

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Машинобудування, транспорту і зварювання

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності
функціонування абразивних інструментів
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-
ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта
(Машинобудування)»

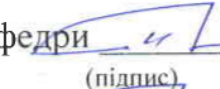
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

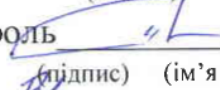
 /Маріан БІЛЯВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  /Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  /Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

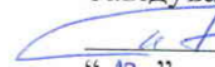
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.С. Подоляк
"12" 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Маріану БІЛЯВСЬКОМУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності функціонування абразивних інструментів

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи 5 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Зразки зубчастих коліс з евольвентною, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Стан питання, мета, завдання дослідження. теоретичне обґрунтування та розробка сумещеної обробки шліфувально-полірувальними черв'ячними кругами. Дії та перспективні технології виготовлення абразивних інструментів на органічних термореактивних зв'язках. Експериментальні дослідження впливу термостаткування напівфабрикатів та спеціальних наповнювачів зв'язку абразивних інструментів на їх якість произності. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Олександр РАДКЕВИЧ			

7. Дата видачі завдання «12» 10 2024 р.

Керівник

 Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

 Маріан БІЛЯВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбір літератури й інших джерел		
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи		
4.	Підготовка аналітичної частини		
5.	Підготовка теоретичної частини		
6.	Розробка дослідницької частини		
7.	Розробка методичного розділу		
8.	Підготовка графічного матеріалу		
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника		
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів		
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.		
12.	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти

 Маріан БІЛЯВСЬКИЙ
(підпис)

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

 Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я, прізвище)

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності функціонування абразивних інструментів

студента

(назва роботи)
БІЛЯВСЬКИЙ Маріан Михайлович
(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Подоляк Олег Степанович
(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 5,44,

Коефіцієнт Подібності 2: 3,02,

Сигнал „Тривога!": ☐ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 22% – оригінальна робота,

від __% до __% – задовільно оригінальна робота,

від __% до __% – умовно оригінальна робота,

більше __% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

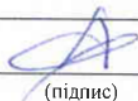
Висновок:

☒ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор


(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

22.11.24

(дата)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ	9
2.ДІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ОРГАНІЧНИХ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКАХ	11
3.ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПЕЦІАЛЬНИХ НАПОЛНЮВАЧІВ І ТЕРМОСТАТУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА БАКЕЛІТОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ ПРОЦЕС ЇХ ТЕРМО ВИПРОМІНЮВАННЯМ	26
4.ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОСТАТУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ НАПОЛНЮВАЧІВ ЗВ'ЯЗКУ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ЇХ ЯКІСТЬ ПРОИЗНОСТІ ЦІП	33
5.ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЩО ВМІСЮЮТЬ СПЕЦІАЛЬНІ НАПОНОВНИКИ БАКЕЛІТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	46
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ « ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “ Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності функціонування абразивних інструментів ”

РЕФЕРАТ

Робота містить 71с., 42 рис., 29 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності функціонування абразивних інструментів.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення ефективності функціонування абразивних інструментів.

У другому розділі виконано дії та перспективні технології виготовлення абразивних інструментів на органічних термореактивних зв'язках

У третьому розділі виконано теоретичні дослідження впливу спеціальних наповнювачів і термостатування напівфабрикатів абразивних інструментів на бакелітовому зв'язку процес їх термо випромінюванням.

У четвертого розділі виконано експериментальні дослідження впливу термостатування напівфабрикатів та спеціальних наповнювачів зв'язку абразивних інструментів на їх якість произності ціі.

У п'ятому розділі виконано дослідження роботоздатності абразивних інструментів, що вміщують спеціальні наповнювачі бакелітового зв'язку.

Запропонована методика може бути покладена в основу інноваційних технологій під час навчання для отримання кваліфікованих фахівців машинобудівної галузі.

Ключові слова: професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, шліфування, евольвента, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic "Training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of the functioning of abrasive tools"

ABSTRACT

The work contains 71 pages, 42 figures, 29 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of the functioning of abrasive tools.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the efficiency of the functioning of abrasive tools.

In the second section, actions and promising technologies for manufacturing abrasive tools on organic thermosetting bonds are carried out

In the third section, theoretical studies of the influence of special fillers and thermostating of semi-finished products of abrasive tools on the bakelite bond process by their thermal radiation.

In the fourth section, experimental studies of the influence of thermostating of semi-finished products and special fillers of the bond of abrasive tools on their quality of performance are carried out.

In the fifth section, a study of the workability of abrasive tools containing special bakelite bond fillers was carried out.

The proposed methodology can be used as the basis for innovative technologies during training to obtain qualified specialists in the mechanical engineering industry.

Keywords: professional training, mechanical engineering industry, specialist, grinding, involute, practical training methodology.

ВСТУП

Однією з найбільш відповідальних операцій виготовлення абразивного інструменту (АІ) на бакелітовій зв'язці є термообробка напівфабрикатів, у процесі якої формуються залишкові напруги, експлуатаційні властивості АІ (міцність, твердість), а також існує ризик виникнення прихованих дефектів (мікротріщин). Перспективним напрямом удосконалення технологій термообробки напівфабрикатів АІ на бакелітовій зв'язці є застосування мікрохвильової технології нагріву, що дозволяє суттєво скоротити тривалість технологічного циклу термообробки та питомі енерговитрати. Одна з важливих відмінностей бакелізації з використанням мікрохвильової енергетики від бакелізації при конвективному нагріванні полягає в тому, що прогрів напівфабрикатів починається з їх внутрішніх областей, оскільки потужне мікрохвильове випромінювання проникає в напівфабрикати на велику глибину. Завдяки цьому при мікрохвильовому нагріванні напівфабрикатів істотних перешкод руху утворюються при бакелізації зв'язки летких продуктів від центру напівфабрикатів до їх периферії та виходу в навколишнє напівфабрикати повітряний простір не виникає. Крім цього, під дією електромагнітних випромінювань, ряд хімічних перетворень протікає зовсім інакше, ніж у звичайних умовах, що відкриває широкі перспективи використання концентрованих потоків енергії змінних електричних та магнітних полів для управління та стимулювання хімічних реакцій та спікання при виробництві АІ на органічних термореактивних зв'язках. Тим не менш, різка активізація утворення та виділення летких речовин при швидкому та нетривалому нагріванні напівфабрикатів у НВЧ-полі може призвести до незворотних наслідків, аж до руйнування напівфабрикату. Забезпечити випуск АІ необхідної якості з максимальною продуктивністю можна шляхом введення у формувальну суміш наповнювачів, що володіють властивостями хімічної адсорбції летких речовин, та наповнювачів, що підвищують рівень діелектричних втрат у процесі

мікрохвильової бакелізації напівфабрикатів. Крім цього, мікрохвильове нагрівання часто не забезпечує необхідну рівномірність розподілу температур через наявність теплообміну зовнішніх поверхонь напівфабрикатів, що термообробляються, з відносно холодним навколишнім середовищем. Для підвищення рівномірності мікрохвильового нагріву було запропоновано теплоізолювати напівфабрикати у процесі термообробки спеціальним сипучим радіопрозорим матеріалом.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

1.1 Особливості професійної підготовки фахівця машинобудівного підприємства в сучасних умовах освітнього середовища

Технологічні потреби глобальної економіки знань (global knowledge economy) різко змінюють характер інженерної освіти, вимагаючи, щоб інженер володів набагато ширшим спектром ключових компетенцій, ніж вузькоспеціалізоване освоєння науково-технічних та інженерних дисциплін. Тісна взаємодія та взаємопроникнення фундаментальних та прикладних досліджень, високо між- та мультидисциплінарний характер нових технологій, а також вплив кіберінфраструктури, що дозволяють вирішувати комплексні завдання у нових галузях, вимагають нових парадигм інженерної діяльності. Крім того, такі виклики як зниження інтересу здобувачів освіти до науково-технічної кар'єри та слабка диверсифікація інженерної діяльності всередині країни також ставлять питання про адекватність традиційних підходів до інженерної освіти.

Однією з основних умов переходу до інноваційної інженерної освіти є оновлення методології та змісту інженерної освіти на основі тенденцій та підходів сучасного наукомісткого інжинірингу. Провідним способом забезпечення міждисциплінарності навчання є конвергентні трансдисциплінарні заклади освіти, які дають можливість здобувачеві освіти у процесі навчання прослухати курс системного аналізу у природознавців, курси соціальної інженерії та ресурсоефективності – у гуманітаріїв, інженерного підприємництва – у економістів тощо.

Наступний крок до удосконалення інженерної освіти – це академічна

мобільність, що широко застосовується у світовій практиці, коли здобувач освіти може переїхати з одного міста в інше, з однієї країни в іншу, відучитися там якийсь час і, нічого не втрачаючи, не перериваючи освітнього процесу, повернутися назад. Також до сучасних методів навчання належить електронне навчання. Так, моделі віддаленого навчання, засновані на розробці спільних навчальних планів та мобільних програм, сприяють створенню ефективного освітнього середовища. Такі моделі можуть включати віддалені лабораторії, додатки для електронного навчання, моделюючі ігри, мультимедійні практикуми, рольові тренінги.

Перспективою розвитку є міжнародна інтеграція освітнього простору; формування глобальних освітніх мереж; поява електронних закладів освіти; розвиток міждисциплінарних, проблемно- та проектно-орієнтованих технологій електронного навчання; створення принципово нової системи випереджаючої відкритої безперервної освіти на основі smart-технологій та соціального інтелекту; розвиток творчих здібностей здобувачів освіти, використання цього нового класу інформаційних технологій – комп'ютерної підтримки винахідництва CAI (Computer Aided Invention/Innovation).

В умовах рівневої системи вищої інженерної освіти і нового покоління федеральних державних освітніх стандартів провідним закладам вищої освіти повинні бути надані академічні свободи для розробки та реалізації програм вищої освіти на основі власних освітніх стандартів та вимог, які включатимуть вимоги міжнародних стандартів інженерної освіти.

Інноваційна освітня програма повинна включати такі складові:

- щорічна практика. Для стимулювання мотивації до навчання на початку кожного навчального року, починаючи з другого року навчання, здобувачі освіти протягом одного – двох тижнів мають проходити ознайомлювальне наукове стажування чи виробничу практику. За цей час вони знайомляться з процесами, які безпосередньо вивчатимуть протягом наступного року. Таким чином, на

момент отримання теоретичних знань, вивчення явищ на лабораторних та семінарських заняттях у здобувачів освіти вже буде певний досвід, з яким вони зможуть зіставляти отримані відомості. Наприкінці навчального року слід проводити більш тривале базове три–чотиритижневе наукове стажування чи виробничу практику у тій самій організації, при цьому ті ж явища та процеси здобувач освіти розглядатиме вже на якісно іншому рівні;

- мережна освіта – формування освітньої інфраструктури за принципом тристоронньої мережної освіти «університет – науково-дослідний інститут – профільне підприємство». Така інфраструктура дозволяє забезпечити доступність ознайомлювального та базового етапів стажування, а також прискорене залучення здобувача освіти до процесу наукової роботи;

- створення на старших (можливо і на молодших) курсах наукових акаемічних груп під керівництвом кандидатів та докторів наук у складі трьох-п'яти осіб, які займаються дослідженням та розробкою певного виду процесу та продукції;

- обов'язкове закордонне стажування. На старших курсах кожен здобувач освіти повинен протягом одного семестру проходити стажування у закордонному закладі вищої освіти.

Відповідним чином мають змінитись і навчальні плани. На всьому протязі навчання здобувачам освіти необхідно показувати зв'язок пропонованого навчального матеріалу з їхньою майбутньою інженерною діяльністю, перспективами науково-технічного, технологічного, економічного та соціального розвитку суспільства; постійно оновлювати зміст лекцій, практичних занять та обчислювальних практикумів, застосовувати проблемно-орієнтовані методи та проєктно-організовані технології навчання в інженерній освіті. В результаті досягається нова якість інженерної освіти, що забезпечує комплекс компетенцій, що включає фундаментальні та прикладні знання, сучасні наукові технології, вміння та навички формулювати та досліджувати

проблеми, а потім – аналізувати та інтерпретувати отримані результати з використанням між- та мультидисциплінарного підходу, демонструючи володіння методами проектного менеджменту, готовність до комунікацій та командної роботи.

1.2 Мотивація до навчання фахівців машинобудівних підприємств в межах підготовки до забезпечення підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми

Для підвищення у здобувачів освіти навчальної мотивації необхідно створювати в рамках однієї освітньої програми два потоки: типової підготовки та підвищеної підготовки. Перший навчається за типовою програмою відповідного освітнього спрямування, другий – за програмою підвищеної підготовки. Залежно від освітньої програми та конкретних умов навчання в освітньому закладі, програми підвищеної підготовки можуть формуватися на основі різних принципів, серед яких слід виділити наступні:

- вивчення поглиблених курсів дисциплін з використанням складнішого теоретичного матеріалу, що включають сучасні здобутки у відповідній галузі науки;
- вивчення додаткових дисциплін, що підвищують рівень підготовки здобувачів освіти як в академічному, так і в прикладному напрямках;
- реалізація проектного навчання, заснована на розробці комплексних технічних проєктів, що охоплюють цілу низку дисциплін та носять наскрізний характер за курсами та семестрами;
- цільова підготовка за індивідуальними програмами навчання, узгодженими з конкретними підприємствами-роботодавцями;
- реалізація міжнародних програм підготовки з викладанням низки дисциплін іноземною мовою та отриманням подвійних дипломів.

Вирішення проблем сучасної інженерної освіти неможливе без відповідної професійної та психолого-педагогічної підготовки професорсько-викладацького складу, яка повинна включати наступні складові:

- удосконалення змісту технічної освіти та методів викладання технічних дисциплін;
- розробка та впровадження навчальних планів, орієнтованих на придбання міждисциплінарних знань та їх активне використання у діяльності, спрямованій на задоволення потреб та здобувачів освіти та роботодавців;
- широке та ефективне використання технічних та мультимедійних засобів навчання інженерів;
- заохочення діяльності, що сприяє формуванню у майбутніх інженерів навичок менеджменту;
- пропаганда знань про захист навколишнього середовища; формування екологічної культури інженера.

Для вивчення технологій світового рівня, якими володіють компанії – лідери промисловості, викладач повинен мати можливість закордонного стажування щонайменше один раз на три роки. Крім того, має бути виділено фінансування на участь професорсько-викладацького складу у конференціях різного рівня, проходження курсів перепідготовки з дисциплін, що читаються.

2 ДІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ОРГАНІЧНИХ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКАХ.

2.1 Технології виготовлення абразивних інструментів на органічних термореактивних зв'язках

Як відомо, працездатність абразивного інструменту (АІ) визначається в основному матеріалом абразивного зерна, зернистістю, твердістю, номером структури та видом зв'язування. Зв'язування є одним з найважливіших компонентів АІ, основне призначення якого – закріплення абразивних зерен в інструменті в єдине ціле та забезпечення високої міцності інструменту при впливі відцентрових сил та сил різання у процесі механічної обробки [77]. Значною мірою від складу, якості та кількості застосовуваної зв'язки залежать твердість, зносостійкість та інші експлуатаційні показники шліфувальних кругів (ШК) [4, 32, 39, 59, 60]. Наприклад, у роботі [60] представлені результати дослідження впливу складу бакелітової зв'язки (різних модифікаторів сполучного каучуків різних марок, гідроксилсодержащих олігомерів та олігомерів з вмістом кінцевих епоксидних груп) на експлуатаційні показники ШК за критерієм відсутності слідів огранювання на шлі. Результати цього дослідження дозволили виявити оптимальний матеріал наповнювача – простий поліефір марки «Лапрол 202» та його відсотковий вміст. У роботі [39] показана істотна роль хімічно активних наповнювачів (наприклад, комплексних фторалюмінатів натрію, бісульфіту заліза, оксиду та карбонату кальцію) у підвищенні термостійкості та міцності ШК на бакелітовій зв'язці. Додавання цих компонентів до складу зв'язки дозволило підвищити міцність обдирних кіл гарячого пресування на 30%, а коефіцієнт шліфування – на 15...20%.

Стандарт визначає наступні зв'язки АІ: керамічну (V), вулканітову (R), вулканітову з зміцнюючими елементами (RF), бакелітову (B), бакелітову з

зміцнюючими елементами (BF), шеллакову (E), магнезіальну (MG), полімерну (PL)), гліфталеву (BE) зв'язки.

На інструменти на вулканітовій зв'язці припадає менше 2% загального обсягу виробництва (рис. 1.1).



Мал. 2.1. Структура виробництва абразивного інструменту за видами зв'язок

Термостійкість органічних термореактивних зв'язок (ОТС), зокрема, бакелітової, уможлиблює застосування таких сучасних технологій, як золь-гель процес та механохімія [65], які забезпечують посилення взаємодії між компонентами комплексного сполучного на бакелітовій основі та поверхнями зерен абразивного наповнювача.

Як показали дослідження [6], важливу роль відіграє як компонентний склад, а й термін зберігання зв'язки. Експериментальні дані свідчать, що з зберігання у зв'язках відбуваються процеси, змінюють їх якості, що у результаті позначається працездатності одержуваного АІ. Наприклад, збільшення терміну зберігання зв'язки призводить до зниження в'язкості рідкої фази, що утворюється при нагріванні, що обумовлює підвищення пористості інструменту і зменшення його механічної міцності. Збільшення тривалості зберігання зв'язки негативно б'є

по динаміці термічних перетворень, які у напівфабрикатах інструментів при випаленні. Так як температура плавлення твердих тіл залежить від розміру частинок, кожна група компонентів зв'язки однієї дисперсності буде плавитися при певній температурі, відмінної від температури плавлення іншої групи з іншим розміром частинок. Температура плавлення знижується зі зменшенням розмірів частинок. Тому зв'язці, що є системою груп з частинками різних розмірів, відповідає інтервал плавлення, що включає температури плавлення всіх груп по дисперсності. Крім того, до плавлення твердих тіл змінюються швидкості реакції між твердими компонентами зв'язки, оскільки вони прямо залежать від величини питомої поверхні твердих тіл. Отже, зниження питомої поверхні зв'язки, викликане злипанням та коагуляцією частинок при тривалому зберіганні, хаотично підвищує температурний інтервал плавлення зв'язки, роблячи процес випалення некерованим, а отримання інструменту планованої якості проблематичним [6].

АІ на ОТС може застосовуватися практично у всіх видах шліфування: від обдирних робіт та відрізки до оздоблювального полірування. Удосконалення технології виготовлення АІ на ОТС дозволить знизити собівартість виготовлення, підвищити якість і як наслідок розширити сферу застосування АІ.

У роботі [47] представлені дослідження впливу двостадійного змішування компонентів формувальної суміші на її технологічність (отримання вільно текучих формувальних сумішей) та фізико-механічні властивості АІ на бакелітовій зв'язці. Формувальна суміш, отримана двостадним методом і штучним старінням, має такі переваги:

- кращі характеристики вільної течії (плинності);
- більш тривалий термін зберігання (до 72 годин);
- необхідне обладнання для отримання суміші просто у використанні;
- затверділі суміші прості та недорогі;
- втрати суміші (втрати на агломерування) нижчі, ніж у стандартних

сумішей;

- при подальшому формуванні таких сумішей з'являється можливість механізувати та автоматизувати процес, особливо в складних умовах (коли йдеться про високопористі кола, тонкі кола, кола з високими вимогами по неврівноваженій масі);

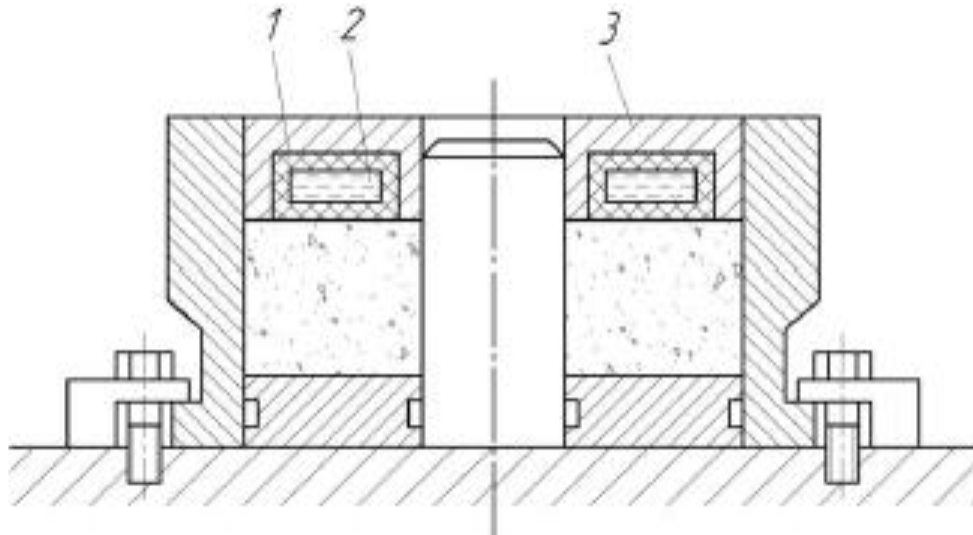
Удосконаленням технології дозування формувальної суміші можна досягти підвищення якості АІ. Спосіб та пристрій для дозування та укладання формувальної суміші представлені в роботі [84]. Пропонований пристрій дозволяє забезпечити рівномірне укладання суміші, можливість виготовлення центральної і периферійної частини виробу із сумішей різного складу, зміна твердості по радіусу і проводити змішування складів, що важко змішуються, безпосередньо в прес-формі.

Методика оцінки технологічних показників формувальних сумішей на основі бакеліту наведена у роботі [45]. Фізичний зміст аналізу формувальної суміші у тому, щоб визначити час, протягом якого сформований під розрахунковим тиском і певний час витримки кубик розсиплеться окремі гранули, тобто. суміш має бути плинною.

Етап пресування – один з найбільш важливих етапів ТП виготовлення ШК, що багато в чому визначає його міцнісні та експлуатаційні властивості. Для підвищення рівномірності ущільнення (особливо напівфабрикатів великогабаритних АІ) застосовують гідроплити (рис. 1.2) [87]. Принцип дії гідроплити полягає в тому, що тиск плунжера преса передається не через поверхню жорсткої металевої плити, а через еластичну прокладку, що є гумовою гідроподушкою, заповненою водою. Застосування гідроплити дає можливість отримання високої рівномірності щільності виробу по всьому об'єму, що забезпечує рівномірність твердості АІ.

Сушіння - це низькотемпературний термічний процес, при якому в результаті видалення вологи підвищується механічна міцність напівфабрикату

АІ, що необхідно для подальших операцій (транспортування, укладання на плити печей та ін) [4, 18]. Видалення вологи необхідно також, щоб уникнути тріщин під час проведення термообробки.



Мал. 2.2. Схема прес-форми з гідроплитою: 1 – гумова гідроподушка; 2 – вода; 3 - сталева гідрообойма

Таким чином, можна зробити висновок, що ТП виготовлення АІ на ОТС, що включає операції дозування, перемішування, пресування, термообробки, механічної обробки є дуже трудомістким. Найбільш тривалою та енергоємною операцією ТП виготовлення АІ на ОТС є операція термообробки, яка багато в чому визначає їхню працездатність. Отже, вдосконалення технології термообробки дозволить суттєво підвищити продуктивність ТП та якість АІ на ОТС.

2.2 Термообробка напівфабрикатів АІ на ОТС

У процесі термообробки напівфабрикатів АІ на ОТС під впливом теплоти, затверджувачів і каталізаторів зв'язка перетворюється на твердий стан (отверждается), причому цей процес необоротний. Молекули-олигомери, що утворюються в процесі полімеризації зв'язки, легко розчиняються в деяких розчинниках (спирті, ацетоні та ін), але після її затвердіння вже не розчиняються. Неотвержденная зв'язка складається з молекул мономерів, які мають понад дві

реакційноздатні функціональні групи. У процесі затвердіння мономері ростуть у трьох напрямках, утворюючи макромолекули сітчастої будови, всі структурні елементи яких з'єднані один з одним міцними зв'язками ковалентними [20].

Серед різновидів ОТС можна виділити вулканітову зв'язку, що є композицією, основний компонент якої – синтетичний каучук. Інструмент на вулканітовій зв'язці має еластичність і щільність, тому може використовуватися як при звичайних видах шліфування, так і на полірувальних операціях. Кола на вулканітовій зв'язці, на відміну інших, можуть бути виготовлені дуже тонкими (десяті частки міліметра при діаметрі до 150 – 200 мм.). Недоліком є низька теплостійкість (250 - 300 ° C) і слабе закріплення зерна у зв'язці, що пояснює нижчу зносостійкість цих кіл у порівнянні з бакелітовими та керамічними [4].

Гліфталева зв'язка - ще один представник ОТС, продукт взаємодії гліцерину з фталевим ангідридом.

Шелакова зв'язка складається з природної смоли шелаку, розчиненої в етиловому спирті. Шелакова зв'язка дуже хороша для виготовлення АІ, що застосовуються на остаточних шліфувальних операціях та поліруванні.

Полівінілформалейова зв'язка - спінений полівінілформаль. Інша назва кіл на основі цієї зв'язки – порошкості. АІ на цій зв'язці мають щільність 0,8...0,9 г/см³, містять до 80% пор і використовуються для полірування з отриманням шорсткості поверхні за параметром Ra 0,63...1,00 мкм.

Епоксидна і поліефірна зв'язки – в основному, використовуються для виготовлення галтувальних тіл, абразивних виробів, що використовуються в бара-банах, що обертаються, і вібраційних контейнерах для очищення поверхонь і зняття задирок з деталей малого розміру.

Вулканітова, гліфталева, полівінілформалева зв'язки використовуються для виготовлення провідних кіл безцентрових шліфувальних верстатів, гнучких кіл для полірування та обробки, кіл для відрізки, прорізування та шліфування пазів, профільного шліфування.

Найпоширенішою серед ОТС (до 96%) є бакелітова зв'язка. Бакеліт набув широкого поширення як лак і як сполучна, що використовується у виробництві корпусів ізоляторів, телефонних апаратів, різних приладів. Саме відкриттям бакеліту було започатковано ери пластиків. В абразивній промисловості використовуються фенолформальдегідні лаки та смоли. У Російській промисловості використовується два позначення смол: СФЖ - фенольна смола рідка і СФП - смола фенольна порошкоподібна. У виготовленні зв'язок, крім смол, використовують різні наповнювачі неорганічного походження – кріоліт, пірит, алебастр та інші. АІ на бакелітовій зв'язці має високу міцність на стиск і ударну міцність, перевершуючи за цими показниками інструмент на керамічній зв'язці. Висока міцність бакелітової зв'язки дозволяє АІ працювати при великих навантаженнях та високих швидкостях різання. Такі кола застосовуються на обдирних та відрізних операціях, при шліфуванні з великими ударними навантаженнями та зніманням металу. До недоліків слід віднести: невисоку теплостійкість - деструкція зв'язки відбувається при температурах 400 - 700 ° С, недостатню стійкість до дії лужних розчинів, що обмежує застосування ряду СОЖ (небажано застосування розчинів, що містять луги більше 1,5%) [18]. Бакелітова зв'язка, як представник групи ОТС обрана як основа майбутніх досліджень, у зв'язку з чим далі розглянемо процес термообробки напівфабрикатів АІ на бакелітовій зв'язці (процес бакелізації).

Цикл термообробки при бакелізації полягає в нагріванні напівфабрикатів АІ за особливим режимом до температури 170 ... 230 ° С та витримці при цій температурі протягом кількох годин. При нагріванні відбувається затвердіння бакеліту, що призводить до підвищення в'язкості зв'язування. Одночасно виділяються леткі речовини: пара, вільний фенол, аміак та інші продукти [77]. АІ на порошкоподібному бакеліті не можна термообробляти на режимах з повільним підйомом температури до точки плавлення зв'язки, так як при цьому відбувається випаровування або затвердіння зволожувача до оплавлення всієї

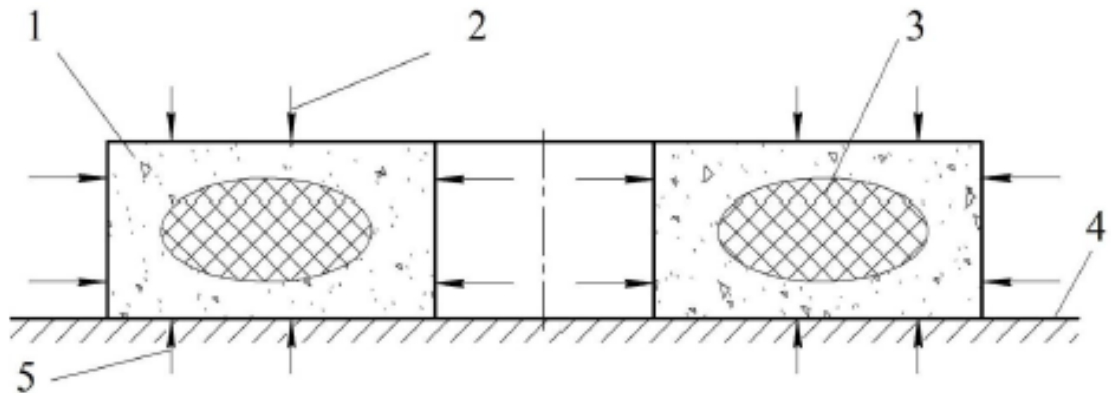
зв'язки та її розтікання поверхнею зерен. Наявність парів зволожувача та фенолу в атмосфері камери бакелізатора уповільнює випаровування зволожувача та фенолу із зв'язування. Тому при уповільнених режимах бакелізації небажаний повітрообмін у бакелізаторі. Порошкоподібний бакеліт при тривалій витримці при температурі нижче температури плавлення зв'язки стає в'язкоплавким, що діє так само, як передчасне випаровування зволожувача. В результаті режими бакелізації з тривалими витримками при температурі нижче температури плавлення зв'язки не дозволяють отримувати тверді та міцні вироби. У всіх випадках збільшення швидкості нагріву виробів з порошкоподібного бакеліту підвищує міцність і твердість виробів (якщо при цьому не відбувається спучування виробів летючими продуктами, що виділяються) [4].

При температурі понад 60°C починається процес поліконденсації зв'язки, який поступово охоплює весь обсяг напівфабрикату, що розм'якшується. Виділення летких речовин цьому етапі швидко посилюється, а процес супроводжується екзотермічним ефектом. Максимальна кількість фенолу, що виділився в одиницю часу, відповідає температурі теплоносія 150°C , формальдегіду - 180°C , аміаку - 100 і 180°C [77].

Нагрівання напівфабрикатів конвективним способом до 60°C проводять відносно швидко - зі швидкістю зростання температури теплоносія близько 1°C/хв . При цьому напівфабрикати розігріваються у напрямку від поверхні до внутрішніх зон (рис. 1.3). Внаслідок цього нагріті зовнішні шари матеріалу напівфабрикатів вже виділяють леткі речовини, а всередині напівфабрикатів формувальна суміш залишається порівняно холодною, і ці речовини утворюються з істотним зрушенням у часі [77].

Витримка при температурі теплоносія 160°C протягом 60 хв забезпечує вирівнювання температури по всіх напівфабрикатів садки. При наборі температури понад 160°C високою швидкістю ($\sim 1^{\circ}\text{C/хв}$) триває поліконденсація зв'язки, причому деформація напівфабрикатів практично повністю відсутня, так

як напівфабрикати при температурі понад 160 °З знаходяться вже в твердому агрегатному стані.



Мал. 1.3 Схема нагрівання напівфабрикату при бакелізації конвективним способом: 1 – напівфабрикат; 2 – напрямок конвективної теплопередачі від нагрітого повітря; 3 – низькотемпературна область; 4 – підкладка з кераміки чи кварцового піску; 5 – напрямок кондуктивної теплопередачі від підкладки

Нагрівання напівфабрикатів АІ проводиться в печах періодичної або безперервної дії конвективним способом за допомогою теплоносія - повітря. До печей періодичної дії належать камерні печі (рис. 1.4). Завантаження виробів, термообробку, охолодження та вивантаження проводять послідовно в одному робочому просторі печі. Камерні печі прості за конструкцією, дозволяють вести термообробку АІ за будь-яким індивідуальним режимом. Недоліками камерних печей періодичної дії є відносно низька продуктивність, важка фізична праця при завантаженні та вивантаженні виробів, велика питома витрата енергії на термообробку АІ, тому що значна кількість тепла поглинається кладкою (10 – 20 %) та газами, що відходять (35 – 40 %).



Мал. 2.4. Камерна піч

Печі безперервної дії (прохідні) мають великі переваги перед печами періодичної дії: нижча питома витрата енергії, висока продуктивність, кращі умови праці. Широкого поширення набули тунельні печі (рис. 2.5). Залежно від цього, які процеси протікають у печі, всю довжину тунелю можна розділити окремі зони. Кожна зона печі має свої конструктивні особливості та температурний режим, певну довжину залежно від виду термооброблюваних напівфабрикатів АІ.

Термообробка напівфабрикатів АІ на ОТС може проводитися в печах як без прессформ, так і прессформах після формування напівфабрикатів. При конструюванні прессформи для останнього методу слід врахувати, що напівфабрикати при термообробці дають помітне усадку, внаслідок чого оправлення прессформи щільно утримується в термообробленому АІ. Для полегшення вилучення напівфабрикату при його висоті понад 5 мм, виправлення виготовляється з конусністю не менше $1/50$. Форми до закладання в них маси (для пресованих кіл) або сирого прокатоного кола ретельно очищаються і змащуються мастилом з масляного лаку і графіту. Головним недоліком термообробки даним способом є тривалість технологічного циклу, яка може досягати 40 годин.



Мал. 1.5. Тунельна піч

Для проведення термообробки при підвищеному тиску використовують автоклави, що обігріваються електрикою, глухою або гострим паром. При нагріванні гострим паром, зважаючи на гігроскопічність бакеліту, вироби поміщають в автоклави в засипці тальком. Тиск в автоклаві створюється подачею до нього стисненого до 1,0 – 1,2 МПа повітря чи пари. Напівфабрикати АІ на підкладних плитах завантажують в автоклав, останній герметично закривають, подають стиснене повітря та включають обігрів. При бажанні видалити максимальну кількість летких речовин з напівфабрикату періодично продувку автоклава повітрям, не знижуючи встановленого тиску. [4].

Ще одним способом термообробки напівфабрикатів АІ на ОТС є кондуктивне нагрівання напівфабрикатів за рахунок елементів пресформи, що нагріваються під час формування (гаряче пресування) або після формування напівфабрикатів. Даний спосіб термообробки використовується в основному при виробництві силових обдирних АІ, абразивний матеріал яких має велику зернистість.

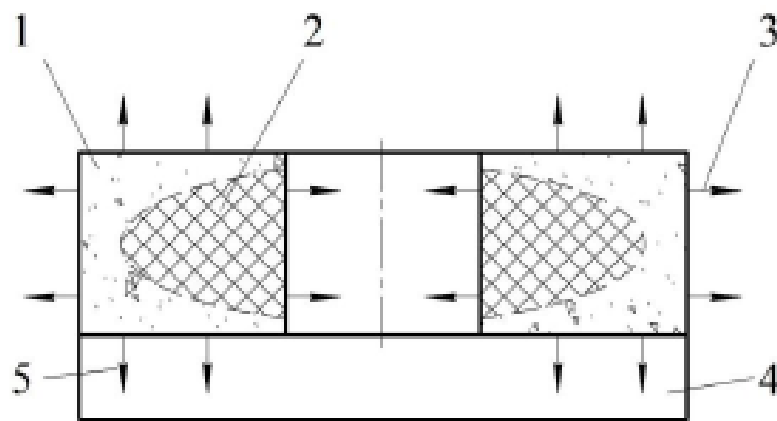
Тривалість нагріву та всієї операції термообробки напівфабрикатів АІ та інших виробів на ОТС різко скорочуються (у кілька разів), за рахунок застосування мікрохвильового способу нагріву, який має низку унікальних властивостей [77]:

- вибірковість нагріву, завдяки якій у багатокомпонентній суміші діелектриків сильніше нагріваються складові, що мають вищий тангенс кута діелектричних втрат;

- рівномірність нагріву за рахунок того, що електричне поле миттєво проникає в діелектричні матеріали на значну глибину, прямо пов'язану з довжиною хвилі випромінювання, забезпечуючи рівномірний розподіл теплоти, що виділяється по всьому об'єму матеріалу об'єкта, що нагрівається, незалежно від його теплопровідності (рис. 1.6.);

- Високий коефіцієнт перетворення енергії випромінювання в теплову енергію: питома енергоємність бакелізації з використанням мікрохвильової енергетики - до 0,3 кВт·год/кг на кг маси напівфабрикату проти 1...3 кВт·ч/кг при бакелізації конвективним способом.

Висока ефективність мікрохвильової енергетики при термообробці напівфабрикатів АІ та інших виробів на ОТС обумовлена властивими досить високими значеннями тангенсу кута діелектричних втрат сполучного.



Мал. 1.6. Схема поширення теплоти у напівфабрикаті при мікрохвильовій бакелізації: 1 – напівфабрикат; 2 – високотемпературна область; 3 – напрямок інфрачервоного випромінювання; 4 – підкладка; 5 – напрямок кондуктивної теплопередачі від напівфабрикату до підкладки

2.3 Наповнювачі зв'язки, що підвищують продуктивність та енергоефективність операції термообробки напівфабрикатів абразивного

інструменту на органічних термореактивних зв'язках та покращують його якість

В даний час для підвищення міцності зв'язки, зменшення витрати бакеліту, полегшення формування абразивних сумішей на рідкому бакеліті і скорочення тривалості термообробки напівфабрикатів вводять у формувальні суміші бавовняні очеси, азбестову пил, скляні та металеві нитки, тирсу, цеоніт, напівводний гіпс, окиси заліза, хрому та алюмінію, кріоліт, маршаліт та інші матеріали. Найбільше застосування як наповнювача знаходить напівводний гіпс, введення якого значно зменшує кількість летких речовин, що виділяються з бакеліту при термообробці, що знижує явище спучування напівфабрикатів при бакелізації. Крім того, гіпс прискорює затвердіння смоли при нагріванні [4].

Одним із шляхів скорочення тривалості термообробки є введення у формувальні суміші прискорювачів бакелізації. Їх можна розбити на такі групи: альдегіди або речовини, здатні виділяти в процесі термообробки альдегіди, кислоти, луги та солі. Прискорювачі першої групи застосовують рідко – в окремих випадках вводять уротропін (гексаметилентетрамін). Кислоти та луги знаходять дещо ширше застосування – переважно при виготовленні напівфабрикатів на рідкому бакеліті. Із солей широко застосовується напівводний гіпс, що є одночасно наповнювачем [18].

Позитивний вплив наповнювачів на експлуатаційні показники АІ відзначено при введенні до складу зв'язки комплексного наповнювача, який одержують шляхом змішування цинкового порошку та окису цинку. Зносостійкість кіл з комплексним наповнювачем при різанні труб з вуглецевої сталі вище, ніж у серійно випускаються в середньому на 24%. Це пояснюється тим, що в результаті хімічної взаємодії частинок цинку та окису цинку з фенолформальдегідною смолою частина сполучного переходить у зміцнений стан, що призводить до підвищення міцності АІ, збільшення його твердості та відповідно до зносостійкості. Крім того, цинковий порошок підвищує теплопровідність зв'язування. При введенні у зв'язку кола форміатів нікелю, міді,

свинцю в якості функціонального наповнювача також підвищується зносостійкість АІ, оскільки він має багатопланову дію на сполучну [18].

У процесі різання такими колами при підвищенні температури в зоні контакту відбувається поглинання теплоти, зумовлене розкладанням наповнювача, а також виділенням металевої фази (дисксіперсної нікелю, міді, свинцю) в робочій зоні. Крім того, високодисперсні метали, що виділяються при розкладанні форміатів, виконують роль мастила, перешкоджаючи засолюванню інструменту. Методами диференціально-термічного аналізу були досліджені композиції на основі фенолформальдегідних смол, які застосовуються для виготовлення АІ та містять абразивне зерно, рідкий бакеліт, пульвербакеліт, кріоліт та форміати нікелю. Встановлено, що форміати нікелю, розкладаючись у температурному інтервалі 463 - 503 К, тобто до розкладання кріоліту, створюють ефект, пов'язаний з поглинанням тепла та збільшенням теплопровідності зв'язки вже в початковій стадії різання [18].

Одним з найбільш ефективних способів зниження інтенсивності взаємодії пари абразив - метал при шліфуванні є введення в зону контакту активних компонентів, які, реагуючи з ювенільними поверхнями металів, утворюють на них ізолюючі плівки, що перешкоджають взаємодії металу з абразивним матеріалом. Ст. А. Носенко запропонував вводити хімічно активні компоненти безпосередньо в рецептуру кола при його виготовленні, а як наповнювачі використовувати хлориди і фториди металів [32]: AgCl , AlCl_3 , BaCl_2 , CaCl_2 , CdCl_2 , CoCl_2 , CuCl , KCl , MgCl_2 , MnCl_2 , NiCl_2 , ZnCl_2 , AlF_3 , BaF_2 , CaF_2 , CdF_2 , CoF_2 , CuF , CuF_2 , KF , MgF_2 , MnF_2 , NaF , NiF_2 та ZnF_2 . Їх вибір обумовлений наступним: для хлоридів і фторидів металів найбільш повно визначені термодинамічні характеристики; слід очікувати, що солі взаємодіятимуть з металами за однотипними хімічними реакціями, в результаті яких утворюються близькі за властивостями нові фази, що дозволить яскравіше виділити вплив хімічної активності наповнювачів на термостійкість з'єднань при температурі

бакелізації. Використання хімічно активних компонентів як наповнювачів ШК на бакелітовій зв'язці дозволяє в 1,5 - 2,1 рази зменшити їх знос і шорсткість обробленої поверхні, знизити шаржування обробленої поверхні кристалами абразивного матеріалу та зміну її хімічного складу. Зниження інтенсивності взаємодії зерна з металом призводить до зменшення сил шліфування та рівня залишкової напруги в обробленій поверхні, що сприяє збільшенню надійності та довговічності деталей та виробів [4].

3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПЕЦІАЛЬНИХ НАПОЛНЮВАЧІВ І ТЕРМОСТАТУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА БАКЕЛІТОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ ПРОЦЕС ЇХ ТЕРМО ВИПРОМІНЮВАННЯМ

3.1 Розрахунок кількості летких речовин, що виділяються при бакелізації напівфабрикатів абразивного інструменту на бакелітовій зв'язці

Як показано в розділі 1, в процесі термообробки з напівфабрикатів АІ на ОТС виділяються леткі продукти - пари води, вільний фенол, аміак і формальдегід. При підвищенні швидкості нагріву збільшується інтенсивність виділення летких речовин, що призводить до деформації та спучування напівфабрикатів. Підібравши спеціальні наповнювачі, здатні зв'язати леткі речовини, можна істотно підвищити швидкість термообробки напівфабрикатів АІ. напівфабрикатів. в процесі термообробки летких речовин можна дати, взявши за основу методику, запропоновану в статті [40] для АІ на бакелітовій зв'язці як найбільш поширеного представника АІ на ОТС.

У роботі [66] показано, що в газах, що виділяються, при бакелізації фенольного порошкоподібного сполучного частка аміаку по масі становить 95%, що залишилися 5% припадає на частку фенолу, формальдегіду і води. Мольне співвідношення формальдегіду і фенолу має вигляд (0,75 - 0,85): 1, для розрахунків приймаємо 0,8: 1 [40].

Розрахуємо молярну масу кожної речовини, що виділяється при поліконденсації:

$$M(C_6H_5OH) = 6 \cdot M(C) + 5 \cdot M(H) + M(O) + M(H) = 94 \text{ г/моль}; \quad (2.1)$$

$$M(CH_2O) = M(C) + 2 \cdot M(H) + M(O) = 30 \text{ г/моль}; \quad (2.2)$$

$$M(NH_3) = M(N) + 3 \cdot M(H) = 17 \text{ г/моль}; \quad (2.3)$$

$$M(H_2O) = 2 \cdot M(H) + M(O) = 18 \text{ г/моль}, \quad (2.4)$$

де $M(C_6H_5OH)$, $M(CH_2O)$, $M(NH_3)$, $M(H_2O)$, $M(C)$, $M(H)$, $M(O)$, $M(N)$ – молярна маса відповідно фенолу, формальдегіду, аміаку, води, вуглецю, водню,

кисню та азоту, г/моль.

Для розрахунку співвідношення кількості фенолу, формальдегіду і води в 5 г газів, що виділяються приймаємо: x - маса фенолу, г; y – маса формальдегіду, г; z – маса води, г, x_1 – кількість молей фенолу; y_1 – кількість молей формальдегіду; z_1 – кількість молей води, тоді:

$$x + y + z = 5. \quad (2.5)$$

При цьому:

$$x = x_1 M(C_6H_5OH); y = y_1 M(CH_2O); z = z_1(H_2O). \quad (2.6)$$

При поліконденсації фенольного порошкоподібного сполучного з 1 моля фенолу та 0,8 моля формальдегіду виділяється 0,5 моля води [23, 66]. За законом Авогадро 1 моль будь-якого газу за нормальних умов ($0^\circ C$ і 760 мм.рт.ст.) займає об'єм 22,416 л. Отже співвідношення між x_1 , y_1 , z_1 будуть мати такий вигляд: $y_1 = 0,8 x_1$, $z_1 = 0,5 x_1$, тоді вираз (2.5) набуде вигляду:

$$94x_1 + 30y_1 + 18z_1 = 5; \quad (2.7)$$

$$94x_1 + 0,8 \times 30x_1 + 0,5 \times 18x_1 = 5; \quad (2.8)$$

$$x_1 = 5/127 = 0,0394; y_1 = 0,8 \cdot x_1 = 0,0315; z_1 = 0,5 \cdot x_1 = 0,0197 \quad (2.9)$$

$$x = 3,7 \text{ г}; y = 0,9 \text{ г}; z = 0,4 \text{ г}.$$

Зрештою, отримуємо наступний розподіл летких речовин: 95% - аміак; 3,7% - фенол; 0,9% – формальдегід; 0,4% – вода.

Позначимо витрату порошкоподібного сполучного при виготовленні АІ як C , г на 1 кг АІ. Втрата маси порошкоподібного сполучного при бакелізації становить 2,0%. Отже, при бакелізації сполучного, необхідного для виготовлення 1 кг АІ на бакелітовій зв'язці, виділиться 0,02 З летких речовин. Масу конкретної леткої речовини, що виділилася при бакелізації АІ, можна визначити за такими залежностями:

$$m_{ам} = 95 \cdot 0,02 \cdot C / 100 \% = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ C г/кг}; \quad (2.10)$$

$$m_{фп} = 3,7 \cdot 0,02 \cdot C / 100 \% = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ C г/кг}; \quad (2.11)$$

$$m_{форп} = 0,9 \cdot 0,02 \cdot C / 100 \% = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ C г/кг}; \quad (2.12)$$

$$m_{еп} = 0,4 \cdot 0,02 \cdot C / 100 \% = 8 \cdot 10^{-5} \text{ C г/кг}, \quad (2.13)$$

де $m_{ам}$, $m_{фп}$, $m_{форп}$, $m_{вп}$ – маса відповідно аміаку, фенолу, формальдегіду та пари води, що виділилися при бакелізації 1 кг напівфабрикатів АІ за рахунок поліконденсації фенольного порошкоподібного сполучного, р.

3.2 Дослідження впливу фізичних параметрів та вмісту у зв'язці АІ радіопоглинаючих наповнювачів на допустиму швидкість мікрохвильового нагріву напівфабрикатів

Неметалічні матеріали напівпрозорі для НВЧ-енергії. Мікрохвильове поле проникає в такі матеріали на значну глибину, що залежить від їх властивостей. Взаємодіючи із середовищем на атомному та молекулярному рівні, ці поля впливають на рух електронів. Іони через свою велику масу не в змозі взаємодіяти з НВЧ полем. Електрони в таких матеріалах рухаються більш менш вільно залежно від значень діелектричної проникності і коефіцієнта діелектричних втрат. Рух електронів, що з діелектричною проникністю, носить пружний характер і, сутнісно, призводить до запасання енергії. Якщо рух електронів виходить за межі пружності, характерні для даного матеріалу, відбувається перетворення НВЧ енергії в теплоту через гістерезис.

Розмір діелектричної проникності середовища є комплексним числом [66]:

$$\epsilon^* = \epsilon'^* - i\epsilon''^*,$$

де ϵ'^* , ϵ''^* – дійсна та уявна складові діелектричної проникності, Ф/м.

Знак мінус показує, що зміни в матеріалі, що поляризується, відбуваються з деякою затримкою по відношенню до змін поля. Комплексна діелектрична проникність пов'язана з діелектричною проникністю вакууму та відносною діелектричною проникністю [44]:

$$\epsilon^* = \epsilon_0 \epsilon,$$

де ϵ_0 - діелектрична проникність вакууму (електрична постійна), Ф/м; ϵ – відносна діелектрична проникність.

Припустимо, що електромагнітне поле змінюється у часі за гармонійним законом. Тоді, у довільній точці з координатою x напруженість електричного поля в момент часу t та сама, що в точці $x = 0$ у ранній момент часу $(t - x/c)$. Рівняння гармонійної хвилі напруженості електричного поля, що біжить, що поширюється в позитивному напрямку осі x зі швидкістю c (рис. 2.1), має вигляд:

$$E = E_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right),$$

де E_0 - амплітуда напруженості електромагнітного поля, В/м; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота, рад/с; f – частота прикладеного поля, Гц, c – швидкість світла у вакуумі, м/с; t - час, с; x - відстань, на яку поширилося обурення, м.

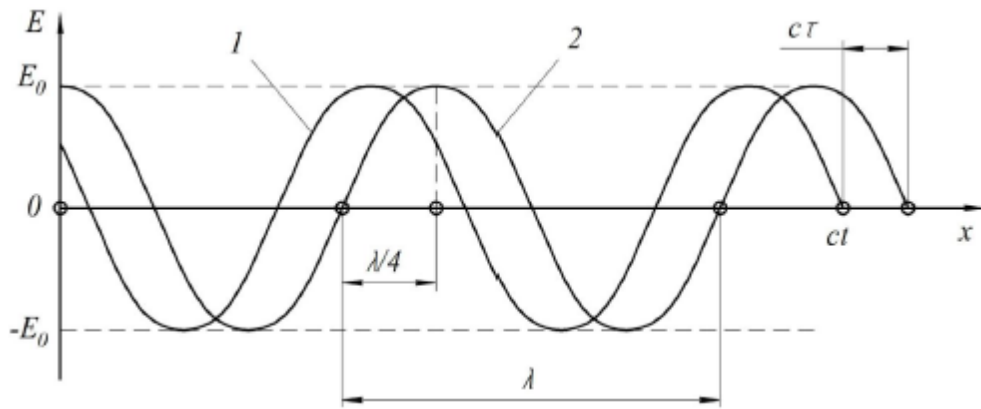
При русі електромагнітної хвилі в середовищі з певною діелектричною проникністю вона згасає внаслідок зменшення амплітуди її напруженості за експоненційним законом [44]:

$$E_x = E_0 \exp(-kx),$$

де k - Постійна згасання, м⁻¹; x – глибина, де визначається величина E_x , м.

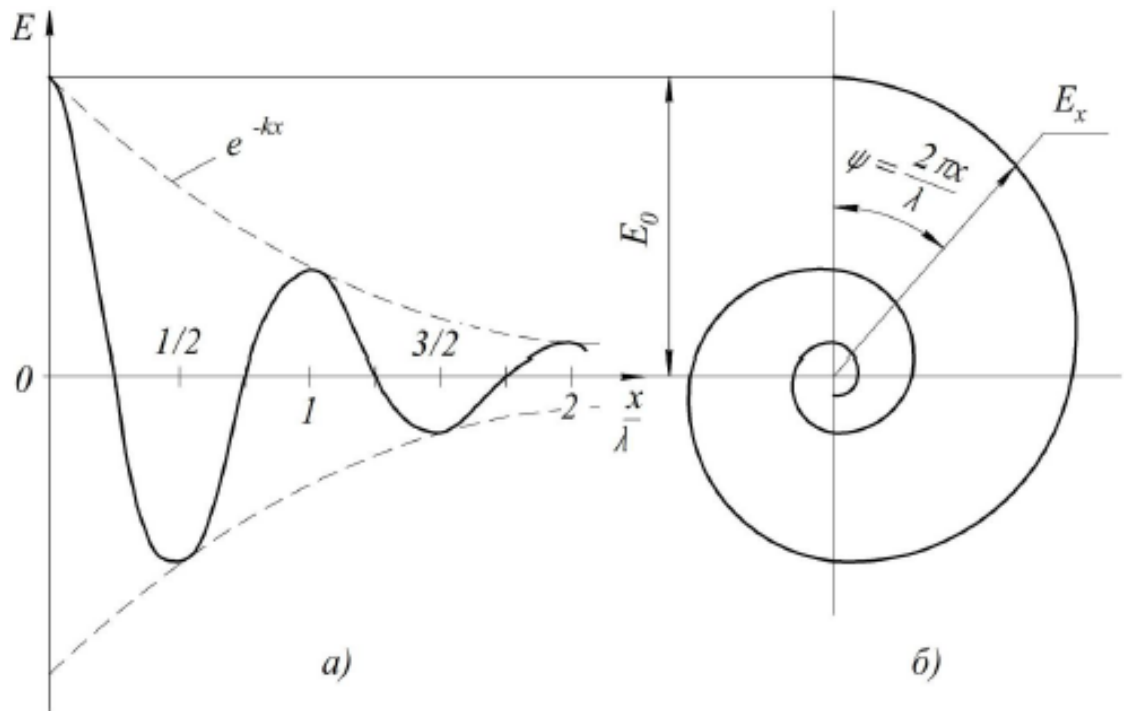
При досягненні глибини x значення $1/k$, величина амплітуди напруженості E_x зменшується в раз у порівнянні з E_0 . Рівень, у якому амплітуда напруженості E_x становить 37 % від початкового значення E_0 називають глибиною проникнення [44]:

$$l = \frac{1}{k}.$$



Мал. 2.1. Гармонічне обурення електромагнітного поля, що рухається у просторі без втрат у моменти часу t (крива 1) та $(t + \tau)$ (крива 2)

Напруженість електромагнітного поля змінюється у просторі з періодичністю λ , а амплітуда хвилі полягає між експоненціальними обгинальними, що визначаються постійною згасанням k (рис. 2.2, а). У полярних координатах амплітуда хвилі може бути представлена радіусом-вектором, який обертаючись за годинниковою стрілкою в міру збільшення глибини x описує логарифмічну спіраль (рис. 2.2, б) [73].

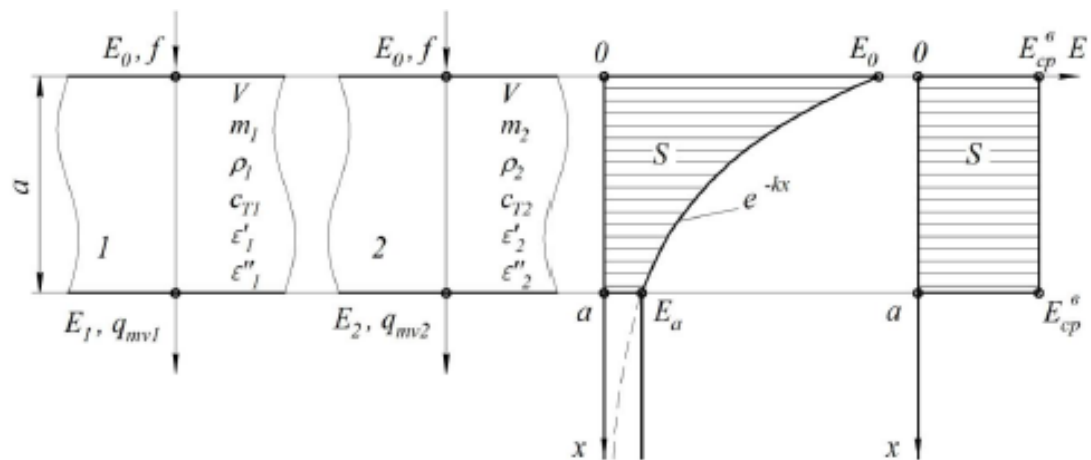


Мал. 2.2. Загасаюча електромагнітна хвиля у просторі: а – у декартовій системі координат; б – у полярній системі координат [73]

Таким чином, були розглянуті основні положення теорії мікрохвильового нагріву та залежності, необхідні для проведення аналізу впливу радіопоглинаючих наповнювачів на швидкість нагрівання напівфабрикатів АІ на бакелітовій зв'язці.

Розглянемо два напівфабрикати АІ на ОТС однакового типорозміру та об'єму заввишки a , перший з яких виготовлений із формувальної суміші стандартної рецептури, другий – із суміші, модифікованої радіопоглинаючим наповнювачем. Внаслідок модифікації напівфабрикату АІ були змінені такі його параметри: дійсна ϵ' і уявна ϵ'' частини відносної діелектричної проникності, питома теплоємність c_T і щільність ρ .

Припустимо, що на кожен із напівфабрикатів у напрямку, перпендикулярному торцевій поверхні, зі швидкістю світла у вакуумі падає електромагнітна хвиля з частотою f та амплітудою напруженості E_0 (рис. 2.3).



Мал. 2.3. Вплив електромагнітної хвилі на напівфабрикати АІ обсягом V :

1 – напівфабрикат АІ стандартної рецептури; 2 – напівфабрикат АІ, модифікований радіопоглинаючим наповнювачем

У процесі модифікації зв'язки напівфабрикатів АІ радіопоглинаючими наповнювачами їх щільність і питома теплоємність зміняться незначно, отже, домінуючий вплив зміну швидкості нагріву в мікрохвильовому полі надаватиме зміна комплексної відносної діелектричної проникності напівфабрикатів АІ.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що при мікрохвильовому

нагріванні напівфабрикатів АІ (стіпки напівфабрикатів), висота яких значно менша за глибину проникнення електромагнітного випромінювання, для підвищення швидкості нагріву необхідно більше уваги приділити підвищенню уявної частини відносної діелектричної проникності, а при нагріванні напівфабрикатів, висота яких перевищує глибину проникнення мікрохвиль необхідно вживати заходів для збільшення дійсної частини відносної діелектричної проникності. Однак у другому випадку радіопоглинаючі властивості напівфабрикатів будуть достатніми, і підвищувати швидкість їх нагріву, найімовірніше, не знадобиться. Для визначення глибини проникнення та постійної згасання напівфабрикату стандартної рецептури та модифікованого радіопоглинаючими наповнювачами, а також відношення швидкостей їх нагріву необхідно визначити комплексні відносні діелектричні проникності напівфабрикатів АІ до і після модифікації.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОСТАТУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ НАПОЛНЮВАЧІВ ЗВ'ЯЗКУ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ЇХ ЯКІСТЬ ПРОИЗНОСТІ ЦП

4.1. Методика експериментальних досліджень впливу адсорбуючих та радіопоглинаючих наповнювачів зв'язки абразивних інструментів та термостатування напівфабрикатів на продуктивність процесу мікрохвильової бакелізації

Дана методика розроблена для оцінки ефективності застосування адсорбуючих та радіопоглинаючих наповнювачів зв'язки, а також радіопрозорі теплоізоляції при виготовленні АІ на бакелітовому сполучному для прискорення процесу його мікрохвильової термообробки.

Для оцінки впливу адсорбуючих та радіопоглинаючих наповнювачів зв'язування та термостатування напівфабрикатів АІ на продуктивність операції мікрохвильової бакелізації використовували наведені нижче критерії:

Температуру заданих інформативних точках контролю Т, °С.

Наявність дефектів форми та геометрії зразків.

Колір поверхні зразків: світло-жовтий колір свідчить про неповну бакелізацію напівфабрикатів АІ, темно-коричневий – про їхню перебакелізацію.

Ступінь твердості напівфабрикатів АІ.

Вихідну та залишкову масу напівфабрикатів. Зменшення маси після термообробки визначали за наступною залежністю:

$$\Delta m = \frac{m_n - m_k}{m_n} \cdot 100\%,$$

де m_n , m_k – відповідно маса напівфабрикату до та після термообробки, р.

Час повної полімеризації зразків τ , хв.

Температуру на відкритих ділянках зразків, а також поверхні теплоізоляції контролювали за допомогою пірометра «Optris MS Plus».

Температуру в стопці напівфабрикатів АІ вимірювали за допомогою мультиметра Mastech MT - 838 (діапазон вимірювання 20 ... 1000 ° С, чутливість 1 ° С) з термopарою типу ХА.

Розміри зразків до та після термообробки контролювали універсальними інструментами: штангенциркулем ШЦ-II-250-0,05 (ГОСТ 166, ціна поділу 0,05 мм, діапазон виміру 0...250 мм, похибка виміру $\pm 0,025$ мм); мікрометром МК 25 (ГОСТ 4381, ціна поділу 0,01 мм, діапазон виміру 0...25 мм, похибка виміру $\pm 0,002$ мм). При виникненні жолоблення напівфабрикатів під час термообробки фіксували максимальні та мінімальні значення величини висоти напівфабрикатів, діаметра отвору і зовнішнього діаметра.

Твердість термооброблених зразків контролювали за допомогою приладу Імпульс, який фіксує час проходження звукової хвилі крізь зразок. Знаючи висоту напівфабрикатів, визначали швидкість звукової хвилі у зразку v за наступною залежністю:

$$v = h t^{-1},$$

де h - Висота напівфабрикату АІ, м; t - час проходження звукової хвилі крізь зразок, с.

Розділивши швидкість звукової хвилі у зразку на 100 і округливши отримане значення до цілого непарного числа, отримували звуковий індекс, за допомогою якого таблиці відповідності (див. інструкцію з експлуатації приладу) визначали ступінь твердості термообробленого напівфабрикату АІ.

Вихідну та залишкову масу напівфабрикатів контролювали за допомогою ваги моделі «SJ - 12КСЕ» (найбільша межа зважування – 12000 г, найменша межа зважування – 50 г, дискретність – 1 г, точність вимірювання – 0,5 г).

Час термообробки контролювали за допомогою таймера, вбудованого в мікрохвильову піч.

Для проведення експериментального дослідження виготовили дев'ять

партій напівфабрикатів АІ на бакелітовій зв'язці з різними наповнювачами.

В якості адсорбуючого наповнювача використовували безводний сульфат магнію (MgSO_4) навішуваннями, кратними 1,5 % від маси абразивного зерна. Як радіопоглинаючий наповнювач застосовували графіт ливарний. Застосування даних наповнювачів як адсорбуючих та радіопоглинаючих добавок обумовлено результатами огляду-пошуку та теоретичними дослідженнями.

Наповнювачі перед застосуванням додатково подрібнювали за допомогою лабораторного шарового млина МЛ - 1М і дезінтегратора ДЗГ - 250, а також висушували в сушильній шафі ЕС - 4610 (діапазон температур 10 ... 300 ° С, нерівномірність температури за обсягом ± 1 ° С).

На першому етапі досліджень за допомогою лабораторних ваг ВК-3000 (межа зважування – 3000 г, точність – 0,1 г, клас точності – II) та шприца-дозатора готували навішування сировинних матеріалів. Наважки розміщували у проміжній тарі. Потім готували формувальну суміш. Для цього в швидкохідний змішувач при роторі, що обертається, вводили компоненти суміші і перемішували до отримання на кожній стадії гомогенної маси з допустимим утворенням окремих грудок розміром не більше 3 мм в наступній послідовності:

- ✓ абразивний матеріал (шліфзерно);
- ✓ смола-звложувач (БЖ-3 або Абразит 031);
- ✓ смола-сполучна СФП-12;
- ✓ наповнювач.

Отриману суміш висипали на сито пристрої розсіювання та просіювали під власною силою ваги. Окремі грудки, що залишилися на ситі, примусово протирали через сито, чим забезпечували рівномірне нанесення порошкоподібних компонентів на поверхню протертих зерен абразиву.

Холодне формування напівфабрикатів абразивних кіл 150' 25' 32 проводили на гідропресі ПБ - 6330 зусиллям 1000 кН. Обрив і надлишок порошкоподібних компонентів на поверхні зразків видаляли шпателем та

пензлем.

Після формування напівфабрикати піддавали сушінню на відкритому повітрі протягом доби. Для забезпечення можливості проникнення термопар до точок заміру температури в окремих напівфабрикатах було пророблено наскрізні або глухі пази розмірами 3×3 мм.

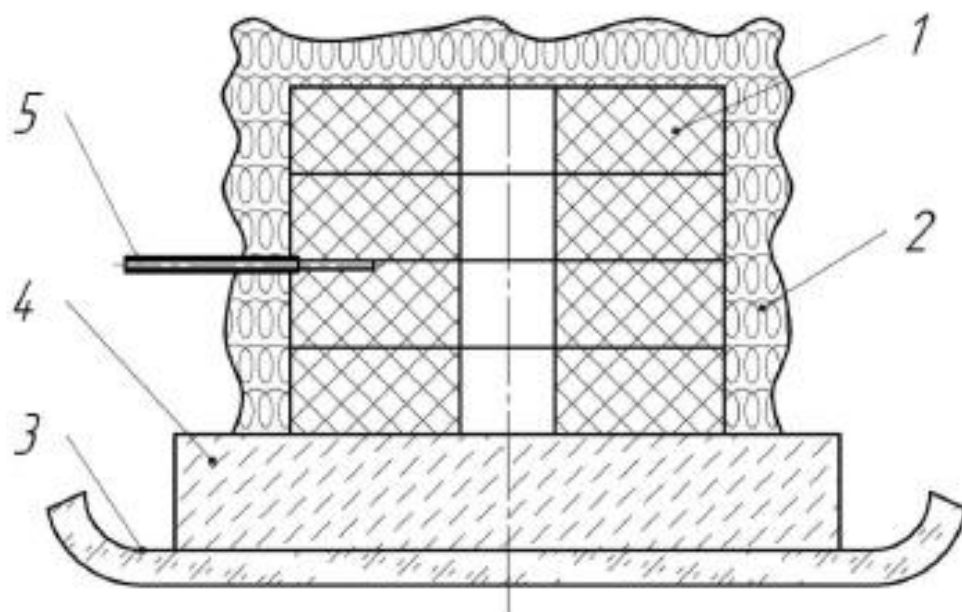
Для проведення експериментального дослідження використовували зразки, що містять наступні наповнювачі у відсотках маси абразиву: гіпс – 1,5...4,5 %, сульфат магнію – 1,5...6 %.

Рецептури виготовлення напівфабрикатів ШК представлені у таблиці 3.1. Обмеження маси сульфату магнію шістьма відсотками встановлено в зв'язку з тим, що збільшення кількості наповнювачів веде до деякого зниження твердості АІ.

Таблиця 4.1. Рецептури формувальних сумішей для виготовлення напівфабрикатів ШК

№ рецептури	Маса компонентів формувальної суміші, г				
	Абразивне зерно 25A F80	Сульфат магнію безводний	Гіпс ГВВС-16	Зволожувач Абразит-031	Зв'язка СФП-012А3
1	1000	-	15	45	90
2		-	30		
3		-	45		
4		15	-		
5		30	-		
6		45	-		
7		60	-		

Мікрохвильовий нагрівання експериментальних зразків проводили за груповою технологією, обробляючи одночасно по 4 зразки, покладених чаркою, всю поверхню якої вкривали теплоізолюючим матеріалом (рис. 3.1), в мікрохвильовій печі WD90N30ESP-G4 (об'єм 30 дм³, потужність 0,9 кВт, частота). Як теплоізоляцію застосували муліто-кремнеземисту вату (повсть) МКРВ-130, що прилягає до поверхні напівфабрикатів. Для утримання теплоізоляції на поверхні напівфабрикатів АІ стос обв'язували азбестовим шнуром діаметром 2 мм.



Мал. 4.1. Схема укладання напівфабрикатів АІ при мікрохвильовому нагріванні: 1 – напівфабрикати АІ; 2 – мулітокремнеземна вата; 3 – термостійкий скляний піддон; 4 – діатоміт; 5 – фторопластова трубка з внутрішнім діаметром 3 мм

Ефективність застосування такої теплоізоляції обумовлена зменшенням конвективного теплообміну та значним зниженням теплових втрат на випромінювання. Низькі кондуктивні втрати за рахунок теплопередачі «напівфабрикат-утеплювач» пояснюються незначною площею їх контактування.

Мікрохвильове нагрівання проводили циклами «2 хв – випромінювання включено + 5 хв – випромінювання вимкнено». Використовувана мікрохвильова піч резонаторного типу має певну нерівномірність розподілу електромагнітного поля за об'ємом камери, у зв'язку з цим паузи тривалістю 5 хв дозволяють стабілізувати температуру в стопці та забезпечити більш рівномірне нагрівання. Температурою нагріву керували, задаючи зміну середньої потужності випромінювання магнетрону з ряду 40, 50, 70, 80 та 100%, що відповідає питомій потужності нагріву зразків – 22,8; 28,5; 40; 45,7; 57 Вт/кг і тривалість нагрівання при цих середніх потужностях. Під час пауз заміряли температуру в інформативній точці, а також зважували стоси напівфабрикатів АІ разом зі

скляним піддоном, діатомітовою основою та теплоізоляцією. Перед проведенням термообробки фіксували початкову температуру та масу напівфабрикатів АІ.

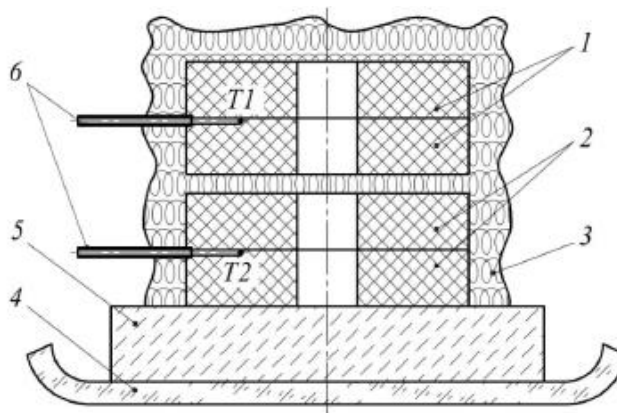
Бакелізували зразки, що містять 1,5% сульфату магнію та 2...4% графіту ливарного ГЛ-1.

Рецептури формувальних сумішей представлені у таблиці 3.2. Зразки укладали в стопку, яку теплоізолювали муліто-кремнеземистою ватою (повстю) МКРВ-130, що прилягає до поверхні напівфабрикатів (див. рис. 3.1). Перед термообробкою, а також під час пауз у мікрохвильовій термообробці, вимірювали температури в інформативній точці.

Таблиця 4.2. Рецептури формувальних сумішей для виготовлення напівфабрикатів ШК

№ рецептури	Маса компонентів формувальної суміші, г				
	Абразивне зерно 25А F80	Сульфат магнія безводний	Графіт ГЛ-1	Зволожувач Абразит-031	Зв'язка СФП-012А3
8	1000	15	20	45	90
9	1000	15	40	45	90

Потім проводили мікрохвильову термообробку напівфабрикатів, що не містять радіопоглинаючих наповнювачів (рецептура № 4), суміщену з термообробкою напівфабрикатів, до складу яких ввели графіт у кількості 2 % від маси абразиву (рецептура № 8). Під час пауз у термообробці мікрохвильовим випромінюванням вимірювали температури у двох інформативних точках Т1 і Т2 (рис. 3.2).

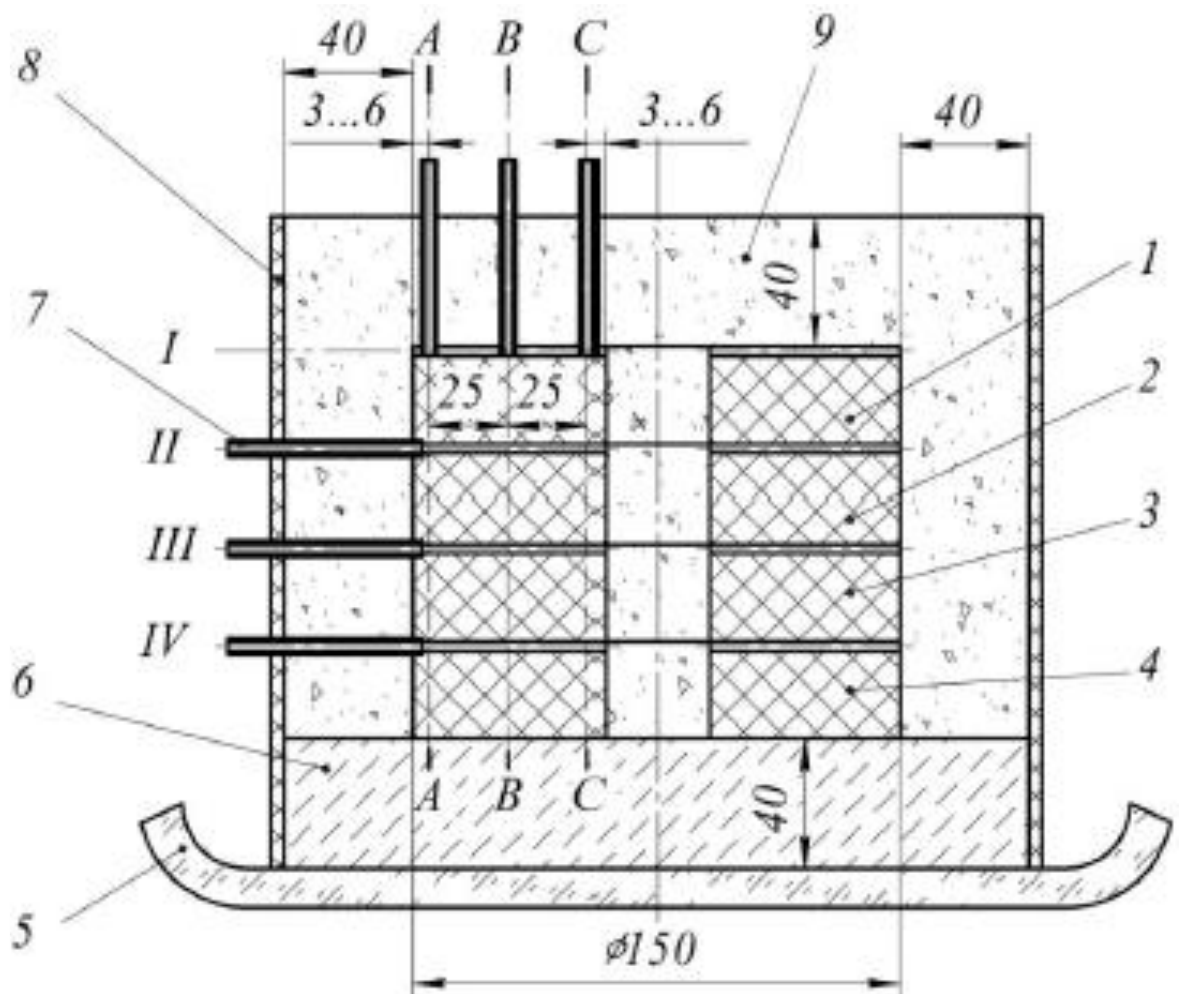


Мал. 4.2. Схема укладання напівфабрикатів АІ при мікрохвильовому

нагріванні: 1, 2 – напівфабрикати АІ, відповідно з радіопоглинаючими наповнювачами та без них; 3 – мулітокремнеземна вата; 4 – термостійкий скляний піддон; 5-діатоміт; 6 – фторопластові трубки із внутрішнім діаметром 3 мм

Для проведення експериментального дослідження виготовили напівфабрикати АІ. Бакелізацію здійснювали на відпрацьованих у попередніх експериментах режимах, які забезпечують одержання напівфабрикатів АІ без ознак деформацій та спучування.

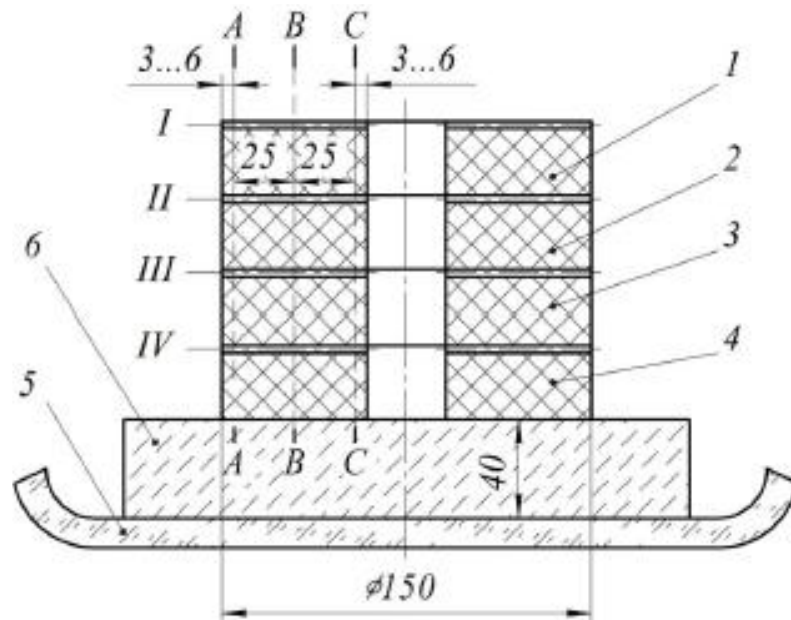
На відрізнму верстаті моделі GS-400 у зразках були виконані пази розміром 3×3 мм. Мікрохвильовий нагрівання зразків проводили за груповою технологією, обробляючи одночасно по 4 зразки, покладені чаркою (рис. 3.3). Зразки укладали на діатомітову основу 6, навколо якої була зафіксована склотекстолітова оболонка 8. В отримані в результаті укладання стоси напівфабрикатів канали встановили фторопластові трубки 7 з внутрішнім діаметром 3 мм, після чого всю систему засипали вермикулітом 9 спученим фракто -кремнеземистої ватою МКРВ-130. Товщина шару теплоізоляції в обох випадках була однаковою.



3.3. Схема укладання напівфабрикатів АІ при мікрохвильовому нагріванні

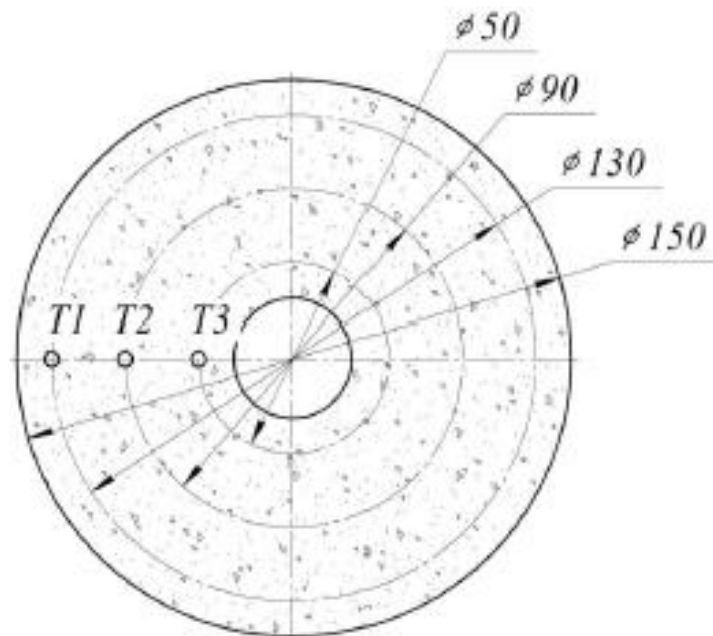
Термообробку здійснювали в мікрохвильовій печі об'ємом 30 дм³. У процесі нагрівання за допомогою термопари фіксували температуру в різних перерізах (А – С) та на різних рівнях (І – ІV) стоси напівфабрикатів АІ.

Після цього проводили термообробку напівфабрикатів АІ у мікрохвильовому полі без використання теплоізоляції (рис. 3.4). Режими термообробки, рецептуру та масу стопки напівфабрикатів при цьому не змінювали.



Мал. 3.4. Схема укладання напівфабрикатів АІ при мікрохвильовому нагріванні без використання теплоізоляції: 1 – 4 – напівфабрикати АІ; 5 – термостійкий скляний піддон; 6 – діатоміт

Після термообробки фіксували колір напівфабрикатів, наявність або відсутність деформацій, а також вимірювали твердість кожного напівфабрикату АІ зі стосу в різних інформативних точках (рис. 3.5) за допомогою приладу "Імпульс".



Мал. 3.5. Контрольні точки вимірювання твердості напівфабрикату АІ

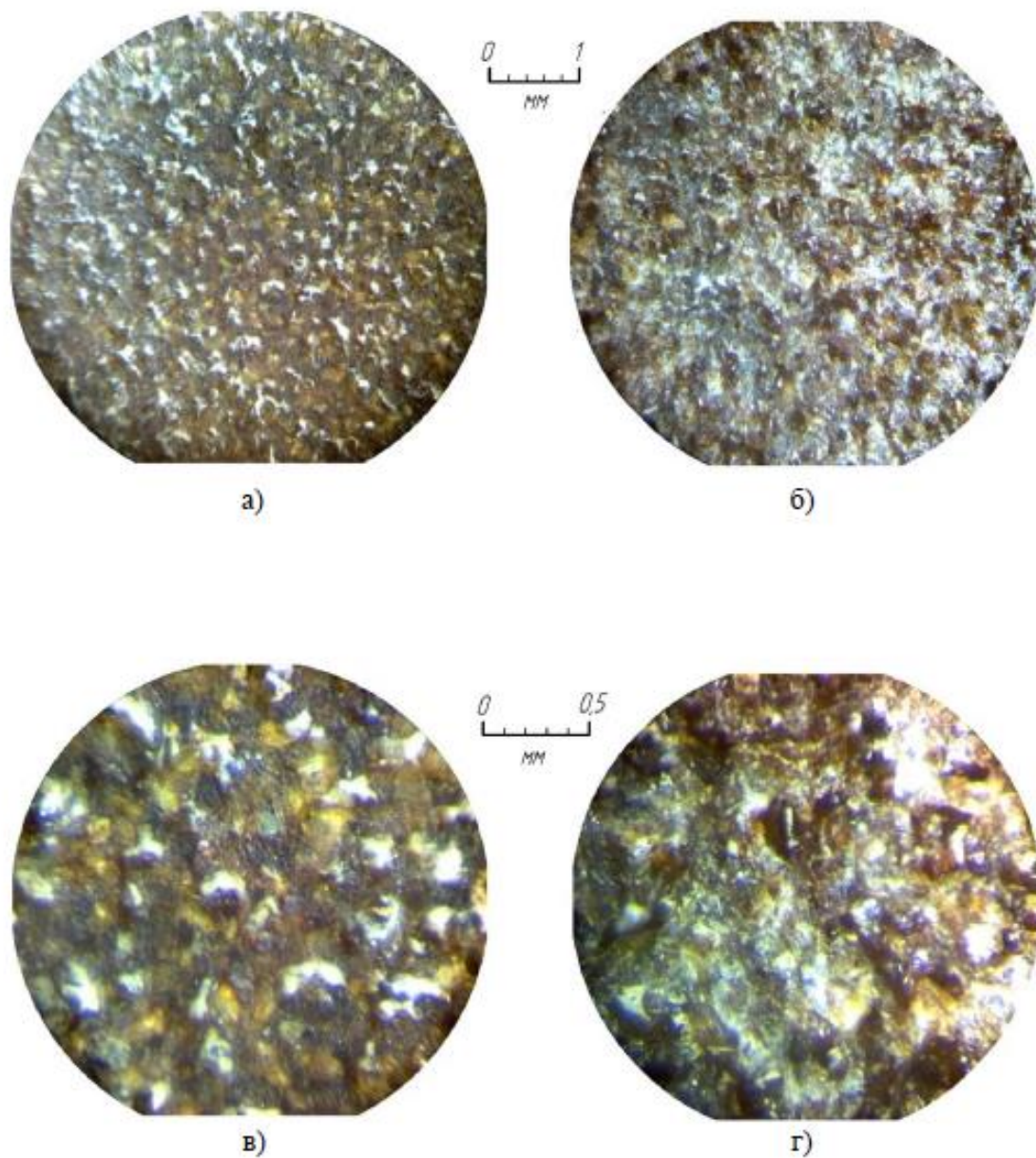
Відповідно до вищевикладеної методики провели порівняльний мікроструктурний аналіз групи зразків з адсорбуючими наповнювачами, виготовлених за рецептурами № 1, 4, 6, та зразка, що містить адсорбуючі та радіопоглинаючі наповнювачі, виготовленого за рецептурою № 8.

Фотозйомку проводили при збільшенні 40X і 100X з бічним освітленням різної інтенсивності у двох спектрах підсвічування – за допомогою лампи розжарювання (штатного підсвічування мікроскопа) та з використанням світлодіода, що дає спектр освітлення, зміщений в область коротких хвиль.

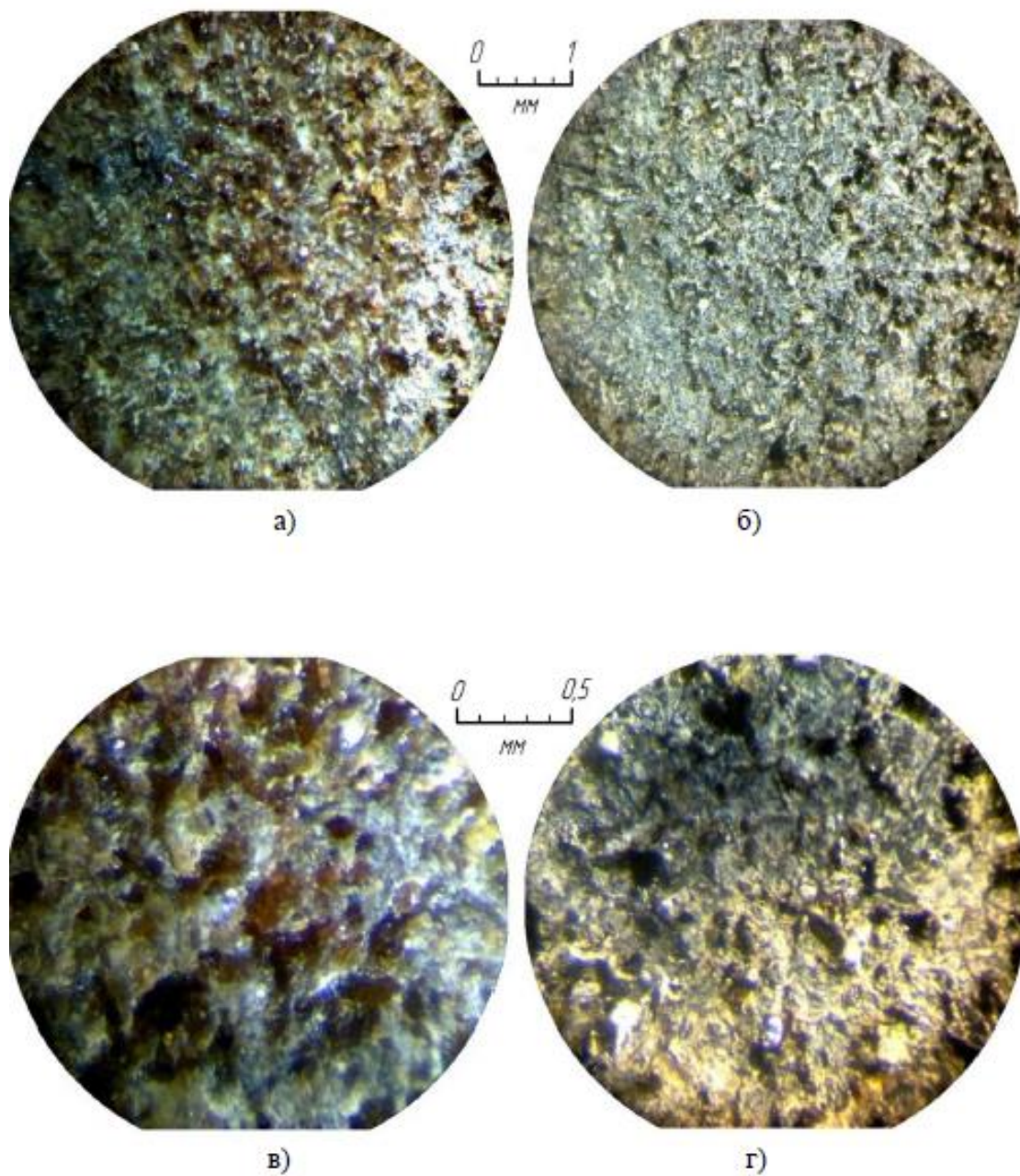
Фотографії шліфів представлені на рисунках 3.6 та 3.7.

Аналіз зображень шліфів АІ з адсорбуючими добавками без графіту (рис. 3.6 і 3.7 а, в) показав, що на шліфі АІ, виготовленого з додаванням лише гіпсу в кількості 1,5 %, пори практично відсутні (рис. 3.6 а, в), а при введенні такої ж кількості сульфату магнію з'являється невелика кількість пір (рис. 3.6 б, г).

При збільшенні вмісту сульфату магнію до 4,5 % по відношенню до маси абразивного зерна відбувається різке збільшення кількості пір (рис. 3.6 а, в). Гіпс без графіту чітко проявляється на шліфі у вигляді окремих вкраплень і конгломератів білого кольору (рис. 3.6 а, в), а сульфат магнію у вигляді каламутної та нерівномірної плівки білого кольору (рис. 3.6 б, г; 3.7 а, в). Судячи з зображень шліфів АІ, що містять адсорбуючі (сульфат магнію) і радіопоглинаючі (графіт) наповнювачі (рис. 3.7 б, г), можна зробити висновок про те, що кількість пор (чорних ділянок і «точок» на зображеннях) можна порівняти з кількістю пор у шліфувальному колі, що містить лише сульфат магнію (рецептура № 4, рис. 3.6 б, г).



Мал. 4.6. Фотографії шліфів АІ на бакелітовій зв'язці, виготовлених за рецептурою № 1 (див. табл. 3.2) (а – 40Х; в – 100Х) та за рецептурою № 4 (див. табл. 3.2): (б – 40Х; г – 100Х)



Мал. 4.7. Фотографії шліфів АІ на бакелітовій зв'язці, виготовлених за рецептурою № 6 (див. табл. 3.2): (а – 40Х; в – 100Х) та за рецептурою № 8 (див. табл. 3.3): (б – 40Х; г – 100Х)

Завдяки здатності графіту легко «відшаровувати» найтонші шари своєї кристалічної решітки і «замазувати» матеріал, що контактує з ним, цей наповнювач на фотографіях практично не помітний, проте при збільшенні кількості сульфату магнію до 4,5 % по відношенню до маси абразивного зерна,

він все ж таки проявляється.

Таким чином, виявлено, що при комплексному використанні адсорбуючого (сульфат магнію) та радіопоглинаючого (графіт) наповнювачів, графіт «обволікає» всі компоненти формувальної суміші і при обробці шліфу спиртом частково захищає від розчинення утворений у процесі термообробки кристалогідрат сульфату магнію. Незначне зменшення кількості пір у цьому випадку можна пояснити зменшенням відсоткового вмісту зв'язки та незначним збільшенням щільності напівфабрикату АІ у зв'язку зі збільшенням маси формувальної суміші, що засипається в прес-форму. При збільшенні вмісту сульфату магнію у формувальній суміші зростає кількість пір, що можна пояснити розчиненням утвореного кристалогідрату магнію при обробці шліфу спиртом і утворенням на його місці додаткових пір. Очевидно, що чим більше на поверхні АІ кристалогідрату, тим більше утворюється нових пір після впливу на шліф спирту.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЩО ВМІСЮЮТЬ СПЕЦІАЛЬНІ НАПОНОВНИКИ БАКЕЛІТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

5.1. Методика експериментальних досліджень працездатності абразивних інструментів на бакелітовій зв'язці при плоскому шліфуванні

Дана методика розроблена для оцінки впливу адсорбуючих та радіопоглинаючих наповнювачів на працездатність АІ на бакелітовому сполучному, термооброблених у мікрохвильовому полі в умовах радіопрозорості теплоізоляції.

Використовували наведені нижче критерії:

Шорсткість шліфованої поверхні, що оцінюється (за ГОСТ 25142) наступними параметрами:

середнє арифметичне відхилення профілю R_a , мкм;

висота нерівностей профілю по десяти точках R_z , мкм;

максимальна висота нерівностей профілю R_{max} , мкм.

Об'єм матеріалу, знятого із заготівлі (зразка) W_m , мм³:

$$W_x = a \cdot b \cdot z_{пф}$$

де a, b - розміри поверхні, що шліфується заготовки, мм; $z_{пф}$ – фактичний припуск (лінійний знімання металу), знятий із заготівлі:

$$z_{пф} = h_3^D - h_3^П$$

Розміри зразків до та після обробки контролювали універсальними інструментами: штангенциркулем ШЦ-II-250-0,05 (ГОСТ 166, ціна поділу 0,05 мм, діапазон виміру 0...250 мм, похибка виміру $\pm 0,025$ мм); мікрометром МК 25 (ГОСТ 4381, ціна поділу 0,01 мм, діапазон виміру 0...25 мм, похибка виміру $\pm 0,002$ мм).

Висоту ШК контролювали штангенциркулем ШЦ-II-250-0,05 (ГОСТ 166).

Розмірне зношування ШК вимірювали за допомогою індикаторної

голівки 1МИГ (ГОСТ 9696, ціна поділу 0,001 мм, діапазон вимірювання 0...1 мм, допустима похибка вимірювання $\pm 0,0025$ мм), закріпленої на магнітній стійці, встановленої на столі шліфувального верстата.

Для визначення розмірного зношування ріжучого виступу за допомогою індикатора вимірювали розмір уступу на колі. Розмірне зношування кола вимірювали через певні інтервали часу через кожен міліметр по висоті кола і в трьох перерізах в окружному напрямку при шліфуванні периферією кола.

Середнє арифметичне відхилення профілю шліфованої поверхні R_a та інші параметри шорсткості вимірювали на профілометрі моделі 170622 виробництва московського інструментального заводу "Калібр", тип II, ступінь точності 2 за ГОСТ 19300. площині виміру представляє пряму лінію.

Порівняльні технологічні випробування ШК виконували на плоскошліфувальному верстаті 3E710 та на експериментальній установці, змонтованій на базі плоскошліфувального верстата мод. 3E711ВФ2 (рис. 4.1), точність та жорсткість яких відповідали паспортним даним.

Перед проведенням експериментальних досліджень верстата перевіряли на відповідність нормам точності та вібрації за ГОСТ 273.

Експериментальна установка (див. рис. 4.1) оснащена системою подачі СОЖ поливом у зону шліфування та очищення її від шліфувального шламу за допомогою магнітного сепаратора та бака-відстійника.

Перед початком випробувань верстата повинні бути у працездатному стані. Для цього ШК приводили у обертання на робочій швидкості не менше ніж за 20 хвилин до початку випробувань з метою вибору зазорів у технологічній системі та розігріву олії у гідравлічній системі верстата.

Для вимірювання складових сил та середньої контактної температури створено автоматизоване робоче місце (АРМ) (рис. 4.2), яке дозволяє проводити налаштування сценаріїв експерименту, здійснювати зберігання та пошук потрібного сценарію в базі даних, проводити наскрізне калібрування

вимірювальних каналів, вимірювання в реальному масштабі часу з одночасною архівацією та візуалізацією експериментальних даних, переглядати та аналізувати результати.



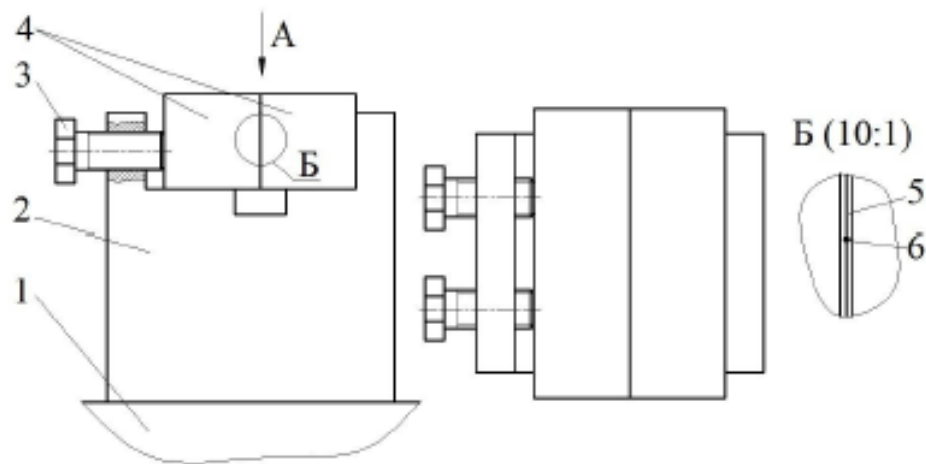
Мал. 5.1. Загальний вигляд експериментальної установки на базі плоскошліфувального верстата мод. 3Е711ВФ2: 1 – плоскошліфувальний верстат мод. 3Е711ВФ2; 2 – шліфувальний круг; 3 – заготівля (напівштучна термопара); 4 – універсальний динамометр УДМ – 100



Мал. 5.2. Автоматизоване робоче місце для вимірювання складових сил шліфування: 1 – восьмиканальний вимірювальний підсилювач; 2 – аналого-

цифровий перетворювач; 3 – монітор; 4 – клавіатура; 5 – миша; 6 – системний блок персонального комп'ютера; 7 – інтерфейсний кабель

АРМ включає напівштучну термопару для вимірювання середньої контактної температури (рис. 4.3), закріплену в універсальному динамометрі УДМ - 100 для вимірювання складових сил. УДМ встановлюють на столі плоскошліфувального верстата 3E711ВФ2 (див. рис. 4.1). Термопара і УДМ підключені за допомогою інтерфейсного кабелю до восьмиканального вимірювального підсилювача, з'єднаного за допомогою інтерфейсного кабелю з восьмиканальним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), який безпосередньо підключається до персонального комп'ютера, що задовольняє вимогам операційної системи Windows і оснащеного програмним пакетом Lite.



Мал. 5.3. Схема закладки термоелектрода на заготовлю при шліфуванні: 1 – УДМ - 100; 2 – оправлення; 3 - болт М5 × 30; 4 – заготівлі (термопара); 5 – слюда завтовшки 0,1 мм; 6 – термоелектрод

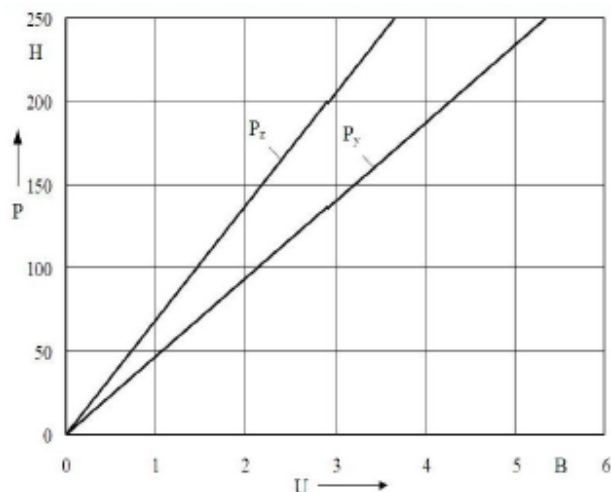
Підключення динамометра та термопари до підсилювача виконано за напівмостовою схемою. Добудова півмосту до моста виконана за допомогою додаткових резисторів, які з метою мінімізації синфазних перешкод розміщені поряд з основними резисторами та мають опір, що дорівнює опорі основних резисторів. Як резисторів використано прецизійні резистори з малим температурним коефіцієнтом опору типу С2 – 29В, С2 – 14 або ПТМН.

З метою підвищення точності вимірювань та виключення зайвої інформації в комплексі передбачено включення реєстрації сигналів тільки з вимірювальних каналів, що використовуються. Для розширення можливостей вимірювального комплексу підсилювачі передбачені вимірювальні канали з різним частотним діапазоном. Для посилення сигналів, що повільно змінюються, передбачено використання каналів 0, 1, 2, для посилення більш «швидких» сигналів – каналів 3, 4, 5, 6, 7. При роботі системи частоту дискретизації каналів вибирають удвічі більшої частоти вхідного сигналу працюючого каналу. Коефіцієнт посилення системи встановлюють шляхом налаштування регулювальними резисторами, а також програмною установкою. Калібрування системи виконується шляхом подачі еталонного на первинний перетворювач резисторами підналаштування коефіцієнта посилення. Тарування динамометричного пристрою здійснювали статичним навантаженням через певні інтервали (рис. 4.4). Термопару тарували наступним чином: спай, отриманий після проходження ШК в зоні контакту заготівлі та термоелектроду, піддавали ступінчастому нагріванню та подальшому ступінчастому охолодженню (рис. 4.5). Температурою спаю варіювали в діапазоні від 50 до 300 °С.

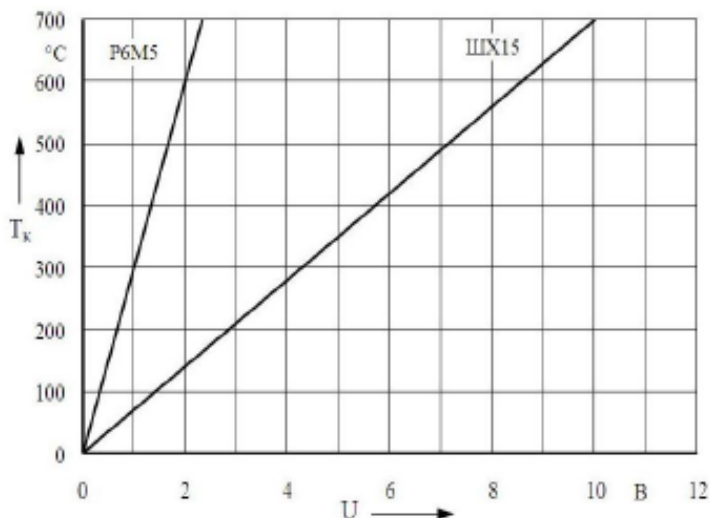
Робота з комплексом передбачає такі етапи: включали пристрої, що входять до складу системи, вичікували 30 хвилин для прогрівання підсилювача. Резисторами підстроювання нуля підсилювача встановлювали нульові (або інші – в межах діапазону вхідного сигналу) значення виходу підсилювача. При неможливості встановлення «нуля» каналу перевіряли справність ланцюгів датчика та сполучного кабелю «датчик-підсилювач», а також точну рівність плечей вимірювального моста.

Початковий розбаланс моста більше 1 мВ небажаний, його усували за необхідності підбором елементів моста. Потім встановлювали коефіцієнт посилення системи шляхом підстроювання регулювальними резисторами, виведеними на передню панель підсилювача, а також програмною установкою

коефіцієнта підсилення пристрою збору даних. При необхідності виконували калібрування системи шляхом подачі еталонного на первинний перетворювач. Резисторами підстроювання коефіцієнта посилення встановлювали пропорційну вихідну напругу. Після цього запускали програму «ACTest – Lite» і, за пунктами даного програмного пакета, приступали до дослідження складових сил шліфування.

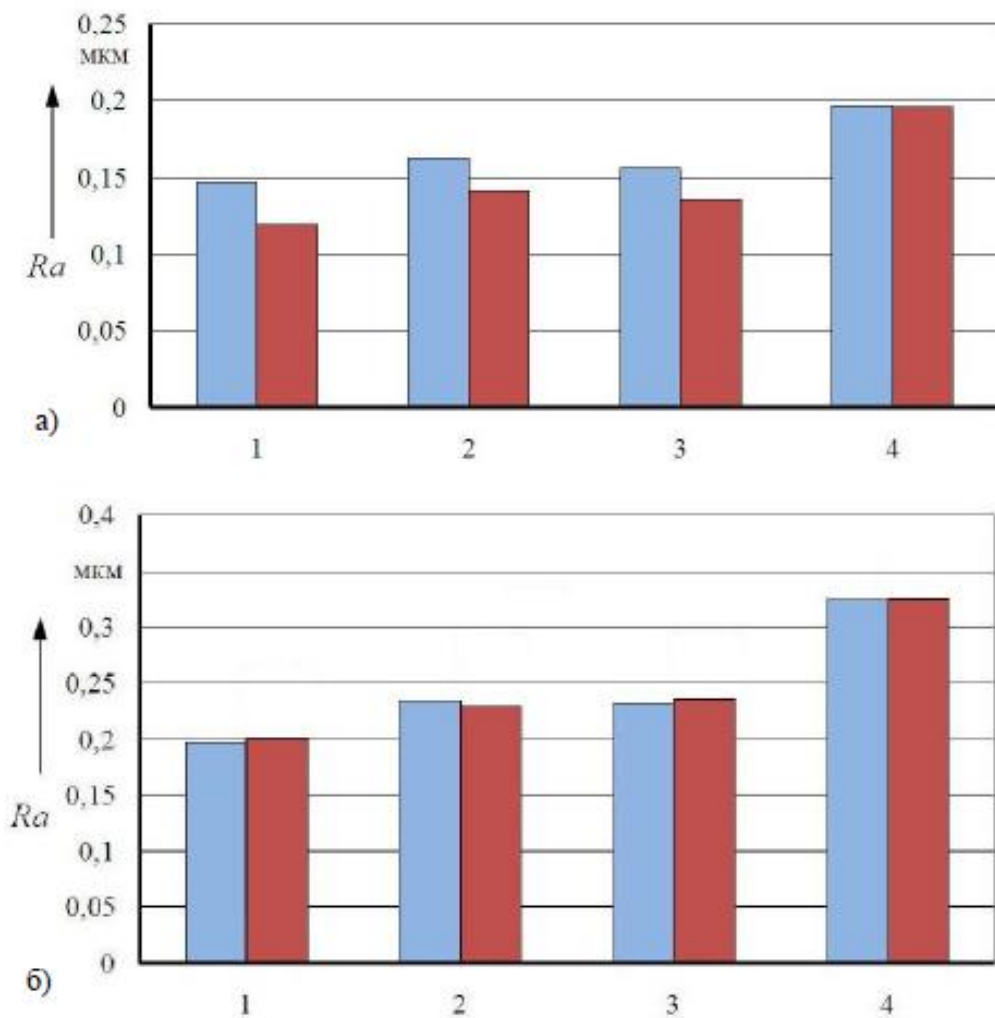


Мал. 5.4. Тарувальний графік динамометричного пристрою для вимірювання складових сил P_z та P_y шліфування на плоскошліфувальному верстаті мод. 3Е711ВФ2



Мал. 5.5. Тарувальний графік термопарі для середньої контактної температури (T_k) шліфування на плоскошліфувальному верстаті мод. 3Е711ВФ2

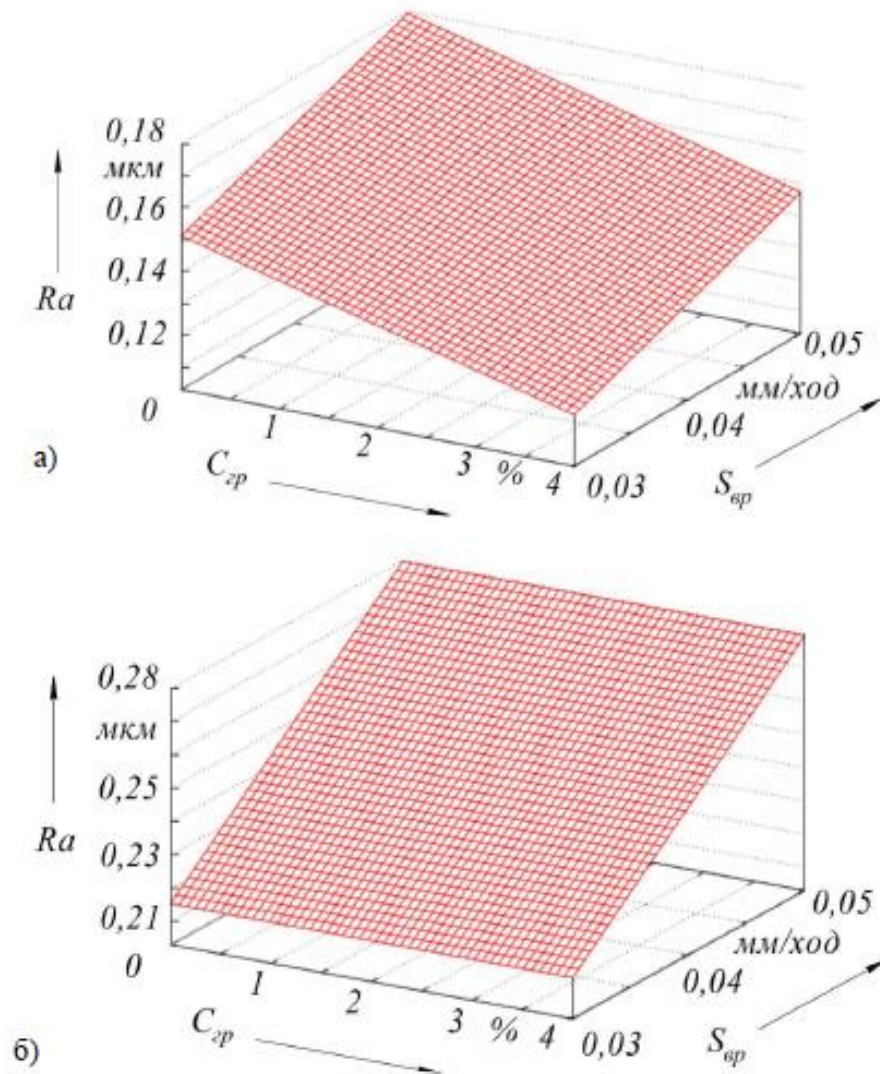
Проведено багатофакторне дослідження якості оброблених поверхонь заготовок при плоскому шліфуванні колами на бакелітовій зв'язці з наповнювачами з сульфату магнію та графіту, напівфабрикати яких термооброблені в мікрохвильовому полі. В ході експериментів фіксували середнє арифметичне відхилення профілю оброблених заготовок Ra , висоту нерівностей профілю по десяти точках Rz та найбільшу висоту нерівностей профілю R_{max} . Експериментальні значення представлені малюнку 4.6.



Мал. 5.6. Значення середнього арифметичного відхилення профілю Ra при плоскому шліфуванні заготовок із сталі P6M5 (а) та сталі ШХ15 (б): $V_k = 35$ м/с, припуск на обробку $z = 0,15$ мм. 1 – подача на врізання $S_{vp} = 0,03$ мм/хід, швидкість столу $V_{ст} = 5$ м/хв; 2 - $S_{vp} = 0,05$ мм / хід, $V_{ст} = 5$ м / хв; 3 - $S_{vp} = 0,03$ мм / хід, $V_{ст} = 15$ м / хв; 4 - $S_{vp} = 0,05$ мм / хід, $V_{ст} = 15$ м / хв; ■ ШК К4 ■

ШК К6

На підставі даних регресії були побудовані графіки цих залежностей середнього арифметичного відхилення профілю Ra від вмісту графіту C_{gr} в шліфувальному колі та подачі на врізання S_{gr} для сталі Р6М5 (рис. 4.7 а) і сталі ШХ15 (рис.4.7 б).



Мал. 4.7. Графіки залежностей середнього арифметичного відхилення профілю Ra від вмісту графіту C_{gr} у шліфувальному колі та подачі на врізання S_{gr} для сталі Р6М5 (а) та сталі ШХ15 (б): швидкість столу $V_{ст} = 10$ м/хв; $V_k = 35$ м/с, припуск на обробку $z = 0,15$ мм

Як видно з малюнків 4.6 (експериментальні дані) та 4.7 (регресійні

залежності), при шліфуванні заготовок із сталі ШХ15 значення середнього арифметичного відхилення профілю R_a практично не змінюється зі збільшенням вмісту графіту в ШК. На графіках видно, що зі збільшенням швидкості столу з 5 до 15 м/хв значення параметра шорсткості поверхні оброблених заготовок R_a збільшується на 39 %, а при збільшенні подачі на врізання з 0,03 до 0,05 мм/хід збільшується на 40 % . При шліфуванні заготовок із сталі Р6М5 значення середнього арифметичного відхилення профілю R_a зменшується з однаковим градієнтом за будь-якої швидкості столу і подачі на врізання зі збільшенням вмісту графіту в шліфувальному колі. На графіках видно, що зі збільшенням швидкості столу з 5 до 15 м/хв R_a збільшується на 21 %, а зі збільшенням подачі на врізання з 0,03 до 0,05 мм/хід R_a збільшується на 26 %. При збільшенні вмісту графіту в шліфувальному колі до 4% шорсткість поверхні зменшується приблизно на 31%. Таким чином, можна дійти невтішного висновку у тому, що з обробці заготовок з труднооброблюваних матеріалів (наприклад Р6М5) введення графіту у формувальну суміш сприяє зниженню значень висотних параметрів шорсткості в досліджуваному діапазоні параметрів режимів різання.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ПРАКТИЧНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ»

4.1. Вихідні дані

Практичне заняття передбачається для проведення на для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти в Українській інженерно-педагогічній академії, які навчаються за освітньою програмою «Професійна освіта. Машинобудування».

6.2. Постановка дидактичної мети практичної роботи

В таблиці 4.1. сформулюємо дидактичні цілі практичного заняття на тему: «Шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми».

Таблиця 6.1

Дидактичні цілі практичної роботи

Дидактична ціль заняття	Рівень формування вмінь	Умови досягнення мети	Результат у вигляді дій, в результаті виконання практичної роботи та їх характеристика
1	2	3	4
Сформувати вміння у здобувачів освіти визначати, характеризувати, аналізувати	1-4	Сформовані знання про виробництво п процесу чистового фрезерування при обробці деталей	Сформувати вміння у здобувачів освіти визначати, характеризувати, аналізувати особливості шляхів підвищення продуктивності

		складної форми.	процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми;
--	--	-----------------	--

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
особливості шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; розробляти проекти впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; надавати рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.			розробляти проекти впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; надавати рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.

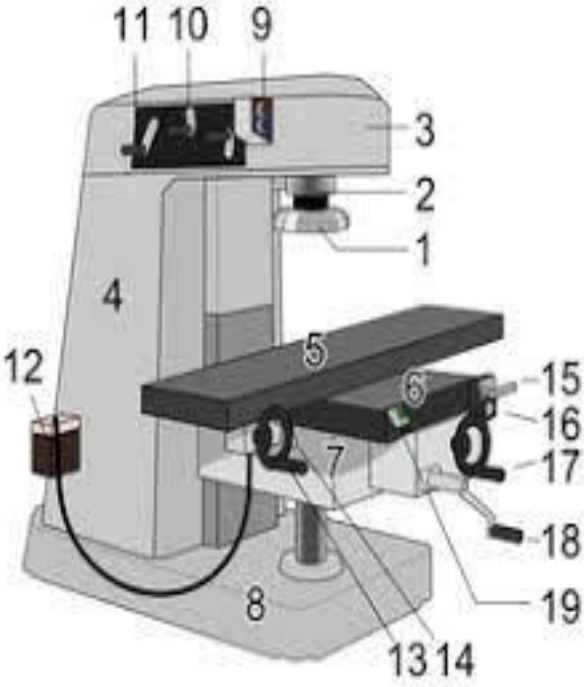
6.3. Аналіз базових умов навчання

На цьому етапі заняття (перед виконанням практичних завдань) відбувається перевірка раніше засвоєних знань для розуміння готовності здобувачів освіти до виконання практичних завдань в межах заняття.

Таблиця 6.2

Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисципліни /тем, в яких формуються базові знання й дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи поповнення базових знань
---	--	--	----------------------------------

- алюмінієві сплави; - процес фрезерування; - види фрезерування; - високошвидкісне фрезерування; - фрезерувальні верстати; - особливості технології підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	матеріалознавство; теорія різання; гнучкі виробничі системи; автоматизація виробництва.	Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб – усні контрольні питання. 1. Дайте визначення алюмінієвим сплавам. Назвіть їх властивості. Визначте їх призначення. 2. Що таке фрезерування? 3. Які вади фрезерувальних робіт існують, охарактеризуйте кожний. 4. З якою метою використовується обробка металів на фрезерних верстатах? 5. Опишіть конструкцію та технологію роботи фрезерного верстату, представлену на плакаті  6. Опишіть технологію високошвидкісного фрезерування деталей з високоміцних алюмінієвих сплавів	Нагадування основних положень, робота над помилками та неточностями.
---	--	---	---

6.4. Розробка мотиваційних технологій навчання

На рис. 4.1 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 4.3 – текст мотивації до нашого заняття

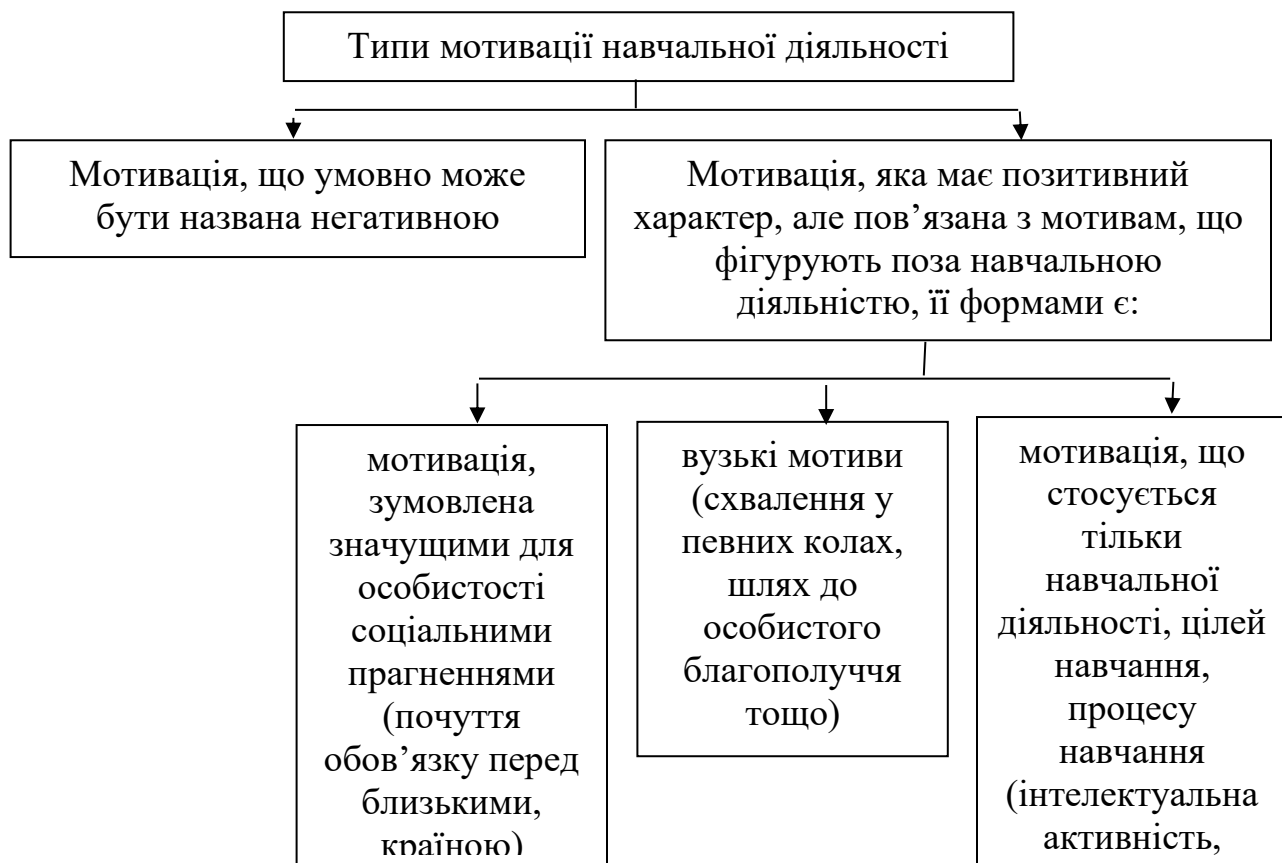


Рис. 4.1. Особливості навчальної мотивації

Таблиця 6.3

Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вступна зовнішня мотивація	Підтримуюча (поточна) зовнішня мотивація
1	2
Сьогодні на практичному занятті ми з Вами будемо працювати над виконанням дуже цікавої роботи, а саме – будемо визначати шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми, а також розробляти	Будь ласка, не відволікайтеся від завдань, бо можете пропустити важливі моменти нашого заняття та не отримаєте позитивних оцінок за

1	2
бізнес-проекти впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми. Матимемо змогу відчувати себе реальними фахівцями на підприємстві.	результатами заняття, і, що найбільш важливо – не отримаєте необхідних для ефективної професійної діяльності вміння.

6.5. Формування системи задач і завдань для вирішення і виконання на практичній роботі

В таблиці 6.4 формулюються задачі і завдання та їх коротка характеристика.

Таблиця 6.4

Зміст і характеристика задач і завдань

№ задачі	Зміст задачі	Характеристика задачі			
		за способом виразу умов	за цільовим призначенням	за рівнем складності	за рівнем самостійності
1	2	3	4	5	6
1	Завдання 1: Визначити шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми. Зробити ґрунтовні висновки	Якісна, кількісна	Для контролю	Складна	Самостійно

Продовження табл. 6.4

1	2	3	4	5	6
2	Завдання 2: Розробити бізнес-проект впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	Якісна	Для контролю	Складна	Самостійно
3	Завдання 3: Розробити рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	Якісна	Для контролю	Складна	Самостійно

Так як, кожне завдання та задача мають свої елементи, то в таблиці 6.5 – аналізуються всі необхідні елементи кожного завдання.

Таблиця 6.5

Аналіз задач та завдань

№ задачі	Зміст задачі	Дані	Умови	Невідоме
1	2	3	4	5
1	Завдання 1: Визначити шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	Технічні умови виробничого ви процесу, технічний паспорт верстату, заявлені розміри та вимоги до виготовлення деталей	Знання та вміння в межах визначеного питання, наявність технічних даних в межах проєкту	Шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.
2	Завдання 2: Розробити бізнес-проєкт впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	Технічні умови виробничого ви процесу, технічний паспорт верстату, заявлені розміри та вимоги до виготовлення деталей, шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	Висока обізнаність в межах питання підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; вміння розробляти бізнес-проєкти та орієнтуватися в особливостях виробництва.	Бізнес-проєкт впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.

3	Завдання 3: Розробити рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення	Шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	Висока обізнаність в межах питання підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; вміння формулювати ґрунтовні	Рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового
---	--	--	--	--

Продовження табл. 4.5

1	2	3	4	5
	продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.		рекомендації та орієнтуватися в особливостях виробництва.	фрезерування при обробці деталей складної форми.

6.6. Розробка способів формування ООД

Методи для формування ООД – пояснення, бесіда, ілюстрація, демонстрація.

№ задачі	Зміст задачі або завдання	Засоби ООД
1	Завдання 1: Визначити шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми. Зробити ґрунтовні висновки	В межах формування орієнтовної основи діяльності
2	Завдання 2: Розробити бізнес-проект впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	пропонується порекомендувати провести екскурсію на реальне виробництво з
3	Завдання 3: Розробити рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	подальшим обговоренням або перегляд відоматеріалів щодо процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.

6.7. Розробка способів формування виконавчих дій, організація виконання завдань та рішення задач

В таблиці 4.6 наведена організація роботи здобувачів освіти на практичному занятті.

Таблиця 6.6

Організація роботи здобувачів освіти на практичному занятті

№ задачі	Зміст задачі або завдання	Спосіб організації рішення задачі або виконання завдання
1	Завдання 1: Визначити шляхи підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування	Виконується робота кожним

№ задачі	Зміст задачі або завдання	Спосіб організації рішення задачі або виконання завдання
	при обробці деталей складної форми. Зробити ґрунтовні висновки	здобувачем освіти самостійно, при необхідно можна отримувати консультації викладача. Після виконаної роботи необхідно підготувати доповідь по захисту своєї роботи.
2	Завдання 2: Розробити бізнес-проект впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	
3	Завдання 3: Розробити рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми.	

6.8. Розробка способів контролю сформованих умінь

Контроль формування професійної діяльності є однією з основних складових системи управління процесом навчання. За даними доктора педагогічних наук І. І. Тихонова, час у навчальному процесі розподіляється в такий спосіб: «повідомлення інформації – 40%, засвоєння інформації – 40%, контроль засвоєння – 10–15%, корекція узгодження – 5–10%». Таким чином, на контроль навчальної діяльності в навчальному процесі відводиться до 20% часу. І це виправдано, оскільки наявність технологій контролю сприяє визначенню успішності навчання кожного учня, причин незадовільного засвоєння навчального матеріалу, включенню раціональних прийомів і способів навчання для ліквідації недоліків управління навчальною діяльністю. Саме тому без відповідного блоку методів контролю та корекції сформованих умінь система управління навчанням є неповноцінною і незавершеною.

В таблиці 4.7 наведена характеристика результатів.

Таблиця 6.8

Оцінка результатів

№ задачі/ завдання	Одержаний здобува чем освіти результа т	Оцінка реально сті одержан ого результа ту	Фізичний зміст отриман ого результа ту	Вірний результат та його характеристика	Оцінка виконання завдання викладаче м
1-4	Не формулюється, тому що реальне заняття не було проведене (у відповідно до завдань нашої роботи)			Визначені та охарактеризовані особливості шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; розроблений бізнес-проект впровадження визначених шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми; визначені рекомендації щодо спрощення технології впровадження та адаптування виробництва до використання визначених та рекомендованих шляхів підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при	Максимальний бал за виконання першого завдання – 3 бали, другого завдання 6 балів, третього завдання - 3 бали.

№ задачі/ завдан ня	Одерж ний здобува чем освіти результ а	Оцінка реально сті одержан ого результ а	Фізични й зміст отриман ого результ а	Вірний результат та його характеристика	Оцінка виконання завдання викладаче м
				обробці деталей складної форми.	

6.9. Сценарій практичного заняття

На рисунку 4.2 та 4.3 наведемо опис дій викладача та здобувачів освіти в межах практичного заняття.



Рис. 4.2. Опис дій викладача та здобувачів освіти в межах практичного заняття

Таблиця 6.9

Сценарій практичного заняття

Етапи проведення практичного заняття	Дії викладача	Дії студентів
1	2	3
Організація початку заняття	Викладач вітає здобувачів освіти, проводить перекличку здобувачів освіти та відмічає присутніх в журналі.	Вітаються у відповідь, беруть методичні вказівки, довідники.
Повідомлення теми, цілі і мотивації	Викладач повідомляє тему заняття, мету. Мотивує здобувачів освіти на вивчення теми, пояснюючи актуальність на важливість.	Слухають та ставлять запитання.
Аналіз сформованості та актуалізація опорних знань	Вирішує разом зі здобувачами ребуси, вислуховує характеристику понять. Якщо здобувачі освіти не можуть дати відповіді на запитання, викладач нагадує основні моменти базового матеріалу, виконує роботу над помилками.	Відповідають на запитання.
Формулювання і повідомлення задач і завдань	Викладач пояснює які цілі та завдання повинні виконувати на сьогоднішньому практичному занятті. Виконує завдання.	Уважно слухають, ставлять запитання та включаються в роботу.
Формування ООД	Викладач розповідає та пояснює в чому полягає кожне завдання практичного заняття та відповідає на запитання.	Слухають, запитують та ставлять запитання.
Формування ВД	Перевіряє проміжні результати виконання роботи, корегує виконання.	Слухають, запитують та ставлять запитання, виконують завдання.
Формування КД	Оцінювання на занятті буде проводиться у відповідності з	Демонструють свої презентації.

	правильно виконаними завданнями та зробленими висновками.	
Оцінка результатів роботи	Викладач підводить підсумки заняття, відповідає на запитання, видає домашнє завдання, пояснює його виконання.	Задають питання та записують завдання додому.

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень, виконаних у рамках цієї роботи, можна зробити такі висновки.

Проведено аналіз науково-технічної літератури, а саме розглянуто перспективні шляхи вдосконалення технології виготовлення АІ на ОТС, серед яких виділено напрямок, що включає застосування в процесі термообробки мікрохвильового нагріву, що дозволяє підвищити в кілька разів продуктивність процесу та якість АІ.

Виявлено фактори, що перешкоджають поширенню технології виготовлення АІ на ОТС з використанням мікрохвильового нагріву, а саме теплові втрати з поверхонь напівфабрикатів у процесі термообробки та недостатні радіопоглинаючі властивості напівфабрикатів певних рецептур.

Виявлено, що при обробці заготовок із сталі Р6М5 розмірне знос шліфувального кола більше, ніж при обробці заготовок із сталі ШХ15 незалежно від вмісту в ньому графіту, що пояснюється різницею груп оброблюваності даних сталей. Встановлено, що зі збільшенням вмісту графіту до 4 % коефіцієнт шліфування зменшується лише на 3,7 % під час обробки заготовок із сталі Р6М5 і лише на 7,5 % під час обробки заготовок із сталі ШХ15. При збільшенні вмісту графіту до 4% значення середнього арифметичного відхилення профілю шліфованих поверхонь зменшується не більше ніж на 23,5% при обробці заготовок із сталі Р6М5, а при обробці заготовок із сталі ШХ15 практично не змінюється.