

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

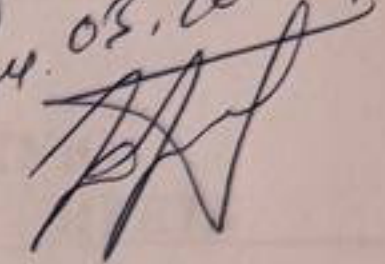
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

До зшитку  
04.03.2024 р  


## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий магістерський рівень

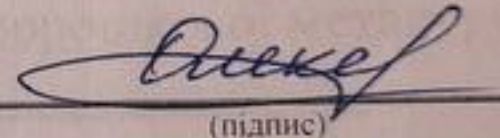
(другий (магістерський) рівень)

на тему Дослідження технології переробки відходів методом порошкової металургії

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-мчм

Класс О.А.

(ПІБ)



(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

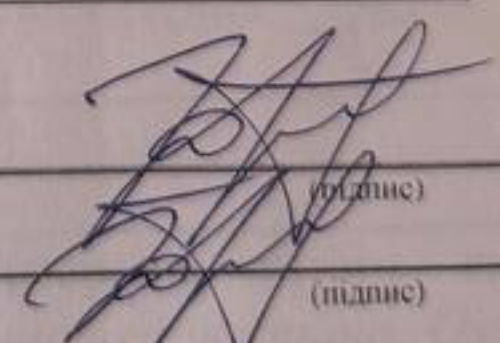
освітньо-професійна програма

Металургія чорних металів

(шифр і назва)

Керівник Явтушенко А.В.

(прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 року



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія чорних металів  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Класс Олександр Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Дослідження технології переробки відходів методом порошкової металургії

Рівник роботи (проєкту) Явтушенко Анна Володимирівна к.т.н.  
мент

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

Затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 10 2023 року № 1580-

Строк подання студентом роботи (проєкта) 01.12.2023

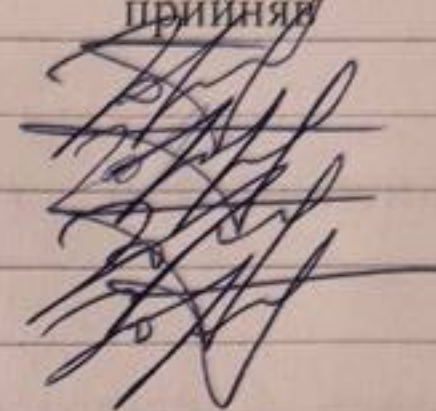
Вихідні дані до роботи (проєкта) Вдосконалення мало шлакової  
технології

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
робити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Дослідницька частина, Охорона праці  
техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.



Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)

Консультанти розділів проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1 назва розділу	Явтушенко А.В., доцент	
Розділ 2 назва розділу	Явтушенко А.В., доцент	
Розділ 3 назва розділу	Явтушенко А.В., доцент	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	

Дата видачі завдання 07.05.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ /п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ	28.01.2024	
	Реферат	28.01.2024	
	Розділ 1	04.02.2024	
	Розділ 2	11.02.2024	
	Розділ 3	25.02.2024	
	Висновки	26.02.2024	

Студент  (підпис) О. А. Класс (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  (підпис) А.В. Явтушенко (прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломний проект містить 75 сторінки, 10 рисунків, 15 таблиця, 17 літературних джерел

Мета роботи – Розробка технологічного процесу переробки відходів з порошкової сталі.

У дипломному проекті проаналізовано та обрано матеріал і схему технологічного процесу за яким відбувається виготовлення втулок. Також актуальність виробу. На основі цих даних на завдання розраховано і складено матеріальний баланс та вибрано і розраховано кількість обладнання потрібного для виробництва.

Встановлено, що найкращім матеріалом для виготовлення, втулок, яке пройшло подвійне пресування і спікання.

**ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПОДВІЙНЕ ПРЕСУВАННЯ ТА СПІКАННЯ, ВТУКЛА.**

## ABSTRACT

The diploma project contains 75 pages, 10 figures, 15 tables, 17 literary sources Purpose - Development of the technological process of manufacturing structural parts for work in difficult conditions.

In the diploma project the material and the scheme of technological process on which there is a manufacturing of plugs are analyzed and chosen. Also the relevance of the product. Based on these data, the material balance is calculated and compiled for the task and the amount of equipment required for production is selected and calculated.

It is established that the best material for the manufacture of bushings, which has undergone double pressing and sintering.

POWDER MATERIALS, TECHNOLOGICAL PROCESS, DOUBLE PRESSING AND SINKING, FLOWED.

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 .....	8
АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1 Види відходів лезового та шліфувального виробництв та їх характеристики.....	8
1.2 Методи поділу металевих та неметалічних компонентів відходів обробки металів.....	11
1.3 Матеріали одержані з використанням відходів .....	15
1.3.1 Технологічні характеристики порошку одержаного з відходів.....	15
1.3.2 Методи виготовлення деталей із порошків, отриманих з металовідходів.....	16
1.4 Способи отримання псевдозрідженого дисперсного шару системи .....	19
1.4.1 Огляд існуючих способів реалізації псевдозрідження .....	19
1.4.2 Магнітовібруючий шар, його характеристики та способи реалізації .....	23
1.5 Висновки.....	29
РОЗДІЛ 2 АПАРАТУРА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ .....	31
2.1 Визначення характеристик шламу шліфувального процесу підшипникового виробництва .....	31
2.2 Властивості мастильно-охолоджуючої рідини, що застосовується при шліфуванні підшипників.....	36
2.3 Методика дослідження якості поділу шламу.....	38
2.4 Основні елементи магнітовібраційного сепаратора.....	39
2.5 Висновки .....	45
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ МІГНІТОВІБРАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ ШЛАМІВ ПІДШИПНИКОВОГО ВИРОБНИЦТВА .....	46
3.1 Блок схема технологічного процесу сепарації.....	46
3.2 Відділення МОР від шламу та сушіння.....	48
3.3 Подрібнення шламу в магнітовібраційному бильному млині.....	49

3.4 Застосування абразиву, отриманого зі шліфувального шламу .....	50
3.5 Застосування порошку сталі ШХ15, отриманого з шліфувального шламу .....	53
3.6 Висновки .....	58
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....</b>	<b>59</b>
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії .....	59
4.2 Заходи з поліпшення умов праці .....	61
4.3 Електробезпека.....	64
4.4 Протипожежна безпека .....	66
4.5 Засоби індивідуального захисту.....	67
4.6 Розрахунок захисного заземлення.....	68
4.7 Висновки .....	71
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>74</b>



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Будь-яке виробництво, стикається з проблемою утилізації відходів. На підприємствах машинобудування і металургії, що здійснюють обробку металів, щомісяця утворюються тисячі тонн металовмісних шламів. Особливо складний за складом шліфувальний шлам, який є сумішшю дрібної металевої стружки, абразиву, технічних масел, мастильно-охолоджуючих рідин тощо.

У той же час, обсяг перероблених промислових відходів, становить не більше 10-15%. Таким чином, скидання у відвали металовмісних шламів призводить не тільки до безповоротної втрати значної кількості металу, але й створює серйозну екологічну проблему для міст, що мають великі промислові підприємства.

Проблема створення екологізованого ресурсозберігаючого промислового виробництва з кожним роком стає все більш актуальною, що обумовлено низкою нових обставин – скороченням та виснаженням природних запасів та збільшенням їх вартості; посиленням вимог до охорони навколишнього середовища і, зокрема, до екологічної чистоти та безпеки виробничих технологій.

У зв'язку зі значним вмістом у металовмісних відходах неметалевих включень і технічних масел вони не можуть використовуватися як вторинна сировина без попередньої переробки. В даний час частково вирішено питання зі стружкою, яку пресують у брикети. Наявність на поверхні брикетованої стружки залишків технічних масел і мастильно-охолоджуючих рідин призводить не тільки до інтенсивної корозії металу, але і не виключається небезпека самозаймання. Що стосується шліфувальних шламів і відходів металургійних виробництв, то технології їх переробки та збагачення до теперішнього часу недостатньо розвинені для успішного впровадження на виробництві.



На підприємствах, що мають великі обсяги шліфувального виробництва, на рік накопичується до 1 тис. тонн шліфувального шламу.

Висловлені міркування зумовлюють актуальність теми роботи, присвяченої розробці технологічного процесу сепарації шламів шліфувального виробництва та подальшого повернення на виробництво відновлюваних матеріалів.

**Метою** роботи є розробка наукових засад отримання порошкових продуктів необхідної якості із шламових відходів шліфувального виробництва з подальшим їх використанням, що реалізується магнітовібраційною технологією сепарації.

Для її досягнення необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Аналіз принципів роботи сепараторів, які застосовуються для переробки відходів лезової та шліфувальної обробки металів.

2. Встановлення впливу параметрів електромагнітного поля на стан шламу в магнітовібраючому шарі з визначення режимів, що забезпечують ефективне руйнування конгломератів шламу.

3. Розробка послідовності технологічних операцій сепарації шліфувальних шламів підшипникового виробництва.

4. Розробка рекомендацій щодо промислового використання отриманих результатів та подальшого застосування продуктів сепарації шліфувальних шламів.

**Об'єкт дослідження.** Сировинні ресурси металовідходів.

**Предмет дослідження.** Переробка металовідходів методами порошкової металургії

**Методи дослідження.** У роботі використаний комплекс методів досліджень; патентно-інформаційний огляд; технічні, статистичні, експертні імовірнісні методи аналізу.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Обґрунтовано можливість застосування магнітовібраючого шару як інструмент сепарації шламу шліфувального виробництва.

2. Теоретично обґрунтований та експериментально підтверджений механізм, руйнування агломератів шламу в магнітовібруючому шарі.

3. Встановлено, що час дроблення шламу в більшому млині істотно впливає на чистоту продуктів сепарації.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано рекомендації щодо промислового використання отриманих результатів та подальшого застосування продуктів сепарації шліфувальних шламів.

**Особистий внесок автора.** Кваліфікаційна робота магістра є самостійною роботою, в якій узагальнені результати досліджень, отриманих в ході виконання експерименту. Аналіз літературних джерел і узагальнення їх результатів.

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 17 найменування, викладена на 75 сторінках машинописного тексту, включаючи 12 рисунків, 18 таблиць.



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Види відходів лезового та шліфувального виробництв та їх характеристики

Існуючий дефіцит сталевих порошків, необхідність економії матеріальних ресурсів призводять до перегляду проблеми використання відходів механообробки, особливо стружкових та шламових відходів.

При переплаві стружки (основний метод її утилізації) втрати на чад перевищують 15%, при цьому вигоряють головним чином легуючі елементи - (20 - 25% хрому, 40 - 45% марганцю, 12 - 16% вольфраму тощо) [1]. Шламові відходи в переважній більшості випадків ніде не використовуються і є джерелом забруднення навколишнього середовища.

Такі втрати легуючих елементів, що входять до більшості марок сталей, не можна вважати допустимими, оскільки сировинні ресурси основних легуючих елементів обмежені і вимагають дуже економного їх використання.

Виходячи з технологічних особливостей переробки металовідходів методами порошкової металургії, їх доцільно класифікувати за такими основними групами: стружка швидкорізальних сталей, чавунна стружка, стружка кольорових металів, шлами, що утворюються на операціях тирси, обкатки та шліфування.

На операціях, пов'язаних з тирсою, обкаткою, шліфуванням, зачищенням шліфувальними колами, утворюється велика кількість відходів у вигляді шламів. На перших двох операціях ці шлами є дрібнодисперсні металеві частинки з великою кількістю МОР, а на інших у шламах присутні також абразивні частинки.

Відходи цієї категорії не вимагають під час переробки додаткового подрібнення. Тим не менш, отримання з таких відходів кондиційного порошку є специфічним процесом, який багато в чому відрізняється від традиційних методів виготовлення порошку.

Відходи, взяті на станції регенерації МОР з ділянки, що обслуговує групу шліфувальних верстатів, являють собою вологу, пов'язану масу. Металеві частинки такого шламу, розміром не більше 35-40 (іноді до 80 мкм), мають форму неправильних багатогранників, сегментів, лусочок, оплавлених кульок, пов'язаних металевими волокнами діаметром 25 - 30 мкм (іноді до 70 мкм) і довжиною до 470 мкм. У цій масі зустрічаються прозорі частинки абразиву з розмірами 70 - 200 мкм [2].

При обкатуванні куль і тирсі деталей підшипників виходить шлам з частинками розміром від 60 до 450 - 470 мкм, форма яких близька до лускатої. Такий шлам є вологою текучою масою. Хімічний аналіз сирого шламу показав наявність у ньому значної кількості кисню (2 - 4 мас. %) і вуглецю (3-4 мас. %), що містяться головним чином у залишках МОР [3].

На загальнозаводському шламозбірнику утворюється суміш шламів, отриманих в результаті опилювання і шліфування деталей підшипників кочення, катки і інших подібних операцій. Зовнішній вигляд шламу з загальнозаводського шламозбірника залежить від місця його відбору і може змінюватися від вологої сипучої до пов'язаної маси.

Переробка вихідної стружки ускладнюється наявністю в ній сторонніх включень - залишків мастильно-охолоджуючої рідини (МОР), олії, іржі, брухту, а також землі, піску та різних сторонніх предметів. Суттєву проблему може представляти змішування стружки різних марок, характерний для багатьох механообробних виробництв [4].

Сталева стружка, що йде на переробку на порошок, повинна пройти попередню обробку грубе подрібнення та очищення.

При розробці технологічного процесу одержання порошку зі стружки сталі ШХ15 з використанням методу механічного диспергування вирішувалася задача визначення межі областей зміни фізико хімічних характеристик порошкових частинок, що забезпечують допустимий рівень технологічних властивостей порошку для його використання в



промисловості. Досліджували морфологічні характеристики, вплив твердості матеріалу частинок та гранулометричного розподілу порошку [5].

Форма частинок впливає на ущільнюваність і формованість порошку, з нею пов'язана поверхнева енергія, що впливає на оптимальну температуру співання, пористість і міцність виробів, що отримуються [6]. Форма частинок залежить від способу їх отримання та параметрів процесу. При механічному диспергуванні основними факторами, що впливають на форму частинок, є переважний характер руйнівних впливів (ударний і стираючий), час знаходження частинок в помольній камері і механічні властивості подрібнюваного матеріалу. Залежно від цих факторів частинки, одержувані механічним диспергуванням, можуть мати округлу, осколкову або пластівцеву форму.

Пластиву або лускату форму можуть мати частинки матеріалу, що відрізняється високою пластичністю. Порошок з такою формою частинок має знижену плинність і насипну щільність. Якщо подрібнений матеріал має високу твердість і крихкість, частинки лускатої форми не утворюються. Незначну кількість частинок такої форми можна отримати з дуже тонких елементів стружки, товщина якої менше максимального розміру придатної фракції порошку. Утворення порошку з частинками сферичної або округлої форми (фактор форми  $1 - 0,9$ ) також небажано, оскільки такі порошки мають дуже низьку формуємість, що не дозволяє забезпечити достатню міцність пресовок.

Округлі частинки утворюються при стираючій дії помольного середовища та значному часі подрібнення. Такі умови реалізуються в кульових млинах (вібромлин, атритор) при періодичному характері подрібнення. Очевидно, застосування подібних пристроїв, що працюють у періодичному режимі, для промислового отримання порошку зі стружки недоцільно. Виняток можуть становити матеріали, що мають дуже високу твердість і стійкість до стирання, такі, наприклад, як швидкорізальна сталь.

## **1.2 Методи поділу металевих та неметалічних компонентів відходів обробки металів**

Основним способом утилізації металевого брухту і стружки є металургійний переділ, що відрізняється порівняно низькою рентабельності [6]. При отриманні зі стружки та дрібного брухту металевого порошку, рентабельність процесу різко підвищується, та усуваються втрати легуючих елементів за рахунок чаду [7].

Відходів у вигляді шліфувальних шламів одержують у багато разів більше, ніж з операцій тирсування та обкатки. Такі відходи складаються із суміші сильно окислених та наклепаних металевих частинок, абразивних включень, а також рідкої складової олії чи нафтопродуктів, що використовуються при шліфуванні.

Роботи зі створення технологічних процесів одержання сталевих порошоків з відходів металообробки набули активного розвитку за останні 30 років. Основні переваги утилізації відходів механообробки (стружки та шламів) методами порошкової металургії полягають у тому, що усувається чад легуючих елементів; значно знижуються витрати на транспортування відходів, оскільки їх переділ може бути здійснений безпосередньо на тому підприємстві, де вони утворюються; знижуються втрати та засміченість стружки при її транспортуванні та зберіганні; коефіцієнт використання металу зростає з 0,4-0,6 до 0,85-0,95; покращуються експлуатаційні властивості одержуваних виробів за рахунок додаткового легування за потреби такими компонентами, які неможливо ввести в розплавлений метал; істотно знижуються енерговитрати на одержання виробів [8].

Найбільш широке поширення отримали три способи відділення МОР і масел від шламів: центрифугування, промивання гарячою водою або спеціальними миючими розчинами з подальшим просушуванням і відпал, або прожарювання. Центрифугування є найбільш поширеним способом знежирення, хоча воно не забезпечує повного видалення рідини. Крім того, у



центрифугах всіх типів не можна відокремлювати від шламу пісок, землю та інші тверді домішки.

Вітчизняна промисловість випускає різні типи центрифуг для знежирення шламу, короткі технічні характеристики деяких з них наведено у табл. 1.1 [12].

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики центрифуг для знежирення стружки

Показник	Тип та марка центрифуг			
	Безперервної дії	Періодичної дії		Прямоточна конструкції
Виробництво, т/год	1,5	1,0	1,0	3,0
Частота обертання ротора, хв <sup>-1</sup>	1500	750	680	480/970
Потужність електродвигуна, кВт	4,5	7,0	7,0	12,5/20,0
Залишковий вміст олії, %	2,0	2,4	2,0	0,8-1,2
Маса, кг	1800	1500	1830	3890

Інший спосіб очищення шламу - промивання його в гарячій воді або спеціальних розчинах з подальшим просушуванням.

Розроблено мийну машину, що дозволяє в автоматичному режимі за допомогою розчину каустичної соди або розчинника забезпечувати якісне знежирення. Після промивання шлам потрапляє в установку для сушіння, де волога видаляється за рахунок тепла згоряння природного газу [9].

Існує спосіб очищення шламу в середовищі тетрахлоретилену перемішуванням або за допомогою ультразвуку [10]. Перемішування здійснювали в мішалці з частотою обертання лопатей 2000 хв<sup>-1</sup>. Для ультразвукової очистки використовували установку з перетворювачем і живленням від генератора (частота ультразвуку 22 кГц при питомій потужності 1-5 В ). Перемішування у воді протягом 15 хвилин дозволяє знизити вміст олії на поверхні шламу на 80%, а в тетрахлоретилені - на 95%.

Накладення ультразвукових коливань у разі використання тетрахлоретилену при 40°C масло з поверхні шламових відходів видаляється повністю. Пропонований процес відпрацьовано поки що в лабораторних умовах.

Промислове використання способу очищення шламу за допомогою тетрахлоретилену має передбачено систему його регенерації. Для цього може використовуватися стандартне обладнання, що складається з дистилятора та активатора. У дистиляторі здійснюється розподіл тетрахлоретилену бруду та олії, причому олія може бути використана повторно.

Досить високий ступінь очищення шламу від МОР і масел забезпечує його відпал у нагрівальних печах. У полум'яних і нагрівальних печах нагрівають шлам до 1200 - 1400°C в окислювальній атмосфері [10]. Однак при роботі на таких установках спостерігається високий чад металу (до 10%) і викид в атмосферу токсичних продуктів згоряння олії.

Загальні недоліки всіх пристроїв для відпалу - схильність до окислення або зневуглицювання оброблюваного шламу, безповоротні втрати МОР або масел, неповне очищення шламу від неорганічних домішок та забруднення атмосфери продуктами згоряння.

В даний час жоден із застосовуваних у вітчизняній та зарубіжній практиці способів очищення шламу не відповідає повністю всім вимогам технології підготовки вихідного матеріалу для подальшого повернення у виробництво, техніці безпеки, екології та економіки.

Вирішенням проблеми, мабуть, є створення комплексних установок з підготовки шламів до подальшої його переробки. На цих ділянках має здійснюватися його дроблення, центрифугування, відмивання від бруду та олій, сушіння. Така технологія дозволяє зберегти для повторного використання більшу частину МОР, зменшити токсичні викиди в атмосферу, забезпечити високу якість металевої складової шламу як вихідної сировини для переробки на порошок. Відносно високі капітальні витрати на будівництво таких ділянок має компенсуватися високою якістю готової продукції та можливістю утилізації МОР та олій.



Однією з найважливіших операцій при очищенні шламу від масел і МОР є надійний і досить простий метод контролю ступеня забруднення.

У разі забруднення шламу водно-масляною емульсією температура випалу повинна бути нижчою за температуру розкладання олій, що входять до її складу. Загальний вміст МОР визначають термогравіметричним методом при температурі, необхідній для випаровування та розкладання всіх компонентів МОР. Похибка цього також становить  $\pm 10\%$ .

Переробка в порошок шламу, що утворюється при виготовленні куль підшипників, привертала увагу дослідників давно. Дослідники мали справу з порівняно великими відходами - 70% частинок було більше 0,075 мм, а це, певною мірою, спрощувало відновлювальний відпал і дозволяло отримувати порошок з прийнятним рівнем властивостей, зокрема по насипній щільності.

Інший спосіб переробки шліфувального шламу – багаторазова промивка розчинниками, що містять поверхнево-активні речовини, з наступною магнітною сепарацією [12]. Метод отримання порошку з шліфувального шламу включає п'ятикратну магнітну сепарацію, відновлення отриманого концентрату в середовищі водню і розмелювання отриманої губки. Готовий порошок складається з частинок уламкової форми розміром 0,1-0,05 мм, його насипна щільність 1,3-1,5 г/см<sup>3</sup>. Технологія переробки шліфувального шламу має недолік - низьку величину на висипну щільність металевих порошків шламу.

Були проведені дослідження брикетування шламу в прес-формі із зазором між пуансоном і матрицею 0,5 мм. З підвищенням тиску до 0,5 МПа із шламу виділяється вода, до 1,0-1,1 МПа емульсія, а потім залишки олій. Це використовувалося для створення необхідного співвідношення води та органіки в переробних відходах та необхідного вмісту в них рідкої складової [13].

### 1.3 Матеріали одержані з використанням відходів

#### 1.3.1 Технологічні характеристики порошку одержаного з відходів

Дані за технічними характеристиками порошків зі стружки, що публікуються різними авторами нечисленні. Форма частинок, їх розміри і ступінь наклепу мають великий вплив на формованість порошку, його ущільнюваність і міцність пресувань. На форму частинок порошку, одержуваного розмолотом, впливає рівень крихкості матеріалу, що подрібнюється, і механізм диспергування, що визначається типом подрібнюваного обладнання. Найкращі характеристики ущільнюваності мають порошки, що складаються з частинок з нерівною поверхнею, з гострими кутами.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад вихідної сировини та порошку

Тип матеріалу	Вміст елементів, %				
	C	Mп	Si	Cr	O <sub>2</sub>
Тирсовий шлам	1,07	0,36	0,32	1,10	6,21
Порошок з шламу пилу	0,12	0,27	0,35	0,94	0,21
Тирсовий та обкатний шлам	0,9-1,1	0,2-0,4	0,15-0,35	1,3-1,65	3,2
Порошок з обкатного та тирсового шламу	0,4	0,2-0,4	0,15-0,35	1,3-1,65	0,6
Шліфувальний шлам зі неіржавіючої сталі	1,0-1.1	0,9-1,65	0,70	1,3	0,52
Порошок із шліфувального шламу неіржавіючої сталі	0,87	1,00	0,70	1,25	0,35-0,4

Технологічні характеристики порошків, одержуваних з обкатних, тирсових і шліфувальних шламів сталі ШХ15, значною мірою залежать від технологічного процесу їх отримання.

### 1.3.2 Методи виготовлення деталей із порошків, отриманих з металовідходів

При виготовленні деталей з порошків, одержуваних з відходів, застосовують різні методи, що традиційно використовуються в порошковій металургії. Фізико-механічні характеристики готового матеріалу значною мірою залежать як від стану вихідного порошку, гранулометричного та хімічного складу, кількості сторонніх неметалевих включень, технологічних характеристик, так і від методу виготовлення деталей.

Спінання порошків, одержуваних із сталеві стружки. У табл. 1.3 наведено деякі фізико-механічні характеристики матеріалу, отриманого спіканням порошку, виготовленого зі стружки маловуглецевої сталі розмолот при криогенних температурах.

Таблиця 1.3 - Фізико-механічні характеристики спеченого матеріалу

№	Умови спікання		Щільність, г/см <sup>3</sup>	Опір поперечному розриву, кгс/мм <sup>2</sup>
	Час, хв	Температура, °С		
1	40	1150	6,9	39,91
2	20	1121	6,8	12,13
3	20	1121	6,8	11,36
4	20	1135	6,5	14,12
5	20	1149	6,6	15,18
6	20	1121	6,7	64,80
7	20	1121	6,5	65,52
8	20	1121	6,4	93,16
9	20	1121	6,4	74,21
10	20	1121	6,4	81,35

Після розмелювання для зменшення вмісту вуглецю нижче 0,1 мас. % порошок піддавали зневуглецюванню відпалу. Перед пресуванням порошок змішували з 1% стеарату цинку і з порошком графіту в кількості, достатній для отримання в спеченому матеріалі 0,6-0,8 мас. % вуглецю. Тиск пресування становив 4,14 т/см<sup>2</sup>. Спінання здійснювали у двокамерній печі у

дві стадії: при 788°C протягом 30 хв (випалювання пластифікатора) та в основній зоні печі при 1120-1150°C протягом 20 хв (власне спікання).

Більш високу міцність п'яти останніх матеріалів пояснюють тим, що в процесі виготовлення порошку він був наклепаний і на нього було нанесено покриття у вигляді плівки міді. Як припускають автори, наклеп дозволив активізувати процес спікання, а плівка міді захистила легуючі елементи (кремній, марганець, хром) від окислення в процесі спікання в ендогазі та покращила спікаємість матеріалу.

З порошку, отриманого розмелом при нормальній температурі стружки сталі ШХ15, можна отримувати деталі з високими фізико-механічними характеристиками. Матеріал, виготовлений на основі цього порошку з добавками вуглецю та міді методом холодного пресування при питомому тиску 7,0 т/см<sup>2</sup> і спечених при 1250°C протягом 1 години у середовищі водню, мав межу міцності при розтягуванні 44 – 52 кгс/мм<sup>2</sup>, межу міцності при вигині 76-83 кгс/мм<sup>2</sup>, твердість по Брінеллю 160-180 НВ, відносну щільність 88 - 90%. Однак слід враховувати, що оптимальна температура спікання сталевих низьколегованих порошків повинна бути вищою за температури, що застосовуються для спікання шихт на основі залізного порошку. При збільшенні температури спікання до 1350°C фізико-хімічні властивості цього матеріалу суттєво підвищуються: щільність досягає 7,35 г/см<sup>3</sup>, межа міцності при вигині 140-180 кгс/мм<sup>2</sup>, твердість після спікання 18-25 HRC, а після термообробки 56-62 HRC. Для порошку, отриманого зі стружки сталі ШХ15, була відпрацьована технологія виготовлення ущільнювальних кілець ходової системи гусеничних тракторів.

Спікання порошків одержуваних із шламів. Матеріали на основі порошків, отриманих зі сталевих шламів, можна переробляти у виробі тими ж методами, що і порошки, що отримуються зі сталеві стружки. Процес спікання цих порошків має ряд особливостей пов'язаних з тим, що вихідна сировина (шлам), як правило, є дрібнодисперсними частинками. Наприклад, в обкатних та тирсових шламах основна маса частинок менше 50 мкм. У



зв'язку з цим у готових порошках дуже складно отримати досить низький вміст кисню. У процесі спікання може спостерігатися часткове зневуглецювання матеріалу, так як частина вуглецю зі складу шихти піде на відновлення окислів, які залишилися в порошок. Крім того, порошки, одержувані зі шламів, особливо тирсових і обкатних, через високу дисперсність при спіканні більш активні в порівнянні з порошками, отриманими зі стружки того ж хімічного складу і при однакових температурах спікання будуть давати велику усадку.

Деталі з порошку, одержуваного з обкатних і обпилювальних шламів сталі ШХ15, при спіканні при 1050°C протягом 2 годин в ендогазі мають щільність 6,4-6,5 г/см<sup>2</sup>, твердість 120-170 НВ, міцність на вигин 50-60 кгс/мм<sup>2</sup>.

Децю вищі щільність і характеристики міцності матеріалу на основі порошку зі шламу сталі ШХ15 можуть бути отримані при двократному пресуванні і спіканні. Після першого пресування зразки спікали при 1050 °С в атмосфері дисоційованого аміаку. Найбільш інтенсивно щільність при допресуванні підвищується в тому випадку, коли тиск першого пресування не перевищує 4 т/см<sup>2</sup>. Найвища щільність, що відповідає 10% пористості, досягнута після пресування та допресування при питомих тисках 8-10 т/см<sup>2</sup>.

З порошку, отриманого з обкатного і обпилювального шламів сталі ШХ15, були виготовлені плаваючі борти підшипників, шліцеві гайки, направляючі втулки клапанів, матриці для лиття та пресування пластмас.

Високі характеристики міцності можуть бути отримані при підвищенні температури спікання від 1300°C. У табл. 1.4 наведено фізико-механічні властивості зразків з матеріалу, отриманого з абразивного шламу сталі ШХ15. Зразки пресували при питомому тиску 5 т/см<sup>2</sup> і спікали протягом 1,5 години в атмосфері водню. Спечені зразки проходили термообробку: загартування з 830 °С в масло і відпустку при 200 °С протягом 2 годин.

Порошок, що отримується з обкатного та тирсового шламу сталі ШХ15, можна використовувати як основу фрикційного матеріалу. В такий

порошок додатково вводять антизадирні сульфідуючі добавки з таким розрахунком, щоб загальний вміст сірки в сплаві не перевищувало 1%, а також порошки свинцю сітала.

Таблиця 1.4 - Вплив температури спікання на властивості зразків абразивного шламу

Температура спікання, °С	Відносна щільність, пресування, %	Відносна щільність спеченого зразка, %	Межа міцності при згинанні, кг/мм <sup>2</sup>	Твердість
950	30-32	31	20	80
1100	30-32	29	45	110
1250	30-32	15	60	147
1300	30-32	14	205	477

Результати випробувань показали, що при роботі в режимах експлуатації, що застосовуються у вузлах тертя гідротрансмісії великовантажних автомобілів, він має більш високий коефіцієнт тертя при однаковій зносостійкості порівняно з матеріалом на основі бронзи, що застосовується в даний час.

#### **1.4 Способи отримання псевдозрідженого дисперсного шару системи**

##### **1.4.1 Огляд існуючих способів реалізації псевдозрідження**

При роботі з порошковими матеріалами, що характеризуються високими силами міжчасткової взаємодії, найбільш перспективним напрямом руйнування порошкових агломератів є переведення такого матеріалу в псевдозріджений стан. Процес псевдозрідження (ПЗ) порошкових матеріалів багатofункціональний у прикладному плані і до теперішнього часу знаходить усе більше застосування, що розширюється як при формуванні

порошкових виробів, так і при контролі їх фізико-хімічних і технологічних характеристик, а також перемішування і сегрегації порошкових матеріалів.

Для отримання ПЗ стану порошкових матеріалів застосовують як змінні, так і постійні поля різної фізичної природи, і на цей час відомі вібраційне, гідроаераційне, акустичне, електродинамічний і електромагнітне ПЗ.

Порошкову пробу поміщають на верхнє грубе сито, і частинки просіюються на нижні сита під дією механічної вібрації за допомогою пристроїв і створюють обертальний та коливальний рух сит. Вібраційна дія дозволяє частково зруйнувати найменш стійкі агрегати і збільшити свободу відносного переміщення частинок порошку, що дозволяє досягти якіснішого просіювання.

При зовнішньому періодичному впливі в дисперсних системах відбуваються перетворення, особливості яких зумовлюються інтенсивністю впливу. У міру збільшення амплітудних значень впливу дисперсна система набуває рухливість - псевдотекучість. У цьому стані зчеплення між частинками слабшає, досягається більш щільне укладання частинок, порошок ущільнюється. Найбільше ущільнення досягається при амплітудних значеннях прискорення, близьких до прискорень вільного падіння.

При подальшому збільшенні інтенсивності коливань зв'язку між частинками дисперсного середовища зменшуються і періодично порушуються, середовище переходить як би у стан кипіння. Цей стан, званий псевдокипінням, характеризується розпушенням сипучого тіла і посиленням циркуляції його частинок. У стадії псевдокипіння можна виділити два характерні стани, сегрегації частинок та їх інтенсивного перемішування. Другий режим реалізується при інтенсивнішому впливі. Перехід стану псевдозрідження до псевдокипіння здійснюється, зазвичай, при прискореннях, що перевищують прискорення вільного падіння. Критичні прискорення та енерговитрати залежать від властивостей сипучого тіла, товщини шару, сил зчеплення між частинками та інших факторів.

Найбільшого поширення набули вібраційні методи одержання ПЗ стану не тільки порошкових, а й будь-яких інших сипучих тіл.

Слід зазначити деякі явища та ефекти, що виникають у порошкових матеріалах при вібраційному впливі, цікаві при технічній реалізації процесів сепарації: по-перше, вібраційне розпушення; по-друге, зміна реологічних та інерційних властивостей тіл, що задаються, (віброреологічні ефекти): віброзрідження, віброползучість, зміна коефіцієнта сухого тертя, що задається; по-третє, вібраційне переміщення та зміщення; вібротранспортування, сепарація частинок сегрегація частинок порошкового матеріалу.

Найбільш звичною формою математичного моделювання сипких тіл у вібраційних полях є опис руху частинок за допомогою диференціальних рівнянь. Суцільне середовище описують моделлю, що складається із системи твердих тіл, пов'язаних взаємно зі стандартними елементами лінійної пружності, лінійної в'язкості, сухого тертя з постійними коефіцієнтами та найпростішими ударними елементами. Такі моделі з достатньою точністю описують усі необхідні залежності. Існує ряд оригінальних моделей: аеродинамічні сили враховують моделі типу поршня з отвором; модель плоских шарів; модель, що представляє сипуче середовище як сукупність однорідних абсолютно твердих гладких сферичних частинок однакового діаметра. Є припущення, що удар не є цілком пружним, але завжди центральним. Остання модель має багато спільного з моделлю газів, що вивчаються на молекулярному рівні.

Наступним поширеним способом реалізації зваженого стану частинок порошкового матеріалу є гідро- та аерозрідження, суть якого полягає у створенні стаціонарного потоку рідкої або газової фази в напрямку, протилежному гравітаційним силам. При певних швидкостях потоку відбувається зважування частинок порошку, зумовлене дією переважно сил внутрішнього тертя.



Сухі методи поділу порошкових, матеріалів вважаються прогресивнішими за мокрі, тому що технологія з використанням гідравлічних способів фракціонування є енергоємною і пов'язана з порушенням завдань охорони навколишнього середовища, зі значною витратою води. Крім того, деякі матеріали не можна розділяти мокрим способом через зміни їх фізичних властивостей.

Застосування акустичного впливу для зрідження тонко дисперсних магнітних порошоків через великі сили міжчасткової взаємодії вимагає підведення до порошкового шару великої потужності. Виникають технічні проблеми обсягу робочої передачі, прес-форми високої акустичної потужності.

Дисипація енергії в дисперсних системах є складним явищем. Вона може виникати внаслідок тертя поверхонь частинок у рідкій або газовій фазі, наявності різних сил зчеплення тощо. Наявність дисипативних сил зумовлює появу нелінійних ефектів у сипучих тілах у полі періодичних сил.

Властивості просторових структур висококонцентрованих мікрогетерогенних дисперсних середовищ визначаються поверхневими явищами на міжфазовому кордоні та типом контактів між частинками твердої фази. Найменш міцні коагуляційні контакти. Більше міцні контакти мають структури з безпосередньою точковою взаємодією, що виникає у високодисперсних порошках. При дії періодичних сил на мікрогетерогенні висококонцентровані порошкові системи.

Внаслідок наявності сил взаємодії між частинками, доводиться застосовувати значно інтенсивніші дії, ніж під час обробки грубодисперсних середовищ. Так, для переведення тонкодисперсних порошоків у стан псевдокипіння прискорення руху частинок повинні у кілька разів перевищувати прискорення вільного падіння (має значно збільшити приплив енергії).

Ефекти, що виникають при дії періодичних сил на дисперсне середовище, можна об'єднати в наступні групи.

1. Зміна поведінки нелінійних механічних систем: поява нових положень рівноваги та видів руху, зміна характеру положень рівноваги, зміна власних частот малих коливань та деякі інші.

2. Ефекти переміщення та відведення: сепарація частинок матеріалу за властивостями виникнення повільних потоків дисперсних середовищ, дрейф та локалізація частинок у неоднорідних полях періодичних сил й взаємні мікрозміщення та інші.

3. Зміни під дією періодичних сил реологічних властивостей дисперсних систем: задається перетворення сухого тертя у в'язке, зниження коефіцієнта сухого тертя, зміни коефіцієнта в'язкості та багато інших.

4. Виникнення інтенсивної механічної взаємодії між частинками та обсягами багатокomпонентних систем: розпушення дисперсного середовища, виникнення інтенсивних відносних коливань твердих частинок, що розрізняються за щільністю та розмірами.

Наведена класифікація умовна: деякі з перерахованих ефектів можуть бути віднесені одночасно до двох зазначених груп. Виникає в системі під дією періодичних сил рух представляється у вигляді суми двох рухів – «повільного» і «швидкого», при чому, основний інтерес представляє саме повільний рух.

#### **1.4.2 Магнітовібруючий шар, його характеристики та способи реалізації**

До теперішнього часу дедалі більше уваги приділяється зрідженню дисперсних магнітних матеріалів магнітному полі. Процес взаємодії феромагнітного порошку з електромагнітним полем широко використовується при сепарації тонкодисперсних рудних порід, магнітної грануляції для створення феромагнітних рідин.

Дисперсна система феромагнітного матеріалу, поміщена в міжполюсну область електромагніту змінного струму, за певних умов може бути введена в режим стійких параметричних коливань. Такий ансамбль частинок, що

висвітлюють досить тривалий період часу в певній області простору під дією сил електромагнітного поля, слід розглядати як область магнітовібруючого шару (МВС). Для цього стану дисперсного середовища характерні всі перелічені ефекти, що виникають у псевдозрідженому шарі.

Розглянемо деякі характеристики МВШ. Дисперсна система малої маси переходить у магнітозріджений стан при індукції змінного магнітного поля вище деякого критичного. Зворотний перехід до нерухомого стану відбувається при зменшенні індукції поля і нового критичного стану. Причому, критична індукція початку зрідження вище індукції зриву зрідження та обидва критичні значення залежать від розміру частинок, їх магнітного моменту, частоти поля, індукції постійного поля тощо. При збільшенні маси дисперсної системи значення критичних індукцій розмиваються і утворюють кінцеві інтервали зміни відповідні поступовому пошаровому переходу частинок в зріджений стан або пошаровому осіданню частинок. Таким чином, першою характеристикою магнітовібруючого шару можна вважати індукцію початку магнітозрідження або, при зрідженні в неоднорідному полі, градієнт індукції змінного поля.

Другою характеристикою МВШ є індукція (або градієнт індукції), що відповідає зриву магнітозрідження.

Рух частинок у стані розвиненого магнітозрідження дуже складно залежить від властивостей феромагнітного матеріалу, топології поля. Найважливішою характеристикою цього стану може бути середня швидкість поступального руху частинок, яка залежить від режимних і фізичних параметрів системи.

Псевдозрідження в електромагнітному полі пов'язане із споживанням енергії. Отже, питома потужність, що витрачається на зрідження одиниці маси дисперсної системи, є четвертою характеристикою зрідженого шару, що описується.

Наступною, п'ятою, характеристикою аналізованого способу псевдозрідження може бути порізність.

Порізність у реальній системі є складною функцією індукції постійної та змінної складової поля, градієнта індукції, частоти змінного поля, числа Рейнольдса, а також відношення обсягів шару та твердої фази.

Шостою характеристикою МВШ може бути його еквівалентна температура - квазітемпература, що залежить для даної дисперсної системи від відносин індукцій постійної і змінної складових магнітного поля, а також частоти поля. Квазітемпература визначає параметри переходу зі стану «квазірідину» в стан «квазітверде тіло».

Універсальність запропонованих характеристик магнітовібраційного шару полягає в тому, що вони пов'язані з такими фізичними величинами, як індукція постійного та змінного магнітного поля.

Слід зазначити, що основним технологічним параметром МВШ є інтенсивність поступального руху, що характеризується середньою швидкістю поступального руху частинок. Середня швидкість поступального руху може визначати параметри поля, що відповідають переходу в квазітвердий стан, ефективність руйнування агломератів тонкодисперсних порошків, ступінь упорядкованості у вторинних кластерах, сформованих у вигляді ланцюжкових агрегатів.

Псевдозрідження в електромагнітному полі (ПЕМП) можна поділити на три типи: отримання ПЗ шару в однорідному, обертовому і високоградієнтному полях. Найбільш вивченим є: вплив на дисперсну систему гармонійним однорідним магнітним полем. Основні модельні уявлення МВШ мають вигляд монодисперсних систем сферичних частинок з жорстко орієнтованим магнітним моментом.

Теоретично, розраховано і експериментально підтверджено, що закачування енергії в дисперсну систему в однорідному полі відбувається на один обертальний ступінь свободи частки, надалі зіткненні процеси зумовлені магнітостатичним дипольом, дипольною взаємодією, де перерозподіляють цю енергію на поступальні ступені свободи.



За результатами експерименту можна виділити два граничні типи руху частинок. Перший, характерний для малих концентрацій, відповідає безлад газоподібного типу, коли кінетична енергія частинок набагато перевищує енергію їхньої взаємодії та встановлюється стан, аналогічний стану молекулярного хаосу. При другому типі руху спостерігається безлад рідинного типу зі слідами квазікристалічної впорядкованості. У цьому випадку енергія взаємодії частинок можна порівняти з їх власною енергією. Частинки при цьому нерегулярно коливаються в межах своїх вільних обсягів з випадковими стрибками з одного квазірівного стану в інший. Для такого стану характерно утворення кластерів з декількох частинок з порівняно малим часом життя  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  с. Крім описаного механізму спостерігається переміщення частинок у складі випадково блукаючих кластерів. Незважаючи на наявність хаосу в поступальному русі частинок, видно певну впорядкованість в орієнтації магнітних диполів у змінному полі. Переважна частина диполів орієнтується вздовж напрямку поля. Ефект виражений особливо сильно при максимальних значеннях індукції. Ступінь упорядкованості слабо залежить від частоти та концентрації частинок у шарі.

Аналіз експериментальних даних дозволяє стверджувати, що для поступальних і обертальних ступенів свободи, при всіх досліджених параметрах, розподіл виявився близьким до максвелловського. Крім того, перерозподіл енергії між лише поступальними або лише обертальними ступенями свободи встигає відбутися до встановлення стану рівноваги при всіх досліджених частотах, тоді як обмін енергією між обертальними та поступальними ступенями суттєво загальмований. Таким чином, принцип рівнорозподілу енергії за ступенями свободи для магнітозріджених систем виявляється несправедливим, і обертальний і поступальний рух слід розглядати окремо.

Цікавою властивістю володіє дисперсне середовище, зріджене в однорідному змінному електричному полі плоского конденсатора. Процес контактного заряджання частинок на нижньому електроді пристрою

призводить до того, що частинки (у тому числі і утворюють конгломерат) одержують уніполярний заряд. Остання обставина перешкоджає утворенню конгломератів і навіть призводить до руйнування наявних у порошку агрегатів.

Внаслідок зіткнень частинки обмінюються між собою енергіями як обертального, так і поступального рухів. Але в силу того, що магнітне поле збуджує лише обертальні ступені свободи частинок, а поступальний рух набувається в результаті зіткнень та взаємної диполь-дипольної взаємодії питання про ефективність перетворення енергії обертального руху частинок у поступальне має відігравати центральне місце у побудові теорії МВШ. У кінцевому підсумку аналізоване питання зводиться до аналізу ефективності перетворення енергії електромагнітного поля в енергію руху частинок. Обмін енергією між обертальними та поступальними рухами частинок МВШ визначається з розв'язання задачі про зіткнення двох обертових намагнічених куль та визначення суматорних інваріантів зіткнення, що є досить складним. «Обертальна температура» на порядок вища за «поступальну», і введено коефіцієнт, що характеризує ефективність перетворення кінетичної енергії обертального руху частинок у поступальне і визначається як їхнє відношення. З усіх значень досліджуваних частот після досягнення максимального значення швидкість різко падає. Індукція поля, відповідна максимальному значенню швидкості, зі збільшенням частоти зміщується в область великих значень. Отже, для системи з фіксованими фізичними параметрами фаз існує набір значень індукцій та частот поля, при якому можливий процес передачі енергії від поля частинкам.

Середні швидкості частинок МВШ у магнітному полі, що обертається, вище, ніж в однорідному змінному полі, що легко пояснити залежністю функції Лагранжа від трьох кутів і їх похідних за часом у обертовому полі. У однорідному змінному полі в силу його аксіальної симетрії функція Лагранжа залежить тільки від одного кута та його похідної і, отже, підкачування енергії відбувається лише на один ступінь свободи. Зважування

системи намагнічених частинок залежить від їхньої концентрації та фізичних параметрів, індукції та частоти поля. Процес зрідження відбувається пошарово, починаючи з верхніх шарів. Повне магнітозрідження, аналогічне до рівноважного стану газу, характеризується максвеллівським розподілом частинок за швидкостями поступального руху і виходить при досягненні деякого критичного значення індукції поля. Перехід з розвиненого магнітозрідженого стану в щільноупакований («кристалічна структура») здійснюється зменшенням поля до критичного значення, меншого, ніж при прямому процесі. Відмінність між значеннями індукції поля при реалізації магнітозрідження в системі намагнічених частинок і при їх «кристалізації» є цікавим явищем. В області гістерези магнітозріджений стан характеризується хаотичним рухом окремих частинок і агрегатів, які в залежності від виду магнітного впорядкування дипольних магнітних моментів можуть бути абсолютно локально стійкими. Абсолютно стійким є антиферомагнітні агрегати. Маючи нульову намагніченість, вони не взаємодіють з полем, але здійснюють хаотичний рух в результаті зіткнень. Локально стійкі феромагнітні агрегати, піддаються впливу поля і в результаті швидше руйнуються. Примітно, що зі зростанням концентрації частинок при магнітозрідженні в змінному полі гістерезис практично вироджується, у той час як у полі, що обертається зберігається до об'ємної концентрації, але має тенденцію до звуження. Отже, діаграма фазового стану МВШ характеризується наявністю гістерезису, який має місце і при змінному, і при обертовому, і при пульсуючих магнітних полях.

При великих концентраціях, на відміну від змінного поля, де частинки здійснюють хаотичний рух, у полі, що обертається, на них накладається і ротаційний рух в цілому: вони обертаються як квазітверде тіло. Так як лінійна швидкість ротаційного руху приблизно пропорційна радіусу, то частинки, що знаходяться поблизу осі МВШ, мають менші швидкості, ніж ті, що рухаються на периферії. Як наслідок зазначаємо, що розподіл часток за швидкостями перестає бути максвеллівським.

Таким чином, при магнітозрідженні в змінному однорідному магнітному полі перекачування енергії в дисперсну систему відбувається лише на один обертальний ступінь свободи. Далі в результаті механічного ударного і магнітостатичного диполь - дипольної взаємодії відбувається перерозподіл енергії і на поступальні ступені свободи. Магнітозрідження в полі, що обертається, буде призводити до більшої інтенсивності поступального руху. Виникнення в обертовому полі так званого циркулярного руху системи як цілого призводить до перекачування енергії на три ступені свободи обертального руху частинок, що, природно, дозволяє передати велику енергію та поступальним ступеням свободи частинок при їх взаємодіях. Нарешті, магнітозрідження в змінному неоднорідному полі дозволяє передавати енергію відразу на поступальні ступені свободи частинок. При цьому працює і механізм перекачування енергії поля обертальним ступеням свободи частинок.

## **1.5 Висновки**

Сировинні ресурси металовідходів дуже великі, а існуючі методи їх переробки, що використовують у своїй основі переплав металу, у більшості випадків не дозволяють здійснити їх економне використання.

Переробка металовідходів методами порошкової металургії дозволяє підняти коефіцієнт використання металу до 90-95%, скоротити втрати легуючих елементів, отримати значний економічний ефект. Нарощування обсягів переробки металовідходів методами порошкової металургії в усьому світі має відбуватися одночасно з розвитком звичайних методик одержань порошків.

Використання порошків, одержуваних з металовідходів, для виготовлення деталей конструкційного та антифрикційного призначення дозволяє покращити службові характеристики деталей, розширити їх номенклатуру. Перспективним є виготовлення з них деталей гарячим деформуванням - гарячим штампуванням, екструзією.

У порошковій металургії існує дефіцит у дорогій порошковій сталі ШХ15, але існуючі технології переробки шліфувальних відходів підшипникових виробництв не дозволяють отримувати металевий порошок необхідної якості.

При роботі з порошковими матеріалами, що характеризуються високими силами міжчасткової взаємодії, такими як шліфувальний шлам, найбільш перспективним напрямом ослаблення міжчасткової взаємодії і руйнування порошкових агрегатів є створення МВШ.



## РОЗДІЛ 2

### АПАРАТУРА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Спільними в галузі сепарації залізовмісних відходів (ЗВВ) є питання селективного збору, транспортування та зберігання у вихідному стані; сепарації твердих і рідких, магнітних та немагнітних компонентів ЗВВ: деякі аспекти технологічного крихтіння, подрібнення, сепарації (класифікації) та теплової обробки шламів. Змішаний характер багатьох видів ЗВВ і обумовлена, цим нестабільність за хімічним складом є основними перешкодами для широкого використання їх як вторинної сировини.

#### **2.1 Визначення характеристик шламу шліфувального процесу підшипникового виробництва**

Кінцеві властивості робочих деталей підшипників формуються протягом усього технологічного процесу їх обробки, але найбільше при шліфувальних та доводчих операціях.

Шліфування в підшипниковій промисловості має найбільшу питому вагу в порівнянні з іншими видами обробок. Висока точність, розміри, форми деталей підшипників і якість їх поверхневого шару досягаються на шліфувальних та довідкових операціях.

При шліфувально-довідковій обробці робочих поверхонь деталей підшипників остаточно формуються їх макро- та мікрогеометрія, а також механічні та фізико-хімічні властивості.

Шлам являє собою важкозруйновані агрегати, утворені з металевих частинок і абразиву просочені мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР). Металева складова шліфувального шламу має форму стружки лезової обробки металу з високорозвиненою поверхнею, а також великою силою міжчасткової взаємодії когезійної та магнітної природи. Форма металевих частинок шламу створює основні труднощі при його сепарації.

На рис. 2.1 зображено фотографію шламу шліфувального виробництва у вихідному стані,



а)

б)

в)

а - растровий мікроскоп, б - неофот-30, в - цифровий фотоапарат

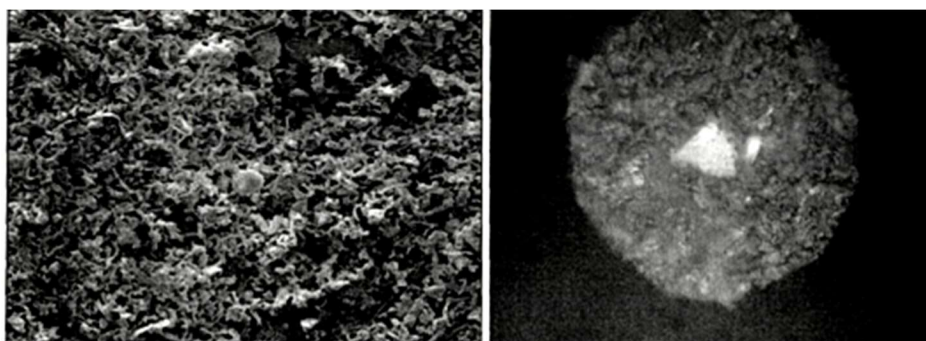
Рисунок 2.1 - Фотографія шламу шліфувального виробництва

Проведений компонентний аналіз показав, що вміст абразиву в шламі становить приблизно 6 - 10% від маси шламу, що збігається з результатами перевірки шліфувального шламу на нерозчинний залишок.

На рис. 2.2 представлені фотографії шламу після операції знежирення та сушіння. Видалення МОР і води зі шламу руйнує більшу частину великих грудок і надає йому сипкості. Ті, що залишаються після сушіння важкозруйновані грудки є сильно окисленими агломератами шламу, зруйнувати їх в МВШ неможливо. Тому в технологічний процес було введено операцію подрібнення. Подрібнення в більшому млині дозволяє зруйнувати всі окислені конгломерати шламу, що в кінцевому підсумку сприятливо позначається на якості поділу магнітної та немагнітної фракцій у МВШ.

Якщо порівняти дані, то видно, що склад у процесі подрібнення в МВШ не змінився, так само як і окисленість матеріалу.

Порошок стали марки ШХ15, отриманий сепарацією шлафувального шламу, представлений на рисунку 2.3.

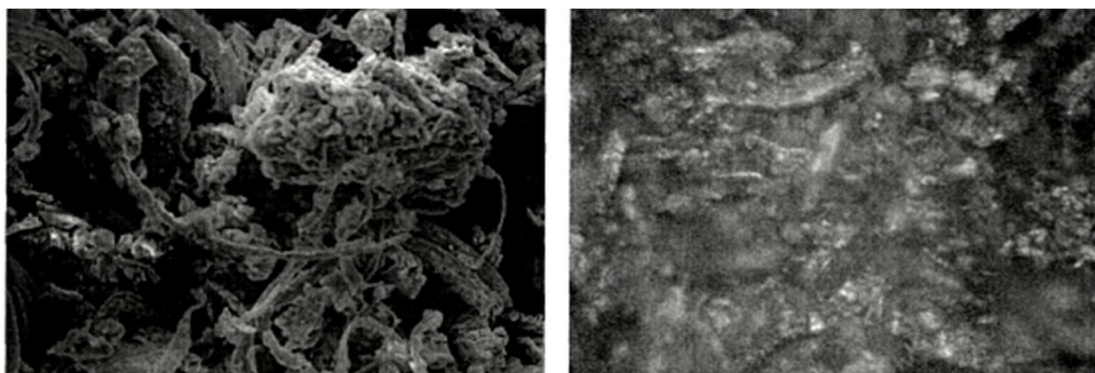


а)

б)

а - растровий мікроскоп, б - неофот-30

Рисунок 2.2 - Фотографія шламу після операції видалення МОР та сушіння



а - растровий мікроскоп, б - неофот-30

Рисунок 2.3 - Фотографія сталевого порошку після сепарації шламу

Якщо порівнювати з фотографіями вихідного шламу, можна побачити, що відбулися зміни у формі частинок металеві складові. Зміна форми частинок металічного порошку призвело до збільшення насипної щільності та сипучості, домішки практично відсутні.

Відповідно до прийнятої в порошковій металургії класифікацією до технологічних властивостей порошків відносяться насипна щільність, плинність і пресуємість; до характеристик фізичних властивостей відносяться форма і розмір частинок, гранулометричний склад, величина питомої поверхні частинок, пікнометрична щільність і стан кристалічної структури матеріалу порошку.

Насипна щільність, отриманого за магнітовібраційною технологією на експериментальній установці сепарації шліфувального шламу сталі марки ШХ15 становить 1,5 г/см<sup>3</sup>. Це в 1,5 рази вище, ніж насипна щільність аналогічної марки сталі (ШХ15) з операції шліфування підшипникових кілець, сепарованих раніше іншими розробниками.

Перевірка на плинність через вирву з 2,5 мм отвором показала, що сталевий порошок, отриманий магнітовібраційної сепарацією шліфувального шламу, не тече.

У таблиці 2.1 представлені характеристики структури електрокорунду, отриманого сепарацією шламу. Таблиця 2.2 показує кількісний розподіл абразивних частинок шламу в певних інтервалах.

Таблиця 2.1- Характеристики абразиву, отриманого магнітовібраційною сепарацією

Показник	Площинні характеристики	Просторові характеристики
Середній розмір	25,95439852	23,79153198
Коефіцієнт варіації:	0,60071112	0,131761566
Дисперсія	243,0823085	9,827031158

Таблиця 2.2 - Розподіл гранулометричного складу частинок абразиву в шламі

Інтервал (мкм)	Кількість частинок абразиву в інтервалі	
0 – 15,861	85666	0
15,861 - 31,722	64	64
31,722 - 47,583	1	0
47,583 - 63,444	0	0
63,444 - 79,305	0	0
79,305 - 95,166	0	0
95,166 - 111,027	0	0
111,027 - 126,888	0	0
126,888 - 142,749	0	0

Абразив становить приблизно 6 – 10 % від загальної маси шламу. На рисунку 2.4 представлено фотографію абразиву, отриманого сепарацією шламу шліфувального виробництва сталі марки ШХ15. Частинки практично не покриті залишками бакелітової зв'язки, що використовується в шліфувальному інструменті. Також практично повністю відсутні домішки. На рисунку 2.5 представлені фотографії частинки абразиву, на яких видно, що на поверхні частки електрокорунду є найдрібніші вкраплення сталевих крапель. Домішки становлять близько 1 - 2% від загальної площі по верхню частинку абразиву.

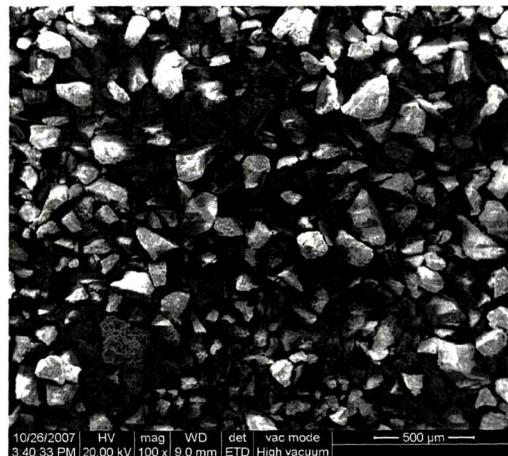
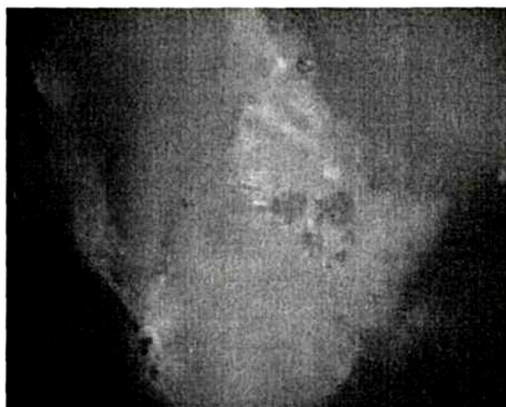


Рисунок 2.4 Фотографія електрокорунду, отриманого сепарацією шліфувального шламу



а)



б)

а - неофот-30, б - растровий мікроскоп

Рисунок 2.5 - Фотографія частки електрокорунду

У таблиці 2.3 наведено характеристики електрокорунду, отриманого сепарацією шламу.

Таблиця 2.3 - Розподіл гранулометричного складу частинок абразиву, що відокремився

Показник	Площинні характеристики	Просторові характеристики
Середній розмір	25,60664886	26,15391826
Коефіцієнт варіації	0,231599918	0,022107505
Дисперсія	35,17080432	0,334312802

У процесі магнітовібраційної сепарації використовувався шліфувальний шлам металургійного підприємства. На підприємстві застосовується абразивний інструмент на основі білого електрокорунду, який одержують плавленням глинозему в електродугових печах. Глинозем є продуктом збагачення бокситових глин. Зміст корунду в глиноземі 98-99%, решта 1-2% - алюмінію натрію  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ . Щільність 3,90 - 3,95 г/см<sup>3</sup>. Мікротвердість 19,6 – 20,9 ГПа. Використовується в інструменті з твердим зв'язуванням (кераміка), а також найбільш ефективний при обробці чавуну, нержавіючої сталі.

## **2.2 Властивості мастильно-охолоджуючої рідини, що застосовується при шліфуванні підшипників**

Технологічні середовища відіграють важливу роль у підвищення ефективності процесу шліфування. За рахунок їх застосування можна зменшити теплоутворення та посилити відведення тепла із зони різання; утворити захисні плівки, що перешкоджають безпосередньому контакту абразивних зерен та оброблюваної поверхні заготівлі та зниження сили різання; забезпечити видалення стружки та відходів шліфування із зони різання та з робочих органів верстата тощо.

Властивості МОР при шліфуванні проявляються як у зоні контакту шліфувального кола із заготівлею, і поза нею. Дії МОР поза зоною контакту : охолодження оброблюваної заготовки, гідроочищення робочої поверхні кола, створення мастильних та граничних плівок на поверхні заготовки та інші.

Починаючи з 1995 року, у спеціальній літературі дуже багато говорилося про обробку без застосування МОР (суха обробка) або про обробку з мінімальним змащуванням.

Не на останньому місці стоїть питання захисту навколишнього середовища. Ця тема давно актуальна у Європі і стає актуальною для України.

Разом з тим, відмова від застосування МОР вимагає зміни конструкції інструментів, а в окремих випадках - і верстатів. Але в даний момент все це знаходиться на стадії перспектив і проблема утилізації МОР залишається.

У процесі досліджень способів відділення МОР від шліфувального шламу було апробовано та впроваджено лужний метод очищення. Він полягає у розчиненні МОР підігрітим розчином каустичної соди або їдкого натру. Цей метод зарекомендував себе ефективним засобом знежирення.

У процесі обробки підшипників у якості МОР застосовується водозмішувані емульсії. Це найпоширеніший тип мастильно-охолоджуючих технологічних засобів для металообробки і являє собою водоемульсійну МОР.

Якість відділення МОР від шліфувального шламу визначалося наступним методом. Наважка шламу масою 20 г насипалася в колбу з 70% розчином каустичної соди (NaOH): 20 г шламу + 340 мл розчину луги. Суміш підігрівалася до кипіння та витримувалася протягом 10 хвилин. Плівка МОР, що утворилася, акуратно зливалася і проходила 10 кратна промивка шламового осаду проточною водою. Абразив, що виділився в процесі промивання, зважувався, а шламовий осад просушувався і так само зважувався. Отримані дані наведено нижче у таблиці 2.4. В результаті



експерименту встановили, що МОР в середньому становить 22% від загальної маси шліфувального шламу.

Таблиця 2.4 - Вміст МОР у шліфувальному шламі

№	Маса вихідного шламу, г	Маса сухого залишку, г	Маса абразиву, який виділився, г	Маса МОР, г
1	20	15,300	0,450	4,250
2	20	14,700	0,420	4,880
3	20	15,200	0,470	4,330
4	20	14,500	0,500	5,000
5	20	13,220	0,680	6,100
6	20	16,100	0,620	3,280
7	20	15,750	0,645	3,605
8	20	16,050	0,430	3,520
9	20	15,100	0,470	4,430
10	20	15,300	0,540	4,160

Отримана МОР піддавалася регенерації у гідроциклоні. Очищене масло за своїми технологічними властивостями практично не відрізнялося від свіжоприготовленого. З цього можна дійти невтішного висновку, що дана МОР може знову застосовуватися на операціях шліфування.

### 2.3 Методика дослідження якості поділу шламу

Чистоту одержуваного магнітовібраційним методом порошку, тобто ефективність процесу сепарації, визначали за методом нерозчинного залишку.

Для цього з очищеного від МОР абразиву металевого порошку сталі ШХ15 були зроблені 10 наважок по 10 г. Потім по черзі шлам поміщався в вогнетривку мірну колбу з налитим в неї водним розчином соляної та сірчаної кислот. Для інтенсифікації процесу колбу підігрівали до 100°C. Протягом реакції травлення сталі спостерігалось інтенсивне виділення водню та помутніння розчину. Після закінчення реакції проводився злив через

фільтр розчину і збирання осаду. Потім просушений залишок, що не розчинився, зважувався на терезах.

Нерозчинний залишок являє собою дрібнодисперсний травильний шлам сталі ШХ15 і незначні вкраплення абразивних зерен. Дані, отримані в результаті експерименту, наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати оцінки якості сепарації за методом нерозчинного залишку

№	Вихідний шлам, г	Маса отриманого ШХ15, г	Маса відокремленого абразиву, г	Маса сухого залишку після розчинення ШХ15 у кислоті, г
1	10	9,120	0,880	0,030
2	10	9,190	0,810	0,025
3	10	8,908	1,092	0,005
4	10	8,895	1,105	0,010
5	10	9,080	0,920	0,025
6	10	8,900	1,100	0,010
7	10	9,030	0,970	0,020
8	10	8,950	1,050	0,010
9	10	9,000	1,000	0,005
10	10	9,050	0,950	0,015

Маса абразиву, що відділилася в процесі сепарації, визначалася зважуванням на аналітичних вагах.

Аналіз даних, наведених у таблиці показує, що середня кількість домішки, визначена методом нерозчинного залишку, не перевищує 1,5% від загальної маси абразиву, що відокремився.

#### **2.4 Основні елементи магнітовібраційного сепаратора**

Магнітовібраційний сепаратор є сукупністю механізмів, що виконують технологічну послідовність операцій переробки шламів шліфувального

процесом подрібнення регулюванням параметрів електромагнітного поля. Млин містить робочу циліндричну камеру, забезпечену приймальним отвором, через яке засипається вихідний матеріал, що закривається затвором. Через робочу камеру активно проходить вал, що приводиться в обертання електродвигуном. Частота обертання валу становить 15000 об/хв.

Нижній кінець валу забезпечений білами, розташованими двома рядами, які перпендикулярно орієнтовані один до одного. Робоча камера оточена охолоджувальною сорочкою, у якій циркулює вода при розмелі. Накопичувач млина відокремлений від робочої камери за двигуном. Робоча камера розташована між полюсами електромагнітів, поверхня полюса електромагніта змінного струму має плоску форму, а інший полюс виконаний у формі наконечника із загостреним кінцем для створення неоднорідного магнітного поля між ними.

Блок поділу магнітної та немагнітної фракції. Основним є блок поділу абразиву та металевих порошків, який складається з постійного та змінного електромагнітів з розімкненими магнітопроводами, силові лінії яких взаємно перпендикулярні. Створюваний за рахунок форми сердечника пермеаметра по всій довжині магнітопроводу градієнт індукції магнітного поля дозволяє створити стійкий МВШ у будь-якій точці міжполюсної зони. Котушка електромагніту постійного поля містить 2000 витків мідного дроту 0-1,5мм, пермеаметра - 1680 витків мідного дроту 0-2мм. Магнітопроводи набрані із щільно упакованих тонких смуг листової магнітом'якої сталі товщиною 0,5 мм. Виносна довжина магнітопроводу пермеаметра становить 500 мм.

Регулювання магнітних полів проводиться наступним чином: струм, що подається на постійний електромагніт від випрямляча, регулюється реостатом, змінний струм. Значення напруг і сили струмів вимірюються амперметрами та вольтметрами, по постійному - амперметр. Магнітовібраційна і установка розрахована на роботу в діапазоні 0 – 40 В. При цих значеннях електромагніти створюють індукцію магнітного поля між

концентраторами. Загальна потужність магнітно-вібраційного блоку поділу абразиву та металевого порошку складає 1,5 кВт.

Гradient індукції змінного магнітного поля визначався за допомогою – е.р.с., що вимірюється індуктивним датчиком. Індуктивний датчик являє собою циліндричну котушку, що має 200 витків, намотаних на пластмасовий каркас заввишки 4 мм, внутрішній діаметр якої дорівнює 2 мм, а зовнішній – 8 мм. Наведений у датчику сигнал вимірювався вольтметром. Значення е.р.с., що наводиться в індуктивному датчику, вимірювалися на осі міжполюсного простору на відстані від полюса 10 мм, 20 мм, 30 мм і в середній точці міжполюсного простору.

Для визначення ефективності помелу шламу було проведено наступний експеримент. Провели сепарацію шліфувального шламу із застосуванням помелу та без. Надалі, за методом нерозчинного залишку визначалася залишкова кількість немагнітної фракції в сталевому порошку, дані наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Залишковий вміст немагнітної фракції у сталевому порошку

№	Мелений				Не мелений		
	час, с	М <sub>аб</sub> , МГ	М <sub>нз</sub> , МГ	%	М <sub>аб</sub> , МГ	М <sub>нз</sub> , МГ	%
1	150	1060	80	93	460	565	44,9
2	200	1120	20	98,3	590	450	56,7
3	250	1125	10	99,1	605	425	58,7
4	300	1130	10	99,1	590	425	58,1
5	350	1140	5	99,6	645	395	62
6	600	1135	10	99,1	700	330	68

Для цього експерименту було приготовлено 20 наважок масою 10 г знежиреного та просушеного шліфувального шламу. Візуально у шламі спостерігалися спечені грудки бурого кольору. 10 наважок були піддані помелу в більшому млині протягом 3 хвилин. Магнітовібраційна сепарація проводилася при напрузі пермеаметру 250 В та напрузі постійного

електромагніту 40 В. Абразив, що відокремився, збирався і зважувався, а магнітну фракцію піддавали хімічному травленню сталі у водному розчині соляної і сірчаної кислот. Осад, що випав на дно фільтрували, сушили та зважували.

Однаковий характер залежностей дозволяє припустити, що в одному та іншому випадках механізм руйнування залишається незмінним, однак, попередній помел підвищує якість відділення абразиву. Наприклад, при сепарації протягом 200с шламу після попереднього помелу кількість абразиву, що відокремився, в 2,5 рази більше, ніж без помелу.

## 2.5 Висновки

На підприємстві застосовується абразивний інструмент на основі білого електрокорунду, який одержують плавленням глинозему в електродугових печах. Глинозем є продуктом збагачення бокситових глин. Зміст корунду в глиноземі 98-99%, решта 1-2% - алюмінію натрію  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ . Щільність 3,90 - 3,95 г/см<sup>3</sup>. Мікротвердість 19,6 – 20,9 ГПа. Використовується в інструменті з твердим зв'язуванням (кераміка), а також найбільш ефективний при обробці чавуну, нержавіючої сталі.

Отримана МОР піддавалася регенерації у гідроциклоні. Очищене масло за своїми технологічними властивостями практично не відрізнялося від свіжоприготовленого.

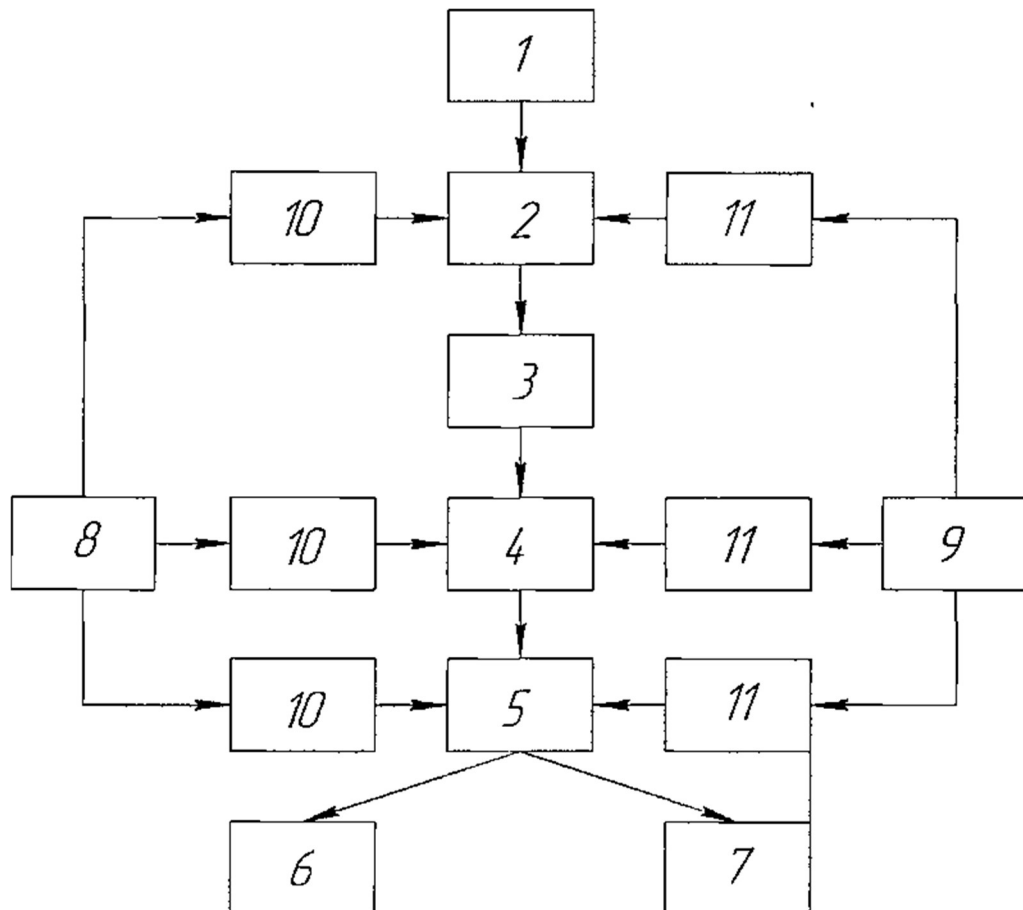
Маса абразиву, що відділилася в процесі сепарації, визначалася зважуванням на аналітичних вагах. Середня кількість домішки, визначена методом нерозчинного залишку, не перевищує 1,5% від загальної маси абразиву, що відокремився.

Однаковий характер залежностей дозволяє припустити, що в одному та іншому випадках механізм руйнування залишається незмінним, однак, попередній помел підвищує якість відділення абразиву. Наприклад, при сепарації протягом 200с шламу після попереднього помелу кількість абразиву, що відокремився, в 2,5 рази більше, ніж без помелу.

### РОЗДІЛ 3

## ТЕХНОЛОГІЯ МІГНІТОВІБРАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ ШЛАМІВ ПІДШИПНИКОВОГО ВИРОБНИЦТВА

### 3.1 Блок схема технологічного процесу сепарації

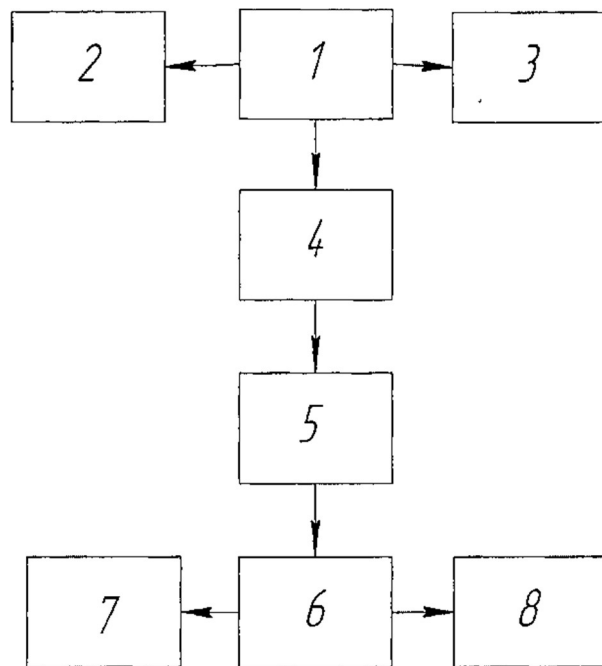


1 - нагрівальний елемент; 2 - резервуар для очищення MOR; 3 - сушильна установка; 4 - білий млин; 5 - камера поділу абразивного і металевих порошоків; 6 - накопичувач абразива; 8 - блок живлення постійного струму; 9 - блок живлення змінного струму; 10 - постійний електромагніт; 11 - пермеаметр

Рисунок 3.1 – Блок-схема магнітовібраційного сепаратора

Технологічний процес (рис. 3.2) переробки шліфувального шламу складається із 4 стадій. На першій стадії відбувається відділення в камері

очищення мастильно-охолоджувальної рідини, що підігрівається нагрівальним елементом. Резервуар розташовується в міжполюсному просторі електромагнітів, що дозволяє забезпечити безконтактне переміщення шламу в лужному розчині. У результаті поверхні утворюється густий шар МОР, який зливається у відстійник для подальшої її регенерації і проводиться промивка осаду шліфувального шламу. Знежирений шлам, що вийшов, швидко просушується.



1 - очищення МОР; 2 - регенерація МОР; 3 - злив у відстійник лужного розчину; 4 - сушіння шламу; 5 - руйнування агрегатів шламу; 6 – поділ металічної та абразивної фракцій; 7 - збір абразиву в контейнер; 8 – збір металевого порошку

Рисунок 3.2 - Блок-схема технологічного процесу сепарації

Надалі для підвищення якості сепарації проводиться подрібнення агломератів, що важко руйнуються, шліфувального шламу в бильному млині. Операція проводиться в магнітовібруючому шарі створюваному електромагнітами, так як у звичайних умовах шліфувальний шлам не



піддається просіву через розвинену поверхню частинок металу і великої міжчасткової взаємодії.

Заключним етапом є процес поділу магнітної і немагнітної фракцій шламу в магнітовібруючому шарі, утвореному в загальному міжполюсному просторі двох електромагнітів, що створюють постійне та змінне магнітне поля. Ефективність поділу визначається ступенем руйнування агрегатів дрібнодисперсної металеві фракції, обсяг яких містить абразивну крихту. Далі отримані матеріали потрапляють у накопичувачі для подальшого повернення у виробництво.

Також вона включає ряд побічних технологічних операцій, таких як регенерація МОР і масла, попереднє центрифугування за умови, що при шліфуванні застосовувалася рідка МОР, а також операції з попередньої - фасування перероблених компонентів шламу.

### **3.2 Відділення МОР від шламу та сушіння**

Першою стадією при сепарації шліфувального шламу є відділення МОР. Процес досить трудомісткий і займає великий проміжок часу від всього процесу сепарації. Відділення МОР ведеться в нагрітому лужному розчині їдкого калію (КОН). Вибір лужного способу відділення МОР обумовлений високою миючою здатністю, який добре себе показав у процесі досліджень. Шлам подається дозовано в камеру знежирення, яка заповнюється 70% розчином лугу, доводиться до кипіння і витримується одну хвилину. Шлам піддається примусовому перемішуванню в магнітовібруючому шарі для інтенсифікації процесу відділення МОР. У результаті на поверхні утворюється густий шар МОР, який збирається в відстійник для подальшої її регенерації. Далі проводиться промивання шліфувального шламу проточною водою. Осад, що вийшов, знежиреного шліфувального шламу швидко просушується в конвеєрній сушильній установці при температурі 200 – 250 °С. Необхідність швидкого сушіння очевидна, оскільки при тривалому знаходженні шламу у вологому стані

відбувається інтенсивне окиснення. Після відділення МОР і наступного сушіння шлам набуває вигляду сірувато-темної маси з вкрапленнями бурих грудок (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 - Фотографія знежиреного шламу

Під час промивання знежиреного шліфувального шламу відбувається часткове відділення абразиву, який змивається у відстійник.

Експериментально було встановлено, що максимальний вміст МОР у шліфувальному шламі ШХ15 становить 22% від загальної маси.

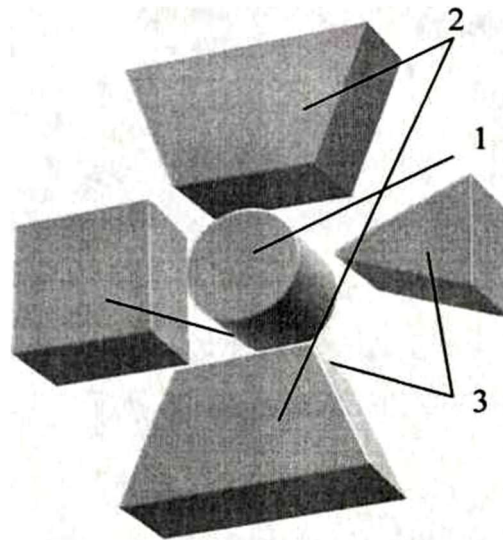
### **3.3 Подрібнення шламу в магнітовібраційному бильному млині**

Необхідність подрібнення шліфувального шламу пов'язана з руйнуванням агломератів шламу, утворених за рахунок великих сил міжчасткового взаємодії. Подрібнення шламу в магнітовібраційному бильному млині дозволяє зменшити час і підвищити якість сепарації.

Застосування МВШ у бильному млині обумовлене такими факторами: утримання в області шліфувального шламу, що підвищує інтенсивність

помелу, підвищення ефективності руйнування агломератів шламу, неможливість просіву частинок шламу через сито без застосування МВШ (навіть після помолу).

Основними елементами установки є два електромагніти із загальним міжполюсним простором, в якому розташовується помольна камера. Полюси електромагнітів розташовувалися таким чином, що силові лінії постійного та змінного магнітних полів були взаємно перпендикулярні (рис. 3.4).



1 - камера з шламом, що подрібнюється; 2 - полюси електромагніту постійного струму; 3 - полюси електромагніту змінного струму

Рисунок 3.4 - Схема розташування полюсів (вигляд зверху) електромагнітів

Шліфувальний шлам подається дозовано в область біл через завантажувальну лійку. Подрібнення шламу відбувається в результаті ударної дії біл. Процес триває 0,5 - 2 хвилин, одночасно шлам піддається просіву в МВШ через сито розміром комірки 0,63 мм.

### **3.4 Застосування абразиву, отриманого зі шліфувального шламу**

Одним із застосувань, відновленого зі шліфувального шламу абразиву, є його впровадження в ливарне виробництво як вогнетривкий

облицювальний матеріал одноразових форм для лиття за моделями, що виплавляються.

Для визначення ефективності подальшого використання одержуваного абразиву в ливарному виробництві як матеріал для облицювального шару оболонок були проведені такі дослідження. В якості зразка було виготовлено дві моделі і припаяні до одного стояка. На зразок наносили облицювальний шар промислового електрокорунду, а на другий зразок отриманого сепарацією шламу шліфувального виробництва підшипників.

У процесі лиття за моделями, що виплавляються, застосовують дві форми. Першу форму використовують для виготовлення моделей, друга форма - ливарна, що готується на основі дрібного піску і сполучної речовини. Конструкція модельної форми - прес-форми залежить від виду виробництва. Для експериментального модельного блоку було виготовлено два однакові зразки у вигляді прямокутних брусків з модельного складу, що виплавляється, основними компонентами якого є парафін і стеарин.

Модельний склад розплавлявся у водяному термостаті та заливався під тиском 0,5-0,6 МПа/мм<sup>2</sup> у прес-форму. Після цього моделі зачищалися та збиралися в блок. Складання модельного блоку виконували шляхом спайки моделей зі стояком через живильники, за допомогою спеціального паяльного обладнання.

Для виготовлення ливарної форми використовували суспензію, що складається з дрібнодисперсного кварцового піску (маршаліту) і рідкого сполучного речовини (гідролізованого етилсилікату), що готується на основі етилового спирту.

Суспензію блок наносили зануренням. Для утримання на поверхні блоку суспензії його покривали електрокорундом у киплячому шарі. Модель 1 покривалася звичайним електрокорундом, а модель 2 - отриманим при сепарації шламу. Наступні сім шарів набиралися з використанням шамотної крихти. Свіженанесене покриття не має міцності і утримується на поверхні моделі тільки завдяки змочуванню.

Для надання міцності покриттю його сушили, в процесі чого, одночасно з випаром вологи, відбувалося затвердіння сполучної речовини етилсилікату (перехід його із золю в гель). Сушіння 2-го і наступних шарів відбувалася 2-4 години при температурі 18 – 20 °С. Виплавлення моделей здійснювалося у гарячій воді. Для цього блок моделей з формою поміщався літникомовою частиною вгору в кошик, що занурюється на 10 - 15 хвилин у воду з температурою 85 – 90 °С. Після виплавлення модельного складу, модельний блок прожарювався для видалення з нього залишків модельного складу та вологи. При прожарюванні форму нагрівали до 900 – 1000 °С зневоднення і підвищення ливарних властивостей. Перед прожарюванням оболонка засипалася в опоці наповнювачем. Як наповнювач застосовувалася суміш піску і шамотної крихти.

Прожарювання тривало 4 години. Безпосередньо після прожарювання форма остигала до 500 °С і заливалася розплавом латуні, отриманим в електричній індукційній печі. Після охолодження блоку від ливок форму руйнували і очищали від слідів керамічного покриття шляхом занурення в каустичну соду на 3 - 4 години.

Для порівняння якості поверхні зразків виливків були проведені порівняльні виміри за допомогою профілометра. Отримані усереднені дані подано у таблиці 3.1.

З наведених у таблиці даних видно, що різниця як поверхня зразків мінімальна і належить до класу шорсткості ба.

Лиття за виплавленими моделями застосовують у приладобудуванні для виготовлення виливків різної складності з будь-яких сплавів масою від кількох грамів до декількох десятків кілограмів з товщиною стінок 0,4 - 20 мм, точністю розмірів до 12 квалітету і шорсткістю поверхні до 20 мкм. Даним способом лиття виготовляють виливки будь-якої конфігурації 1-5 груп складності. Точність геометричних розмірів відповідає 3-8 класам.

Таблиця 3.1 - Характеристики поверхонь виливків зразків

№	Позначення	Зразок 1	Зразок 2
1	Клас шорсткості	6а	6а
2	Середньоарифметичне відхилення, мкм	2,017	3,290
3	Висота нерівностей по 10 точках, мкм	15,1	27,67
4	Максимальна висота нерівностей, мкм	25,57	49,75
5	Висота максимального виступу, мкм	10,88	32,01
6	Глибина максимального виступу, мкм	14,683	17,761
7	Середній крок нерівностей, мкм	200,3	265,3
8	Середній крок місцевих виступів, мкм	25,63	25,7
9	Середньоарифметичний нахил профілю, градусів	3,577	3,943
10	Середньоквадратичний нахил профілю, градусів	5,355	6,62
11	Відносна довжина профілю	1,01	1,007
12	Середньоквадратичне відхилення, мкм	2,981	5,443
13	Довжина розтягнутого профілю, мкм	10010	10050
14	Середня довжина хвилі, мкм	204,7	288
15	Середньоквадратична довжина хвилі, мкм	137,1	172,7

Отримані результати показали, що застосування в якості матеріалу для облицювального шару електрокорунду, отриманого сепарацією шліфувального шламу не погіршує якість одержуваних виливків, а отже, може замінити собою дорогий абразив.

Застосування електрокорунду, витягнутого з шліфувального шламу, дозволяє отримувати виливки з шорсткістю поверхні, що задовольняють вимоги ДСТУ аналогічного промислового абразиву.

### **3.5 Застосування порошку сталі ШХ15, отриманого з шліфувального шламу**

Ринок зварювальної техніки в цілому включає два основні сектори: зварювально-присадочні матеріали та зварювальне обладнання. Останній зараз домінує, але значною залишається частка витратних матеріалів.

Експлуатаційна надійність зварних швів і стабільність їх фізико-механічних властивостей залежать від якості та сталості складу вихідної сировини, що використовується для виготовлення електродів. Для отримання високих властивостей наплавленого металу промисловістю випускається зварювальний дріт з досить низьким вмістом газів, сірки, фосфору та інших шкідливих домішок.

Отримання металу шва з мінімально можливим вмістом кисню та оксидних включень досягається шляхом одночасного розкиснення металу алюмінієм, титаном, кремнієм і марганцем, що вводяться у покриття у вигляді феросплавів.

У багатьох галузях промисловості при виготовленні відповідальних деталей із низьколегованих сталей застосовуються електроди з основним покриттям. Зварювальні електроди з фтористо-кальцієвим покриттям мають істотні переваги перед іншими при зварюванні конструкцій відповідального призначення.

У наплавленому металі спостерігається і приріст домішок кольорових металів, сірки та фосфору, порівняно з вмістом у дроті, за рахунок переходу їх з обмазування електрода. Це зумовлено тим, що в деяких феросплавах, що використовуються як складові покриття, вміст сірки і фосфору в 1,5 – 5,0 разів більше, ніж у зварювальному дроті. Частка таких компонентів у покриттях електродів зазвичай становить 15-30%.

У зв'язку з вище викладеним запропоновано, при виготовленні електродів використовувати як аналог залізного порошку порошок високоякісної сталі марки ШХ15, отриманий магнітовібраційною сепарацією шламу шліфувального виробництва підшипників.

Для дослідження впливу сепарованої сталі ШХ15 на властивості наплавленого металу було виготовлено партію електродів типу Е50А.



Таблиця 3.2 - Типові механічні властивості металу шва

Тимчасовий опір , МПа	Межа плинності, МПа	Відносне подовження, %	Ударна в'язкість, Дж/см <sup>2</sup>
540	410	29	260

Таблиця 3.3 - Типовий хімічний склад наплавленого металу, %.

С	Мп	Si	S	Р
0,09	0,83	0,42	0,022	0,024

*Особливі властивості:* забезпечує одержання металу шва з високою стійкістю до утворення кристалізаційних тріщин та низьким вмістом водню.

Пасивування сплаву проводили в муфельної печі при температурі 350 °С протягом 30 хвилин. Дослідження технологічного процесу приготування обмазувальної маси та нанесення її методом опресування для партії електродів, а також процесу збудження та горіння дуги показало, що будь-яких відмінностей при виготовленні та наплавленні металу між електродами традиційної та дослідної партій не спостерігається.

Хімічний склад металу, наплавленого електродами з покриттями, що містять порошок ШХ15 має деякі відмінності (табл. 3.4; 3.5).

Таблиця 3.4 - Хімічний склад наплавленого металу

Партія електродів	Масова частка елементів, %					
	Сг	С	Si	Мп	S	Р
Сталевий порошок ШХ15	0,07	0,10	0,04	1,1	0,028	0,024
Склад вимогам паспорту			0,2-0,5	0,6-1,2	<0,022	<0,024

Як видно з наведеної таблиці, хімічний склад металу, наплавленого електродами всіх досліджених у роботі партій відповідає вимогам паспорту

електродів. Нижчий вміст Si і Mn у металі отримано в результаті більшого залучення цих елементів у реакції розкислення металеві ванни. При цьому в наплавленому металі знижується не тільки кількість S і P, газів O<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>, а також домішок кольорових металів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Вміст газів та домішок кольорових металів у наплавленому металі

Партія електродів	Масова частка елементів, %				
	O	S	Ti	Ci	Sn
ШХ15	0,050	0,0062	0,005	0,12	0,01

Кількість кисню в металі, наплавленому електродами партії з відходами шламу, найнижча. Це свідчить про більш повне розкислення металу шва при використанні в покритті сталевих порошків, отриманих з шліфувального шламу.

Використання сталевих порошків, отриманих з шліфувального шламу, у покритті зварювальних електродів, дозволило знизити в наплавленому металі вміст газів, домішок і неметалевих включень.

Результати оцінки забрудненості неметалевими включеннями металу, наплавленого дослідними електродами наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Зміст оксидних включень у наплавленому металі

Партія електродів	Масова частка оксидних включень, %			
	Загальна кількість	Питома частка у кількості, %		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ШХ15	0,043	44,5	35,5	13,0
Дріт Св-08, Св-08Г2С	0,005-0,015	59,11	33,14	7,75

При зниженні загальної кількості включень дещо зростає питома частка силікатів складного складу із гетерогенною мікроструктурою.

Переважає формування силікатів складного складу і менший вміст кисню в металі, наплавленому дослідними електродами, при рівній вихідній кількості розкислювачів у покритті цих електродів, свідчить про більш повний і інтенсивний процес видалення продуктів реакції розкислення при використанні сталевго порошку, отриманого з шліфувального шламу.

Механічні властивості та хімічний склад наплавленого металу всіх партій електродів відповідає вимогам.

У частині контролю вважається недостатнім аналіз хімічного складу наплавленого металу, частини механічних характеристик металу шва та зварювально-технологічних властивостей електродів. До початку виробництва модернізованих електродів доцільно порівняти їх з відомими прототипами по цілому ряду наступних найважливіших характеристик: параметри стабільності горіння дуги та перенесення електродного металу; вміст у наплавленому металі водню (дифузійного та залишкового), азоту та кисню; стійкість металу шва проти кристалізаційних, гарячих (підсолідусних) та холодних тріщин; структура металу шва та навколошовної зони.

Є також група параметрів, що характеризують зручність та якість роботи зварювальника даними електродами.

Таким чином застосування у складі покриття електродів сталевго порошку отриманого сепарацією шліфувального шламу сталі марки ШХ15 дозволяє отримати наплавлений метал з більш високими пластичними властивостями.

Використання в покритті зварювальних електродів основного типу сепарованого сталевго порошку ШХ15 як аналог традиційно застосовуваних феросплавів, отриманих традиційними методами, дозволяє знизити собівартість одержуваних електродів без порушення нормативів ДСТУ даного типу зварювальних матеріалів.

### 3.6 Висновки

Кількість кисню в металі, наплавленому електродами партії з відходами шламу, найнижча. Це свідчить про більш повне розкислення металу шва при використанні в покритті сталевго порошку, отриманого з шліфувального шламу .

Використання сталевго порошку, отриманого з шліфувального шламу, у покритті зварювальних електродів, дозволило знизити в наплавленому металі вміст газів, домішок і неметалевих включень.

Кількість кисню в металі, наплавленому електродами партії з відходами шламу, найнижча. Це свідчить про більш повне розкислення металу шва при використанні в покритті сталевго порошку, отриманого з шліфувального шламу .

Використання сталевго порошку, отриманого з шліфувального шламу, у покритті зварювальних електродів, дозволило знизити в наплавленому металі вміст газів, домішок і неметалевих включень.

При зниженні загальної кількості включень дещо зростає питома частка силікатів складного складу із гетерогенною мікроструктурою.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

#### **4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії**

Представлені дослідження в даній дипломній роботі засновані на використанні засобів обчислюваної техніки, тому вся необхідна апаратура знаходиться на автоматизованих робочих місцях (АРМ) лаборантів хімічної лабораторії. В процесі роботи з системою на працівників можуть впливати наступні шкідливі виробничі фактори:

- шум на робочому місці;
- електромагнітне випромінювання;
- відсутність або нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;
- наявність напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло людини;
- психофізіологічні фактори – розумове перенапруження, напруження зору і уваги, емоційні та довготривалі статичні навантаження.

Штучне освітлення в приміщеннях здійснюється системою загального рівномірного освітлення. До загального освітлення додатково можуть бути встановлені світильники місцевого освітлення. Для виключення засвічування екранів моніторів прямими світловими потоками світильники загального освітлення встановлюють з боку від робочого місця, паралельно лінії зору оператора і стінці з вікнами. В якості джерел світла при штучному освітленні повинні використовуватись переважно люмінесцентні лампи, наприклад лампи ЛБ-80. В світильниках місцевого освітлення допускається використання ламп накаливання.

При виконанні основної роботи на комп'ютері рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50 дБА. Знизити рівень шуму в приміщеннях можна за рахунок використання звукопоглинаючих матеріалів з

максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в області частот 63-8000Гц для обшивки приміщень.

АРМ по вибухонебезпечній і пожежній небезпеці відповідають категорії Б і мають ступінь вогнестійкості П. Для тушіння пожег в приміщеннях АРМ використовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-2 та ОУ-5, перевагами яких є діелектричні властивості вуглекислоти і збереженість електронного обладнання.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника лабораторії представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника лабораторії

№ п/п	Найменування чинників	Джерела їх виникнення	Характер дії
1	Наявність шуму, вібрацій	Принтер	Негативно позначається на органах слуху. Підвищує стомлюваність
2	Недостатня освітленість	Стан систем природного і штучного освітлення	Шкодить органам зору
3	Несприятливий мікроклімат	Стан систем опалювання і вентиляції	Страждають дихальні шляхи, шкірні покриви
4	Електромагнітне випромінювання, у тому числі рентгенівське випромінювання	Монітор ЕОМ, системний блок, електропроводка живлячої мережі ЕОМ	Шкодить всьому організму. Вірогідність онкозахворювань
5	Фізична втома	Перенапруження зорового аналізатора, статичність і незручність пози	Розвиток кістково-м'язових захворювань
6	Пожежонебезпечність приміщення	Наявність горючих матеріалів і джерел спалаху	Гіпотетична небезпека опіків
7	Статична електрика	Діелектрична поверхня екрану дисплея, ЕПТ	Можливий електричний удар

Роботи операторського типу виконуються сидячи і відносяться до категорії 1а - легка фізична робота.

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Мікроклімат – це метеорологічні умови навколишнього середовища, які визначаються діючими на людину сполученнями:

- температурою навколишнього середовища;
- показником відносної вологості;
- швидкістю руху повітря;
- інтенсивністю теплового випромінювання.

Тривала дія на людину несприятливих метеорологічних умов погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці і часто призводить до різних захворювань. Метеорологічні умови вибираються відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005 – 88, виходячи з категорії тяжкості робіт, періоду року.

Оптимальні норми температури, відносній вологості, швидкості руху повітря в приміщенні і категорія робіт в холодний і теплий період року наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Допустимі і оптимальні значення параметрів метеорологічних умов

Категорія робіт за тяжкістю	Період року	Температура, °С	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря в приміщенні м/с
Допустимі значення параметрів				
1a	Холодний	19-25	75	не більше 0,1
1a	Теплий	21-27	55	0,1-0,2
Оптимальні значення параметрів				
1a	Холодний	22-24	40-60	0,1
1a	Теплий	23-25	40-60	0,1

В період роботи за дисплеєм здійснює інтенсивний вплив електромагнітне випромінювання, яке може стати причиною професійних захворювань. Комп'ютери потрапляють за визначенням в 5 - й діапазон (низькі частоти).

Основним джерелом електромагнітного випромінювання, у тому числі рентгенівського, в приміщенні є електронно - променеві трубки (ЕПТ)



моніторів. Згідно ДНАОП 0.00 -1.31-99 потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання трубки в будь - якій точці перед екраном на відстані 5 см від його поверхні не повинна перевищувати 100 мкР/год.

Заходами захисту від випромінювання є :

- використання моніторів з вбудованими захисними екранами;
- регламентовані перерви при роботі з комп'ютером на 15 хвилин, через

кожних 2 години безперервної роботи.

Засоби захисту від статичної електрики:

- вживання захисних екранів із заземленням;
- вживання спеціальних екранів (вбудованих) з провідним антистатичним покриттям (струмопровідні);
- підтримка відносної вологості в приміщенні на рівні (55 – 65)%;
- своєчасне провітрювання;
- використання антистатичних покриттів на підлогах (лінолеум),

натуральний натільний одяг.

До заходів захисту від іонізуючого рентгенівського випромінювання відносяться:

- використання внутрішнього металевого корпусу монітора;
- обмеження часу безперервного знаходження перед монітором – не більше 4 годин;
- не розміщувати ВДТ концентровано в робочій зоні.

При роботі монітора утворюються змінні електромагнітні поля.

До заходів захисту від електромагнітних випромінювань відносяться:

- захист відстанню (відстань від передньої частини монітора має бути 1,5 м, від задньої частини 2 м);
- захист часом (не більше 4годин);
- може вбудовуватися захисний екран, на який замикається металевий корпус, що забезпечує низьку радіацію, тобто зниження характеристик

електромагнітних полів до фонових значень вже на відстані 5-7 см від екрану;

- у моніторі встановлюються спеціальні елементи (компенсаційні котушки або екрануючі кільця із спеціального сплаву з високою магнітною проникністю, які розташовують довкола системи, що відхиляє, або елементів рядкової розгортки);

- необхідно також дотримувати правила організації робочого місця.

Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 і ДНАОП 0.03-3.14-85 в приміщеннях обчислювальних центрів рівні звуку та еквівалентні рівні звуку не повинні перевищувати 50 дБА. Захистом від шуму в приміщенні можуть служити кришки на принтері, зменшити шум можна також відстанню, за допомогою установки перебірки, ізоляцією принтерів в інші приміщення.

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, надаючи позитивну психологічну дію на працюючого, підвищує безпеку праці та знижує травматизм. Недостатність освітлення призводить до напруги зору, ослабляє увагу, призводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування і різь в очах, неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до нещасного випадку на виробництві або профзахворювань.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,3 – 0,5 мм) величина коефіцієнта природного освітлення повинна бути не нижчою 1,5 %, а при зоровій роботі категорії середньої точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,5 – 1 мм) величина коефіцієнта природного освітлення повинна бути не нижчою 1 %. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються

люмінесцентні лампи, які попарно об'єднуються в світильники, та які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями.

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені персональні комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт категорії високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована освітленість повинна складати 750 лк. При виконанні зорових робіт категорії середньої точності загальна освітленість повинна складати 200 лк, а комбінована освітленість повинна складати 300 лк.

### **4.3 Електробезпека**

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики.

При проектуванні систем електропостачання, монтажі силового електроустаткування і електричного освітлення в будівлях і приміщеннях для ЕОМ необхідно дотримуватися вимог нормативно - технічної документація. Комплекс необхідних заходів з техніки безпеки визначається, виходячи з видів електроустановки, її номінальної напруги, умов середи, типа приміщення і доступності електроустаткування.

Для забезпечення електробезпеки в електромережах лабораторії необхідно застосовувати їх електричне розділення. Електричний щит керування оснащують кнопкою аварійного вимикання. Обладнання вмикають послідовно від спільного вимикача до вимикачів кіл, що розгалужуються; останні в цьому випадку повинні бути вимкнені. Вимикають обладнання у зворотному порядку. Не дозволяється використовувати нестандартні запобіжники. Якщо помічено несправності в електромережі лабораторії, у тому числі і у випадку виходу з ладу електроламп, необхідно повідомити електрика.

ЕОМ є однофазним споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі із заземленою нейтраллю. АПК «Майстер»

відноситься до електроустановок до 1000 В закритого виконання, всі струмопровідні частини знаходяться в кожухах. За способом захисту людини від ураження електричним струмом, ЕОМ і периферійна техніка повинні відповідати 1 класу захисту.

Передбачені такі заходи електробезпеки: конструктивні, схемно-конструктивні, експлуатаційні.

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою захисних оболонок і ізоляції струмоведучих частин. Ступінь захисту оболонки повинен відповідати класу пожежонебезпечної зони приміщення П-Па

Схемно-конструктивні заходи призначені для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварії. У даному приміщенні в комп'ютерах застосовується занулення. Біля монітора передбачена подвійна ізоляція.

Експлуатаційні заходи. Необхідно дотримувати правила техніки безпеки при роботі з високою напругою і наступних запобіжних засобів:

- монтаж, обслуговування, ремонт і наладка ЕОМ, заміна деталей, пристосувань, блоків повинна здійснюватися тільки при повному відключенні живлення;
- заземлені конструкції приміщення мають бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику.

Виходячи з санітарних норм роботи лабораторій обчислювальної техніки її площа повинна бути визначена з умови 4,5-5 м<sup>2</sup> на одного лаборанта. В кабінеті повинна підтримуватись оптимальна температура 17-21°C, вологість 40-60 %.

#### 4.4 Протипожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі та протипожежного захисту, у тому числі організаційно - технічними заходами.

Згідно з вимогою ГОСТ 12.1.004 -91 пожежна безпека забезпечується наступними заходами:

- системою запобігання пожежам;
- системою пожежного захисту;
- організаційними заходами щодо пожежної безпеки.

Запобігання пожежі досягається наступними заходами:

- запобігання утворенню горючого середовища;
- запобігання наявності в горючій середі джерел запалення.

Для зменшення небезпеки займання в горючому середовищі передбачено:

1) використання устаткування, відповідного класу пожежонебезпечної зони П –Па: ступінь захисту електроапаратури має бути не менше IP-44, ступінь захисту світильників IP -23;

2) блискавко захист будівель, споруд і устаткування; для даного класу виробничих будівель класу пожежонебезпечної зони П-Па і місцевості з середньою грозовою діяльністю 20, тобто для умов м. Запоріжжя встановлено III категорію блискавкозахисту;

3) забезпечення захисту від короткого замикання (контроль ізоляції, використання запобіжників);

4) вживання заземлення захисного екрану для стоку статичної електрики.

У системі пожежного захисту передбачено аварійне відключення апаратів і комунікацій. Як сповіщення використовуються термоелектричні датчики диференціальної дії. При вибиранні засобу гасіння пожежі для забезпечення безпеки людини від можливості ураження електричним струмом в приміщенні передбачено використовувати вуглекислотний

вогнегасник типа ОУ-5. У приміщенні знаходиться чотири вогнегасники оскільки, загальна площа приміщення-36м<sup>2</sup>,а на кожних 20м<sup>2</sup>призначається мінімум два вогнегасника. Вогнегасники знаходиться на видному і досяжному місці. При виникненні пожежі передбачена можливість повідомлення в пожежну охорону по телефону. Ступінь вогнестійкості будівлі – II.

#### **4.5 Засоби індивідуального захисту**

До заходів щодо зменшення впливу на працівників ЕМП належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні. Організаційні заходи здійснюють органи санітарного нагляду. Вони проводять санітарний нагляд за об'єктами, в яких використовуються джерела електромагнітних випромінювань.

Інженерно-технічні заходи передбачають таке розташування джерел ЕМП, яке б зводило до мінімуму їх вплив на працюючих, використання в умовах виробництва дистанційного керування апаратурою, що є джерелом випромінювання, екранування джерел випромінювання, застосування засобів індивідуального захисту (халатів, комбінезонів із металізованої тканини, з виводом на заземлюючий пристрій). Для захисту очей доцільно використовувати захисні окуляри ЗП5-90. Скло окулярів вкрито напівпровідниковим оловом, що послаблює інтенсивність електромагнітної енергії при світлопропусканні не нижче 75%.

Взагалі, засоби індивідуального захисту необхідно використовувати лише тоді, коли інші захисні засоби неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони опромінення підвищеної інтенсивності, при ремонтних і налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій, погіршують гігієнічні умови.

У радіочастотному діапазоні засоби індивідуального захисту працюють за принципом екранування людини з використанням відбиття і поглинання ЕМП. Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і радіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину роблять із бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким проводом, або з бавовняних чи капронових ниток, спірально обвитих металевим дротом. Така тканина, наче металева сітка, при відстані між нитками до 0,5 мм значно послаблює дію випромінювання. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок не контактуючих проводів.

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії ЕМП, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру.

#### **4.6 Розрахунок захисного заземлення**

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, в лабораторії пропонується застосувати захисне заземлення.

Зробимо розрахунок захисного заземлення для лабораторії (рис. 3.1).

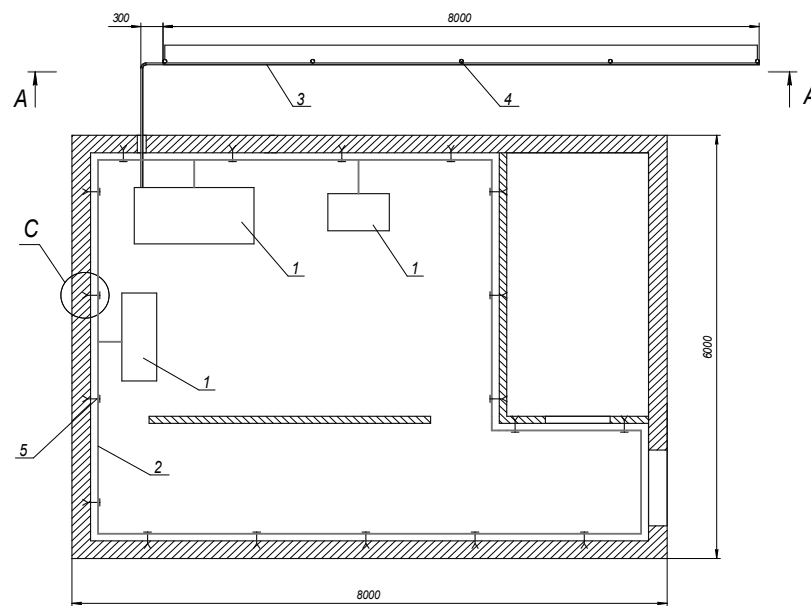
Вибираємо виносний заземлювальний пристрій, який застосовується при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В.

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних труб  $l = 2$  м із зовнішнім діаметром  $d = 0,03$  м, верхні кінці яких з'єднуються між собою за допомогою горизонтального електрода – сталевий смуги перетином  $4 \times 40$  мм, покладеної в землю на глибині  $t = 0,7$  м. Питомий електричний опір ґрунту

$\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача дорівнює  $\psi = 1,3$ . Нормативний опір заземлювача – 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикального заземлювача:

$$\rho_g = \psi_g \cdot \rho = 1,3 \cdot 100 = 130 \text{ Ом}\cdot\text{м}. \quad (4.1)$$



1 – електроустановка; 2 – внутрішній контур заземлення;  
3 – сполучна смуга; 4 – заземлювач; 5 – скоба кріплення.

Рисунок 4.1 - Схема виносного заземлення.

Опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача, заглибленого в землю на 0,7 м:

$$R_0 = \left( \frac{\rho_g}{2\pi d} \right) \left[ \ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot t + 3 \cdot l}{4 \cdot t + l} \right] = \left( \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \right) \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 2}{0,03} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 3 \cdot 2}{4 \cdot 0,7 + 2} \right] = 15,18 \text{ Ом}. \quad (4.2)$$

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів складе:

$$n = \frac{1,3 \cdot R_0}{R_n} = \frac{1,3 \cdot 15,18}{4} = 5 \text{ шт.} \quad (4.3)$$



Знаходимо відношення відстані між заземлювачами до їх довжини:

$$A = \frac{a}{l} = \frac{2}{2} = 1. \quad (4.4)$$

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_6 = 0,7$ ,  
горизонтальних заземлювачів –  $\eta_2 = 0,74$ .

Опір розтіканню струму групи вертикальних заземлювачів:

$$R_6 = \frac{R_0}{n \cdot \eta_6} = \frac{15,18}{5 \cdot 0,7} = 4,3 \text{ Ом.} \quad (4.5)$$

Довжина горизонтальної сполучної смуги:

$$l_2 = a \cdot (n - 1) = 2 \cdot (5 - 1) = 8 \text{ м.} \quad (4.6)$$

Коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача при довжині  
смуги 8 м –  $\psi_2 = 2,5$ .

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача:

$$\rho_2 = \psi_2 \cdot \rho = 2,5 \cdot 100 = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м.} \quad (4.7)$$

Опір горизонтальної смуги, поглибленої в землю на 0,7 м становить:

$$R_2 = \left( \frac{\rho_2}{2\pi \cdot l_2 \cdot \eta_2} \right) \ln \left( \frac{2l_2^2}{bt} \right) = \left( \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 0,74} \right) \ln \left( \frac{2 \cdot 8^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 56,65 \text{ Ом.} \quad (4.8)$$

Опір заземлювачів в цілому:

$$R_3 = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 + R_2} = \frac{4,3 \cdot 56,65}{4,3 + 56,65} = 4 \text{ Ом.} \quad (4.9)$$

Отриманий опір заземлювачів дорівнює номінальному (4 Ом), що відповідає вимогам ПБЕ.

Розташовуємо 5 заземлювачів в ряд на відстані 2 м один від одного.

#### **4.7 Висновки**

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА.

Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі) і важкоспалимі речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, в лабораторії пропонується застосувати захисне заземлення.

## ВИСНОВКИ

1. Виявлено та систематизовано закономірності поведінки шліфувального шламу в магнітовібруючому шарі.

2. Показано ефективність та доцільність застосування помелу знежиреного шламу сталі ШХ15 перед процесом поділу магнітної та немагнітної фракцій.

3. Запропоновано гіпотезу, що неоднорідність магнітного поля збільшується за рахунок локального градієнта, утвореного магнітними полями частинок металевої фракції шламу в МВШ. Руйнування конгломератів дозволяє підвищити якість відділення металевої фракції від абразиву за рахунок звільнення частини абразиву, що утримується всередині конгломерату.

4. На підставі проведених досліджень встановлена послідовність операцій технологічного процесу сепарації шліфувального шламу підшипникового виробництва: відділення МОР, сушіння шламу, помел у більному млині, поділ металевої та абразивної фракцій, що відрізняється від відомих методів сепарації, застосуванням магнітовібруючого шару на кожному етапі технологічного процесу. При цьому на етапі відділення МОР реалізація МВШ забезпечує безконтактне перемішування шламу в агресивному середовищі, на етапі помелу - утримання шламу в зоні обертання біл і додаткове руйнування конгломератів при інтенсивному зіткненні, на етапі поділу фракцій - руйнування конгломератів металевої фракції.

5. Розроблено методику вибору оптимальних параметрів електромагнітного поля, що забезпечують ефективне руйнування конгломератів шламу сталі ШХ15 за рахунок дії сил магнітного поля, а також інтенсифікації процесів зіткнення і, як наслідок, підвищення чистоти продуктів сепарації.

6. Проведені дослідження дозволили отримати порошок сталі ШХ15 високої чистоти, в якому вміст абразиву не перевищує 1% мас. Отриманий у результаті сепарації металевий порошок використовували при виготовленні обмазки зварювальних електродів. Випробування показали, що за технологічними властивостями отримані електроди відповідають вимогам ДСТУ, а за вмістом кисню, азоту та механічним властивостям зварювального шва (пластичності, тріщиноутворення) перевершують стандартні електроди.

7. Результати досліджень показали, що застосування абразиву, отриманого магнітовібраційною сепарацією шліфувального шламу, як матеріал для облицювального шару одноразових форм при литті по виплавлених моделях не погіршує якість одержуваних виливків. При цьому шорсткість поверхні виливків аналогічна виливкам, отриманим із застосуванням промислового абразиву.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Комаров О. С., Ковальовський В. Н., Чаус А. С. Технологія конструкційних матеріалів: підручник. К.: Нове знання, 2005. 560 с.
2. Роїк Т. А., Гавриш Ю. Ю. Нові композиційні матеріали на основі міді для важко навантажених вузлів тертя. Порошкова металургія. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №09/10. С. 40-48.
3. Косторнов А. Г. Триботехнічні характеристики композиційного матеріалу на основі заліза при температурі 500 °С. Порошкова металургія. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2014. №07/08. С. 43-50.
4. Савчук П. П. Особливості зношування модифікованих епоксидних композитів при навантаженні тертям. Порошкова металургія. Київ : ІПМ ім. І.М.Францевича НАН України, 2014. №03/04. С. 103-109.
5. Вішневська-Вейнерт Х. Тертя і знос пористих підшипників ковзання при високій температурі. вплив твердого мастила з наночасток  $\text{MoS}_2$ . Порошкова металургія. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2013. № 07/08. С. 77-84.
6. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / О.С. Комаров, В.М. Ковалевський, А.С. Чаус та ін; під загальною редакцією О.С. Комарова. Мн.: Нове знання, 2005. 560 с.
7. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 336 с.
8. Степанчук А. М., Білик І. І. Матеріали для напилювання покриттів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 236 с.
9. Куцова В. З., Котова Т. В. Наноматеріали та нанотехнології: навч. посібник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2013. Частина 1. 103 с.
10. Писаренко В. Г. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку: навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2019. 242 с.

11. Композитні матеріали: навч. посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук [и др.]. Луцьк : Видавець ФОП Теліцин О.В., 2017. 368 с.
12. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 353 с.
13. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: Увед.1999-12-01. 9 с.
14. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10 : уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010. 28 с.: «Укрархбудінформ». УКНД 91.040.99
15. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. К. : УкрНДІПБ. 2002. 44 с.
16. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. 65 с.
17. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні. Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. 143 с.