_{ref} > 0,85$. Виступи, нанесені на робочу поверхню, забезпечують виконання другої та третьої умов для забезпечення ефективного процесу MAO.

На третьому етапі дослідження було проаналізовано вплив величини магнітного потоку в робочому зазорі та висоти MAO на ефективність MAO. Для цієї мети в якості базової конструкції голови був обраний полоторний з робочою поверхнею першого типу. Висота кільцевого виступу, розташованого на периферії голови, коливалася від 0 до 6 мм, величина зазору між оброблюваною поверхнею і поверхнею виступу становила 1, 2 і 3 мм, що дозволяло змінювати величину робочого зазору і висоту МАІ від 2 до 9 мм і, відповідно, величину магнітної індукції в зоні обробки від 0,1 до 0,3 Тл. Крім того, величина Ra контролювалася в перпендикулярному напрямку – напрямку, перпендикулярному вектору подачі торцевої фрези. Характер зміни величини $\Delta Ra/R_{ref}$ в залежності від величини магнітної індукції в зоні обробки показаний на рисунку 4.

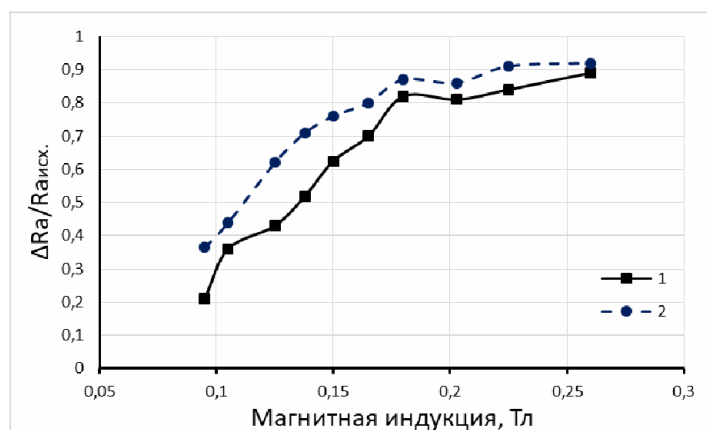


Рис. 4. Зміна відносної шорсткості – $\Delta Ra/Ra_{ref}$ в залежності від величини магнітної індукції в робочих зазорах. 1 - параметр $\Delta Ra/Ra_{ref}$, отриманий при вимірюваннях в тому ж напрямку, що і фрезерна подача, 2 - параметр $ref \Delta Ra/Ra$, отриманий при вимірюваннях в напрямку, перпендикулярному вектору подачі торцевої фрези

Аналіз отриманих результатів показав, що при обробці плоских поверхонь з феромагнітних матеріалів величина магнітної індукції в зонах обробки повинна бути не менше 0,18 Т в робочих зазорах, вільних від порошку. Слід зазначити, що нижня межа робочого зазору буде визначатися розміром частинок магнітного абразивні порошки. Наприклад, для порошоків, що використовуються в описаних вище дослідженнях, ця межа становить 2-2,5 мм.5). Ця величина пов'язана з поширенням квазістійких репрезентативних об'ємів, з яких формується МАІ [2]. З більш дрібнодисперсними порошковими матеріалами робочий зазор може бути зменшений до 1-1,5 мм.

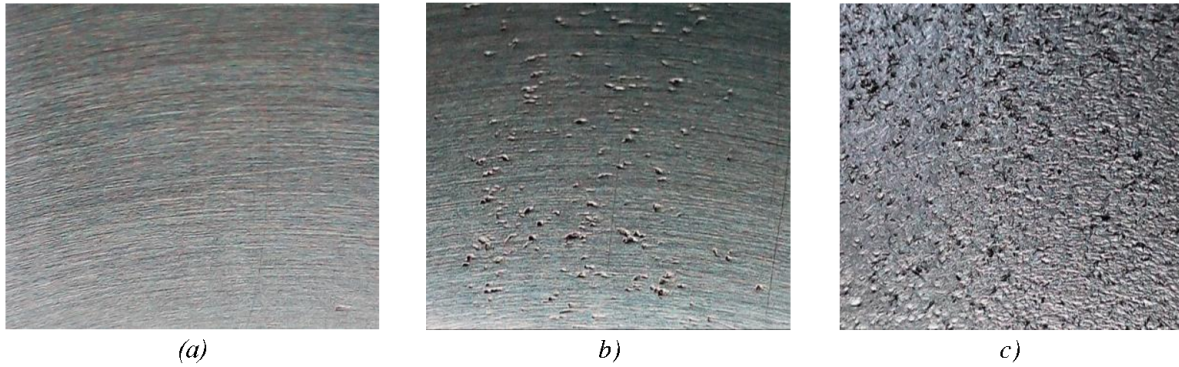


Рис. 5. Фотознімки поверхонь зразків зі сталі 45 після MAO ($x4$) з порошком *Ferromar* (630/400 мкм) з робочим зазором: а) – 3,5 мм, б) – 2,5 мм, в) – 1,5 мм

проаналізовано вплив другого та третього типів робочих головок з висотою МАІ 4 та 5 мм у вигляді щітки на MAO зразків зі сталі 45. Отримані результати порівнювали з лікуванням головками, що утворюють МАІ у вигляді півтора. Експериментальні дані представлені в таблиці 3.

Аналіз отриманих результатів показав, що нанесені на робочу поверхню магнітних головок виступи, які утворюють МАІ щіткового типу, не тільки забезпечують виконання другого і третього умов ефективного процесу MAO, але і дозволяють після фрезерування і подальшого MAO сформувати шорсткість поверхні на рівні 0,06-0,15 мкм при початковій шорсткості $Ra = 0,7-1,6$ мкм. Причому, чим нижче початкова шорсткість, тим менше шорсткості утворюється після MAO. У разі, коли початкова шорсткість не перевищувала $Ra = 0,7$ мкм, в процесі MAO практично повністю усунули поверхневу хвилястість, що утворилася на стадії кінцевого фрезерування.

Тип робочої поверхні головок	Тип МАІ	Висота МАІ, мм	Ra_{ref} , мкм	ΔRa , мкм	$\Delta Ra/Ra_{ref}$
2	Півтора	5	0,92	0,34	0,37
		4	1,24	0,62	0,5
	Щітка	5	1,29	1,1	0,85
		4	1,29	1,1	0,85
3	Півтора	5	0,77	0,28	0,36
		4	0,67	0,18	0,27
	Щітка	5	1,55	1,4	0,9
		4	1,57	1,42	0,9

Показано, що застосування магнітних головок третього типу є кращим, оскільки забезпечує найвищий ККД, що проявляється у значеннях $\Delta Ra/Ra_{ref} \geq 0,9$. Отримані результати практично ідентичні як при аналізі зміни параметра Ra , одержуваного при вимірюванні в напрямку, що збігається з подачею при фрезеруванні, так і при вимірюванні в напрямку, перпендикулярному вектору подачі торцевої фрези при підготовці поверхонь під МАО. Важливо відзначити, що необхідно провести додатковий ряд досліджень впливу як форми виступів, так і їх щільності на робочу поверхню магнітних головок на ефективність процесу МАО.

Крім того, вивчено вплив частоти обертання головок в діапазоні 510-1400 об/хв з робочою поверхнею третього типу. Встановлено, що в зазначеному діапазоні швидкостей напору спостерігається незначне збільшення величини $\Delta Ra/Ra_{ref}$ від 0,9 до 0,94 зі збільшенням частоти обертання. При цьому шорсткість феромагнітних плоских поверхонь, оброблених методом МАО, стабільна на рівні $Ra = 0,03-0,07$ мкм.

Дослідження різних магнітних гнізд кінцевого типу на потужних постійних магнітах показали, що на робочу торцеву поверхню головок доцільно наносити виступи різної форми, які забезпечують проведення феромагнітних плоских поверхонь МАО з високим ККД, що характеризувалося величиною відносної зміни параметра шорсткості - $\Delta Ra/Ra_{ref} > 0,85$. Найкращі результати були отримані при наявності магнітних зазорів менше 5 мм на торцевих головках, які в процесі МАІ утворюють магнітно-абразивний інструмент у вигляді щітки з робочими поверхнями, на які нанесені виступи у вигляді групи пірамід. Показано, що при початковій шорсткості поверхні після торцевого фрезерування $Ra = 0,7-1,5$ мкм можна отримати шорсткість поверхні після МАО з $Ra < 0,05$ мкм без хвилястості, що утворюється на етапі подрібнення. Встановлено, що при частоті обертання торцевих магнітних головок в діапазоні 510-1400 об/хв відбувається незначне збільшення величини $\Delta Ra/Ra_{ref}$ з 0,9 до 0,94 зі збільшенням швидкості обертання, а шорсткість оброблюваних поверхонь $Ra = 0,03-0,07$ мкм.

2.2. Результати магнітно-абразивної обробки інструментальних матеріалів як перспективна технологія.

Магнітно-абразивна обробка інструментальних матеріалів є актуальним напрямком в сучасній технології, вивчення якого спрямоване на досягнення ефективного підвищення якості та тривалості інструментів. Ця технологія використовує магнітні поля для створення рухомого абразивного середовища, яке забезпечує точну обробку поверхонь матеріалів.

У рамках літературного огляду можна визначити ряд ключових аспектів, які визначають перспективність магнітно-абразивної обробки інструментальних матеріалів. По-перше, ця технологія дозволяє досягти високої точності обробки, що важливо для виготовлення інструментів з високими технічними вимогами.

По-друге, магнітно-абразивна обробка забезпечує однорідність обробки поверхні інструментів, що дозволяє уникнути появи дефектів та підвищити їхню довговічність. Це особливо важливо для виробництва інструментів, призначених для високонавантажених умов.

По-третє, магнітно-абразивна обробка може бути ефективно використана для поліпшення властивостей матеріалів, таких як міцність, твердість та стійкість до зношування. Це може призвести до розширення спектру застосування інструментів та покращення їхньої продуктивності.

Наукові дослідження в галузі магнітно-абразивної обробки інструментальних матеріалів також акцентують увагу на вивченні оптимальних параметрів процесу, відповідно до конкретних властивостей матеріалів. Це сприяє вдосконаленню технології та розширенню області її застосування.

Процес формування шорсткості досліджувався в два етапи. На першому етапі порівнювалися працездатності (забезпечення найменшої шорсткості) порошків композиційних магнітно-абразивних матеріалів і знаходилися області оптимальних режимів обробки. У вибраних порошках марки Ж15КТ, ПОЛІМАМ-Т1 і ПОЛІМАМ-М1 абразивної складової є тугоплавкі з'єднання (карбіди, борид, карбонітриди) перехідних металів IV-V груп періодичної системи елементів, які відрізняються вищими абразивними властивостями і ступенем взаємодії з магнітною основою в порівнянні зі звичайними абразивами - карбідами кремнію, бору, електрокорунда та ін. Основні характеристики композиційних порошків наведені в роботі [2]. Як випробовувані зразки служили кільця із сплавів 80НХС, 81НМТ, 50НХС

Таблиця 1 - Досліджувані фактори і рівні їх варіювання

Фактор	Кодове позначення фактора	Рівень варіювання		
		-1	0	+1

Магнітна індукція в робочому зазорі В,Т	X1	0,5	1,0	1,5
Частота обертання деталі n об/хв	X2	800,0	1000,0	1200,0
Частота осциляції n _o дв.хд/хв	X3	500,0	600,0	700, 0
Робочий зазор n, мм	X4	1,0	1,5	2, 0

Початкова шорсткість поверхні вимірювалася на профілографі-профілометрі моделі 252 і відповідала параметру $Ra = 0,25$ мкм.

За критерій оцінки абразивної здатності порошків, при виконанні першого етапу досліджень, було прийнято зменшення шорсткості за 1 хв. При цьому змінювали два параметри магнітно-абразивної обробки: частоту обертання зразка і магнітну індукцію в робочому зазорі. При обробці на режимах, що характеризуються швидкістю $v = 100$ м/хв і магнітною індукцією $B = 0,75$ Т і $1,5$ Т, отримані відповідно наступні параметри шорсткості: для порошку Ж15КТ (розміри частинок $A = 63...250$ мкм) $Ra = 0,025...0,044$ мкм, а для порошків ПОЛІМАМ-Т1 і ПОЛІМАМ-М1 ($A = 200...400$ мкм) - $Ra = 0,075...0,085$ мкм. Із збільшенням швидкості обробки до 125 м/хв для порошку Ж15КТ ($A = 10...60$ мкм) отримано значення $Ra = 0,035...0,055$ мкм, а для порошків ПОЛІМАМ-Т1 і ПОЛІМАМ-М1 ($A = 63...200$ мкм) - $0,022-0,070$ мкм.

За наслідками проведених експериментів можна стверджувати, що мінімальна шорсткість поверхні ($Ra = 0,022... 0,025$ мкм) в діапазоні швидкостей $v = 100... 125$ м/хв отримана при обробці порошком ПОЛІМАМ-Т1 ($A = 63...200$ мкм).

Таблиця 2 - Матриця планування та результати експериментів

№ досліджу	x_0	$B(x_1)$	$n(x_2)$	$n_0(x_2)$	$\delta (X_4)$	Y1	Y2
1	+1	-1	-1	-1	-1	0.0233	0.0223
2	+1	+1	-1	-1	+1	0.0273	0.0251
3	+1	-1	+1	-1	+1	0.0165	0.0205
4	+1	+1	+1	-1	-1	0.0222	0.0236
5	+1	-1	-1	+1	+1	0.0235	0.0250
6	+1	+1	-1	+1	-1	0.0250	0.0236
7	+1	-1	+1	+1	-1	0.0190	0.0210
8	+1	+1	+1	+1	+1	0.0251	0.0278
9(Нульовий)		0	0	0	0	0.0268	0.0251

Вибір порошку дозволив перейти до пошуку оптимальної області

режимів обробки.

На другому етапі досліджень процес обробки описувався за допомогою лінійної моделі, яка надалі служила для відшукування області оптимуму методом крутого сходження. Досліджувані чинники і рівні їх варіювання дані в табл. 1, при цьому були стабілізовані амплітуда осциляції $A = 2$ мм, початкова шорсткість ($Ra = 0,25$ мкм), час обробки ($t = 1$ хв). Як МОР застосовувалося мастило 10-5%-ний АКВОЛ.

Таблиця 3 – Порівняльна таблиця

№ досліду	\bar{y}	S_u^2	\hat{y}	$(y - \hat{y})^2$	Шар металу, що знімається
1	0.0228	$0.5 \cdot 10^{-6}$	0.0226	$4 \cdot 10^{-6}$	92.2
2	0.0262	$2.4 \cdot 10^{-6}$	0.0262	0	100.3
3	0.0185	$8 \cdot 10^{-6}$	0.0202	$2.89 \cdot 10^{-6}$	61.1
4	0.0229	$0.98 \cdot 10^{-6}$	0.0238	$0.81 \cdot 10^{-6}$	87.8
5	0.0243	$1.1 \cdot 10^{-6}$	0.0262	$2.7 \cdot 10^{-6}$	91.7
6	0.0243	$0.98 \cdot 10^{-6}$	0.0262	$3.6 \cdot 10^{-6}$	60.9
7	0.0200	$1 \cdot 10^{-6}$	0.0202	$4 \cdot 10^{-6}$	78.0
8	0.0265	$3.4 \cdot 10^{-6}$	0.0238	$7.3 \cdot 10^{-6}$	72.4
9(Нульовий)	0.02595	$1.5 \cdot 10^{-6}$	0.0232	$7.5 \cdot 10^{-6}$	66.9

2.3. Розрахунок режимів шліфування, основні критерії та параметри.

Для знаходження лінійної моделі використовувався план 1-го порядку - дробовий факторний експеримент типу 2^{4-1} [2]. Матриця планування і результати експериментів наведені в табл. 2.

Гіпотеза про однорідність дисперсій перевірялася за G-критерієм Кохрена.

Значення цього критерію визначалося за формулою:

$$G_{\text{прог}} = \frac{S_{u \text{ max}}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}$$

де $S_{u \text{ max}}^2$ - максимальне значення дисперсій для даних S_u^2 дисперсія дослідів;

для кожної u -ї серії дослідів ($u = 1, 2, \dots, N$). Порівнюємо розрахунковий і табличний критерій при рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числі степені свободи $f = n - 1$:

$$G_{\text{дод}} = 0,639 > G_{\text{дт}} = 0,403$$

Як видно, гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, і, отже, модель однорідна.

Гіпотеза про адекватність результатів експерименту, представленого рівнянням регресії, перевірялася з допомогою критерії Фішера:

$$F = \frac{S^2}{S_{\text{дт}}^2}, \quad (1)$$

звідси середньоквадратична помилка досвіду S^2 $S_{\text{дт}} = \frac{\sum S_{\text{дт}}^2}{N} = 246 \cdot 10^{-6}$. При цьому

середньоквадратична помилка коефіцієнтів шуканої моделі буде $S^2 = S_{\text{дт}}^2$, де n -

число серій дослідів у даному плані, або всіх коефіцієнтів регресії: $S_{\text{дт}}^2 = 0,3939 \cdot 10^{-6}$. Тоді довірчий інтервал для

$$\Delta b_i = \pm t S_{\text{дт}} = \frac{\pm t S_{\text{дт}}}{\sqrt{Nn}} = 0,0009318$$

Таким чином, у результаті математичної обробки виявилось, що коефіцієнти b_3 і b_4 менші від довірчого інтервалу, тобто вони незначущі.

Обчислюючи критерій Фішера за формулою (1) і порівнюючи його з табличним, укладаємо, що аналізована модель адекватно описує результати експериментів, отже, \hat{y} за точністю не гірше від експериментальних y (табл. 3).

Розділ 3. Технічні засоби покращення шліфувальних технологій

Технічні засоби, використовувані для магнітно-абразивної обробки, відіграють вирішальну роль у досягненні високої ефективності та точності процесу. Одним з ключових елементів є магнітна система, що створює магнітне поле для управління рухом абразивів. Застосування сучасних електромагнітних систем дозволяє регулювати інтенсивність магнітного поля, а це в свою чергу впливає на швидкість та напрямок руху абразивів, оптимізуючи процес обробки.

Для покращення шліфувальних технологій також використовують спеціальні абразиви, які піддаються магнітній поляризації. Це дозволяє досягти більшої однорідності розподілу абразивів під час обробки, що в свою чергу забезпечує однаковий ступінь зносостійкості інструментального матеріалу на всій поверхні.

Для досягнення оптимальних результатів в магнітно-абразивній обробці необхідно активно використовувати методи вимірювання та контролю параметрів процесу. Сучасні системи контролю можуть надавати реальночасну інформацію про інтенсивність магнітного поля, швидкість руху абразивів та інші важливі параметри. Це дозволяє операторам точно налаштувати обладнання для досягнення заданих характеристик обробки.

Крім того, важливо використовувати точні методи вимірювання геометричних параметрів оброблюваних інструментів. Використання оптичних та лазерних систем вимірювань дозволяє отримати високу точність та роздільну здатність при оцінці геометричних параметрів інструментів, таких як форма, розмір та поверхнева шорсткість.

Автоматизація магнітно-абразивної обробки грає важливу роль у покращенні шліфувальних технологій. Використання програмованих систем управління дозволяє не тільки ефективно керувати процесом обробки, але і забезпечити його повторюваність та стабільність. Автоматизовані системи можуть реагувати на зміни в параметрах обробки в реальному часі, забезпечуючи оптимальні умови для кожної конкретної задачі.

Застосування роботизованих систем управління дозволяє автоматизувати процес переміщення інструментів, забезпечуючи точність і швидкість обробки. Це також сприяє зменшенню втрат часу та ефективнішому використанню робочого часу.

Досягнення в галузі магнітно-абразивної обробки визначаються не лише технічними засобами, але й інноваційними матеріалами. Використання нових абразивів, які мають покращені властивості стійкості та зносостійкості, може значно підвищити ефективність обробки.

Зокрема, застосування наноматеріалів у вигляді абразивів може призвести до покращення якості обробки та збільшення тривалості служби інструменті

3.1. Пропозиції удосконалення технологічного обладнання для шліфування і полірування

Шліфування і полірування є важливими етапами обробки матеріалів у виробництві, і ефективне використання технологічного обладнання в цих процесах може значно покращити якість та продуктивність виробництва. У цьому розділі розглянемо пропозиції щодо удосконалення технологічного обладнання для шліфування і полірування з метою досягнення кращих результатів та оптимізації виробничих процесів.

Однією з ключових пропозицій удосконалення технології є використання абразивів нового покоління, зокрема, наноматеріалів. Наноабразиви володіють високою абразивністю та рівномірністю розміщення на поверхні, що дозволяє досягти виняткової якості обробки. Такі матеріали спроможні покращити точність форми оброблюваних виробів та зменшити кількість дефектів на їхній поверхні.

Впровадження автоматизованих систем контролю є ще однією важливою пропозицією для удосконалення технологічного обладнання. Сучасні системи забезпечують високоточний моніторинг параметрів процесу шліфування та полірування, таких як тиск, швидкість, температура, та інші. Це дозволяє операторам ефективно контролювати та регулювати параметри для досягнення оптимальних результатів та уникнення дефектів.

Для досягнення вищого рівня ефективності та гнучкості в області шліфування і полірування пропонується активно розвивати системи автоматизованого програмування. Це включає в себе розробку інтелектуальних програм, які здатні адаптуватися до різних матеріалів та геометрії виробів, оптимізуючи шляхи руху інструментів та визначаючи оптимальні параметри обробки для кожного випадку.

Ультразвукова технологія може бути важливим аспектом удосконалення процесу полірування. Застосування ультразвукових вібрацій під час обробки може поліпшити

розподіл абразивів, забезпечуючи більш однорідне полірування та зменшуючи ймовірність появи подряпин та дефектів на поверхні виробу.

Подальший розвиток технологій для виготовлення абразивних інструментів також може бути важливим напрямком. Розробка нових матеріалів, які поєднують високу твердість, стійкість до зношування та міцність, дозволить покращити ефективність шліфування та полірування. Наприклад, діамантові абразиви можуть бути використані для обробки найтвердших матеріалів з високою точністю.

У світлі сучасних вимог до сталості виробництва важливо розглядати також аспекти екологічної чистоти технологічного процесу. Використання екологічно чистих абразивів та охолодж

уючих рідин може допомогти зменшити вплив виробництва на навколишнє середовище.

Останнім, але не менш важливим аспектом удосконалення технологічного обладнання є підвищення кваліфікації операторів. Забезпечення їхньої компетентності у використанні нового обладнання та взаємодії з автоматизованими системами дозволить максимально використовувати потенціал сучасних технологій.

Узагальнюючи, удосконалення технологічного обладнання для шліфування і полірування вимагає комплексного підходу, який враховує не тільки технічні аспекти, але й інновації в матеріалах, автоматизацію та збільшення кваліфікації персоналу. Ці пропозиції мають на меті підняти якість обробки та зробити виробництво більш ефективним і стійким до викликів сучасності.

3.2. Застосування прогресивних абразивних матеріалів.

Прогресивні абразивні матеріали стають ключовим компонентом в сучасних технологіях обробки матеріалів, особливо в шліфувальних та полірувальних процесах. Ці матеріали володіють унікальними властивостями, які дозволяють покращити ефективність обробки, забезпечити високу якість поверхні та вдосконалити технічні характеристики оброблюваних виробів.

Однією з ключових тенденцій є використання наноматеріалів у складі абразивних матеріалів. Наноабразиви, такі як нанодіаманти, нанокремній, та інші, володіють унікальними властивостями. Висока поверхнева активність та мініатюрний розмір частинок дозволяють їм забезпечити рівномірне та ефективне шліфування. Наноматеріали також здатні досягати високої точності обробки, зменшуючи ймовірність дефектів та покращуючи геометричні параметри оброблюваних виробів.

Синтетичні алмази використовуються як абразиви в широкому спектрі застосувань, зокрема в шліфуванні та поліруванні твердих матеріалів. Їхня висока твердість та стійкість до зношування роблять їх ідеальними для обробки матеріалів, таких як скло, кераміка та кристалічні компоненти. Синтетичні алмази також застосовуються у виробництві алмазних інструментів, де їхні унікальні властивості сприяють досягненню високої ефективності та тривалості служби.

Абразиви на основі карбїду кремнію та карбїду бору також займають важливе місце серед прогресивних матеріалів. Карбїд кремнію має високу твердість і термостійкість, що робить його відмінним абразивом для шліфування та полірування металів та кераміки. Карбїд бору, з своєю високою твердістю та хімічною стійкістю, знаходить застосування в обробці важкозмащених і твердих матеріалів.

Розвиток композитних абразивних матеріалів також є важливою тенденцією в сучасних технологіях обробки. Комбінація різних матеріалів, таких як кераміка, метали та полімери, може вести до створення абразивів з унікальними властивостями.

Такі композитні матеріали можуть бути спеціально розробленими для конкретних завдань, покращуючи якість та продуктивність обробки.

Технології нанопокриття дозволяють створювати інноваційні абразиви з покращеними властивостями. Нанопокриття може забезпечити абразивам додаткову стійкість до тертя, знижуючи термін служби інструменту та покращуючи ефективність процесу. Крім того, нанопокриття може бути використано для створення антиадгезійних абразивів, зменшуючи заклинивання інструменту під час обробки.

Додатковою інновацією є застосування абразивних гелів та паст, які містять в собі абразивні частки в рідкій або гелевій основі. Ці матеріали дозволяють точно контролювати процес обробки, розподіляючи абразиви рівномірно та забезпечуючи стійкість до перегріву. Такий підхід особливо важливий для деталей з складною геометрією та важкодоступних місць.

Останнім часом вивчається можливість використання біорозчинних абразивів. Це відкриває нові перспективи у сфері екологічно чистої обробки матеріалів. Біорозчинні абразиви можуть бути безпечними для навколишнього середовища та можуть зменшити вплив виробництва на природу.

Узагальнюючи, застосування прогресивних абразивних матеріалів є ключовим елементом удосконалення технологій шліфування та полірування. Нові матеріали відкривають широкі можливості для покращення ефективності, якості та стійкості обробки, роблячи їх невід'ємною частиною сучасного виробництва.

3.3. Теорія різання абразивного зерна.

Для забезпечення необхідних параметрів точності та якості оброблюваної деталі застосовують різні фінішні способи обробки. Найпоширенішим із способів є процес шліфування. Цей процес є нестационарним та теплонапруженим. На процес шліфування впливає велика кількість факторів: розміщення абразивних зерен у шліфувальному крузі, кут орієнтації даних зерен відносно деталі, радіус заокруглення вершини ріжучої кромки, глибина врзання в деталь тощо. Дані фактори ускладнюють дослідження процесу шліфування. Окрім цього, сили різання теж будуть мати різний напрямок та величину. Також певна частина загальної роботи буде витрачатися на пластичне і пружне деформування матеріалу заготовки, а не на знімання поверхневого шару деталі. Аналіз методів дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування сприятиме підвищенню ефективності фінішної обробки деталей.

Метою роботи є аналіз методів дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування, що своєю чергою дасть можливість підвищити продуктивність та ефективність фінішної обробки деталей.

Згідно з дослідженням під час шліфування різання зернами виконується не всіма ріжучими кромками робочої поверхні інструмента, а тільки тими, що знаходяться над зв'язкою круга. Не всі різальні кромки, що контактують з деталлю, будуть знімати стружку. Цей процес будуть виконувати тільки ті абразивні зерна, які мають необхідну форму округлення вершини та глибину врзання в деталь.

Перед початком зйому поверхневого шару деталі абразивними зернами відбувається доволі довготривале ковзання різальної кромки в місці контакту. Це ковзання супроводжується пластичною деформацією матеріалу деталі. Інші різальні

кромки в цей час виконують роботу тертя і пружної та пластичної деформації. Цей процес відбувається без зняття стружки. Для визначення моменту, коли закінчується пластична деформація і починається процес різання абразивними зернами, існує критерій, який представляє собою відношення глибини врізання до радіусу заокруглення вершини різальної кромки (a_s/ρ). Згідно з цим на формування поверхневого шару деталі також будуть впливати пластичне та пружне деформування, а не лише сам процес різання. Під час процесу шліфування певна частина роботи кожної ріжучої кромки витрачається на пластичне і пружне деформування, тертя між інструментом та деталлю та на подолання інерційних сил під час стружкоутворення.

Відповідно до роботи [2] схема стружкоутворення під час шліфування зображена на рис 1.

Згідно з [2] під час визначення сили різання, яка діє на кожне абразивне зерно шліфувального круга, розглядають врівноважений стан її складників, враховуючи їх вплив під час процесу шліфування. В момент зняття припуску деталі вершиною абразивного зерна діють сили стиснення і зсуву в площині зсуву, тертя і нормального тиску по задній поверхні ріжучої кромки та інерційна сила стружки. Дані складники сили різання зображені у вигляді кругових діаграм (рис. 2).

Поверхня деталі після шліфування являє собою результат накладання шліфованих рисок, які утворені вершинами абразивних зерен (рис. 3).

На процес різання під час шліфування великий вплив має прийнята форма абразивного зерна. Найчастіше за максимально можливі форми абразивних зерен приймають еліпс, конус, трьохвісний еліпсоїд, циліндр, призму, піраміду та інші.

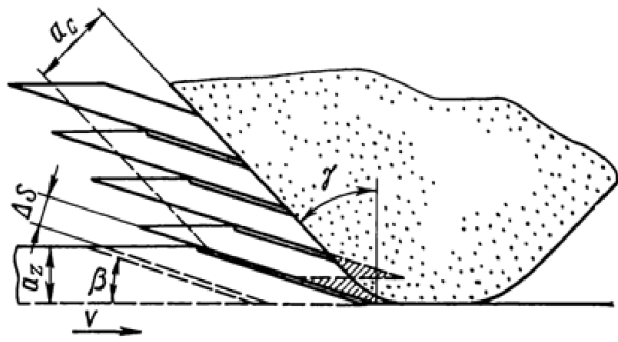


Рис. 1. Схема стружкоутворення під час шліфування:

β – кут зсуву; γ – передній кут ріжучої кромки;

α_c – товщина стружки; α_z – глибина врізання;

V – швидкість різання; ΔS – товщина зони зсуву

Згідно з [1] форма зерна приймається у вигляді трьохвісного еліпсоїда та за статичного моделювання прийнято наступні припущення:

- 1) кожне окреме зерно являє собою трьохвісний еліпсоїд;
- 2) розподіл розмірів діаметрів еліпсоїда за кожною із вісей відповідає нормальному закону розподілу.

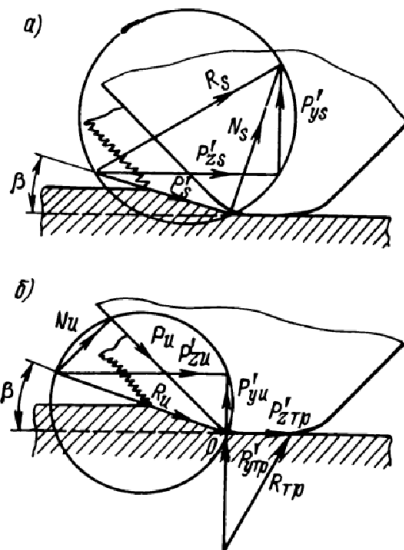


Рис. 2. Кругові діаграми сил зсуву (а),

сил інерції та тертя (б), які діють при мікрорізанняні одиничним абразивним зерном:

P'_s – сила зсуву; P'_{zs} – тангенційний складник сили зсуву; P'_{ys} – радіальний складник сили зсуву;

N_s – нормальна сила в площині зсуву; R_s – рівнодійна сили зсуву; R_{mp} – сила тертя; $P'_{y_{mp}}$ – радіальний складник сили тертя; $P'_{z_{mp}}$ – тангенційний складник сили тертя; P_u – сила інерції; P'_{zu} – тангенційний складник сили інерції; P'_{yu} – радіальний складник сили інерції; R_u – рівнодійна сили інерції; N_u – нормальний складник сили інерції

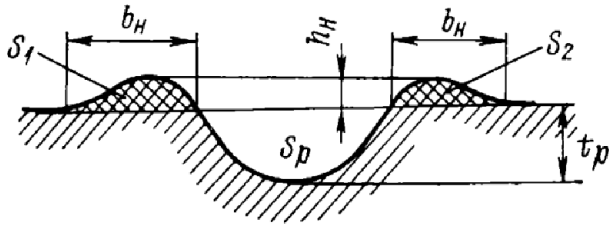


Рис. 3. Поперечний профіль шліфувальної риски із напливами:

S_1, S_2 – площа напливів; S_p – площа риски; b_H – ширина напливів; h_H – висота напливу; t_p – глибина шліфувальної риски

У вищезгаданій роботі, використовуючи результати розрахунків, було створено 3D модель робочої поверхні круга (рис. 4).

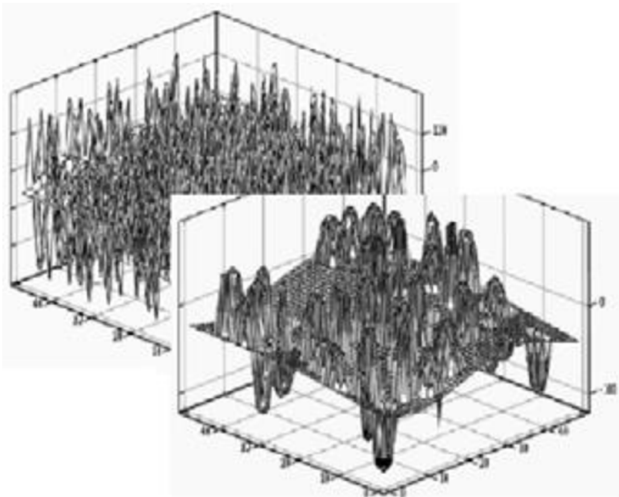


Рис. 4. 3D модель робочої поверхні круга

У роботі [3] стверджується, що, застосовуючи комп'ютерне моделювання, можливо створити віртуальну модель процесів різання із великою кількістю вхідних даних, оптимізувати його та змоделювати нові процеси механічної обробки.

Такий метод може спрогнозувати напружено- деформований стан інструменту та деталі, процес стружкоутворення, форму обробленої поверхні деталі, проекції та величини сил різання, розподіл температури тощо.

Використовуючи високошвидкісну віде- озйомку, можливо порівняти результати

комп'ютерного моделювання процесу різання деталі з реальним експериментом (рис. 5).

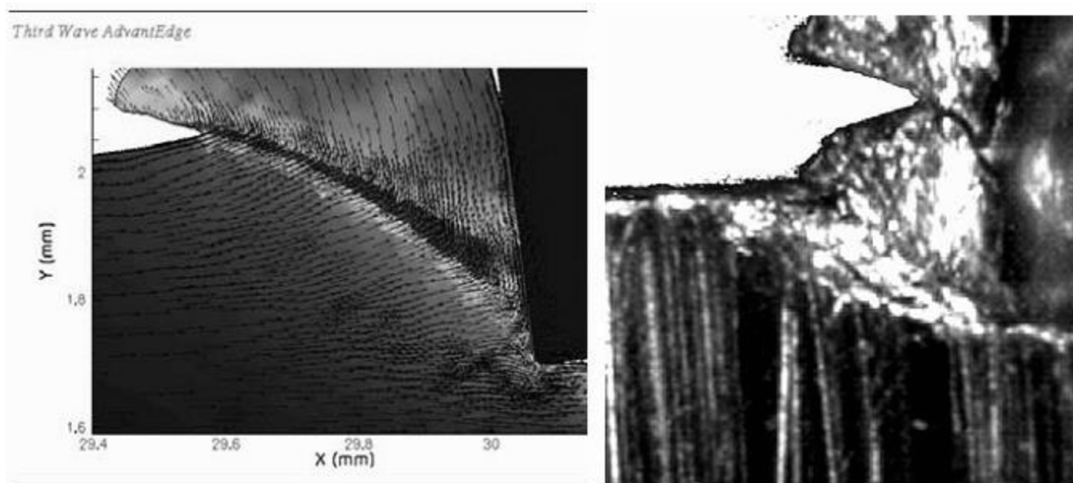
У роботі [6] для дослідження розмірів, форми та геометрії абразивних зерен прийнято наступні припущення:

- 1) абразивні зерна приводять до форми кулі одного радіусу;
- 2) абразивні зерна замінюють еліпсоїдом обертання з постійним співвідношенням напіввісей;
- 3) виступаючі різальні вершини зерен замінюють еквівалентним конусом або пірамідою (із заокругленням або без заокруглення вершини);
- 4) поперечний переріз абразивного зерна розглядають як неправильний багатокутник, який отримується із правильної фігури (ромб або паралелограм) шляхом сколу у них однієї або декількох вершин.

Для дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном зазвичай розглядаються три положення зерна відносно деталі: повздовжнє, поперечне та перпендикулярне (рис. 6). Розміщення даних зерен відносно деталі буде впливати на продуктивність процесу шліфування, оскільки їхнє нераціональне розташування буде призводити до витрати частини роботи на пружне та пластичне деформування заготовки без знімання стружки та на перетворення в теплову енергію.

Використовуючи результати розрахунків у роботах [7, 8] та довідкові матеріали з [9], була створена 3D модель процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування пластичних матеріалів (рис. 7).

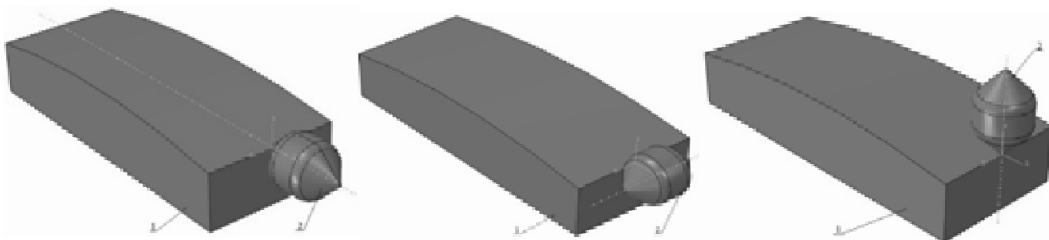
Також було зображено епюру навантаження від різальних та деформуючих кромок вздовж



а)

б)

Рис. 5. Порівняння результатів моделювання елементного стружкоутворення (а) та високошвидкісної відеозйомки (б)



а)

б)

в)

Рис. 6. Повздовжнє (а), поперечне (б) та перпендикулярне (в), розміщення абразивного зерна відносно деталі: 1 – деталь; 2 – абразивне зерно

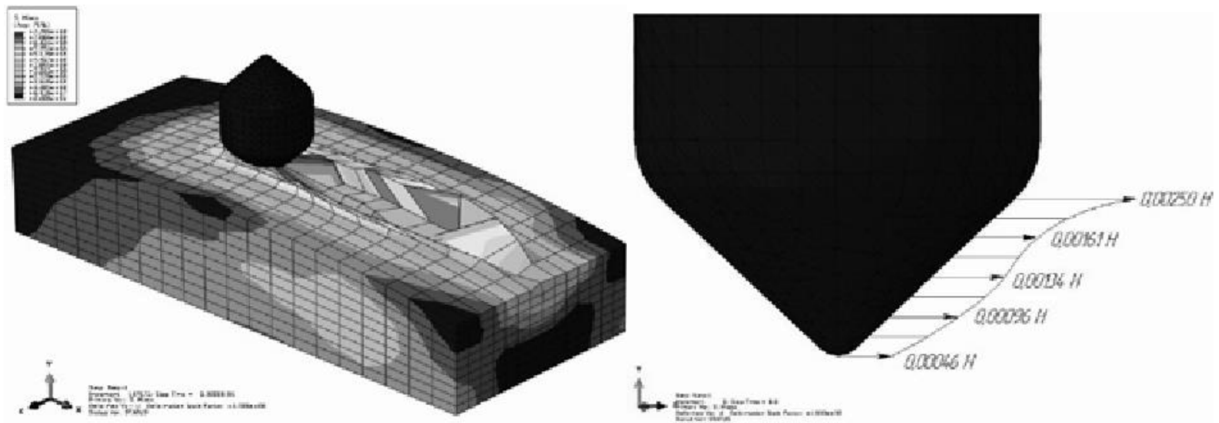


Рис. 7. 3D модель процесу різання одним абразивним зерном під час шліфування пластичних матеріалів

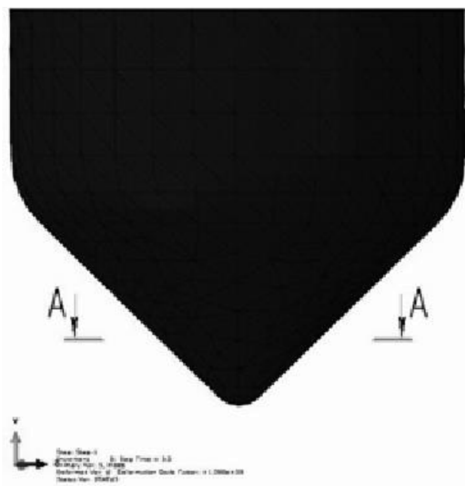


Рис. 9. Переріз абразивного зерна,

в якому визначалась епюра навантаження від різальних та деформуючих кромки

Рис. 8. Епюра навантаження від різальних та деформуючих кромок вздовж профілю абразивного зерна

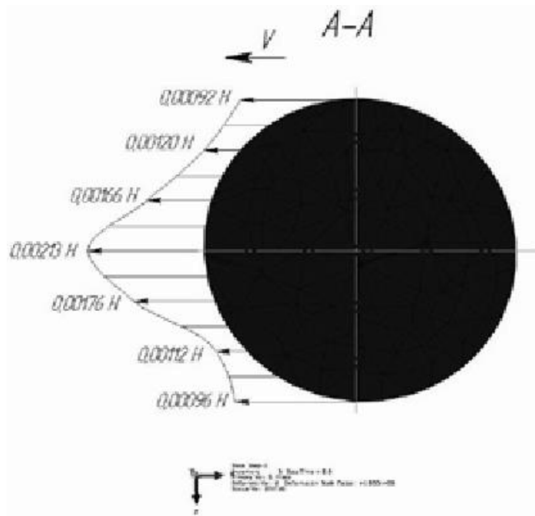


Рис. 10. Епюра навантаження від різальних та деформуючих кромок у відповідному перерізі абразивного зерна

профілю абразивного зерна (рис. 8). Окрім цього, у відповідному перерізі абразивного зерна (рис. 9) була зображена епюра навантаження від різальних та деформуючих кромок (рис. 10). У даному випадку згідно з епюрою навантаження (рис. 10) точка, у якій виникає максимальна величина навантаження, першою врізається в деталь.

Для моделювання різноманітних процесів різання існує велика кількість програмного забезпечення: ABAQUS, LS-DYNA, ANSYS, DEFORM тощо. Проте комп'ютерне моделювання різноманітних процесів різання порівняно з реальними експериментами має достатньо велику похибку. До причин, які призводять

до виникнення похибок, можна віднести недосконалість алгоритмів моделювання процесів та недостатня достовірність вхідних даних.

Для усунення даних похибок можливе застосування оптимальних та достовірних вхідних даних, використання найбільш сприятливих моделей, які описують різноманітні процеси під час різання, зменшення кількості факторів, які впливають на кінцеву похибку моделювання.

Висновки. У роботі проаналізовано різноманітні методи дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування. Встановлено, що одними із основних факторів, які безпосередньо впливають на процес різання, є геометрична форма та кут орієнтації зерна відносно деталі.

До сучасних методів дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном належить комп'ютерне моделювання та створення 3D моделей. Хоча даний спосіб і має певні недоліки, але майбутнє більш детальне дослідження процесів обробки і розвиток комп'ютерного моделювання значно підвищать точність та достовірність змодельованих процесів із реальними.

Отже, застосування комп'ютерного моделювання та створення 3D моделей процесів різання є перспективними методами дослідження.

Література:

1. Алмаз: Справочник / Федосеев Д. В., Новиков Н. В., Вишневецкий А. С. и др. – Киев: Наук. думка, 1981. – 76 с.
2. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования материалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.
3. Бакуль В. Н., Цыпин Н. В., Гаргин В. Г. Взаимодействие алмаза с расплавами металлов в условиях изготовления инструментов. – В кн.: Адгезия расплавов. – К.: Наук. думка. – 1974. – С. 134–136.
4. Витвицкий П. М., Попина С. Ю. Прочность и критерии хрупкого разрушения стохастически дефектных тел. – К.: Наук. думка, 1980. – 186 с.
5. Внуков Ю. Н., Дюбнер Л., Пансков А. Виды трения и износа при точении инструментами с покрытиями // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. – Харьков: ХГПУ, 1998. – Вып. 52. – С. 261–268.
6. Грабченко А. И. Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов: Диссертация в форме научного доклада докт. техн. наук: 05.03.01. – Харьков, 1995. – 59 с.
7. Грабченко А. И., Магазеев М. Г., Мамалис А. Сравнительные стойкостные испытания алмазных резцов, заточенных комбинированным методом // Високі технології в машинобуд.: Зб. наук. пр. ХДПУ. – Х.: ХДПУ, 1998. – С. 82–85.
8. Грабченко А. И., Федорович В. А. Влияние анизотропии свойств кристаллитов на процесс взаимного разрушения элементов системы «СТПМ–зерно» при шлифовании // Мат. межд. научн.-техн. конф. «Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение» (СТИМ-2001). – Киев: ИСМ НАН Украины. – 2001. – С. 160 – 163