

*МЕЗЕНЦЕВА І.О., МЕЗЕНЦЕВ С.М.***ВПЛИВ НА ПРОДУКТИ ЕРОЗІЇ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ІЗ СКЛАДНОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

В роботі приведені основні види електроерозійної обробки матеріалів. Розглянуті основні фізичні процеси, які відбуваються при електроерозійній обробці деталей із складнолегованих сталей. Показано, що всі різновиди електроерозійної обробки металів засновані на використанні явища електричної ерозії. Вказано, що найбільший вплив на кількість утворення оксидів у продуктах ерозії мають властивості електричного розряду. Представлені дані електронно-мікроскопічних та петрографічних досліджень продуктів ерозії. Встановлено, що основними компонентами відходів є металева фаза, яка складає приблизно 62-65% та оксидна фаза – 25-28%. Запропоновано подальше ретельне дослідження продуктів ерозії задля визначення вибору відновника для відновлення металевої фази із продуктів ерозії.

**Ключові слова.** Електроерозійна обробка, електричний розряд, продукти ерозії, окислені відходи, легування сталей, процес відновлення.

**I. MEZENTSEVA, S. MEZENTSEV****THE INFLUENCE OF PHYSICAL PROCESSES OF ELECTRIC EROSION MACHINING OF COMPLEX ALLOYED STEELS ON EROSION PRODUCTS**

The paper presents the main types of electroerosion processing of materials. The main physical processes that occur during electroerosion processing of parts made of complex alloy steels are considered. It is shown that all types of electroerosion processing of metals are based on the use of the phenomenon of electrical erosion. It is indicated that the properties of the electric discharge have the greatest influence on the amount of oxide formation in erosion products. Data from electron microscopic and petrographic studies of erosion products are presented. It is established that the main components of the waste are the metal phase, which is approximately 62-65% and the oxide phase - 25-28%. Further careful study of erosion products is proposed to determine the choice of a reducing agent for the recovery of the metal phase from erosion products.

**Keywords.** Electroerosion processing, electric discharge, erosion products, oxidized waste, alloying of steels, recovery process.

**Вступ.** На підприємствах машинобудівного профілю одним із найбільш розповсюджених технологічних процесів є обробка матеріалів різанням. Обробка матеріалів різанням – найбільш трудомістка частина технологічного процесу виготовлення деталей, у верстатобудуванні вона досягає 60 %. Основні характеристики обробки матеріалів різанням це - висока маневреність і гнучкість, можливість виготовлення різноманітних деталей зі складними фасонними поверхнями, висока точність, велике різноманіття і невелика вартість інструменту, гнучкість обладнання при переналадці та висока продуктивність [1].

Для обробки твердих складнолегованих сталей та сплавів, які важко піддаються механічній обробці, а також деталей складної конфігурації з успіхом використовуються електрофізичні та електрохімічні методи розмірної обробки [2-4]. До електрофізичних методів обробки відноситься електроерозійний метод обробки деталей. Електроерозійний метод застосовують при обробці порожнин кувальних, вирубних, формувальних та інших штампів, прес-форм, ливарних форм, висадкового та фасонного металорізального інструменту, деталей паливної апаратури, газотурбінних двигунів, різних приладів та виробів тощо.

При електроерозійній обробці деталей утворюються відходи (продукти ерозії), які можуть накопичуватися на територіях підприємств. До складу відходів входять сполуки таких елементів, як нікель, вольфрам, молібден, кобальт, хром, титан та ін. Хімічний склад продуктів ерозії обумовлюється матеріалом, із якого виготовлена заготовка та матеріалом електроду. Основні сполуки зазначених елементів є токсичними і надають шкідливий вплив при потраплянні у ґрунт на прилеглих до підприємств територій [5, 6].

У той же час відходи електроерозійної обробки деталей із кольорових сплавів або складнолегованих сталей є цінною вторинною сировиною, яку можна використовувати як комплексну добавку для легування чавунів та сталей [7-10]. Метали, що входять до складу відходів, такі як нікель, хром, молібден, вольфрам, титан є основними легуючими елементами в сталях і чавунах [11, 12].

Для того щоб запропонувати ефективний метод утилізації відходів необхідно провести аналіз природи фізичних процесів, які відбуваються при даній обробці деталей, а також дослідити їх вплив на склад та характеристику продуктів ерозії, що при цьому утворюються.

**Аналіз літератури.** Фізичні процеси, які виникають при електроерозійному методі обробки матеріалів досліджувались вітчизняними і закордонними вченими [13-16]. Цей метод заснований на використанні перетвореної в тепло енергії електричних розрядів, що виникають між інструментом (електродом) і заготовкою. Залежно від виду електричного розряду (іскри, дуги), параметрів імпульсу струму, напруги та інших умов електроерозійна обробка включає чотири основні різновиди: електроіскрову, електро-імпульсну, електроконтактну та анодно-механічну. Кожна з цих обробок відрізняється вихідними технологічними характеристиками, обладнанням та має свою галузь промислового застосування. Проте, всі різновиди електроерозійної обробки металів засновані на використанні явища електричної ерозії.

Зазначено, що фізичний механізм електроерозійної обробки залежить від енергії імпульсу струму, що розподіляється в аноді, катоді та розрядній колоні.

Концентрований потік енергії виробляється протягом дуже короткого періоду часу. В результаті надлишок металу видаляється з робочої поверхні заготовки. Поверхня змінює свою структуру та властивості, електрод зношується, а робоча рідина розкладається. Під час видалення з поверхні надлишковий метал переходить у рідкий або газоподібний стан, або залишається в твердому стані.

Кількість надлишкового металу, що видаляється, в газоподібному стані збільшується зі зменшенням часу імпульсу струму при незмінній енергії імпульсу. Робоча рідина збирається у розрядного каналу і випаровується. Утворюється газове середовище під тиском у сотні атмосфер. У результаті робоча поверхня піддається сильному механічному впливу. Наступна конденсація металовмісної пари призводить до значного зниження тиску газового середовища до значень нижче атмосферного. Перегрітий розплавлений метал із поверхні починає кипіти. Відбувається вибухове розбризкування металу в повітря. Такий же процес призводить до формування твердих циліндрів з залишками рідкого металу, що залишається на поверхні.

Розплавлений метал окислюється серед водяної пари. Тонка плівка оксидів, що утворилися, покриває відносно великі гранули продуктів ерозії, захищаючи їх від подальшого окислення, так що вміст оксидів всередині них невеликий. Найменші гранули, що мають розмір 0,1 - 1 мкм, окислюються повністю. Зважаючи на те, що оксиди, що утворилися, знаходяться в аморфному стані, їх неможливо виявити рентгенівським методом, проте металографічне дослідження показує багато точкових включень оксидної фази. Таким чином, оксидна фаза присутня у вигляді плівок на поверхні матеріалу, що утворився, і у вигляді крапель на ньому.

Кількісний вміст оксидів залежить від властивостей електродних матеріалів і від середовища, в якому вони знаходяться. Однак найбільший вплив надають властивості електричного розряду, а саме, їх вміст значно зростає зі збільшенням періоду розряду при незмінній силі розряду. Утворення оксидів відбувається за рахунок взаємодії кисню середовища, в якому відбувається обробка, з поверхнею розплавлених окремих більших або дрібних частинок, які викидаються з ураженої розрядом поверхні електрода. Конденсація речовини з газоподібного стану, металева пара і кисень, на поверхні частинки сприяє зростанню кристалів оксидів на поверхні частинки в процесі її кристалізації. Приблизна кількість оксидів, які утворилися при електроерозійній обробці при використанні у якості електрода армо заліза приведено на рисунку 1.

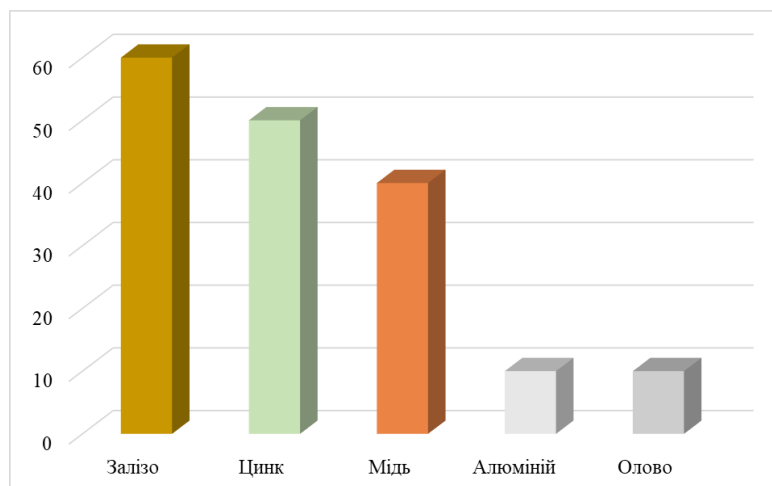


Рис.1 – Приблизна кількість оксидів (%) у продуктах ерозії при використанні у якості електродів армо заліза

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження впливу фізичних процесів електроерозійної обробки деталей із складнолегованих сталей на продукти ерозії для визначення ефективного методу їх утилізації.

**Матеріали і методи дослідження.** Дослідження базується на джерелах інформації, в яких надаються відомості щодо впливу фізичних процесів, що відбуваються при електроерозійній обробці, на характеристику та склад продуктів ерозії.

Відходи, що утворюються при електроерозійній обробці деталей із складнолегованих сталей, є гранулами, які були досліджені за допомогою електронно-мікроскопічного та петрографічного методів.

Електронно-мікроскопічний аналіз – один із методів дослідження мікроструктури твердих тіл, їх електричних та магнітних полів, локального складу із застосуванням сукупності електронно-зондових методів.

Петрографічний метод - засновано на порівнянні речовинного складу, структурних і текстурних особливостей, кольору, наявності характерних тільки їм властивих мінералів у пластах порід. Фазовий склад продуктів ерозії вивчали на полірованих шліфах під металографічним мікроскопом. Зразки для аналізу готували таким чином: вибирали різні ділянки продуктів ерозії та готували полірований шліф.

Були отримані світліни продуктів ерозії проведених досліджень, які потім були проаналізовані та описані за допомогою відповідних спеціалізованих даних.

### Результати досліджень.

Вторинний матеріал, що утворився з гранульованих відходів електроерозійної обробки, в цілому є неоднорідною пористою речовиною сірого кольору, що має багато включень блискучого металу. При візуальному розгляді видно, що на зламі гранул безліч коричневих частинок, які, ймовірно, є оксидами заліза. Форма гранульованих відходів середнього та великого розмірів близька до сферичної. Гранульовані відходи є комплексним агломератом. Для більш досконалого використання відходів при легуванні сталей та чавунів виникає потреба у більш ретельному їх дослідженні.

Був проведений електронно-мікроскопічний аналіз продуктів ерозії, який дозволив отримати світліни зразків із збільшеною структурою у 50 та 200 разів. Зустрічаються частинки досить великих розмірів 300-500 мкм, переважають частинки близько 1 мкм і є також дуже дрібні частинки 0,01 мкм, які утворюють пухку пористу масу.

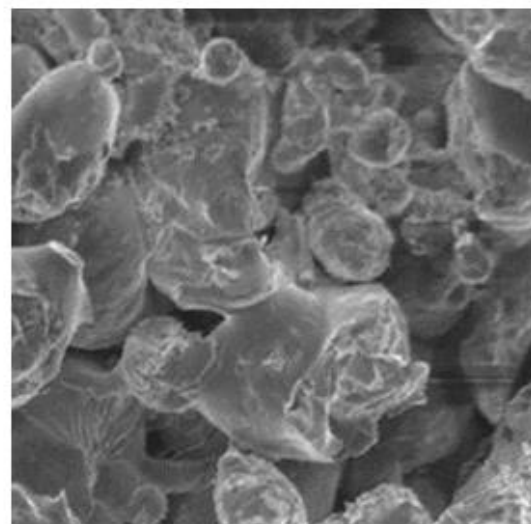
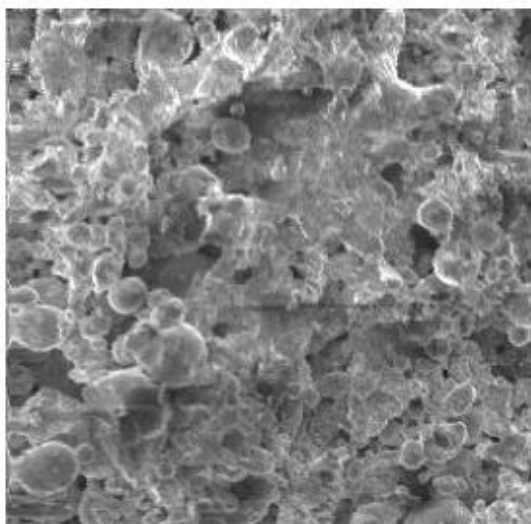


Рис.2 – Електронно-мікроскопічний аналіз продуктів ерозії

Окрім електронно-мікроскопічних досліджень відходів були проведені петрографічні дослідження. Фазовий склад відходів вивчали на полірованих шліфах на металографічному мікроскопі. Петрографічні дослідження під мікроскопом показані на рисунку 3.

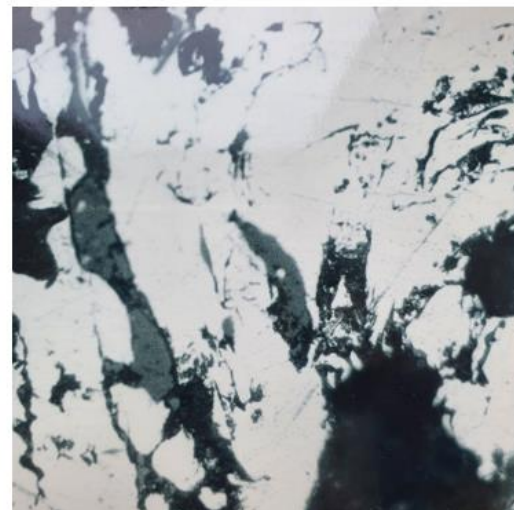
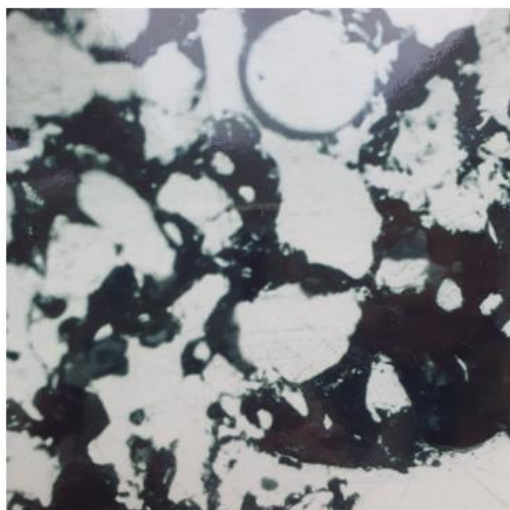


Рис.3 – Петрографічні дослідження під мікроскопом

### Обговорення результатів.

При електронно-мікроскопічних дослідженнях було встановлено, що у відходах електроерозійної обробки містяться частинки, які мають кулясту або близьку до неї форму (рис. 2). Спостерігається чітко виражена межа переходу від однієї ділянки до іншої. Переважна більшість гладких оплавлених форм свідчить

про визначальну роль теплових факторів у процесі електроерозійної обробки. Так, великі та середніх розмірів частинки утворені з рідкого стану, а дрібні частинки найімовірніше сформовані з пароподібного стану та в основному складаються з оксидів металів, що підтверджується приведеними літературними даними.

У досліджених пробах виявлені металева фаза та оксидна фаза. Металева фаза спостерігалася у вигляді округлих, витягнутих неправильної форми утворень (рис. 3). Оксидна фаза чітко видно в центрі зразка та по краях металевої фази. Темні ділянки є пори та тріщини, розміри яких сягають 300 мкм. Також явно простежується кругла та овальна форма металевої фази. Оксидна фаза розташована за межами металевої фази. Розмір частинок металевої фази становить від 20 мкм до 200 мкм, максимальний розмір частинок становить 500 мкм.

Аналіз отриманих даних показує, що основними компонентами відходів є металева фаза, яка складає приблизно 62-65% та оксидна фаза – 25-28%. Це дає підставу припускати можливість утилізації цього виду відходів на металургійних заводах безпосередньо в плавці сталі або чавуну. Легуючі елементи у вигляді оксидних сполук можуть бути вилучені в процесі відновлювальної плавки. Наприклад, автори робіт [10] розглядають технологію переробки, яка полягає в процесі двох етапного відновлення гранульованих окислених відходів і подальше використання частково відновлених гранул в якості легуючої присадки при плавці чавуну.

Для проведення повного процесу відновлення металів із відходів потрібно виконати хімічний аналіз елементів для подальшого визначення типу та кількості відновника. Для визначення напрямку та повноти протікання реакцій відновлення можна скористатися термодинамічними розрахунками, зокрема розрахувати зміну вільної енергії Гіббса [17, 18]. Розрахунок зміни вільної енергії Гіббса необхідно зробити для оксидів, що найбільш ймовірно утворюються при електроерозійній обробці. Результати досліджень дозволять зробити висновок про те, який відновник є найкращим та скорегувати відповідно температуру та тривалість протікання процесу відновлення.

**Висновки.** Виходячи із результатів досліджень можна сказати:

1. Найбільший вплив на кількість оксидів у продуктах ерозії надають властивості електричного розряду. Вміст оксидів значно зростає зі збільшенням періоду розряду при незмінній силі розряду.
2. Електронно-мікроскопічні та петрографічні дослідження дозволили визначити форму та розмір частинок, які утворюють продукти ерозії, а також зробити висновки щодо фазного складу. Металева фаза складає приблизно 62-65%, а оксидна фаза – 25-28%.

Проведення попередніх досліджень показало присутність у складі продуктів ерозії значної кількості оксидної фази, але питання потребує подальшого ретельного дослідження щодо хімічного складу продуктів ерозії та вибору відновника для відновлення металевої фази із продуктів ерозії.

При цьому ми вважаємо, що слід звернути увагу на термодинамічні розрахунки щодо визначення напрямку та повноти протікання реакцій відновлення для різних елементів та певних видів відновників.

Одержання із даних відходів комплексних легуючих добавок є дуже актуальним завданням, тому що це дозволить знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище та здійснити повернення цінних елементів у виробництво.

#### Список літератури

1. Пахаренко В.Л., Марчук М.М., Пахаренко О.В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство (обробка металів різанням). Навчальний посібник / В.Л.Пахаренко, М.М. Марчук, О.В. Пахаренко. – 2 -е вид., перероб. і доповн. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), 2018. – 252 с.
2. Набока О. В. Фактори впливу на ефективність сучасної електроерозійної обробки / О. В. Набока, В. А. Фадеев, Ф. М. Євсюкова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Techniques in a machine industry : col. of sci. papers. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – № 2 (8). – С. 122-125. DOI: 10.20998/2079-004X.2023.2(8).14
3. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів : конспект лекцій / укладачі: Б. А. Ступін, О. В. Івченко, О. Д. Динник, Р. М. Зінченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 149 с.
4. Носуленко В. І. Вплив характеру течії робочої рідини на якість обробки в умовах розмірної обробки металів електричною дугою / В. І. Носуленко, В. М. Шмельов, А. А. Пашенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії = Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy: зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – № 11 (1336). – С. 53-57.
5. Крайнюк Є.В., Ольгінський А.Г. Вміст важких і токсичних металів у ґрунті / Є.В. Крайнюк, А.Г.Ольгінський // Людина і довкілля. 2002. - Випуск 3. - С.26-31.
6. Горбенко В. В. Проблеми та перспективи комплексної утилізації відходів електроерозійної обробки, що містять нікель, на підприємствах Харківського регіону / В. В. Горбенка, Л. П. Гуренко, І. О. Винник // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. тр. Темат. вип. : Хімія, хімічна технологія та екологія. - Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – № 38. – С. 68-72. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/32531>
7. Дьомін Д. О. Можливості заміни феросплавів, що застосовуються для легування чавуну, комплексною присадкою на основі нікелю / Д. О. Дьомін, В. В. Горбенко, І. О. Винник // Процеси лиття. - 2002. - № 1. - С. 24-27.
8. Горбенко В. В. Отримання комплексних легуючих добавок з відходів, що містять нікель, після електроерозійної обробки деталей / В. В. Горбенка, І. О. Винник // Проблеми механіки гірничо-металургійного комплексу: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., р. Дніпропетровськ, 28-31 травня 2002 р. - Дніпропетровськ: НГУ, 2002. - С.106-109.
9. Мезенцев С. М. Шляхи отримання феросплавів із відходів машинобудівних підприємств [Електронний ресурс] / С. М. Мезенцев, О. І. Пономаренко, І. О. Мезенцева, Н. С. Євтушенко // Литво. Металургія. 2024 : матеріали 20-ї Ювілейної Міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 травня 2024 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.] ; заг. ред. О. І. Пономаренко. – Електрон. текст. дані. – Харків ; Київ, 2024. – С. 160-162.
10. Sokolov, V.M. Processing the Ni- And Cr-bearing oxidized scarfing granulates with liquid cast iron / Sokolov, V.M., Gorbenko, V.V., Vinnik, I.A., Mekhed, O.M. // TMS Fall Extraction and Processing Division: Sohn International Symposium, 2006, 1, p. 453-462.

11. Мезенцев С.М. Особливості легування чавунів та сталей відходами машинобудівних підприємств / С. М. Мезенцев, О.І. Пономаренко, Н.С. Євтушенко, І.О. Мезенцева // Литво. Металургія. 2023 [Електронний ресурс] : матеріали 19-ї, 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 10-12 жовтня 2023 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.] ; заг. ред. О. І. Пономаренко. – Електрон. текст. дані. – Харків ; Київ, 2023. – С. 135-137.
12. Мезенцева І. О. Обробка рідкого чавуну відходами, що містять нікель / І. О. Мезенцева, В. В. Горбенко // Східноєвропейський журнал передових технологій = Eastern-European journal of enterprise technologies. - 2011. - № 3/1. - 59-63 с.
13. Ceritbinmez, F., & Kanca, E. (2021). The Effects of Cutting Parameters on the Kerf and Surface Roughness on the Electrode in Electro Erosion Process. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 9(2), 335-346. <https://doi.org/10.29109/gujsc.913417>
14. Abdugarimov, E.T., Mirkarimov, A.S. & Zaripov, A.A. Electroerosion treatment of dielectric materials. Surf. Engin. Appl.Electrochem. 43, 77–82 (2007). <https://doi.org/10.3103/S1068375507020019>
15. Головка Л. Ф. Електроерозійна обробка фасонних отворів множинним розрядом [Електронний ресурс]/Л. Ф. Головка, О. З. Чумаченко // Метал та лиття України. - 2013. - № 3. - С. 33-37. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MLU\\_2013\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MLU_2013_3_8)
16. Щерба А.А., Подільцев А.Д., Кучерява І.М. Дослідження електроерозійних явищ при протіканні імпульсного струму між струмопровідними гранулами з урахуванням плазмового контактного проміжку // Технічна електродинаміка. - 2002. - №4. - С. 3–7.
17. Симонов В.К., Гришин О.М., Івашченко В.П. Розрахунки з теорії процесів відновлення / Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: НМетАУ. 2006.-48с.[https://nmetau.edu.ua/file/simonov\\_raschety\\_po\\_vosstanovleniyu.2006.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/simonov_raschety_po_vosstanovleniyu.2006.pdf)
18. Теорія металургійних процесів / В.Б. Охотський, О.Л. Костолов, В.К. Симонов та ін.-К.:ІЗМН, 1997.-512с. <https://www.twirpx.com/file/1749107>

#### Bibliography (transliterated):

1. Pakharenko V.L., Marchuk M.M., Pakharenko O.V. Tekhnologiya konstruktivnykh materialiv ta materialoznavstvo (obrobka metaliv rizanniam). Navchalnyi posibnyk / V.L.Pakharenko, M.M. Marchuk, O.V. Pakharenko. – 2 -e vyd., pererob. i dopovn. – Rivne: Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya (NUVHP), 2018. – 252 s.
2. Naboka O. V. Faktory vplyvu na efektyvnist suchasnoi elektroeroziinoi obrobky / O. V. Naboka, V. A. Fadeev, F. M. Yevisukova // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser. : Tekhnologii v mashynobuduvanni : zb. nauk. pr. = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Techniques in a machine industry : col. of sci. papers. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2023. – № 2 (8). – S. 122-125. DOI: 10.20998/2079-004X.2023.2(8).14
3. Netradytsiini metody mekhanichnoi obrobky materialiv : konspekt lektsii / ukladachi: B. A. Stupin, O. V. Ivchenko, O. D. Dynnyk, R. M. Zinchenko. – Sumy : Sumskiy derzhavnyi universytet, 2016. – 149 s.
4. Nosulenko V. I. Vplyv kharakteru tekhii robochoi ridyny na yakist obrobky v umovakh rozmirnoi obrobky metaliv elektrychnoi duhoiu / V. I. Nosulenko, V. M. Shmelov, A. A. Pashchenko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser. : Innovatsiini tekhnologii ta obladnannya obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhii = Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy: zb. nauk. pr. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2019. – № 11 (1336). – S. 53-57.
5. Krainiuk Ye.V., Olhinskiy A.H. Vmist vazhkykh i toksychnykh metaliv u grunti / Ye.V. Krainiuk, A.H.Olhinskiy // Liudyna i dovkillia. 2002. - Vypusk 3. - S.26-31.
6. Horbenko V. V. Problemy ta perspektyvy kompleksnoi utylizatsii vidkhdov elektroeroziinoi obrobky, shcho mistiat nikel, na pidpriemstvakh Kharkivskoho rehionu / V. V. Horbenko, L. P. Hurenko, I. O. Vynnyk // Visnyk Nats. tekhn. un-tu «KhPI»: zb. nauk. tr. Temat. vyp. : Khimiia, khimichna tekhnologiya ta ekolohiya. - Kharkiv: NTU "KhPI". – 2004. – № 38. – S. 68-72. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/32531>
7. Domin D. O. Mozhyvosti zaminy ferosplaviv, shcho zastosovuiutsia dlia lehuвання chavunu, kompleksnoiu prysadkoiu na osnovi nikeliu / D. O. Domin, V. V. Horbenko, I. O. Vynnyk // Protsezy Iytia. - 2002. - № 1. - S. 24-27.
8. Horbenko V. V. Otrymannia kompleksnykh lehuiuchykh dobavok z vidkhdov, shcho mistiat nikel, pislia elektroeroziinoi obrobky detalei / V. V. Horbenko, I. O. Vynnyk // Problemy mekhaniky hirnycho-metalurhiinoho kompleksu: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf., r. Dnipropetrovsk, 28-31 travnia 2002 r. - Dnipropetrovsk: NHU, 2002. - S.106-109.
9. Mezentsev S. M. Shliakhy otrymannia ferosplaviv iz vidkhdov mashynobudivnykh pidpriemstv [Elektronnyi resurs] / S. M. Mezentsev, O. I. Ponomarenko, I. O. Mezentseva, N. S. Yevtushenko // Lytvo. Metalurhiia. 2024 : materialy 20-yi Yuvileinoi Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 28-30 travnia 2024 r. / Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t" [ta in.] ; zah. red. O. I. Ponomarenko. – Elektron. tekst. danі. – Kharkiv ; Kyiv, 2024. – S. 160-162.
10. Sokolov, V.M. Processing the Ni- And Cr-bearing oxidized scarfing granulates with liquid cast iron / Sokolov, V.M., Gorbenko, V.V., Vinnik, I.A., Mekhed, O.M. // TMS Fall Extraction and Processing Division: Sohn International Symposium, 2006, 1, p. 453–462.
11. Mezentsev S.M. Osoblyvosti lehuвання chavuniv ta stalei vidkhdomy mashynobudivnykh pidpriemstv / S. M. Mezentsev, O.I. Ponomarenko, N.S. Yevtushenko, I.O. Mezentseva // Lytvo. Metalurhiia. 2023 [Elektronnyi resurs] : materialy 19-yi, 12-yi Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 10-12 zhovtnia 2023 r. / Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t" [ta in.] ; zah. red. O. I. Ponomarenko. – Elektron. tekst. danі. – Kharkiv ; Kyiv, 2023. – S. 135-137.
12. Mezentseva I. O. Obrobka ridkoho chavunu vidkhdomy, shcho mistiat nikel / I. O. Mezentseva, V. V. Horbenko // Skhidnoevropeyskyi zhurnalпередoviykh tekhnologii = Eastern-European journal of enterprise technologies. - 2011. - № 3/1. - 59-63 s.
13. Ceritbinmez, F., & Kanca, E. (2021). The Effects of Cutting Parameters on the Kerf and Surface Roughness on the Electrode in Electro Erosion Process. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 9(2), 335-346. <https://doi.org/10.29109/gujsc.913417>
14. Abdugarimov, E.T., Mirkarimov, A.S. & Zaripov, A.A. Electroerosion treatment of dielectric materials. Surf. Engin. Appl.Electrochem. 43, 77–82 (2007). <https://doi.org/10.3103/S1068375507020019>
15. Holovko L. F. Elektroeroziina obrobka fasynykh otvoriv mnozhynnym rozriadom [Elektronnyi resurs]/L. F. Holovko, O. Z. Chumachenko // Metal ta lyttia Ukrainy. - 2013. - № 3. - S. 33-37. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MLU\\_2013\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MLU_2013_3_8)
16. Shcherba A.A., Podiltsev A.D., Kucheriava I.M. Doslidzhennia elektroeroziinykh yavyshech pry protikanni impulsnoho strumu mizh strumoprovodnymy hranulamy z urakhuvanniam plazmovoho kontaktnoho promizhku // Tekhnichna elektrodynamika. - 2002. - №4. - S. 3–7.
17. Symonov V.K., Hryshyn O.M., Ivashchenko V.P. Rozrakhunky z teorii protsesiv vidnovlennia / Navchalnyi posibnyk.- Dnipropetrovsk: NMetAU. 2006.-48s.[https://nmetau.edu.ua/file/simonov\\_raschety\\_po\\_vosstanovleniyu.2006.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/simonov_raschety_po_vosstanovleniyu.2006.pdf)
18. Teoriia metalurhiinykh protsesiv / V.B. Okhotskiy, O.L. Kostolov, V.K. Symonov ta in.-K.:IZMN, 1997.-512s. <https://www.twirpx.com/file/1749107>

Надійшла (received) 08.01.2025

Відомості про авторів / About the Authors

**Мезенцева Ірина Олександрівна (Mezentseva Iryna)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки

праці та навколишнього середовища Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7695-7982>; e-mail: [Iryna.Mezentseva@khpi.edu.ua](mailto:Iryna.Mezentseva@khpi.edu.ua).

**Мезенцев Сергій Миколайович (Mezentsev Serhii)** – аспірант кафедри ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4914-6614>; e-mail: [Serhii.Mezentsev@mit.khpi.edu.ua](mailto:Serhii.Mezentsev@mit.khpi.edu.ua).