

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Модернізація токарного верстата для технологічного забезпечення
магнітно-абразивної обробки поверхонь обертання

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МВм-61

напряму підготовки (спеціальності) _____

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	<u>Солярчик М.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Кобельник В.Р.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Кобельник В.Р.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
В.о. завід. кафедри	_____	<u>Крупа В.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «магістр»
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Солярчику Михайлу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація токарного верстата для технологічного забезпечення
магнітно-абразивної обробки поверхонь обертання

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» 11 2023 року № 4/7-1063

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.12.2023

3. Вихідні дані до роботи

Технологічні методи фінішної обробки циліндричних поверхонь. Способи та обладнання для
Реалізації магнітно-абразивної обробки. Конструкції електромагнітних індукторів.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ. Обробка поверхонь тіл обертання різними технологічними методами. Магнітно – абразивне полірування. Якість поверхні виробів після МАП. Мета та завдання досліджень. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Формоутворення поверхонь при магнітно – абразивному поліруванні. Класифікація схем MAO. Формоутворення циліндричних поверхонь. Формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь. Формоутворення гвинтових поверхонь. Формоутворення фасонних поверхонь. Висновки щодо формоутворення різних поверхонь MAO. Механізм зняття металу при магнітно-абразивній обробці циліндричної поверхні. Взаємодія інструмента та заготовки при магнітно – абразивній обробці. Розрахунок магнітного поля в робочому зазорі. Сили, що діють на одиничне зерно порошку в процесі полірування. Розрахунок сил різання. ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Устаткування для магнітно-абразивної обробки циліндричних поверхонь. Базові дані для модернізації верстата. Опис, конструкція та модернізація верстата. Вибір, опис і конструкція електромагнітного індуктора. Огляд видів електромагнітних індукторів. Опис і конструкція електромагнітного індуктора. Опис і конструкція задньої бабки. Методика проведення експериментів. Експериментальне дослідження залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від: колової швидкості обертання заготовки V ; часу обробки t ; величини робочого зазору δ . Експериментальне дослідження залежності шорсткості поверхні полірування від часу обробки t і колової швидкості обертання заготовки V . Експериментальне дослідження залежності шорсткості різання V від зняття металу Q . ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕХПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

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

Тема, мета роботи. Схеми процесу полірування МАП. Механізм зняття металу. Схема переміщення зерен порошку. Загальний вигляд токарного верстату (компонування.). Схеми Роботи електромагнітних індукторів. Електромагнітний індуктор. Конструкція задньої бабки. Графіки отриманих залежностей за результатами експерименту.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., ст. викладач Сенік А.А.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викладач Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 16.11.2023**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	25.11.2023	
2	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.	01.12.2023	
3	РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10.12.2023	
4	ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	18.12.2023	
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕХПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	20.12.2023	
6	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ	22.12.2023	
7	Графічна частина (Слайди)	22.12.2023	
8	Підготовка до захисту	до 25.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Солярчик М.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кобельник В.Р.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Обробка поверхонь тіл обертання різними технологічними методами	8
1.2 Магнітно – абразивне полірування	12
1.3. Якість поверхні виробів після МАП	14
1.4 Мета та завдання досліджень	15
2. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Формоутворення поверхонь при магнітно – абразивному поліруванні	17
2.1.1 Класифікація схем МАО	17
2.1.2 Формоутворення циліндричних поверхонь	18
2.2 Формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь	19
2.3 Формоутворення гвинтових поверхонь	20
2.4 Формоутворення фасонних поверхонь	21
2.5 Висновки щодо формоутворення різних поверхонь МАО	22
2.6 Механізм зняття металу при магнітно-абразивній обробці циліндричної поверхні	24
2.6.1 Взаємодія інструмента та заготовки при магнітно – абразивній обробці	24
2.6.2 Розрахунок магнітного поля в робочому зазорі	27
2.6.3 Сили, що діють на одиничне зерно порошку в процесі полірування	30
2.6.4 Розрахунок сил різання	33
3 ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	36
3.1 Устаткування для магнітно-абразивної обробки циліндричних поверхонь	36

3.1.1 Базові дані для модернізації верстата	36
3.2 Опис, конструкція та модернізація верстата	36
3.3 Вибір, опис і конструкція електромагнітного індуктора	39
3.3.1 Огляд видів електромагнітних індукторів	39
3.3.2 Опис і конструкція електромагнітного індуктора	43
3.4 Опис і конструкція задньої бабки	45
3.5 Експериментальна частина	48
3.5.1 Методика проведення експериментів	48
3.5.2 Експериментальне дослідження залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від: колової швидкості обертання заготовки V ; часу обробки τ ; величини робочого зазору δ	48
3.5.3 Експериментальне дослідження залежності шорсткості поверхні полірування від часу обробки τ і колової швидкості обертання заготовки V	54
3.5.4 Експериментальне дослідження залежності швидкості різання V від зняття металу Q	56
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕХПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
4.1. Розрахунок захисного заземлюючого пристрою	61
4.2. Застосування основних способів ведення рятувальних робіт на промислових підприємствах	64
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74
ДОДАТКИ	80

ВСТУП

Стан поверхонь і поверхневого шару матеріалу деталей машин значною мірою залежать від їх експлуатаційних властивостей. Для виробів, до яких ставляться високі вимоги щодо надійності (довговічності), надважливими є такі характеристики поверхні, як коефіцієнт тертя, тривалість припрацювання, зносостійкість, наявність дефектів у вигляді мікротріщин, внутрішні залишкові напруження, корозійна стійкість. Для інших виробів можуть бути важливими, наприклад, світловідбиваючі властивості поверхні деталі, її здатність поглинати гази та атомні частки, електрична та магнітна провідність поверхневого шару матеріалу. Відомо, що фізичні, хімічні та механічні властивості поверхневого шару можуть значною мірою відрізнятися від властивостей основного матеріалу деталі. Слід зазначити, що кінцеві властивості поверхні (поверхневого шару матеріалу) є результатом впливу на деталь процесу її виготовлення, а особливо на фінішних операціях.

Зі зростанням вимог, що ставляться до поверхонь деталей машин змушують розробляти нові або вдосконалювати існуючі технологічні способи фінішної обробки, створювати нові способи, що розширюють можливості фінішної (викінчувальної) та зміцнювальної технології обробки поверхонь. Значну та окрему увагу необхідно приділяти питанню щодо стану поверхонь різальних інструментів, позаяк від них залежать стійкість і витрата інструментів, а це в свою чергу говорить про продуктивність та стабільність її результатів.

Розробка та використання магнітно-абразивного полірування (МАП) і магнітної обробки (МО) деталей машин є результатом вище згаданих трендів. Перші пропозиції по використанню магнітного поля для абразивної обробки були викладені ще в першій половині двадцятого століття. Перші публікації про дослідження та застосування абразивної обробки з використанням магнітного поля з'явилися в 60 - х роках минулого століття і

належать, як нашим так і закордонним. У цей період достатньо широко та докладно досліджено та доведено до промислового використання різноманітні схеми магнітно-абразивного полірування. Великий внесок у цю роботу внесли Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Інститут надтвердих матеріалів імені Бакуля НАН України, ряд установ і проектно-дослідницьких організацій нашої України.

Великі дослідницькі роботи та впровадження МАП на виробництві в країнах Європи. Відомі роботи в області магнітно-абразивної обробки в Німеччині. Огляд закордонних винаходів і патентів показує, що значна увага до магнітно-абразивної обробки та розвитку цього напрямку приділяється у промислово розвинених країнах світу.

У процесі магнітно-абразивного полірування оброблюваний матеріал піддається не тільки механічному абразивному впливу, але також впливу змінного по величині та напрямку магнітного поля, що сприятливо впливає на експлуатаційні властивості поверхневого шару матеріалу виробів. І цей факт дозволяє магнітну обробку відокремлювати в самостійний спосіб зміцнюючої обробки.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Обробка поверхонь тіл обертання різними технологічними методами

Викінчувальна обробка відноситься до групи заключних фінішних операцій, у результаті яких знижується (покращується) шорсткість поверхні та оптимізується стан поверхневого шару оброблюваного матеріалу.

Кожна деталь машини повинна мати певні експлуатаційні властивості - міцність, зносостійкість, довговічність і т.д. Однак залежать вони не тільки від матеріалу, з якого деталь виготовлена, але й у значній мірі від шорсткості поверхні деталі.

Чистова обробка виконується не тільки для отримання точної й гладкої поверхні, але й для найбільш високих механічних і фізичних властивостей поверхневого шару.

Стрімкий розвиток технічного прогресу ставить все більші вимоги до сучасних машин, а це змушує машинобудівників шукати нові більше покращені та досконалі методи обробки поверхонь деталей.

Шліфування - спосіб обробки матеріалу за допомогою ріжучого абразивного інструмента. Оброблювана поверхня може бути циліндричної та конічної форм, фасонної та ін. [1 – 3, 6, 8, 24, 26, 31].

Абразивні інструменти складаються із зерен абразивного матеріалу, з'єднаних зв'язуючим матеріалом. У різанні одночасно бере участь велика кількість зерен, грані яких утворюють різальні кромки. Це шліфувальні круги, головки, сегменти та бруски.

Тепловий і силовий вплив на оброблену поверхню приводить до структурних перетворень, змінам фізико - механічних властивостей поверхневих шарів оброблюваної заготовки. Для зменшення теплового

впливу процес шліфування проводять при рясній подачі мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС).

Шліфування застосовують для чистової та фінішної обробки виробів з високою точністю. Для заготовок із гартованих сталей шліфування є одним з найпоширеніших технологічних методів механічної обробки.

Притирання або доведення - викінчувальна операція механічної обробки деталей машин, приладів та інших виробів. Цією операцією досягаються висока точність і високий клас шорсткості обробки. Притиранням роблять точне доведення різьбових, круглих і гладких калібрів, вимірювальних плиток, розверток та ін. В якості інструменту при притиранні використовуються притири, виготовлені з більш м'якого матеріалу, чим оброблюваний. Це може бути чавун марок СЧ15 або СЧ20, червона мідь, тверді породи деревини і т.д. На поверхню цих матеріалів наносять абразивний порошок або пасту [1 – 3, 6, 8, 24, 26, 31].

У машинобудуванні цей процес широко розповсюджений при виготовленні кульок і роликів для підшипників, а також колінчатих валів (доведення шийок), клапанів, циліндрів, плунжерів, поршневих кілець та інших деталей, що вимагають високої точності або герметичності при з'єднанні.

Хонінгування, це спосіб шлифовально - притирочної обробки зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь. Він виконується спеціальним інструментом - хоном, що складається з головки із вставленими по колу абразивними брусками [1 – 3, 6, 8, 24, 26, 31].

Хонінгувальна головка (хон) має два рухи: порівняно повільне обертальне навколо осі оброблюваного отвору та зворотно - поступального уздовж цієї осі.

Хонінгуванням може бути отримана шорсткість обробленої поверхні Ra 0,32...0,080. Хонінгування виконується на хонінгувальних верстатах. По своєму принципу вони нагадують свердлильні верстати.

Алмазне вигладжування. Сутність цього технологічного процесу полягає в тому, що нерівності, що залишилися після обробки різанням, поверхні вигладжуються алмазним інструментом, що переміщається по ній. Робоча частина інструмента виконана у вигляді півсфери, циліндра або конуса. Чим твердіший оброблюваний матеріал, тим менший радіус закруглення робочої частини алмаза [1 – 3, 6, 8, 24, 26, 31].

Переваги алмазного вигладжування полягають в підвищенні експлуатаційних властивостей оброблюваних поверхонь, зниженні (покращені) шорсткості та відсутності переносу на оброблювану поверхню сторонніх часток. При цьому можлива обробка тонкостінних заготовок складної конфігурації інструментом (вигладжувачем) простої форми. Якість обробленої поверхні істотно залежить, в основному, від сили вигладжування та подачі. При правильно обраних режимах обробки мікронерівності на поверхні можуть бути зменшені в кілька разів, а мікротвердість збільшується на 5...60 %. На обробленій поверхні виникають значні залишкові напруження. Деталі з поверхнею, обробленою алмазним вигладжуванням, мають високу зносостійкість міцність на втому.

Тонке (алмазне) точіння. Здійснюється алмазними різцями або різцями, оснащеними твердими сплавами або керамікою, при високих швидкостях різання, малій подачі та малій глибині різання. Виконуючи роботу твердосплавними різцями, застосовують МОТС, що подається значним безперервним потоком. Це робиться для запобігання розтріскування пластинок твердого сплаву. Для охолодження та видалення дрібної стружки зону різання обдувають стисненим повітрям. Описуючи алмазні різці, варто сказати, що ними обробляють в основному сплави кольорових металів і сплавів (міді, бронзи, латуні, пластмаси й т.д.), при яких швидко засалюється шліфувальний круг. У теперішній час алмазні різці застосовуються й для обробки чорних металів [31].

Суперфінішування – один з найбільш продуктивних процесів механічної обробки. Цим способом обробляються головним чином зовнішні

поверхні тіл обертання та площин. Сутність процесу полягає в тому, що головці з абразивними брусками з дуже дрібною зернистістю надається зворотно - поступальний, коливальний рух, а оброблюваної деталі - обертовий [31].

Процес суперфінішування широко застосовується для обробки відповідальних деталей автомобільних та авіаційних двигунів (поршнів, шийок колінчатих валів, підшипників і т.д.).

Суперфінішування дозволяє отримати шорсткість поверхні Ra 0,160...0,040, в окремих випадках Ra 0,100...0,050.

Полірування - оздоблювальна операція, що застосовується для надання поверхні деталі металевого блиску, підвищення довговічності та зовнішньої краси, або як підготовча операція перед хромуванням, нікелюванням та іншими покриттями [6, 8, 26, 31].

Інструменти звичайно мають форму круга та обертаються з великою швидкістю. Для попереднього полірування застосовуються абразивні порошки, скляна та наждакова шкурка, а для остаточного полірування - поліруючі суміші, пасти, для наведення блиску - фетр і скло. Широке застосування для полірування знаходить паста ГОІ - суміш абразивного порошку з поверхово - активними речовинами. У цьому випадку шорсткість поверхні може бути доведена до дзеркального блиску.

Полірування виконується як на простих полірувальних верстатах, так і на напівавтоматах та автоматах.

Існують й інші прогресивні методи обробки деталей. Розглянемо деякі з них.

Ультразвукова обробка. Цей метод обробки заснований на застосуванні пружних коливань надзвукової частоти (16...20 тис. коливань у секунду). Ультразвукові коливання отримують найчастіше за допомогою спеціальних пристроїв - випромінювачів. Для обробки металів і твердих матеріалів звичайно використовують магніострикційні випромінювачі.

За допомогою ультразвуку можна свердлити, шліфувати, зварювати, паяти, розрізати й виконувати багато інших робіт [1,2,3].

Електроіскрова обробка. Електроіскровий метод обробки металів заснований на явищі електричної ерозії. Електроерозія руйнує поверхню металу під впливом іскри, отриманої від електричних розрядів. У результаті можна отримати в металі будь-якої твердості отвори розмірами 0,15 мм і менші, профільні канавки, пази (у штампах, волочильних дошках, різальному інструменті та ін.) [6, 8, 26, 31].

Світлопроменева обробка металів. Ця обробка заснована на використанні потужного світлового променя, що за допомогою оптичної системи фокусується на оброблювану поверхню, створюючи температуру в кілька тисяч градусів. Джерелом енергії є лазер - прилад, що випромінює світло у вигляді спрямованого променя. Цей промінь використовується для обробки невеликих отворів, пазів, порізки заготовок із матеріалів, що мають будь-які фізико - механічні властивості.

Відомий також процес чистової обробки поверхонь деталей машин рідким абразивним струменем. Суть цього процесу полягає в тому, що зерна абразиву, добре перемішані з рідиною під тиском у кілька атмосфер, направляються на поверхню та згладжують на ній гребінці. Більшим вагомим показником цього процесу є те, що для нього доступні поверхні будь-якої форми та будь-яких розмірів.

У сучасному машинобудуванні для полірування поверхонь застосовують прогресивний метод магнітно - абразивне полірування. Цей метод застосовується також для обробки деталей машин, що вимагають високої якості шорсткості поверхні та точності розмірів.

1.2 Магнітно – абразивне полірування

Магнітно – абразивна обробка (МАО) (англ. Magnetic – abrasive machining, ньому. Magnetschleifbearbeitung) – абразивна обробка,

здійснювана при русі заготовки та абразивних зерен відносно один одного в магнітному полі відповідно до ДСТУ [1 – 3].

Ідея використання енергії магнітного поля для механічної обробки деталей належить Н. І. Каргалову, котрий запропонував спосіб обробки внутрішніх поверхонь труб абразивним порошком, який має феромагнітні властивостями.

У США, Франції та інших країнах зареєстровано ряд патентів у на способи та пристрої для магнітно – абразивної обробки вільним абразивним порошком у змінному, що циклічно міняє полярність магнітному полі.

Дві групи дослідників під керівництвом В.А. Шальнова та В.Н. Везузба запропонували способи абразивної обробки в електромагнітному полі на постійному струмі плоских поверхонь із немагнітного матеріалу.

Запропоновано обробляти в полі постійного електромагніта порошками, що мають магнітними та абразивними властивостями, зовнішні циліндричні поверхні на деталях типу тіл обертання. Перші експериментальні дослідження магнітно – абразивної обробки були виконані В.Н. Везузбом, В.А. Шальновим, Е.Г. Коноваловим.

Дослідженнями в області магнітно - абразивної обробки широко займаються й в інших країнах (Японія, Болгарія).

Розроблено та реалізовані теоретичні і практичні завдання полірування в магнітному полі циліндричних і сферичних поверхонь виробів, що працюють, переважно, у вузлах тертя машин і механізмів. Пошукові дослідження показали перспективність застосування магнітно-абразивної обробки для підготовки поверхонь виробів перед операціями зварювання і нанесення покриттів.

В останні роки проводяться дослідження з магнітно – абразивної обробки поверхонь прецизійних деталей електроніки, оптики і лазерної техніки (МАТІ (США)).

В останнє десятиріччя технологія магнітно - абразивної обробки отримала розвиток у багатьох країнах світу. Дослідженнями в цій області займаються наукові колективи різних університетів і компаній:

Суть магнітно – абразивної обробки полягає в тому, що порошкова феромагнітна абразивна маса, ущільнена енергією магнітного поля, здійснює абразивний вплив на оброблювану деталь.

Магнітно - абразивним способом можна успішно обробляти поверхні: циліндричних зовнішніх і внутрішніх, плоскі, тіл обертання із криволінійної твірної, гвинтові та ін.

1.3 Якість поверхні виробів після МАП

Найпоширенішою областю застосування магнітно – абразивної обробки є зниження шорсткості на оброблюваних поверхнях з одночасним підвищенням якісних характеристик поверхневого шару.

На результати процесу МАП впливають наступні технологічні фактори [1 – 4, 6, 26]:

- величина магнітної індукції;
- матеріали магнітно - абразивного наповнювача та оброблюваних деталей;
- величина робочого зазору;
- швидкість відносного руху порошку і деталі;
- наявність допоміжного робочого руху;
- стан вихідної поверхні (фізико - механічні властивості та мікрогеометричні характеристики);
- наявність і вид МОТС;
- величина зерен наповнювача. Метод ставиться до типу «безрозмірних»

Магнітно - абразивне полірування має наступні особливості:

- універсальність абразивного інструмента, що дозволяє обробляти деталі з різних матеріалів і конфігурацій;
 - можливість керування твердістю інструмента та за рахунок цього регулювання знімання металу з формоутворюючої поверхні виробу;
 - можливість обробки одночасно великої кількості деталей;
 - різке зменшення, у порівнянні зі шліфуванням, загальної температури різання (за рахунок відсутності тертя зхоплення об поверхню виробу);
 - зміцнення поверхневого шару деталі;
 - можливість різання найбільш гострою кромкою зерна магнітно - абразивного порошку (при цьому відпадає необхідність періодичного перезаточування різального інструмента);
 - виключення засалювання інструмента, що дозволяє полірувати м'які матеріали (мідь, алюміній та ін.);
 - можливість відділення наповнювача від оброблюваних виробів і відходів обробки;
 - можливість механізації та автоматизації процесу полірування.
- Класифікація методів МАП здійснюється по наступних ознаках:
- функціональному призначенню магнітного поля в кожному конкретному випадку;
 - технологічній ознаці – формі оброблюваних поверхонь;
 - типу використовуваного магнітного індуктора.

1.4 Мета та завдання досліджень

Мета дослідження. Вивчення процесу магнітно - абразивного полірування циліндричних поверхонь. Підвищення якості та продуктивності виготовлення циліндричних поверхонь шляхом удосконалювання технології магнітно - абразивної обробки.

Поставлені в кваліфікаційній роботі завдання вирішуються послідовно в розділах та графічній частині.

У першому розділі даний літературний огляд теоретичних та експериментальних досліджень по темі кваліфікаційної роботи, на основі якого сформульовані мета та завдання роботи.

У другому розділі були розглянуто схеми формоутворення та вибрано схему для магнітно - абразивної обробки.

Розглянуті методики розрахунку: магнітного поля в робочому зазорі, магнітних і механічних сил діючих на одиничне абразивне зерно, що перебувають у робочому зазорі й знімання металу з оброблюваної поверхні при магнітно – абразивній обробці. Вивчено процес знімання металу з оброблюваної циліндричної поверхні при магнітно – абразивній обробці.

У третьому розділі наведені результати вибору та модернізації устаткування для магнітно - абразивної обробки.

Наведені результати впровадження технології магнітно - абразивної обробки на оздоблювальних операціях при виготовленні формоутворюючого інструмента.

Наведені висновки до кваліфікаційної роботи.

2. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Формоутворення поверхонь при магнітно - абразивному поліруванні

2.1.1 Класифікація схем МАО

На сьогоднішній день на способи магнітно - абразивного полірування та пристрої для реалізації цього процесу є понад 250 винаходів. У цій широкій гамі схем та пристроїв необхідно орієнтуватися. Обмежитися однією ознакою класифікації не є можливим, позаяк при виборі тієї або іншої схеми керуються різними принципами та підходами. Провівши аналіз існуючих літературних джерел, ми схилиємося до думки, що доцільно класифікувати схеми МАП по трьох ознаках:

- 1) Функціональному призначенню магнітного поля;
- 2) Форма оброблюваних поверхонь;
- 3) Тип використовуваного магнітного індуктора.

Відповідно до I (першої) ознаки всі відомі схеми магнітно – абразивного полірування можуть бути розділені на п'ять груп, які умовно позначаються римськими цифрами:

Група I – магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент із керованою твердістю та створює сили різання;

Група II – магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент із керованою твердістю, створює сили різання та надає різальному інструменту рух різання;

Група III – магнітне поле забезпечує сили та рухи різання несформованій масі феромагнітного абразивного порошку;

Група IV – магнітне поле забезпечує необхідні для різання руху безпосередньо заготовки або абразивному інструменту;

Група V – магнітне поле в зоні обробки інтенсифікує або покращує якісні характеристики існуючих абразивних способів обробки.

Загальним для всіх п'яти груп першої класифікації є наявність змінного магнітного поля в зоні абразивного різання, зміна під його впливом

механічних характеристик оброблюваного металу та активізація хімічних та - фізичних явищ, що сприяє інтенсифікації різання та полірування.

Відповідно до 2 (другої) ознаки схеми зручно розділити на чотири групи, які умовно позначаються великими (заголовними) літерами:

А – схеми обробки зовнішніх поверхонь обертання;

Б – схеми обробки внутрішніх поверхонь обертання;

У – схеми обробки площин і лінійних фасонних поверхонь;

Г – схеми обробки тривимірних фасонних поверхонь.

Оскільки існують схеми та пристрої, що дозволяють здійснювати полірування різних за формою поверхонь, то позначення таких схем можуть включати одночасно дві або три букви.

По типу індуктора, що створює в зоні обробки магнітне поле, всі схеми (пристрої) діляться на чотири групи, які домовлено позначати арабськими цифрами [4. с. 8]:

1 – схеми з електромагнітними індукторами постійного струму;

2 – схеми з електромагнітними індукторами змінного струму;

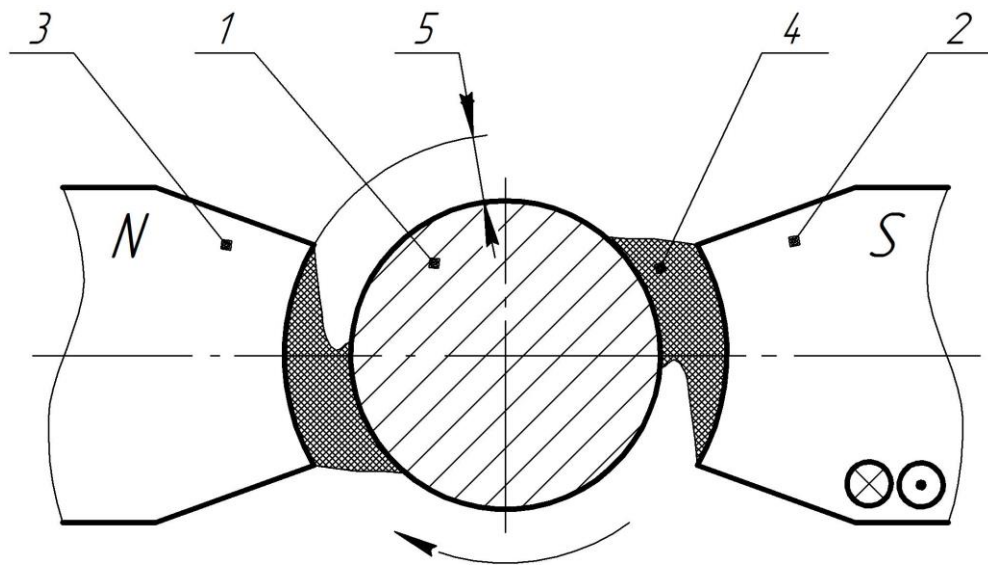
3 – схеми з електромагнітними індукторами трифазного струму;

4 – схеми з індукторами на постійних магнітах.

2.1.2 Формоутворення циліндричних поверхонь

На рис. 2.1 подано приклад схеми МАП I групи. Для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь обертання заготовку 1 розміщують між полюсами електромагніта 2 та 3 постійного струму. Зазори 5 між полюсами та оброблюваною поверхнею заповнюють магнітно – абразивним порошком 4. При цьому утвориться своєрідний абразивний інструмент, що копіює форму оброблюваної поверхні. Твердістю цього інструмента можна керувати, змінюючи напруженість магнітного поля в робочих зазорах. Магнітне поле втримує порошок у зазорах і притискає його до оброблюваної поверхні заготовки. Необхідні для полірування рухи різання – обертання та осциляцію

уздовж осі – надають заготовці за допомогою звичайних електромеханічних приводів верстата.

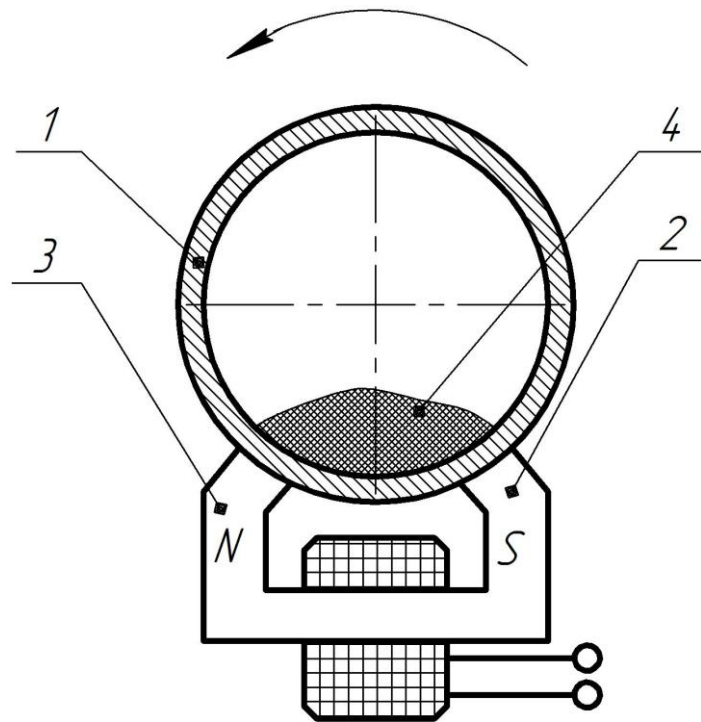


1 – заготівля; 2 – південний полюс електромагніта; 3 – північний полюс електромагніта; 4 – магнітно - абразивний порошок; 5 – робочий зазор.

Рис. 2.1 – Схема полірування поверхонь типу тіл обертання

2.2 Формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь

Полірування внутрішньої циліндричної поверхні пропонується реалізувати за схемою, зображеною на рис. 2.2. Порція магнітно – абразивного порошку 4 силами магнітного поля, наданого електромагнітом 2 та 3, притиснута до оброблюваної поверхні 1 та утримується від обертання разом з оброблюваною деталлю.



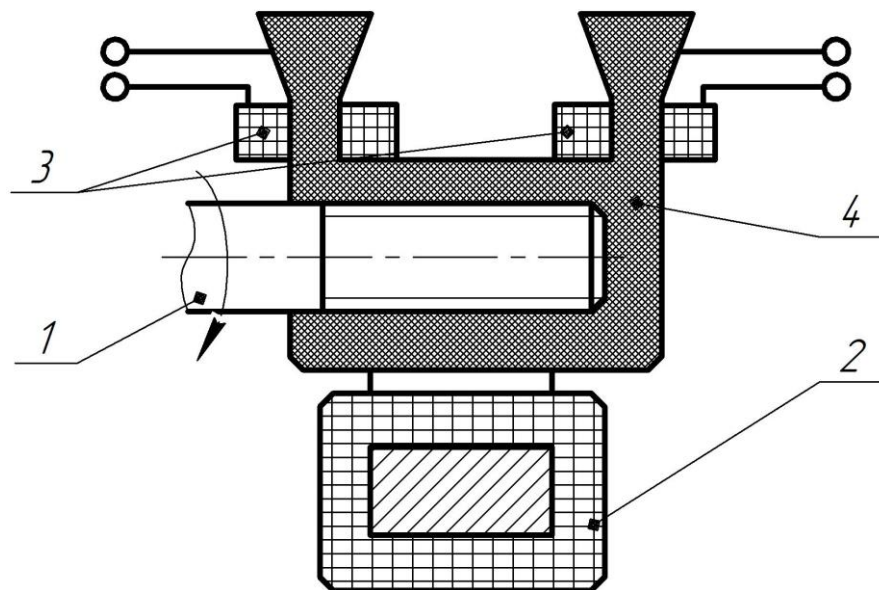
1 – заготовка; 2 – південний полюс електромагніта; 3 – північний полюс електромагніта; 4 – магнітно - абразивний порошок.

Рис. 2.2 – Схема полірування внутрішньої циліндричної поверхні

2.3 Формоутворення гвинтових поверхонь

Для полірування гвинтових поверхонь призначена схема, зображена на рис. 2.3. В даному випадку заготовку 1 поміщають усередину циліндричної немагнітної камери, закріпленої між полюсами електромагніта 2 постійного струму, що при включенні надає магнітно – абразивній порошковій масі 4 в середині камери задану твердість. Вихідні отвори камери з'єднані трубопроводом (на рисунку не показаний). При обертанні заготовки поверхня різі, що полірується, як шнек, прагне витиснути магнітно – абразивний порошок з камери, а поліруванню переважно піддається одна сторона профілю різі. Для збільшення тиску в середині камери на виходах з неї встановлені додаткові електромагнітні котушки 3. Включена повинна бути одна з них. При цьому збільшується опір проходженню магнітно –

абразивного порошку через вихідний отвір камери й тим самим створюється додатковий тиск у камері. Сили різання збільшуються та більш рівномірно обробляється різь по висоті профілю. Для обробки другої сторони профілю змінюють напрямок обертання заготовки. Одночасно змінюється напрям руху порошку. Для створення додаткового тиску в камері необхідно виключити другу котушку.



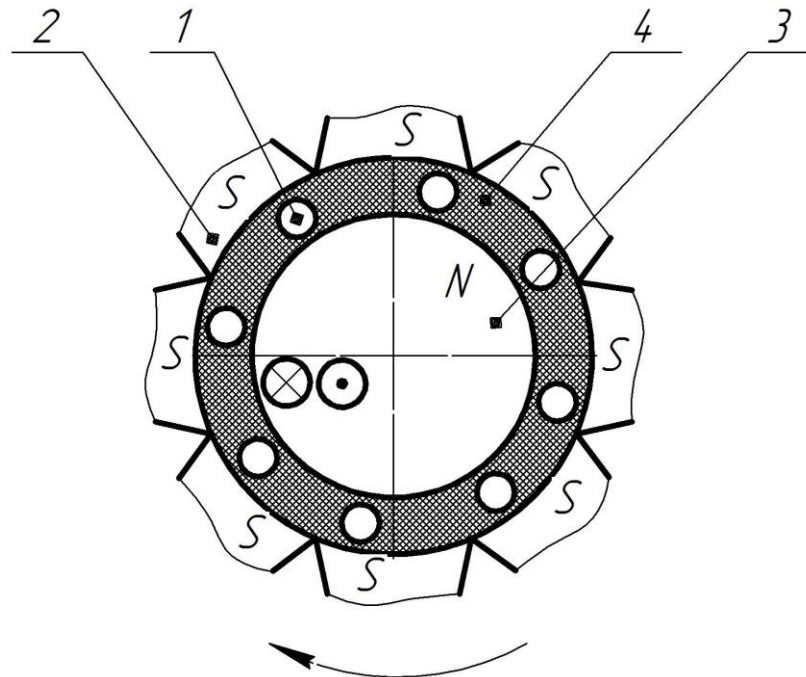
1 – заготовка; 2 – південний полюс електромагніта; 3 – північний полюс електромагніта; 4 – магнітно - абразивний порошок.

Рис. 2.3 - Схема полірування гвинтових поверхонь

2.4 Формоутворення фасонних поверхонь

На рис. 2.4 показана схема полірування зовнішніх фасонних поверхонь обертання невеликих діаметрів з консольним закріпленням заготовок. Обробці одночасно піддають кілька заготовок 1, кожна з яких закріплена в окремому шпинделі. Кільцева ванна виконана з немагнітного матеріалу та заповнена магнітно - абразивним порошком. По внутрішньому та

зовнішньому периметрах ванни розміщені полюси електромагнітів 2 і 3 протилежної полярності. При їх увімкненні порошок утворить в середині ванни абразивний інструмент (середовище) з регульованою жорсткістю. Заготовка надають три робочих рухи: обертання навколо власних осей, осциляцію вздовж осі та переміщення вздовж середнього кола кільцевої ванни.



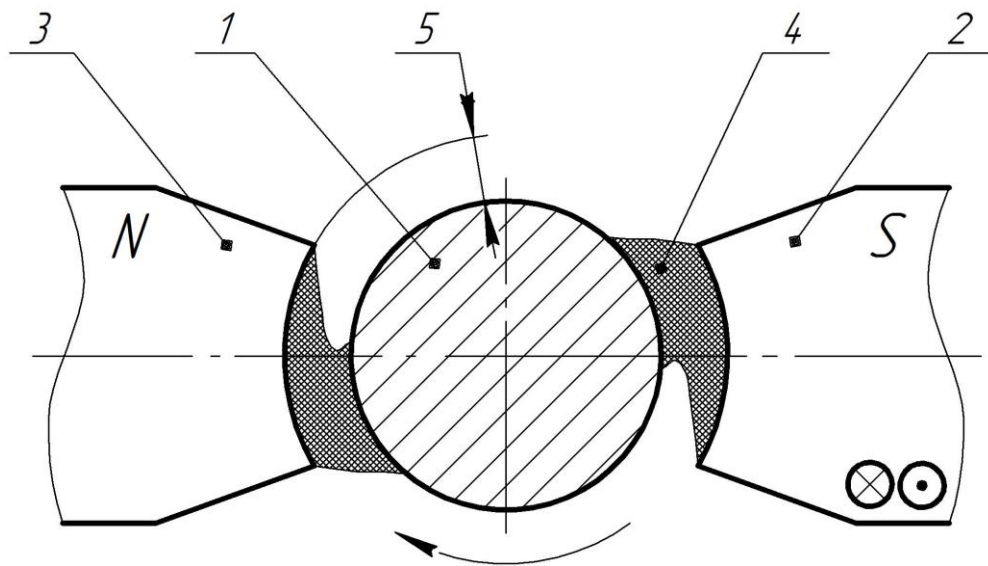
1 – заготовка; 2 – південний полюс електромагніта; 3 – північний полюс електромагніта; 4 – магнітно - абразивний порошок.

Рис. 2.4 - Схема полірування фасонних поверхонь

2.5 Висновки щодо формоутворення різних поверхонь МАО

Враховавши розглянуті схеми формоутворення різних циліндричних поверхонь деталей машин і прийнятих нами позначень, кожній схемі магнітно - абразивного полірування або пристрою для МАП може бути присвоєно шифр, що забезпечує та розкриває основні характерні ознаки даної схеми полірування та її технологічні можливості.

Так для подальшої роботи вибираємо схему під шифром І - А - 1 (рис. 2.5), що позначає, що дана схема МАП дозволяє здійснювати полірування зовнішніх поверхонь тіл обертання за допомогою індуктора постійного струму, причому за допомогою магнітного поля в робочих зазорах формується абразивний інструмент із магнітно - абразивного порошку та створюються сили різання.



1 – заготовка; 2 – південний полюс електромагніта; 3 – північний полюс електромагніта; 4 – магнітно - абразивний порошок.; 5 – робочий зазор.

Рис. 2.5 - Схема полірування поверхонь типу обертання

2.6 Механізм зняття металу при магнітно-абразивній обробці циліндричної поверхні

2.6.1 Взаємодія інструмента та заготовки при магнітно – абразивній обробці

За прийнятою схемою МАП I - А - 1 для обробки деталей, роль різального інструменту виконує порція магнітно - абразивного порошку, що контактує з оброблюваною поверхнею. Простір між полюсами індуктора, частково або повністю заповнений магнітно - абразивним порошком, будемо називати робочою зоною, а простір між оброблюваною поверхнею заготовки та полюсами індуктора - робочим зазором.

При обробці поверхні, порція магнітно - абразивного порошку при включеному магнітному полі втримується силами магнітного поля в робочому просторі, є притиснута до оброблюваної поверхні та при русі заготовки щодо індуктора (або навпаки) здійснює полірування. При цьому відділяється припуск і формується поверхня з новим мікрорельєфом і зміненими фізико - механічними властивостями поверхневого шару.

Вся порція порошку, поміщеного в робочий зазор, під дією сил тертя з боку заготовки, що рухається, зміщується до виходу з робочого зазору та ущільнюється, зустрічаючи там основну протидію з боку магнітного поля на рис. 2.6. Сили тертя між зернами та поверхнею полюса допомагають магнітному полю втримувати порошок в середині робочого зазору. Не зв'язані між собою зерна порошку переміщуються в середині робочого зазору. Зокрема, що межують із заготовкою зерна *a* повільно рухаються до виходу з робочого зазору.

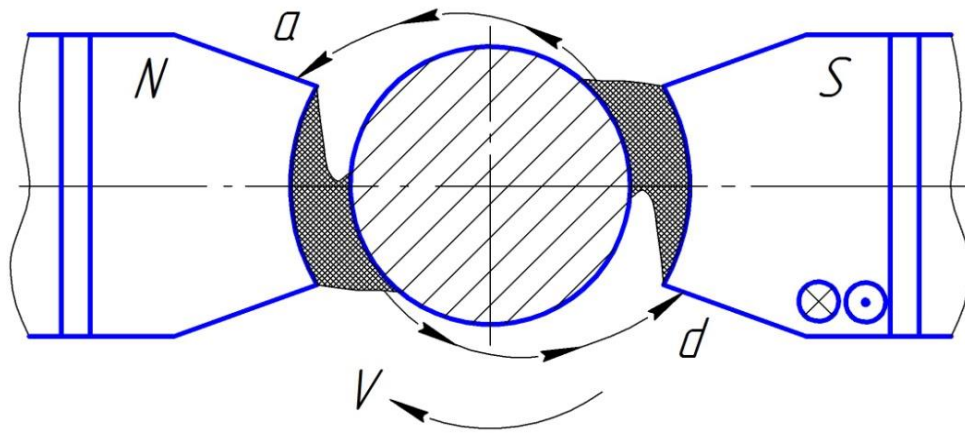


Рис. 2.6 - Схема переміщення зерен порошку в робочій зоні

Швидкість абсолютного руху зерен значно менше швидкості руху оброблюваної поверхні. При $V = 10 \div 15$ м/с швидкість абсолютного руху зерен уздовж дуги робочого зазору $V_3 = 0,05 \div 0,10$ м/с. З врахуванням цього відношення можна стверджувати, що швидкість різання приблизно дорівнює швидкості руху поверхні заготовки:

$$V_p = V - V_3 \approx V, \quad (2.1)$$

Підійшовши до межі робочого зазору, кожне із зерен a може або зупинитися, здійснюючи тут коливальні рухи уздовж дуги кола, або вийти з робочого зазору разом з оброблюваною поверхнею. При невеликих частотах обертання заготовки ці зерна можуть переходити в протилежний зазор разом з обертовою поверхнею заготовки. При збільшенні значення V на перехідні зерна діють більші відцентрові сили, які разом з магнітними силами змушують перехідні зерна відриватися від заготовки та осідати на неробочих поверхнях полюсів. Розкидання зерен є однією із причин поступового зниження інтенсивного видалення припуску зі зростанням тривалості полірування.

У результаті руху граничних зерен a в контакт з поверхнею короткочасно утворюються вільні місця, які можуть займати зерна d з більш глибоких шарів порошкової маси. На кожне зерно, що перебуває в контакт з

оброблюваною поверхнею, діють сили різання P_z (якщо зерно увійшло в поверхню та здійснює мікрорізання) або сили тертя. Ці сили прагнуть захопити контактуюче зерно разом з поверхнею, що рухається, і повернути його щодо власного центра інерції. Руху зерен разом з поверхнею заготовки і їхніх поворотів перешкоджають навколишні зерна, які під дією сил магнітного поля утворюють досить щільну масу.

Якщо при поступовому заглибленні різального зерна в оброблювану поверхню сила різання перевищить опір повороту зерна з боку навколишнього середовища або якщо на шляху тертя (різального) зерна буде перешкода у вигляді збільшеної мікронерівності, твердого стороннього включення, то таке зерно повертається та у контакт із заготовкою вступають його нові ділянки та нові різальні кромки. Саме цими поворотами можна пояснити перервний характер рисок – слідів абразивного різання на поверхні заготовки. При наданні порошковій масі додаткових рухів за допомогою осциляції заготовки (полосів) або пульсуючого магнітного поля контакт зерен із заготовкою отримує більш перервний характер. Сили тертя зменшуються, і порошкова маса краще втримується магнітними силами в робочому зазорі. Одночасно збільшується рухливість зерен в середині робочих зазорів та інтенсифікується вхід у контакт із заготовкою нових різальних кромок.

Безперервний вступ у роботу нових різальних кромок через переміщення зерен в середині робочих зазорів, їх поворотів і переходів з одного робочого зазору в іншій назвемо самозагострюванням порошкової маси. Безсумнівно, у процесі полірування відбувається поступове руйнування зерен шляхом виривання з більш м'якої феромагнітної основи зерна (матриці) вкраплених у неї різальних центрів або шляхом стирання матриці. При цьому теж відбувається вивільнення нових різальних кромок. Через порівняно невеликі зусилля різання різальні центри зерна, будучи твердими кристалами, піддаються руйнуванню значно повільніше, ніж феромагнітна матриця.

Тому виривання з матриці різальних центрів відбувається часто до їхнього затуплення, а вивільнення таким чином нових різальних кромek не можна вважати позитивним явищем, що пояснює високу інтенсивність мікрорізання. До того ж пов'язане з руйнуванням матриці зменшення розмірів феромагнітних зерен приводить і до зменшення діючих на них магнітних сил.

Абразивне різання поверхні супроводжується інтенсивним пластичним деформуванням її та видаленням хімічних плівок, що безупинно виникають. У цьому успішно беруть участь нерізальні ділянки зерен порошку. Результатом пластичного деформування поверхні є підвищення твердості тонкого приповерхневого шару та утворення в ньому залишкових напружень стиску.

2.6.2 Розрахунок магнітного поля в робочому зазорі

Методика розрахунок магнітного поля в робочому зазорі, розроблена для магнітних індукторів на постійних магнітах і містять аналітичний та обчислювальний методи розрахунку. В основу розрахунку покладено подання частково - однорідного середовища, де в межах кожної області (частини) однорідні та ізотропні електропровідні та магнітні властивості. Магнітне поле по всій розрахунковій зоні приймається однорідним уздовж одного із трьох напрямів обраної системи координат (полярна система координат).

Плоский перетин розрахункового простору розглядається в полярній системі координат $(\rho; \varphi)$, початок якого сполучено з віссю заготовки. Для I області в середині циліндричної заготовки ($\rho < r$) прийняте допущення про ізотропність її матеріалу по електричній провідності та магнітної проникності. Заготовка рівномірно обертається з кутовою швидкістю ω . Для II області ($\rho \gg r$), заповненої магнітно – абразивним матеріалом, також

прийняте допущення про ізотропність магнітних властивостей цього середовища.

Магнітне поле в розрахунковому просторі надано зовнішнім джерелом і на досить значній відстані від заготовки його напруженість дорівнює H_0 . При обертанні електропровідної заготовки в магнітному полі в її тілі виникають вихрові струми, що створюють власне магнітне поле, яке в свою чергу сумується з полем зовнішнього джерела.

Функція векторного потенціалу поля для розглянутого випадку може бути подана у відомому вигляді :

$$\frac{\partial^2 \bar{A}}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{A}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \bar{A}}{\partial \varphi^2} = -ik^2 \bar{A}; \quad (2.2)$$

де: i – уявна одиниця;

Векторний потенціал є функцією координат, користуючись прийомом поділу змінних, його величину можна подати для обох областей у відомому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= R_1(\rho) \sin \varphi \\ A_2 &= R_2(\rho) \sin k\varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

де n – порядковий номер гармоніки;

$R_1(\rho)$ – деяка невідома функція, що вимагає знаходження та підпорядковується рівнянню Бесселя:

$$\frac{\partial^2 R_1}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial R_1}{\partial \rho} - \left(-ik^2 + \frac{k^2}{\rho^2} \right) R_1 = 0; \quad (2.4)$$

Загальним рішенням для A_1 є рівняння:

$$A_1 = \sum_1^k C_{1k} I_k \left(i^{\frac{3}{2}} K_{1\rho} \right) \cos k\varphi; \quad (2.5)$$

де: I_k – функція Бесселя для уявного аргументу.

За допомогою (2.5) визначаються радіальна та тангенціальна складові напруженості поля в тілі заготовки та на її поверхні:

$$H_{1\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_1}{\partial \varphi} = \sum_1^k k C_{1k} \cdot \frac{I_k \left(i^{\frac{3}{2}} k_{1\rho} \right)}{\rho} \cos k\varphi$$

$$H_{1\varphi} = -\frac{\partial A_1}{\partial \rho} = -0.5 \sum_1^k k_1 i^{\frac{3}{2}} C_{1k} \left[I_{k-1} \left(i^{\frac{3}{2}} C_{1\rho} \right) - I_{k+1} \left(i^{\frac{3}{2}} k_{1\rho} \right) \sin k\varphi \right] \quad (2.6)$$

Рішенням (3.4) для A_2 є рівняння:

$$A_2 = H_0 \rho \sin \varphi + \sum_1^k C_{2k} \rho^{-k} \sin k\varphi + K_2 \quad (2.7)$$

З врахуванням (2.7) складові напруженості магнітного поля в II області можуть бути визначені з рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} H_{2\rho} &= H_0 \cos \varphi + \sum_1^k k C_{2k} \rho^{-(k+1)} \cos k\varphi \\ H_{2\varphi} &= H_0 \sin \varphi + \sum_1^k k C_{2k} \rho^{-(k+1)} \sin k\varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Граничні умови на циліндричній поверхні заготовки мають вигляд:

$$H_{1\varphi} = H_{2\varphi}; \mu_2 H_{1\rho} = \mu_2 H_{2\rho} \quad (2.9)$$

Підставивши (2.6) і (2.8) в (2.9), визначаться коефіцієнти. Потім цей вираз подамо деяким комплексним числом:

$$N = M - in \quad (2.10)$$

Тоді, величини котрі нас цікавлять, величини $H_{2\rho}$, і $H_{2\varphi}$ після помноження на сполучені з ними комплексні вирази, кінцево набудуть вигляду, для визначення напруженості магнітного поля в будь-якій точці II області з врахуванням поля індуктора та поля вихрових струмів заготовки:

$$H_{2\rho} = H_0 \cos \varphi \sqrt{\left(1 + M \frac{r^2}{\rho^2}\right)^2 + \frac{r^4}{\rho^4} \Pi^2} \quad (2.11)$$

$$H_{2\varphi} = H_0 \sin \varphi \sqrt{\left(1 + M \frac{r^2}{\rho^2}\right)^2 + \frac{r^4}{\rho^4} \Pi^2}$$

2.6.3 Сили, що діють на одиничне зерно порошку в процесі полірування

На кожне зерно магнітно - абразивного порошку, що перебуває в робочому зазорі, діє комплекс сил магнітного, електромагнітного та механічного походження. Склад цього комплексу визначається характером зовнішнього магнітного поля, електропровідними властивостями матеріалу порошку, обраною схемою полірування, механічною характеристикою

порошкового середовища, формою та розмірами зерен, властивостями застосовуваної МОТС.

Сили, що діють на кожне зерно магнітно – абразивного порошку визначимо за наступним відомим рівнянням:

$$\bar{F}_P = \bar{F}_M + \bar{F}_{M1} + \bar{F}_{ЭМ} + \bar{F}_{ЭМ1} + \bar{F}_T + \bar{F}_{ИН} + \bar{F}_{цБ} + \bar{F}_{М.Д.} + \bar{F}_{ТР}, \quad (2.12)$$

де: \bar{F}_M – магнітна сила;

\bar{F}_{M1} – додаткова магнітна сила;

$\bar{F}_{ЭМ}$ – електромагнітна сила з пульсуючим полем;

$\bar{F}_{ЭМ1}$ – електромагнітна сила в робочому зазорі;

\bar{F}_T – сила ваги;

$\bar{F}_{ИН}$ – інерційна сила;

$\bar{F}_{цБ}$ – відцентрова сила;

$\bar{F}_{М.Д.}$ – сила механічного тиску;

$\bar{F}_{ТР}$ – сила тертя.

У кожному конкретному способі МАП може брати участь тільки частина перерахованих складових сил. При цьому для спрощення розрахунків деякими силами можна знехтувати. Сили механічного тиску $\bar{F}_{М.Д.}$ та тертя $\bar{F}_{ТР}$, що діють на окреме зерно з боку навколишнього порошкового середовища, можуть бути отримані тільки в ході розрахунку взаємодій у робочому зазорі. Інші складові сили можуть бути оцінені попередньо. У табл. 2.1 наведені можливі числові значення складових сил.

Таблиця 2.1 – Імовірні значення складових сил, що діють на одиничне зерно порошку в процесі МАП

Фізична природа сили	Позначення	Значення сили, Н
1	2	3
Магнітна сила, викликана взаємодією молекулярних струмів матеріалу зерна із зовнішнім полем	\bar{F}_M	$(2 \div 10) \cdot 10^{-4}$
Додаткова магнітна сила, викликана прагненням еліпсоїдного зерна орієнтуватися уздовж силових ліній поля	\bar{F}_{M1}	$(7 \div 15) \cdot 10^{-4}$
Електромагнітна сила взаємодії індукційних струмів зерна із зовнішнім пульсуючим полем ($\omega = 15$ Гц)	\bar{F}_{3M}	$(2 \div 12) \cdot 10^{-9}$
Електромагнітна сила взаємодії індукційних струмів зерна, що рухається в робочому зазорі	\bar{F}_{3M1}	$4 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-7}$
Сила ваги	\bar{F}_T	$2,5 \cdot 10^{-7}$
Інерційна сила, що виникає при зіткненні зерна, що рухається, з оброблюваною поверхнею	\bar{F}_{IH}	$6,5 \cdot 10^{-6}$
Відцентрова сила, що виникає при обертанні зерна з магнітним індуктором	$\bar{F}_{цБ}$	$(1 \div 5) \cdot 10^{-6}$

Зазначені дані дозволяють спростити розрахунки сил різання, обмежившись розглядом тільки магнітних, інерційних і відцентрових сил. Останні при збільшенні швидкості головного руху полірування більшої за прийняту в розрахунок можуть досягати та перевищувати значення магнітних сил \bar{F}_M , що втримують зерна в робочому зазорі.

Прийнявши допущення про симетричну форму зерен порошку (куля, еліпсоїд, куб), ізотропності магнітних властивостей матеріалу зерна та про його високу магнітну проникність, для визначення значення магнітної сили, що діє на поверхню, розміщену в магнітному полі, скористаємося наступною відомою залежністю:

$$F_M = \frac{1}{\mu_0} V B \overline{\text{grad} B}, \quad (2.13)$$

де: μ_0 – магнітна постійна;

V – обсяг феромагнітного зерна, м^3 ;

$\overline{\text{grad} B}$ – вектор градієнта магнітної індукції в тій же крапці.

Якщо зерно порошку має подовжену форму, то на нього крім сили F_M діє момент магнітних сил M_M , що може бути визначений за допомогою формули:

$$M_M = \rho S l M_* \sin 2\theta, \quad (2.14)$$

де: ρ – магнітний тиск на одиничну площадку поверхні зерна;

S – площа середнього поперечного перерізу еліпсоїда;

l – довжина найбільшої його осі;

θ – кут між напрямками найбільшої осі еліпсоїда та зовнішнього поля.

2.6.4 Розрахунок сил різання

При поліруванні методом МАП діють складові сили різання P : P_z , P_y та P_x , що є результатом дії всіх зерен порошку в робочому зазорі, але

направлені до зовнішнього діаметра обертового полюса індуктора. При цьому головна складова сили різання P_z спрямована так само, як швидкість головного руху різання V , радіальна складова сили різання P_y діє перпендикулярно до оброблюваної площини, а напрям осьової складової сили різання P_x збігається з напрямом руху подачі.

Основними технологічними факторами, що впливають на значення сил різання при циліндричному поліруванні, є магнітна індукція B у робочому зазорі, висота робочого зазору δ , зернистість порошку, швидкість головного руху різання V , рух подачі та вихідний параметр шорсткості поверхні R_a узагальнені в залежності від цих факторів для всіх трьох складових сили різання мають вигляд:

$$P_y = \frac{48B^{4,5} v^{0,8} R_a^{0,2}}{v^{0,5} D_s^{0,2} \delta^{0,4}}; \quad (2.15)$$

$$P_z = \frac{616B^{0,5} D_s^{1,1} v^{0,2} R_a^{1,2}}{v^{1,6} \delta^{0,8}}; \quad (2.16)$$

$$P_x = \frac{5600B^3 D_s^{0,8} v^{1,2} R_a^{0,2}}{v^{0,6} \delta^{1,3}}; \quad (2.17)$$

де: B – магнітна індукція;

v – швидкість головного руху різання;

R_a – шорсткість поверхні;

D_s – подача;

δ - висота робочого зазору.

Як результат, можна сказати наступне.

У схемі МАП I - А - 1 роль різального інструменту виконує порція магнітно - абразивного порошку, а заготовку для полірування розміщують

між полюсами магнітного індуктора. Робочий зазор частково або повністю заповнений магнітно - абразивним порошком. При цьому швидкість різання приблизно дорівнює швидкості руху поверхні заготовки:

$$V_p = V - V_z \approx V,$$

Наведені приклади аналітичного розрахунку поля в робочих зонах показують, що єдиної методики для всієї кількості схем МАП запропонувати майже не можливо. Кожна з розроблених методик має право на життя та може бути справедлива тільки для групи схем полірування по конфігурації робочої зони.

У кожному конкретному способі МАП може брати участь тільки частина перерахованих складових сил.

Склад цього комплексу сил визначається характером зовнішнього магнітного поля, електропровідними властивостями матеріалу порошку, обраною схемою полірування, механічною характеристикою порошкового середовища, формою та розмірами зерен, властивостями використовуваного МОТС.

Найбільше значення має радіальна складова сили різання P_y . У площині полюса немає концентраторів магнітного потоку, розташованих перпендикулярно до вектора швидкості головного руху різання V . Тому значення сили P_z виявилися істотно (в 5—10 разів) меншими, чим сили P_y . Основним фактором, що впливає на силу різання, є магнітна індукція. Збільшення швидкості V сприяє зменшенню сил P_y та P_x , а сила P_z при цьому трохи зростає.

3 ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Устаткування для магнітно-абразивної обробки циліндричних поверхонь

3.1.1 Базові дані для модернізації верстата

Спеціалізованого виробництва устаткування для магнітно - абразивного полірування на даний час немає, тому при впровадженні нового процесу можна скористатися досвідом і конструкторськими розробками та доробками заводів і науково - дослідницьких організацій, що вже використовують цей процес. Гама типорозмірів верстатів, розроблена в цих організаціях, могла б послужити основою для централізованого виробництва магнітно-абразивних верстатів у нашій країні.

Для зовнішнього полірування деталей у центрах може бути використано після проведення модернізації відомий звичайний токарно - гвинторізний верстат, наприклад, верстат мод. 16Б04А.

3.2 Опис, конструкція та модернізація верстата

За основу модернізації верстата взятий токарно - гвинторізний верстат.

Компоновка модернізованого верстата наведена на рис. 3.1.

Оброблювана деталь кріпиться в центрах додаткового шпинделя 6 і пінолі задньої бабки. Для обертання деталі використовується існуючий на верстаті кінематичний ланцюг, що забезпечує привід головного руху верстата, а саме обертання шпинделя. Передбачений на токарних верстатах діапазон швидкостей (частот обертання) шпинделя достатній для магнітно - абразивного полірування. Введення додаткового шпинделя зумовлено необхідністю надання деталі осцилюючого руху. Для цього в кінчному отворі основного шпинделя закріплюється шліцева втулка, що використовується, як ліва опора додаткового шпинделя. Роль другої його

опори виконує підшипник ковзання, встановлений у спеціальному корпусі 5, закріпленому на напрямні станини.

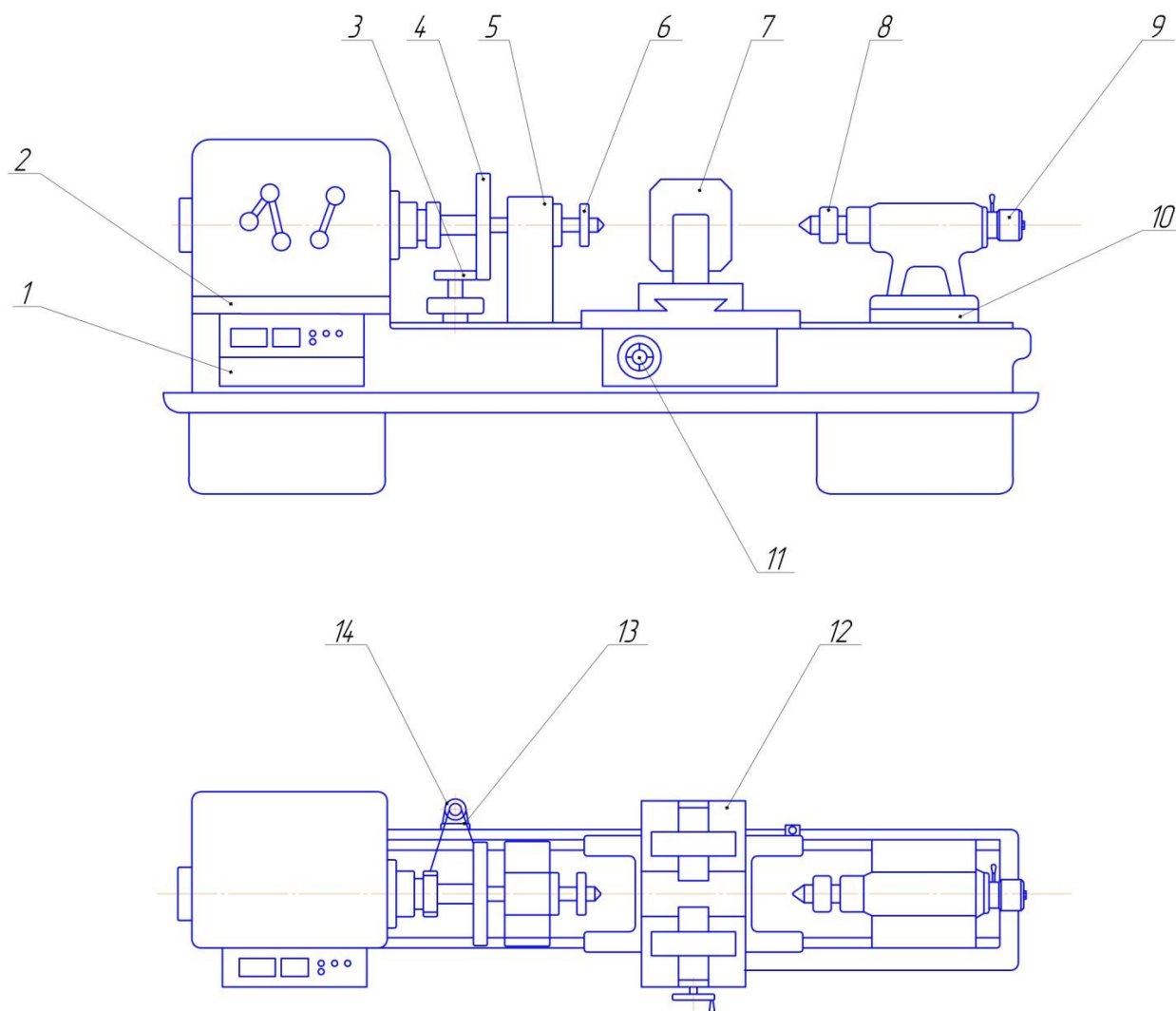


Рис. 3.1 - Модернізований токарний верстат для зовнішнього циліндричного магнітно - абразивного полірування

Для надання додатковому шпинделю осцилюючого руху на задній стінці станини розташований асинхронний двигун 14, від якого оберти через пасову передачу 13, передаються ексцентрично встановленому шарикопідшипнику 3. Останній діє на маховик 4, жорстко закріплений на додатковому шпинделі. Цей же маховик використовується для провертання шпинделя вручну при введенні магнітно – абразивного порошку в робочі зазори. Ексцентричний шарикопідшипник 3 переміщує додатковий шпиндель

б тільки ліворуч праворуч. Зворотне переміщення здійснюється підпружиненим заднім центром 8. Тому осцилюючий рух деталі може бути забезпечений тільки у випадку закріплення її в центрах. При консольному закріпленні полірування деталі неможливо. Для полірування консольно закріплених деталей необхідно використати механізми осциляції, здатні надавати примусове осьове переміщення шпинделю в обидва боки. Задній центр повинен бути і далі підпружинений для випадку двоопорного закріплення деталей.

Незалежно від того, однобічний або двосторонній примусовий рух надає шпинделю механізм осциляції, двоопорне кріплення деталі вимагає рухомості заднього центру в осьовому напрямку. Піноль задньої бабки разом із заднім центром підводиться до деталі та закріплюється за допомогою пневмоциліндра 9. Задній центр виконаний із циліндричним хвостовиком і вмонтований в отворі пінолі рухомо. Розміщена у середині пінолі пружина притискає задній центр до оброблюваної деталі, забезпечуючи необхідне зусилля її закріплення при осциляції. Електромагнітний індуктор 12 монтується на поперечних напрямних супорта. Полюси індуктора мають можливість синхронно рухатися до центра або від центра деталі. Супорт разом з електромагнітним індуктором може переміщатися уздовж напрямних станини вручну задля переналагодження з обробки однієї деталі на іншу. Верстат призначений для відтворення полірування за схемою, показаною на рис. 2.1. Тому тут не передбачено механічне поздовжнє переміщення супорта та звичайний кінематичний ланцюг подач забрано, за винятком маховика 11 із механізмом шестереня – рейка. На місці коробки подач розміщена електроапаратура керування 1 живленням електромагнітних обмоток 7 індуктора. Від існуючого на токарних верстатах кінематичного ланцюга поздовжніх подач доводиться відмовлятися і у тих випадках, коли потрібно відтворювати схему полірування, показану на рис. 3.2. Необхідний в цьому випадку зворотно – поступальний поздовжній рух супорта з індуктором

здійснюється за допомогою гідروприводу, робочий гідроциліндр якого розміщують на задній стороні станини.

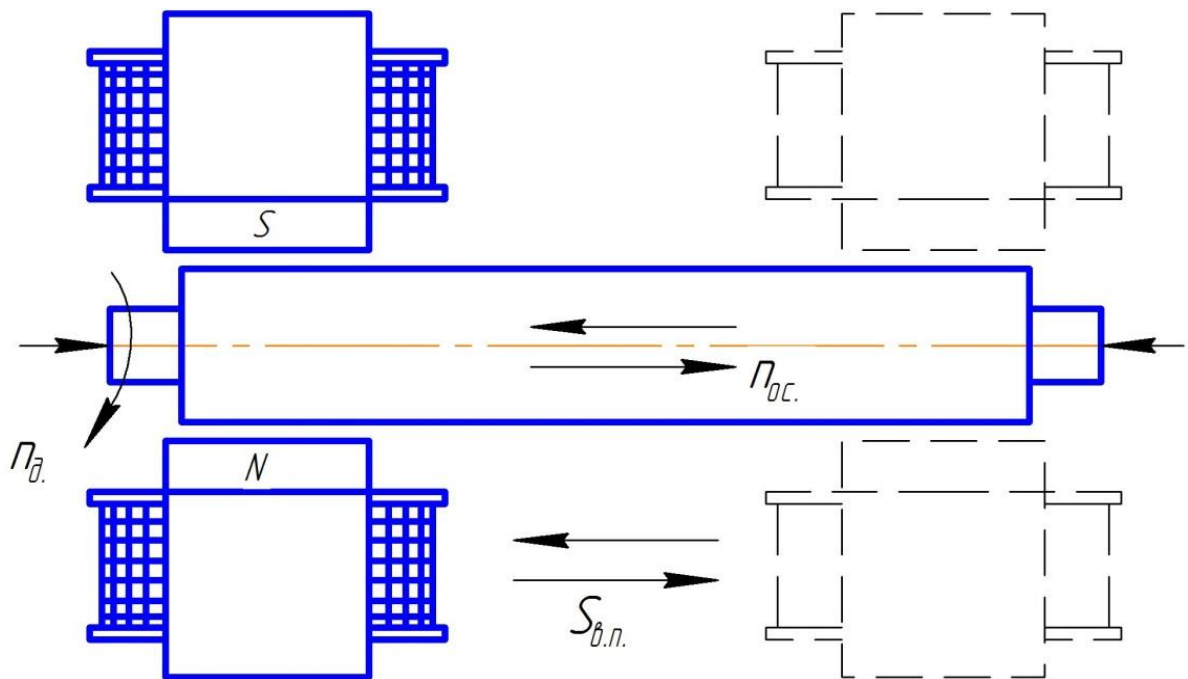


Рис. 3.2 - Схема зовнішнього циліндричного (круглого) полірування поверхонь

Висота осі полюсів індуктора звичайно виходить трохи вище висоти центрів верстата. Тому передню та задню бабки верстата необхідно підняти над станиною за рахунок встановлення додаткових плит 2 й 10.

3.3 Вибір, опис і конструкція електромагнітного індуктора

3.3.1 Огляд видів електромагнітних індукторів

Електромагнітні індуктори постійного струму знайшли широке застосування при магнітно - абразивному поліруванні. Їх основною перевагою вважається зручність керування середнім значенням магнітної

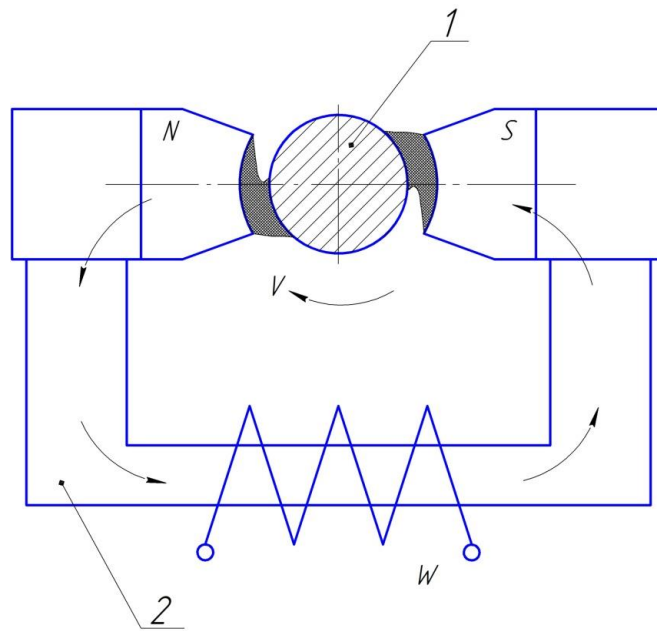
індукції в робочих зазорах за рахунок регулювання струму в котушках, що намагнічують.

Електромагнітні індуктори зручні з точки зору розмагнічування робочої зони. Для виготовлення електромагнітних індукторів не потрібно дорогих і дефіцитних матеріалів. До їх недоліків можна віднести великі розміри та маса котушок, що намагнічують, і індуктора в цілому, ускладнений доступ до робочої зони, необхідність в окремому блоці живлення та керування індуктором, у герметизації котушок від попадання МАТС. Для обертових індукторів потрібні ковзаючі електроконтакти, що швидко зношуються та вимагають регулярного ремонту. Близьке розташування полюсів електромагнітів приводить до появи великих магнітних потоків розсіювання. Через це буває ускладнене або неможливе полірування важкодоступних поверхонь і немагнітних матеріалів.

При аналізі прийнятої схем МАП, у яких використовуються електромагнітні індуктори, відслідковуються три їх різновиди.

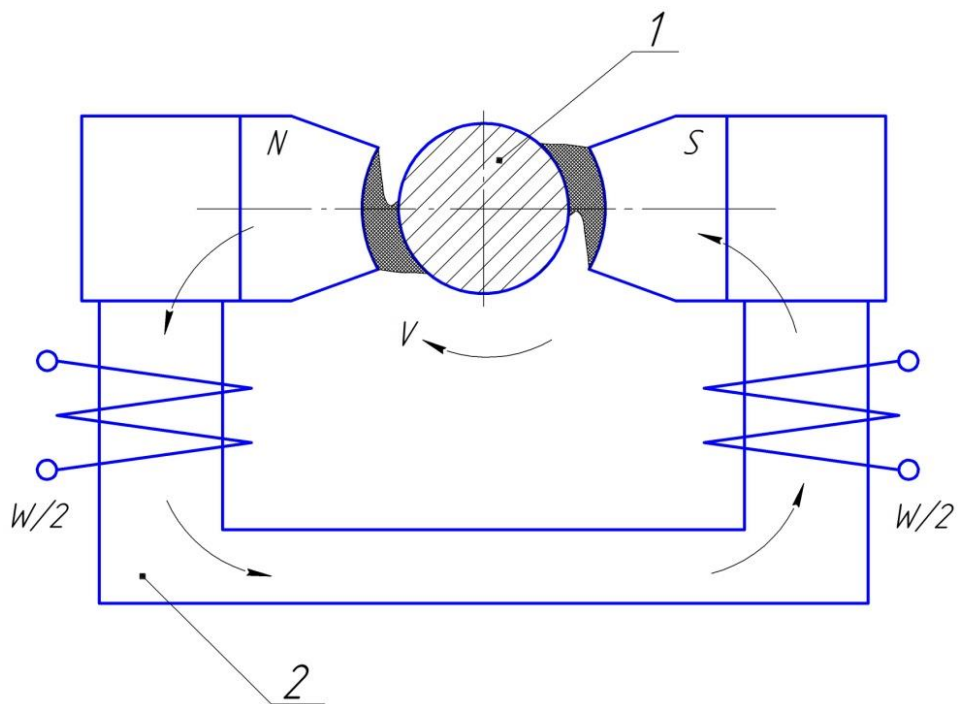
В одних схемах (мал. 3.3) обидва полюси електромагніта W беруть участь в утворенні робочих зазорів. Тут замикання магнітного потоку здійснюється через магнітопровід 2, робочий зазор та заготовку 1. Завдяки малому магнітному опору магнітопроводу МРС котушки, що намагнічує, використовується максимально. При цьому в робочих зазорах вдається створити високі значення магнітної індукції, а розміри котушки, що намагнічує, і споживана потужність електроенергії порівняно невеликі.

Для створення високих значень індукції у робочій зоні необхідно схеми оснащувати індукторами із великогабаритними котушками, що намагнічують. З погляду зручності обслуговування магнітно - абразивного верстата зручніше розташовувати так, як показано на мал. 3.3, 3.4. У цьому випадку вся зона обробки відкрита для спостереження, засипання та видалення магнітно - абразивного порошку, а також для встановлення та зняття заготовки.



1 – заготовка; 2 – магнітопровід.

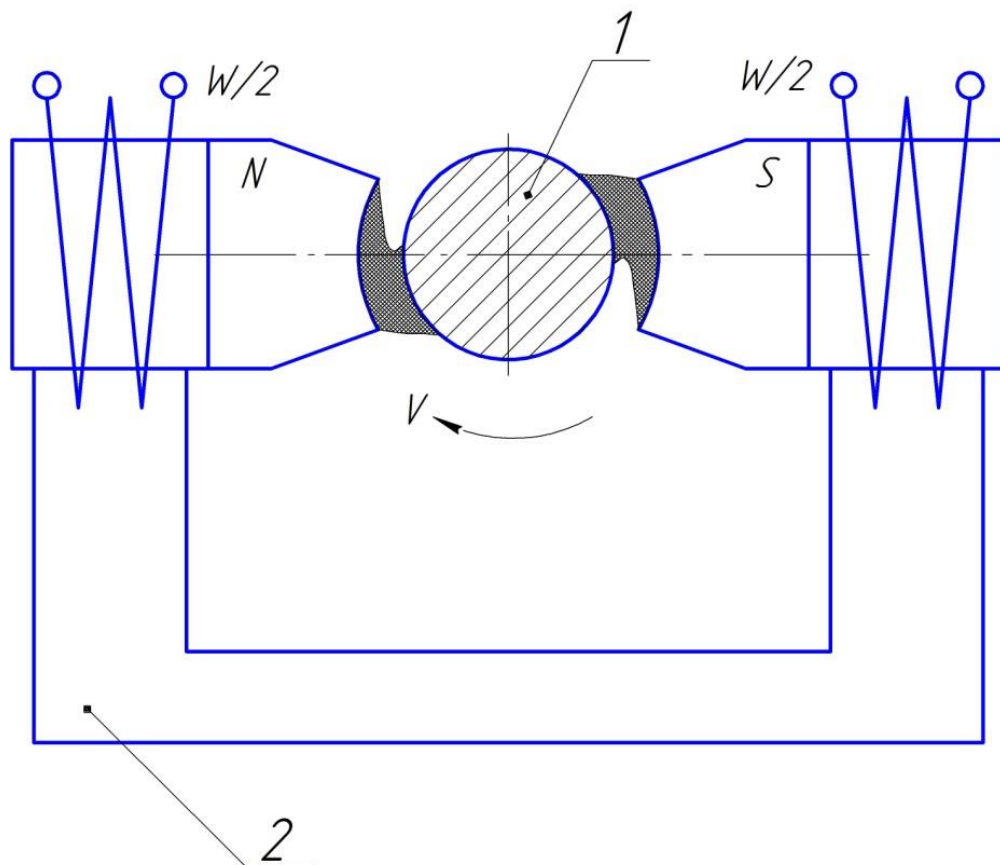
Рис. 3.3 - Схема МАП з електромагнітним індуктором постійного струму



1 – заготовка; 2 – магнітопровід.

Рис. 3.4 - Схема МАП з електромагнітним індуктором постійного струму

Наближення намагнічувальних котушок дозволяє корисно використати більшу частку МРС котушок за рахунок зменшення потоків розсіювання на шляху проходження основного магнітного потоку від намагнічувальних котушок до робочої зони. Так, розташування котушок за схемою рис. 3.5 дозволило в конкретній конструкції отримати на полюсах індуктора вдвічі більшу індукцію. Це говорить про те, що застосування схеми 3.5 дозволяє отримати необхідну величину індукції при вдвічі менших розмірах котушок і меншому споживанні електроенергії. Ефективність від наближення котушок до робочої зони залежить від магнітного опору магнітопроводу.



1 – заготовка; 2 – магнітопровід.

Рис. 3.5 - Схема МАП з електромагнітним індуктором постійного струму

3.3.2 Опис і конструкція електромагнітного індуктора

Опис і конструкція електромагнітного індуктора (рис. 3.6) включає корпус 1, каретки 2 з Г – подібними магнітопроводами 3, електромагнітними котушками (обмотками) 4 і змінними полюсними наконечниками 5.

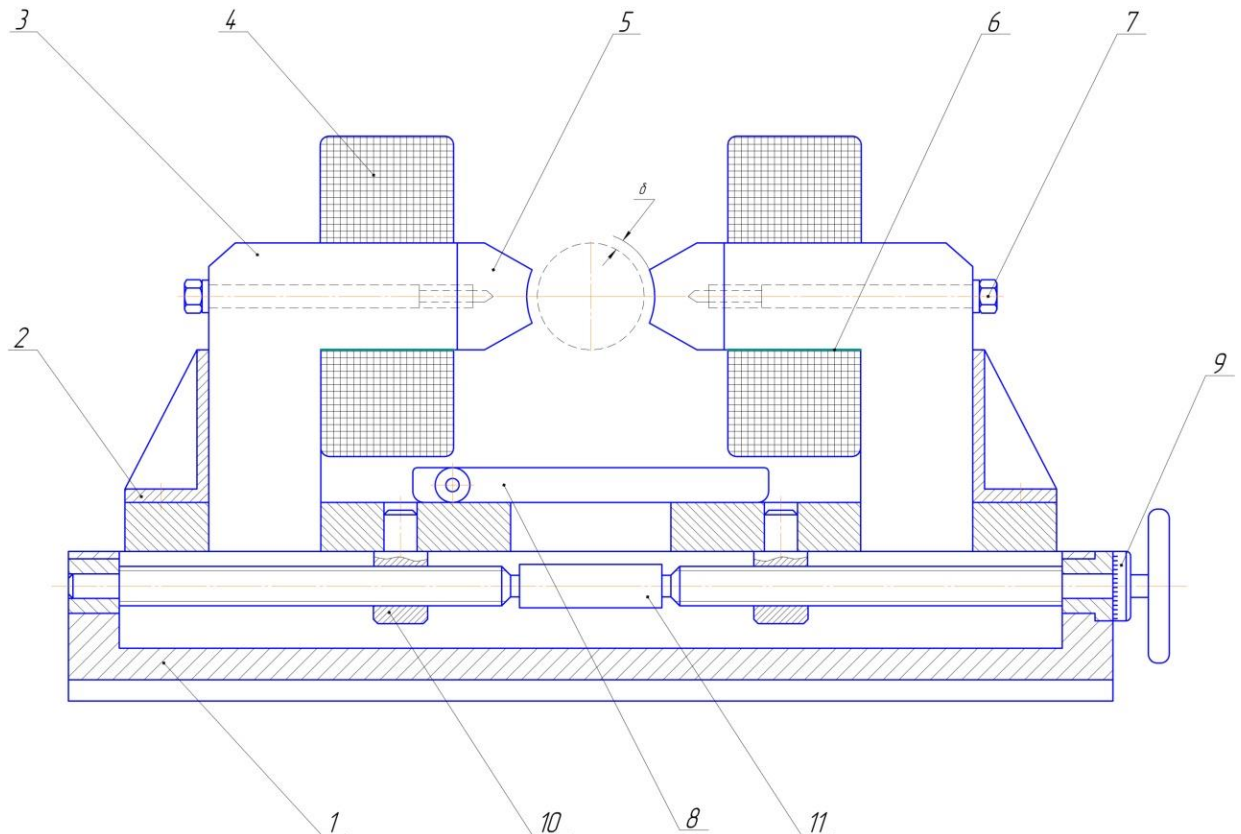


Рис. 3.6 - Конструкція електромагнітного індуктора

В корпус 1 розміщений гвинт 11 з ділянками правої та лівої різі і два замикаючих магнітопроводи розташованих у порожнині та уздовж гвинта по обидві сторони від нього. Корпус 1 закріплюють на супорті так, щоб забезпечити симетричність розташування полюсів щодо осі центрів верстата. Матеріал корпусу може бути як магнітопровідним, так і немагнітним, але повинен мати високу зносостійкість. Каретки 2 за допомогою гвинта 11 і

гайок 10 синхронно переміщуються до осі деталі або від осі, для переналагодження з одного оброблюваного діаметра на інший та для встановлення заданих робочих зазорів δ . Необхідну величину переміщення відраховують на лімбі 9. Матеріал кареток краще вибирати немагнітним, щоб зменшити витік магнітних потоків. Сполучення кареток з напрямними корпуса має забезпечити досить високу жорсткість. При включеному магнітному полі полюси притягуються до деталі із силою:

$$P = \frac{B^2 S_p}{\mu_0} \approx 40 B^2 s_p, \quad (3.1)$$

де: S_p – площа робочої поверхні полюса, см^2 ;

B - магнітна індукція на полюсі, Т;

μ_0 – магнітна постійна.

Моменти, створені цими силами, прагнуть перекинути каретку та відірвати її від напрямних корпуса. Деформації рухомих елементів магнітної системи під дією сил притягання можуть істотно змінювати розміри спочатку налаштованих робочих зазорів і це необхідно враховувати при конструюванні магнітного індуктора. Г - подібні магнітопроводи 3, жорстко закріплені на каретках, у будь-якому положенні останніх повинні перебувати в контакті із замикаючими магнітопроводами. Кожен повітряний зазор на шляху проходження основного магнітного потоку є магнітним опором, що вимагає помітного збільшення МРС обмоток. Для зменшення такого зазору в місці контакту нижніх торців магнітопроводів 3 з верхніми площинами замикаючих магнітопроводів потрібно або забезпечити високу точність всіх розмірів, що впливають на величину зазначеного зазору, або, що набагато легше, - вільно встановити замикаючі магнітопроводи в корпусі 1. При включенні магнітного поля вони будуть силами поля притягнуті до Г - подібних магнітопроводів, і за умови виконання контактних площин без

перекосів магнітний опір контактів буде мінімальним. Збільшення площі контакту магнітопроводів зменшує магнітний опір контакту та збільшує жорсткість каретки при включеному магнітному полі.

Змінні полюсні наконечники 5 встановлюються на торцях магнітопроводів 3, для цього там передбачені вертикальні напрямні та обмежувальні планки 6. Закріплення змінних наконечників здійснюється гвинтами 7. Повітряні зазори в контакті наконечників 5 і магнітопроводів 3 у напрямку основного магнітного потоку повинні бути також зменшені до мінімуму.

Всі деталі, що складають основний магнітний ланцюг, повинні виконуватися з магнітних матеріалів з високими значеннями магнітної проникності та індукції насичення. Найбільш придатні для цієї мети і не дефіцитні сталі типу Армко (марки А або Э), сталі 10, Ст. 3 та 20. Для забезпечення високих магнітних властивостей деталі із цих сталей наприкінці механічної обробки їх потрібно піддати відпалу, а при неможливості - шліфуванню.

Електромагнітні обмотки 4 можуть бути розміщені як на вертикальних, так і на горизонтальних ділянках Г - подібних магнітопроводів. Їх вертикальне розміщення максимально звільняє робочу зону та створює зручності в обслуговуванні верстата. У цьому випадку для налаштування можна переміщати не каретки, а тільки горизонтальні ділянки Г - подібних магнітопроводів. Але у вертикально розташованих обмоток є більші втрати магнітного потоку на шляху від обмоток до робочих зазорів.

3.4 Опис і конструкція задньої бабки

На рим. 3.7 наведено конструкція задньої бабки, що дозволяє здійснювати закріплення оброблюваної деталі в центрах за допомогою пневмоциліндра та можливість, що надає задньому центру, осьовий рух осциляції разом з деталлю. Задня бабка встановлюється на верстат за

допомогою гвинтів 14. При обертанні рукоятки 19 через ексцентрик 4 задня бабка притискається гвинтом 12 до станини. Звичайний обертовий центр 8 своїм конічним хвостовиком кріпиться в отворі піноли 6, що рухомо змонтована в корпусі 3 задньої бабки. За допомогою пневмоциліндра 20, через гвинт 13, що кріпиться на підшипниках 17 можна регулювати виліт пінолі.

Довжина ходу піноли l повинна бути досить велика, щоб закріпити деталь і залишити вільну можливість для осциляції пінолі під час полірування. Якщо амплітуду осциляції позначити x . То різниця $l - 2x$ повинна перевищувати довжину ходу центра, необхідну для закріплення деталі.

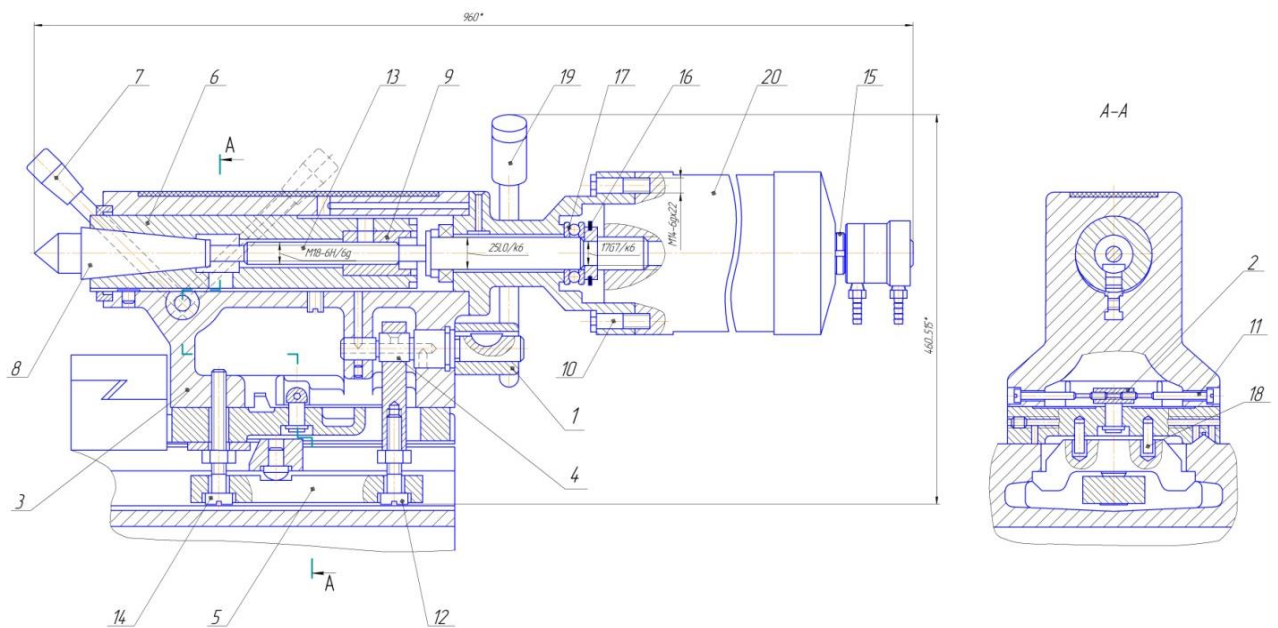


Рис. 3.7 - Конструкція задньої бабки з ручним керуванням

Щодо викладеного вище.

За основу модернізації верстата взятий токарно - гвинторізний верстат.

Компонування модернізованого верстата показані на рис. 3.1.

Суть модернізація передбачає:

- додатковий шпindel 6 (введення додаткового шпинделя є необхідністю надання деталі осцилюючого руху);
- корпус 5 (у ньому розташований підшипник ковзання, який служить опорою для шліцевої втулки);
- асинхронний двигун 14 (забезпечує додатковий рух шпинделю);
- пасова передача 13;
- маховик 4 (використовується для провертання шпинделя вручну при введенні магнітно – абразивного порошку в робочі зазори);
- ексцентричний шарикопідшипник 3 (переміщає додатковий шпindel 6);
- гідроциліндр 9 (піноль задньої бабки разом із заднім обертовим центром підводить до деталі та закріплює її);
- електромагнітний індуктор 12 (використовується для обробки поверхні);
- електроапаратура 1;
- додаткові плити 2 та 10 (висота осі полюсів індуктора виходить трохи вище висоти центрів верстата, тому передню та задню бабки верстата необхідно підняти над станиною).

Розглянуто кілька видів індукторів і був обраний індуктор, що показаний на схемі 3.5, тому що дозволяє з максимальною корисною ефективністю використати більшу частку МРС котушок за рахунок зменшення потоків розсіювання, що дозволило в конкретній конструкції отримати на полюсах індуктора вдвічі більшу індукцію B . Це означає, що застосування схеми 3.5 дозволяє отримати необхідну величину індукції B при вдвічі менших розмірах котушок і меншому споживанні електроенергії.

Також була модернізована задня бабка рис. 3.7. Замість ручки для затиску встановлено пневмоциліндр, що дозволило скоротити час на встановлення (закріплення) та зняття деталі.

3.5 Експериментальна частина

3.5.1 Методика проведення експериментів

За основу модернізації верстата використали токарно - гвинторізний верстат.

Компонування модернізованого верстата наведено на рис. 3.1.

Розглянуто схеми індукторів та вибрано електромагнітний індуктор постійного струму, що дозволяє, за рахунок розміщення котушок в 2 рази збільшити на полюсах індуктора індукцію B . Для процесу МАП застосовується задня бабка з пневмоциліндром.

Для дослідження процесу та визначення залежності шорсткості оброблюваної поверхні були виготовлені дослідні зразки зі сталі 45Х з зовнішнім діаметром 65 мм, вихідною шорсткістю R_a 1,25 (мкм) сформували на операції шліфування.

3.5.2 Експериментальне дослідження залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від: колової швидкості обертання заготовки V ; часу обробки τ ; величини робочого зазору δ .

При дослідженні оброблюваності поверхонь, була проведена оптимізація MAO, що використовувалася як викінчувальна (фінішна) операція. Оптимізація проводилася з використанням методу математичного планування експериментів [38].

Як параметри оптимізації процесу прийняті:

- R_a – шорсткість поверхні після обробки, мкм;
- Q – продуктивність, мг.

Незалежними змінними були основні технологічні фактори:

- V – окружна швидкість обертання зразка, м/хв;
- τ – час обробки, хв;

– δ – величина робочого зазору, мм.

Визначення впливу факторів МАО V , τ , δ на величину шорсткості поверхні R_a та продуктивність Q процесу, а також оптимізацію режиму обробки проводили по моделях (1) і (2).

Для цього проводилися експерименти з 5 заготовками. Будували графік із двох змінних (технологічний фактор і функція). При цьому величини всіх інших факторів стабілізувалися на нульових рівнях.

Результати експериментів залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від колової швидкості обертання заготовки V , наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати експериментів

№ позиції	1	2	3	4	5
Значення R_{a1}	0,11	0,115	0,11	0,113	0,117
Середнє значення R_{a1}	0,113				
Значення Q_1	141	141,7	141,5	141,5	141,2
Середнє значення Q_1	141,38				
Значення R_{a2}	0,083	0,081	0,081	0,085	0,080
Середнє значення R_{a2}	0,082				
Значення Q_2	150,2	149,8	149,9	150,4	150
Середнє значення Q_2	150,08				
Значення R_{a3}	0,080	0,082	0,080	0,084	0,079
Середнє значення R_{a3}	0,82				
Значення Q_3	149,8	150,4	149,7	150,5	150,1
Середнє значення Q_3	150,1				

Графічно моделі (1) і (2) подавали за допомогою одномірних перетинів функцій B_1 та B_2 (рис. 3.8, 3.9, 3.10).

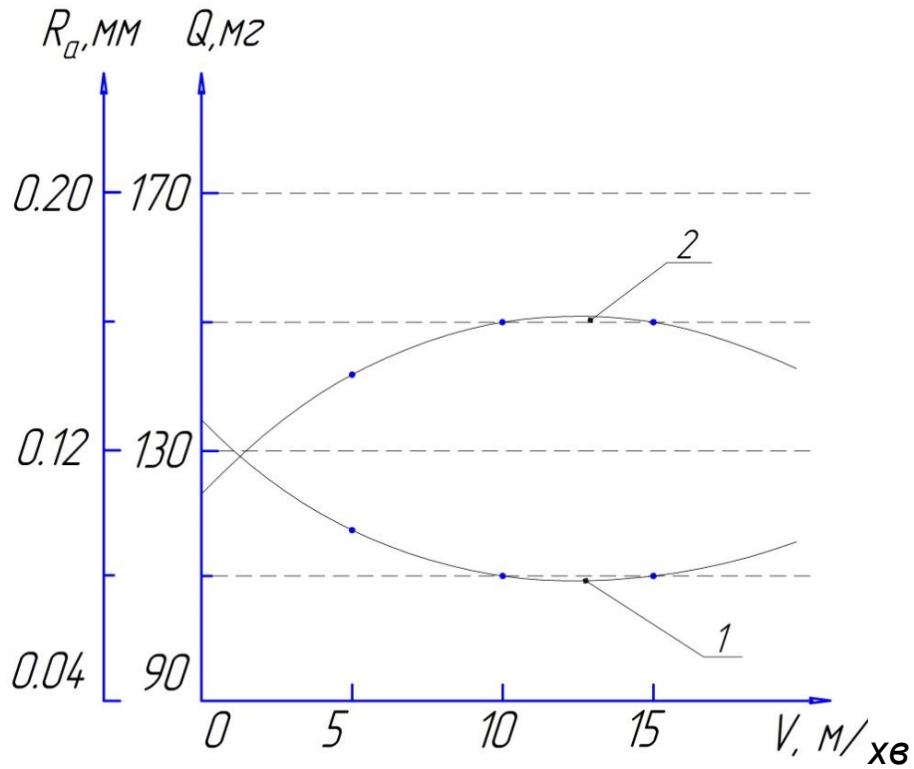
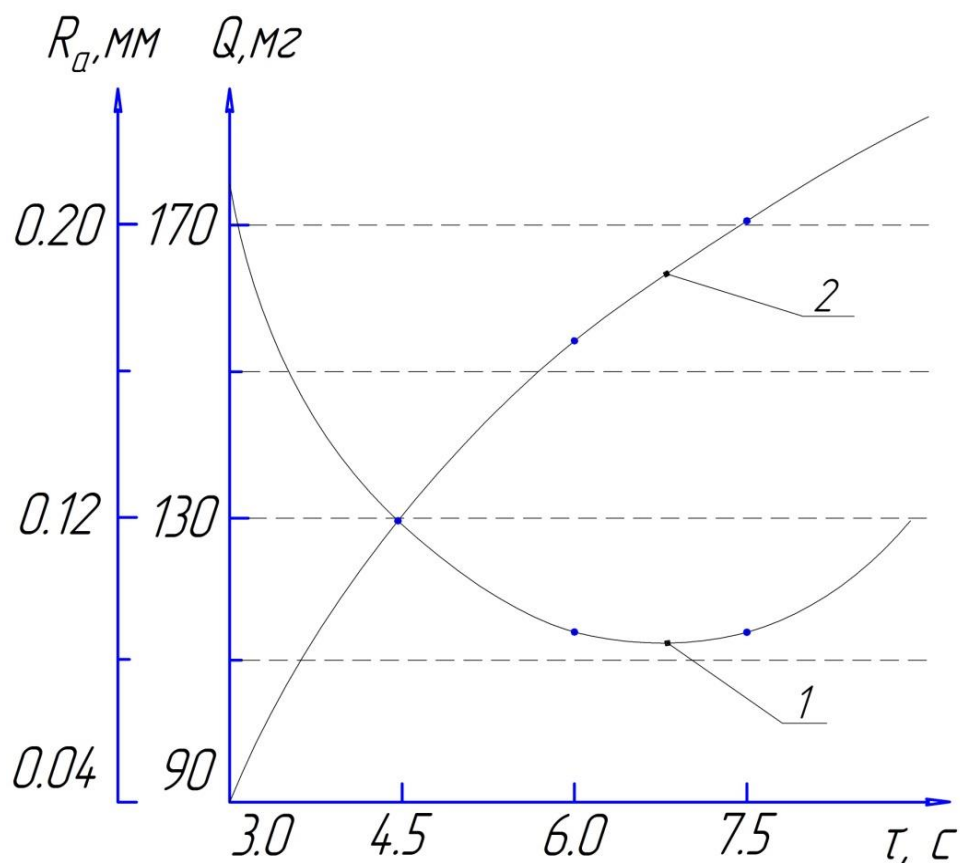


Рис. 3.8 – Залежність шорсткості R_a та продуктивності Q від колової швидкості V .

Результати експериментів залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від часу обробки τ наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментів

№ позиції	1	2	3	4	5
Значення R_{a1}	0,122	0,120	0,118	0,118	0,124
Середнє значення R_{a1}	0,121				
Значення Q_1	129,9	129,9	130,4	130	129,8
Середнє значення Q_1	130,03				
Значення R_{a2}	0,090	0,089	0,092	0,094	0,088
Середнє значення R_{a2}	0,091				
Значення Q_2	154,9	155,2	155	155,1	155
Середнє значення Q_2	155,1				
Значення R_{a3}	0,089	0,091	0,090	0,088	0,090
Середнє значення R_{a3}	0,088				
Значення Q_3	170,1	169,8	170,5	170,5	169,5
Середнє значення Q_3	170,3				

Рис. 3.9 – Залежність шорсткості R_a та продуктивності Q від часу обробки τ .

Результати експериментів залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від величини робочого зазору δ подано в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати експериментів

№ позиції	1	2	3	4	5
Значення R_{a1}	0,092	0,094	0,090	0,089	0,088
Середнє значення R_{a1}	0,091				
Значення Q_1	162	161,8	162,4	161,7	162,2
Середнє значення Q_1	162				
Значення R_{a2}	0,081	0,083	0,081	0,080	0,085
Середнє значення R_{a2}	0,082				
Значення Q_2	140,1	139,9	140,4	140	139,6
Середнє значення Q_2	140,0				
Значення R_{a3}	0,090	0,088	0,094	0,091	0,089
Середнє значення R_{a3}	0,090				
Значення Q_3	127,2	127,3	127	126,8	126,8
Середнє значення Q_3	127,1				

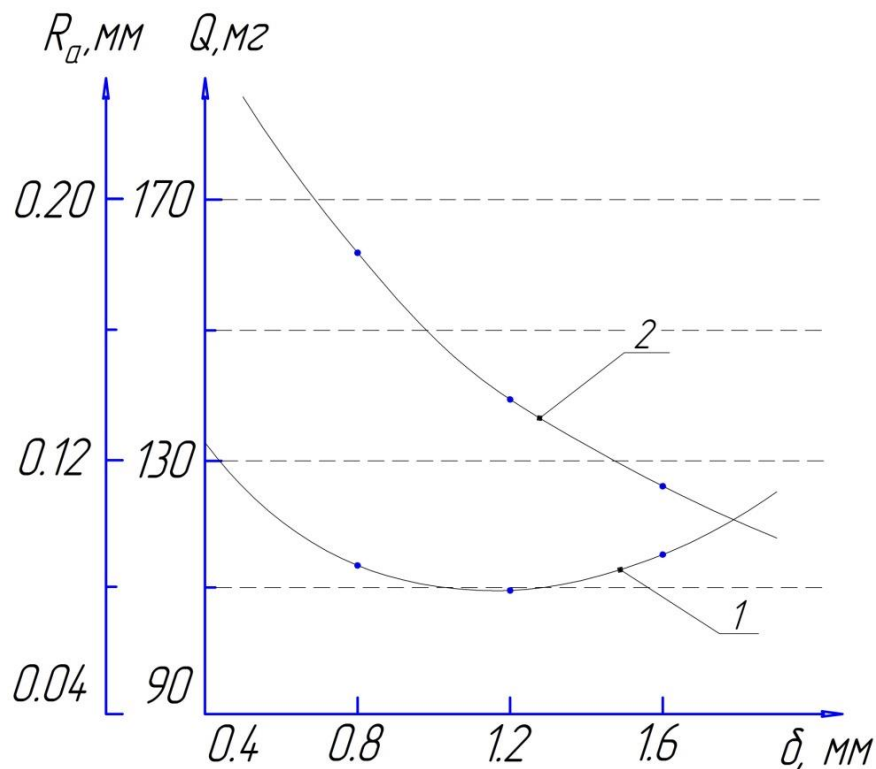


Рис. 3.10 – Залежність шорсткості R_a та продуктивності Q від величини робочого зазору δ .

Аналіз отриманих моделей (1) і (2) та результатів експериментів дозволило встановити ступінь впливу факторів на параметри оптимізації. Вплив технологічних факторів на шорсткість поверхні R_a в порядку зменшення їх значущості можна розташувати в наступній послідовності:

$$R_a: \tau > \delta > V, \text{ а зняття матеріалу } Q: \tau > \delta > V.$$

Час обробки τ безперечно впливає на процес, а саме тривалість впливу значної кількості енергії магнітного поля зерен порошку на оброблювану поверхню. Вплив цього фактору пов'язаний зі зміною числа контактуючих зерен, що залежить від кількості порошку і його розподілу в робочому зазорі, кута охоплення оброблюваної поверхні. Встановлено, що оптимальним є час обробки $6,0 \text{ хв} < \tau < 7,0 \text{ хв}$.

Величина робочого зазору δ визначає довжину ланцюжків зерен порошку та впливає на їх жорсткість. При зменшенні робочого зазору зростає жорсткість порошку, що приводить до збільшення сил різання. Збільшення робочого зазору приводить до зниження ефективності процесу та збільшення витрат порошку. Аналіз залежностей, наведених на мал. 5.3 показує, що найбільш оптимальна величина робочого зазору $1 \text{ мм} < \delta < 1,6 \text{ мм}$.

Швидкість V впливає на кінематику та динаміку процесу, а також на величину вихрових струмів в оброблюваній заготовці та мікрострумів, що індукуються зернами порошку, і визначає процес перемагнічування. Залежності R_a й Q від колової швидкості обертання заготовки V носять експериментальний характер. Результати досліджень показали, що найбільше ефективно для МАО використовувати колову швидкість обертання заготовки в межах $10 \text{ м/хв} < V < 15 \text{ м/хв}$.

3.5.3 Експериментальне дослідження залежності шорсткості поверхні полірування від часу обробки τ і колової швидкості обертання заготовки V

При проведенні експериментів робочий зазор між оброблюваною поверхнею та поверхнею магніту перебуває в межах $0,4 \dots 1,6 \text{ мм}$. Швидкість обертання заготовок змінюється від $10 - 15 \text{ м/хв}$. Використовуваний для полірування заготовок магнітно - абразивний порошок має розміри $0,1 - 0,3 \text{ мм}$, а час обробки змінювався від $1,0 \text{ хв}$ до $7,0 \text{ хв}$.

На рис. 3.11 показана зміна шорсткості поверхні валу від часу обробки та швидкості різання.

Для цього проводилися експерименти з 5 заготовками. Будувався графік з двох змінних (технологічний фактор і функція). При цьому величини всіх інших факторів стабілізувалися на нульових рівнях.

Результати залежності шорсткості поверхні полірування від часу обробки τ і колової швидкості обертання заготовки V подано в табл. 3.4 і 3.5

Таблиця 3.4 – Результати експериментів $V_p = 15$ м/хв

№ позиції	1	2	3	4	5
Значення R_{a1}	0,114	0,113	0,114	0,114	0,113
Середнє значення R_{a1}	0,1137				
Значення R_{a2}	0,061	0,062	0,059	0,058	0,06
Середнє значення R_{a2}	0,06				
Значення R_{a3}	0,035	0,037	0,032	0,035	0,035
Середнє значення R_{a3}	0,035				
Значення R_{a4}	0,030	0,029	0,032	0,028	0,031
Середнє значення R_{a4}	0,030				

Таблиця 3.5 – Результати експериментів $V_p = 10$ м/хв

№ позиції	1	2	3	4	5
Значення R_{a1}	0,107	0,106	0,108	0,109	0,105
Середнє значення R_{a1}	0,106				
Значення R_{a2}	0,074	0,075	0,074	0,073	0,074
Середнє значення R_{a2}	0,074				
Значення R_{a3}	0,060	0,062	0,058	0,061	0,059
Середнє значення R_{a3}	0,060				

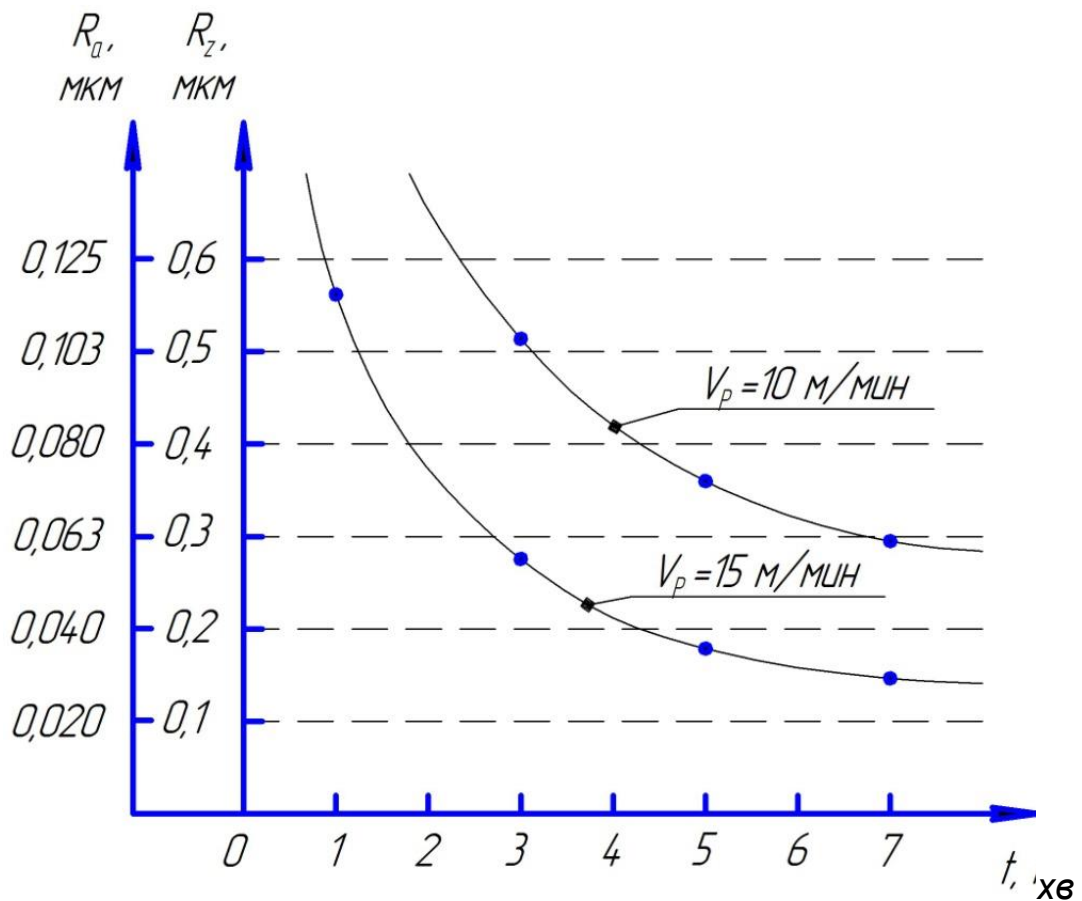


Рис. 3.11 - Залежність шорсткості поверхні полірування від часу обробки τ і швидкості різання V

Найбільш оптимальним часом обробки є $\tau = 6,5...7$ хв, тому що подальша його збільшення практично не впливає на шорсткість обробленої поверхні.

3.5.4 Експериментальне дослідження залежності швидкості різання V від зняття металу Q

Робочі рухи. Головним рухом при поліруванні циліндричних поверхонь є частота обертання деталі (заготовки), що і визначає швидкість різання V . Чим вище частота обертання деталі, тим більшу кількість раз оброблювана поверхня проходить зони абразивного впливу за однаковий проміжок часу.

При цьому, природно, можна було б очікувати безперервного збільшення інтенсивності полірування та зменшення трудомісткості операції. Але дійсна залежність між швидкістю різання та зняттям металу більш складна, тому що визначається нежорстким закріпленням магнітним полем різальних зерен у робочій зоні.

Якщо змінювати швидкість різання та одночасно підтримувати константним шлях різання, то незалежно від умов обробки та оброблюваного матеріалу отримуються характерні залежності.

Для цього проводилися експерименти з 5 заготовками. Будувався графік із двох змінних (технологічний фактор і функція). При цьому величини всіх інших факторів стабілізувалися на нульових рівнях.

Експериментальні значення залежності швидкості різання V полірування знімання металу Q , подано в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати експериментів $V_p = 15$ м/хв

№ позиції	1	2	3	4	5
Значення Q_1	47	46	47,5	45	45,5
Середнє значення Q_1	46,3				
Значення Q_2	56	57,5	55	57	55,5
Середнє значення Q_2	56,3				
Значення Q_3	46	46,5	48	47	45
Середнє значення Q_3	46,5				
Значення Q_4	40,5	39,7	40	40,2	39,9
Середнє значення Q_4	40,1				
Значення Q_5	34	34,1	33,8	33,8	34,2
Середнє значення Q_5	34				
Значення Q_6	27,2	26,9	27,2	27,0	27,1
Середнє значення Q_6	27,1				
Значення Q_7	22,4	22,0	22,1	22,2	22,0
Середнє значення Q_7	22,1				

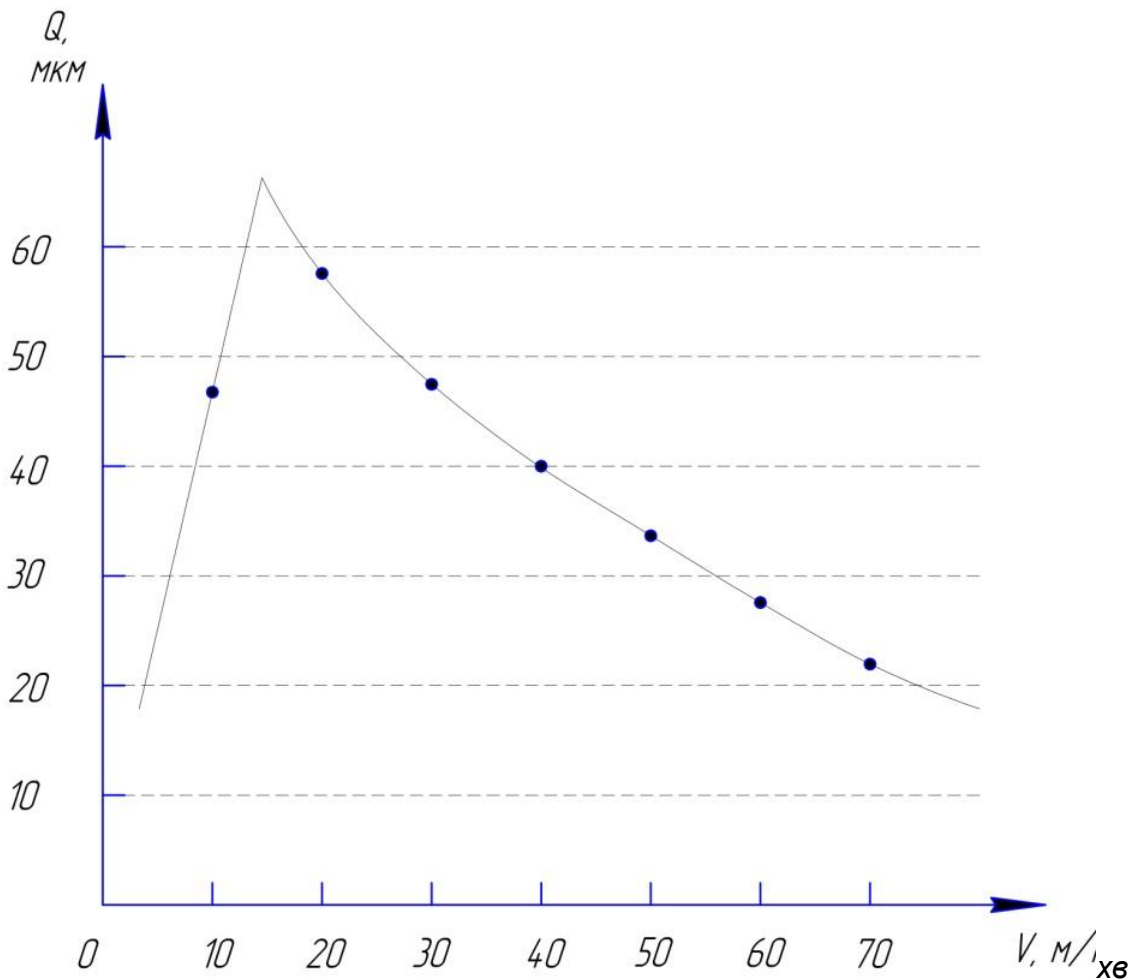


Рис. 3.12 – Залежність швидкості різання V від знімання металу Q

Показані криві отримані при поліруванні сталі 45Х з діаметром 65 мм та вихідною шорсткістю $Ra = 1,25$ мкм. Плавні спадаючі ділянки кривих знімання металу на рисунку по обидва боки обмежені різкими спадами інтенсивності обробки. Швидкість, що відповідає точці перегину, можна назвати критичною, тому що за її межами полірування практично здійснювати неможливо. В обох випадках різке зниження зняття матеріалу розуміється як погане утримання порошку в робочих зазорах. При швидкості більше верхньої критичної точки порошок силами тертя викидається з робочих зазорів та осідає на неробочих поверхнях полюсних наконечників.

Як результат проведених експериментальних досліджень можна підсумувати.

Для виконання дослідів були виготовлені оброблювані зразки зі сталі 45Х з діаметром 65 мм та початковою шорсткістю поверхні $R_a = 1,25$ мкм. Шорсткість формувалася на операції шліфування.

У процесі МАО робочий зазор між оброблюваною поверхнею та поверхнею магніту був в межах 0,4...1,6 мм. Швидкість обертання заготовки змінювалася від 10 - 15 м/хв. Використовували для полірування заготовок магнітно - абразивний порошок з розмірами зерен 0,1 - 0,3 мм, а час обробки змінювався від 1,0 хв до 7,0 хв.

Були проведені наступні експериментальні дослідження:

- залежності шорсткості поверхні R_a та продуктивності Q від: колової швидкості обертання заготовки V ; часу обробки τ ; величини робочого зазору δ ;

- залежності шорсткості поверхні полірування від часу обробки τ і колової швидкості обертання заготовки V ;

- залежності швидкості різання V від зняття металу Q .

Для визначення оптимального режиму процесу МАО деталей зі сталі 45Х вирішували завдання із двома параметрами оптимізації. Для цього використали метод перебору різних варіантів, що дозволяє вирішувати завдання пошуком умовного екстремуму по математичних моделях (1) і (2). Використовуючи комплексний показник параметрів оптимізації МАО встановлено оптимальний режим процесу:

- $\tau - 7,0$ хв;

- $\delta - 1,4$ мм;

- $V - 15$ м/хв;

Після кожної серії експериментів за допомогою профілометра - профілографа мод. 252 заводу «Калібр» здійснювалося вимірювання шорсткості обробленої поверхні.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Розрахунок захисного заземлюючого пристрою

Мета розрахунку – визначення кількості і розмірів заземлювачів і складання плану розташування заземлювачів і заземлюючих провідників. Вихідними даними для розрахунку заземлюючого пристрою є: величина опору заземлюючого пристрою, що нормується правилами, питомий опір ґрунту, що визначається вимірюванням або із таблиць нормативів, тип, розміри і умови розташування в ґрунті одиничних заземлювачів.

Визначимо нормативне значення опору заземлювача R_H .

Нормативне значення опору заземлюючого пристрою R_H до якого приєднані нейтралі металевих частин електрообладнання у будь-яку пору року має бути не більше 2, 4 і 8 Ом, відповідно при лінійній напрузі 680, 380 і 220 В в джерелах однофазного струму.

Отже, згідно поставлених умов приймаємо $R_H = 4$ Ом для установок напругою до 1000 В.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту ρ в якому будемо розміщувати електроди заземлювача:

$$\rho = \rho_{tabl} \cdot \psi \text{ Ом м} \quad (4.1)$$

де ρ_{tabl} – табличне значення питомого опору ґрунту, Ом м.

Приймаємо $\rho_{tabl} = 40$ Ом м – для глинистих ґрунтів при вологості 10..20 % до маси ґрунту.

ψ - кліматичний коефіцієнт, питомого опору ґрунту. Приймаємо $\psi = 1.3$ – при середній вологості ґрунту.

$$\rho = 40 \cdot 1.3 = 52 \text{ Ом.}$$

Визначимо тип заземлюючого пристрою.

Приймаємо вертикальний стержневий заземлювач, круглого перерізу, розташований біля поверхні ґрунту. Схематично вертикальний заземлювач

показано на рисунку 4.1.

Розрахунковий опір розтікання струму з одного вертикального стержневого заземлювача:

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} \quad (4.2)$$

де l – довжина заземлювача, м; приймаємо $l = 1.5$ м;

d – діаметр заземлювача, м; приймаємо $d = 0.03$ м.

$$R_1 = \frac{52}{2 \cdot 3.14 \cdot 1.5} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1.5}{0.03} = 29.15 \text{ Ом.}$$

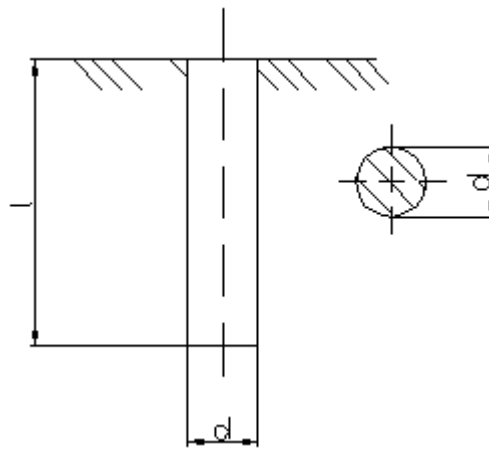


Рис. 4.1. Схема вертикального заземлювача

Визначимо необхідну кількість одиничних заземлювачів, однакових по розмірах і симетрично розміщених в однорідному ґрунті:

$$n' = \frac{R_1}{R_H \cdot \eta'_b} \quad (4.3)$$

де η'_b – коефіцієнт використання вертикальних стержнів.

Цей коефіцієнт залежить від типу заземлювачів, орієнтації і їхньої кількості, відношення відстані між заземлювачами a до їхньої довжини l .

Попередньо приймаємо виносне захисне заземлення відносно заземлюючого обладнання, так як воно дає можливість вибору розташування електродів із найменшим опором ґрунту. Відповідно і заземлювачі приймаємо виносні, із розташуванням по контуру, з відстанню між електродами $a = 3$ м,

відношення $\frac{a}{l} = \frac{3}{1.5} = 2$, і при попередній кількості заземлювачів до 20 шт. приймаємо $\eta'_b = 0.73$.

$$n' = \frac{29.15}{4 \cdot 0.73} = 9.98$$

Приймаємо кількість електродів, рівною $n' = 10$. Уточнимо коефіцієнт використання стержневих електродів.

$$\eta'_b = \frac{R_1}{R_H \cdot n'_b} = \frac{29.15}{4 \cdot 10} = 0.73$$

Визначимо опір з'єднувальних горизонтальних електродів.

Для з'єднання вертикальних електродів приймаємо круглий провідник з діаметром $d = 0.02$ м, розміщений на поверхні ґрунту. Схематично горизонтальний електрод представлено на рисунку 4.2.

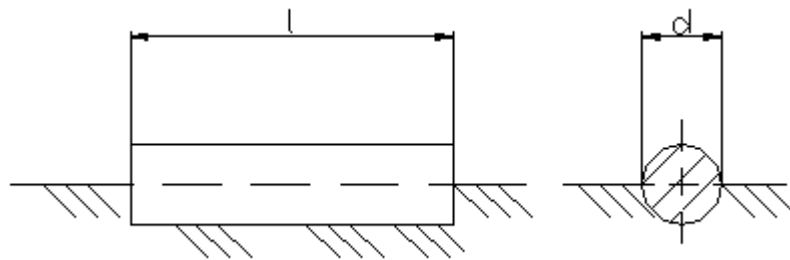


Рис. 4.2. Схема горизонтального заземлювача

Довжина горизонтального провідника, при розміщенні заземлювачів по контуру визначимо по формулі:

$$l = a \cdot n = 3 \cdot 10 = 30 \text{ м.}$$

В ґрунті опір розтікання струму горизонтального електрода (стрічки) без врахування ефекту екранування:

$$R_2 = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d} \quad (4.4)$$

$$R_2 = \frac{52}{3.14 \cdot 30} \cdot \ln \frac{2 \cdot 30}{0.02} = 2.9 \text{ Ом}$$

Загальний опір заземлюючого пристрою R_{GR} , складається з опору n вертикальних стержнів-електродів та опору горизонтального електрода.

$$R_{GR} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot \eta_G + R_2 \cdot \eta'_b} \quad (4.5)$$

де η_G – коефіцієнт використання горизонтального електрода.

При кількості вертикальних електродів $n = 10$ та відношенні $\frac{a}{l} = \frac{3}{1.5} = 2$

$\eta_G = 0.8$.

$$R_{GR} = \frac{29.15 \cdot 2.9}{29.15 \cdot 0.8 + 2.9 \cdot 0.73} = 3.3 \text{ Ом}$$

Природні заземлювачі не використовуємо, тому розрахункове значення опору ґрунтового заземлювача не повинна перевищувати допустимого опору для електроустановок напругою до 1000 В ($R_H = 4 \text{ Ом}$), тому умова $R_{GR} < R_H$, тобто $3.3 < 4$ виконується.

На основі розрахунків приведемо схему виносного заземлюючого пристрою для даної ділянки, яка представлена на рисунку 4.3.

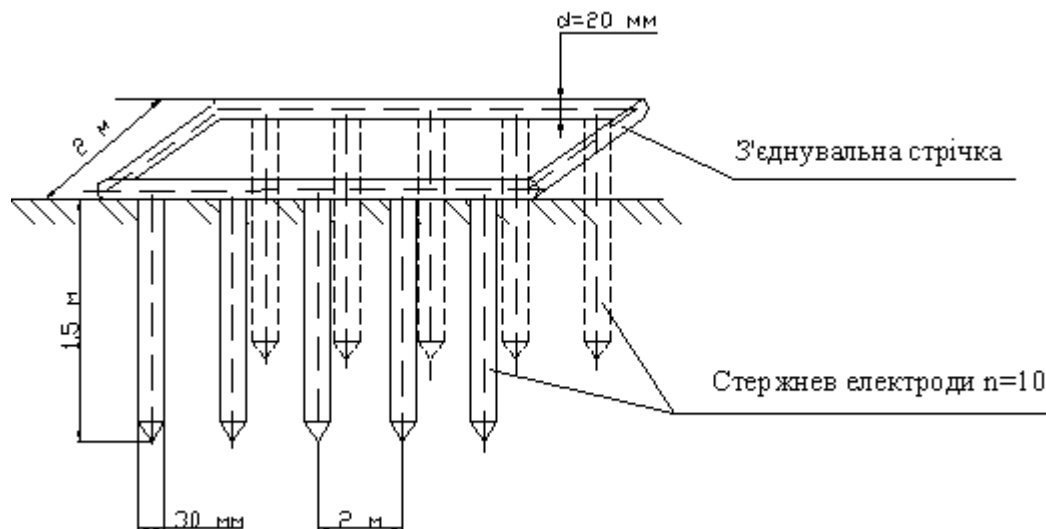


Рис. 4.3. Схема виносного захисного заземлюючого пристрою.

4.2. Застосування основних способів ведення рятувальних робіт на промислових підприємствах

Проблема запобігання виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження та ліквідація їх наслідків для України є однією з найактуальніших.

Не випадково у статті 8 Закону України “Про Цивільну оборону України” наголошено, що “Керівництво підприємства, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального і колективного захисту, організовує здійснення евакозаходів, створює сили для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з ЦО і несе пов’язані з цим матеріальні та фінансові витрати в порядку та обсягах, передбачених законодавством”. (Частина перша статті 8 в редакції Закону № 555-14 від 24.03.99).

Радіаційні, хімічні і вибухонебезпечні підприємства додатково створюють локальні системи виявлення загрози виникнення надзвичайної ситуації та оповіщення персоналу і населення, що проживає в зонах можливого ураження.

Суть рятувальних та інших невідкладних робіт – це усунення безпосередньої загрози життю та здоров’ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або значне зменшення матеріальних збитків. Рятувальні та інші невідкладні роботи включають також усунення пошкоджень, які заважають проведенню рятувальних робіт, створення умов для наступного проведення відновлювальних робіт. РІНР поділяють на рятувальні роботи і невідкладні роботи.

До рятувальних робіт відносяться:

- розвідка маршруту руху сил, визначення обсягу та ступеня руйнувань, розмірів зон зараження, швидкості і напрямку розповсюдження зараженої хмари чи пожежі;
- локалізація та гасіння пожеж на маршруті руху сил та ділянках робіт;
- визначення об’єктів і населених пунктів, яким безпосередньо загрожує небезпека;
- визначення потрібного угруповання сил і засобів запобігання і локалізації небезпеки;
- пошук уражених та звільнених їх з-під завалів, пошкоджених та палаючих

будинків, із загазованих та задимлених приміщень;

- розкриття завалених захисних споруд та рятування з них людей;
- надання потерпілим першої допомоги та евакуації їх (при необхідності) у лікувальні заклади;
- вивіз або вивід населення із небезпечних місць у безпечні райони;
- організація комендантської служби, охорона матеріальних цінностей і громадського порядку;
- відновлення життєздатності населених пунктів і об'єктів;
- пошук, розпізнання і поховання загиблих;
- санітарна обробка уражених;
- знезараження одягу, взуття, засобів індивідуального захисту, територій, споруд, а також техніки;
- соціально-психологічна реабілітація населення.

До невідкладних робіт відноситься:

- прокладання колонних шляхів та улаштування проїздів (проходів) у завалах та зараженій території;
- локалізація аварій на водопровідних, енергетичних, газових і технологічних мережах;
- ремонт та тимчасове відновлення роботи комунально-енергетичних систем і мереж зв'язку для забезпечення рятувальних робіт;
- зміцнення або руйнування конструкцій, які загрожують обвалам і безпечному веденню робіт.

Рятувальні та інші невідкладні роботи здійснюються в три етапи.

На першому етапі вирішується завдання:

- щодо екстреного захисту населення;
- запобігання розвитку чи зменшення впливу наслідків;
- з підготовки до виконання РІНР.

Основними заходами щодо екстреного захисту населення є:

- оповіщення про небезпеку;
- використання засобів захисту;

- додержання режимів поведінки;
- евакуація з небезпечних у безпечні райони;
- здійснення санітарної, гігієнічної, протиепідемічної профілактики і надання медичної допомоги;
- локалізація аварій;
- зупинка чи зміна технологічного процесу виробництва;
- попередження (запобігання) і гасіння пожежі.

На другому етапі проводяться:

- пошук потерпілих;
- витягання потерпілих з-під завалів, з палаючих будинків, пошкоджених транспортних засобів;
- евакуація людей із зони лиха, аварій, осередку ураження;
- надання медичної допомоги;
- санітарна обробка людей;
- знезараження одягу, майна, техніки, території;
- проведення інших невідкладних робіт, що сприяють і забезпечують здійснення рятувальних робіт.

На третьому етапі вирішуються завдання щодо забезпечення життєдіяльності населення у районах, які потерпіли від наслідків НС:

- відновлення чи будівництво житла;
- відновлення енерго-, тепло-, водо-, газопостачання, ліній зв'язку;
- організація медичного обслуговування;
- забезпечення продовольством і предметами першої необхідності;
- знезараження харчів, води, фуражу, техніки, майна, території;
- відшкодування збитків;
- знезараження майна, території, техніки.

Відновлювальні роботи ЦО не виконує, їх здійснюють спеціально створені підрозділи (бригади). Залежно від рівня надзвичайної ситуації (загальнодержавного, регіонального, місцевого чи об'єктового) для проведення РІНР залучаються сили і засоби ЦО центрального, регіонального або

об'єктового підпорядкування.

"Стаття 12. Для забезпечення заходів з цивільної оборони, захисту населення і місцевостей від наслідків надзвичайних ситуацій та проведення спеціальних робіт у міністерствах, інших центральних органах виконавчої влади, місцевих державних адміністраціях, на підприємствах, в установах і організаціях незалежно від форм власності і підпорядкування створюються спеціалізовані служби цивільної оборони: енергетики, захисту сільськогосподарських тварин і рослин, інженерні, комунально-технічні, матеріального забезпечення, медичні, оповіщення і зв'язку, протипожежні, торгівлі і харчування, технічні, транспортного забезпечення та інші. Для проведення евакуаційних заходів в умовах надзвичайних ситуацій на базі місцевих державних адміністрацій створюються евакуаційні комісії.

У разі коли підприємством, установою, організацією не здійснюються ці заходи або допускаються порушення в технологічному процесі, не дотримуються правила зберігання, транспортування, використання, знешкодження та захоронення сильнодіючих отруйних, радіоактивних і вибухових речовин, що може призвести до надзвичайної ситуації, штаби цивільної оборони вносять відповідним органам пропозиції щодо застосування до цього підприємства (установи, організації) відповідних санкцій, а також притягнення посадових осіб, винних у порушеннях, до відповідальності згідно з чинним законодавством.

Для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у разі надзвичайних ситуацій застосовуються сили цивільної оборони: війська, спеціалізовані і невоєнізовані формування. Порядок повсякденного функціонування військ цивільної оборони та дії їх у надзвичайних ситуаціях визначаються Статутом військ Цивільної оборони України.

Локалізація і гасіння пожеж. Щоб проводити рятувальні роботи в будинках, необхідно в першу чергу забезпечити доступ формувань у вогнище поразки, локалізувати, а потім і згасити пожежі. Тому рятувальні роботи включають також активні дії по боротьбі з пожежами.

Роботи з локалізації і ліквідації вогнищ пожеж організуються протипожежною службою і проводяться протипожежними формуваннями (командами пожежогасіння і добровільних пожежних дружин) одночасно з іншими видами рятувальних робіт.

Надання першої медичної і першої лікарської допомоги ураженим. Надання медичної допомоги ураженим є одним з головних видів рятувальних робіт. Від своєчасного проведення цих робіт залежить життя багатьох людей.

Надання першої медичної і першої лікарської допомоги ураженим організується медичною службою і проводиться силами медичних формувань, що діють у тісній взаємодії з рятувальними й другими формуваннями ЦО.

Перша медична допомога у вогнищі ядерної поразки виявляється ураженим безпосередньо на місці їхнього виявлення. Порядок і способи надання медичної допомоги визначаються в залежності від їхнього стану. В міру надання першої медичної допомоги уражені евакуюються на медичний пункт.

Евакуація уражених на медичні пункти організується командиром формування і здійснюється вантажним і санітарним автотранспортом, що мається у формуванні, і транспортом, виділеним старшим начальником для цих цілей.

Локалізація аварій на електромережах. Руйнування електромереж може привести до короткого замикання, виникненню пожеж і поразці людей електричним струмом.

Локалізація аварій на електромережах високої напруги являє собою роботи, виконання яких може бути доручено головним чином фахівцям-електрикам. Ця робота складається: у знеструмленні мереж і пристроїв найпростіших заземлень при дерев'яних опорах і при металевих опорах у районі ведення рятувальних робіт, у розбиранні металевих і дерев'яних опор (щогл) для найшвидшого відновлення тимчасових ліній електропередач до найбільш відповідальних об'єктів (якщо збереглися електростанції). На мережах низької напруги ця робота складається: у відключенні від мережі ушкодженої ділянки рубильником, роз'єднанні чи запобіжників у відрізку проводів від мережі, у

збиранні проводів із землі і підвіску їхній до тимчасових опор.

Для усунення аварій електроосвітлювальних мереж залучаються фахівці-електрики, що повинні бути забезпечені гумовими рукавичками, взуттям і іншими спеціальними засобами, а також спеціальним інструментом. Крім того, електрики повинні вміти робити допомога потерпілим від електричного струму.

Укріплення або обвалення конструкцій, які загрожують обвалом і безпеці руху, веденню рятувальних робіт. У процесі робіт необхідно попередити можливу небезпеку обвалення ушкоджених будинків на проїзну частину вулиць, або на укриття, що розкриваються. Для цього тимчасово чи зміцнюють обрушають конструкції будинків, що грозять обвалом.

Після огляду аварійного будинку й окремих конструкцій кріплення їх у залежності від висоти виробляється в такий спосіб: стіни висотою до 6 м зміцнюють установкою простих дерев'яних чи металевих підкосів під кутом 45—60° до обрію.

Стіни будинку висотою 12 м і більш зміцнюються подвійними підкосами. В обох випадках кількість підкосів визначається стійкістю будинку, що закріплюється. Звичайно підкоси встановлюються в кожному простінку будинку.

Для кріплення можуть використовуватися елементи зруйнованих будинків і конструкції (металеві і дерев'яні балки, бруси, диски п колоди). Стіни будинку й окремих конструкцій можуть зміцнюватися за допомогою розпірок на тросах. У випадках, коли можливе обвалення хитких частин будинку, їх обрушають за допомогою лебідки чи троса трактором. Для цього обстежують конструкцію, що грозить обвалом, і вибирають спосіб робіт. У район робіт сторонні не допускаються. Лебідку встановлюють на відстані не менш двох висот конструкції, що обрушується, і закріплюють трос на конструкції. Тимчасове відновлення і ремонт ушкоджених ліній зв'язку. Зв'язок має важливе значення для керування силами ЦО в ході проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відбудовних робіт. Тому поряд із проведенням рятувальних і невідкладних аварійно – відновлювальних робіт здійснюється відновлення ушкоджених ядерним вибухом ліній зв'язку. Відбудовні роботи

організуються начальником служби зв'язку, що використовує для цієї мети наявні формування зв'язку.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено літературний огляд теоретичних та експериментальних досліджень процесу МАП;

2. При теоретичній розробці моделі кінематики формоутворення поверхонь встановлено та експериментально підтверджено, що при МАП за схемою з обертовою робочою зоною можлива обробка циліндричних, конічних, торцевих і гвинтових поверхонь із збереженням заданої точності форми та отриманням необхідної якості поверхні;

3. Спеціалізованого обладнання для МАП на даний час немає, тому при впровадженні нового процесу можна скористатися верстатами, які могли б послужити основою для виробництва магнітно-абразивних верстатів.

4. Шорсткість поверхні при обробці легованих сталей знижується (покращується) в 3 - 4 рази, а також зменшується огранка у порівнянні зі шліфуванням;

5. Сили впливу зерен магнітно - абразивної порошкоподібної маси на оброблювану феромагнітну поверхню складаються із сил, зумовлених макрополем, що діє по всьому просторі робочого зазору;

6. Зміна стану поверхневого шару легованих сталей після МАП відбувається не тільки за рахунок механічного впливу феромагнітного порошку, але й прямого впливу магнітного поля на фазові та дифузійні процеси, що протікають у поверхневих шарах при МАП.

7. Якість оброблюваної поверхні визначається в основному абразивним різанням і вигладжуванням;

8. При МАП за схемою з обертовою робочою зоною можливе полірування м'яких матеріалів, наприклад, алюмінієвих сплавів з досягненням низької шорсткості та значним зміцненням поверхневого шару.

9. Для досягнення мінімальної шорсткості при достатній продуктивності при МАП з обертовою робочою зоною рекомендується використати наступні технологічні режими:

– V – колова швидкість обертання зразка (деталі), 15 м/хв;

– τ – час обробки, 7,0 хв;

– δ – величина робочого зазору, 1,4 мм.

10. Якість поверхні залежить від швидкості різання V , часу обробки τ , величини робочого зазору δ , розміру магнітно - абразивного порошку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Carlos Julio Cortés Rodríguez Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing / Carlos Julio Cortés Rodríguez. – Kassel: Kassel University press GmbH, 2009. – P. 189.
2. Harsh K. Magnetorheological nano-finishing of diamagnetic material using permanent magnets tool / K. Harsh, G. Vishwas. // Precision Engineering. – 2018. – №51. – С. 30–39.
3. Jones W.3. The influence of magneto-mechanicaPeffecton induction heated steel. -Scripta metalurgica, 1982t v./6, No.9, p. 1067-- 1072.
4. Kovalov V., Vasilchenko Y., Shapovalov M, Turmanidze R., Dašić P. Impact of a Pulsed Magnetic Field on a Hard Alloy During Machining on Heavy Machine Tools. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, Vol. 10. No 1, 2019, pp. 125-130. ISSN 2217-2661. DOI: 10.24867 / IJIEM-2019-1-125.
5. Kovalov V., Vasilchenko Y., Shapovalov M, Turmanidze R., Dašić P. Impact of a Pulsed Magnetic Field on a Hard Alloy During Machining on Heavy Machine Tools. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, Vol. 10. No 1, 2019, pp. 125-130. ISSN 2217-2661. DOI: 10.24867 / IJIEM-2019-1-125.
6. Shapovalov M., Kovalov V., Vasylichenko Y. Increase the productivity of hard-alloy tools for heavy machine tools by processing impulse magnetic field (Підвищення продуктивності твердосплавних інструментів для важких верстатів шляхом обробки імпульсним магнітним полем). *Вісник ТНТУ*. Тернопіль, 2018. № 4 (92). С. 52–59.
7. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv. // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil : TNTU, 2019. — Vol 96. — No 4. — P. 57–69.

8. Trent f. M. The wear of metaβ-cutting ins truments. —In Treatise on materials Science ana Tecftnoeogy. -M Y, /97\$, к /J -p.443
9. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.
10. Губський А.І., Цивільна оборона. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.
11. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів/Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
12. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі / В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. – С. 47–56.
13. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. № 1 (40). – С. 34–40.
14. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.
15. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.
16. Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні // П.Д. Кривий, В.Р.

Кобельник / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2006. – Вип. № 19. – С. 58–64.

17. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. – К. : КПІ, 2012. – Том 1. – С. 71–73.

18. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2011. – Вип. № 28. – С. 77–85.

19. Кривий П.Д. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць, Львів-Плай. – Львів, 2020. – С. 103–105.

20. Кривий П.Д. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, В.І. Продан, В.Г. Яковлєв // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 145–155.

21. Кривий П.Д. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, М.І. Кузьмін // Вісник ТНТУ : Науковий журнал. – Тернопіль : ТНТУ, 2012. – № 4 (68). – С. 114–127.

22. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини, – Львів: ЛБК НБУ; Київ: Знання, 2000. – 188 с.

23. Луців І.В. Інтелектуальна власність. Частина 1. Система охорони інтелектуальної власності: навчальний посібник / І.В.Луців , Р.А.Скляров, В.В.Шанайда – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 112 с.

24. Маталин А.А. Новые направления развития технологии чистовых способов обработки.- Киев: Наука, 1972. - 210 с.
25. Математична модель впливу стохастичності подачі на величину сили різання в імовірнісному аспекті / Володимир Крупа, Володимир Кобельник, Надія Тимошенко, Ігор Петречко // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 41–42.
26. Михайлюк В.О., Халмурадов Б.Д. Цивільна безпека: Навч. посібник. – К: Центр учбової літератури, 2008. – 158 с.
27. Офіційний сайт Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду (Держгірпромнагляду) [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.dnopr.kiev.ua>.
28. Офіційний сайт Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.social.org.ua>.
29. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
30. Родічев Ю. М., Сорока О. Б., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Прискорені випробування різальних пластин при інтенсивному контактному навантаженні. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії* : зб. наук. пр. Краматорськ, 2018. № 1 (43). С. 181–187.
31. Склярів Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Склярів Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.
32. Склярів Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних

верстатів. Збірник тез доповідей Х VI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.

33. Сорока О. Б., Родічев Ю. М., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. Прогнозування втомної міцності твердих сплавів, оброблених імпульсним магнітним полем. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. Краматорськ, 2013. Вип. № 32. С. 317–324.

34. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

35. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

36. Уточнений метод апіорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки / П.Д. Кривий, Н.М. Тимошенко, В.О. Дзюра, В.Р. Кобельник // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 132–133.

37. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.

38. Шанайда В.В., Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Проектування токарних різців. Методичний посібник до виконання практичної та курсової роботи, а також самостійної підготовки студентів з дисципліни ”Проектування різальних інструментів” студентами денної та заочної форм навчання. Тернопіль, ТНТУ, 2020., - 50 с.

39. Шаповалов М. В., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. Вплив результатів виробничих випробувань тврдосплавних різальних інструментів,

зміцнених ОІМП на підвищення ефективності технологічного процесу різання. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків, 2018. Вип. 4 (6). С. 84–92.