

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НАНО- І МІКРОПОРОШКІВ МЕТАЛІВ

А. В. ЖИЛЬЦОВ, доктор технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

В. В. КОРОБСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

С. О. ЛАПШИН, майстер виробничого навчання
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

E-mail: lapschinserega@ukr.net

В. В. ОЛІШЕВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
Національний університет харчових технологій

Анотація. *Наведено огляд технологічних операцій отримання нано- і мікропорошків металів. Для отримання зазначених матеріалів використовуються технологічні рішення, одним з яких є підводна об'ємно-електроіскрова обробка матеріалів. Традиційні способи отримання порошкових матеріалів, а саме: фізичні та хімічні, мають ряд недоліків, одним з яких є відсутність широких технологічних можливостей.*

Метою дослідження є створення технологічного комплексу об'ємного електроіскрового диспергування для отримання нано- і мікропорошків металів.

Дослідження електроіскрового синтезу продуктів диспергування гранул металів проводили на технологічному комплексі, основним елементом якого є генератор розрядних імпульсів, силова частина якого побудована на тиристорній елементній базі. Як накопичувачі енергії використовували конденсатори ємністю 50...600 мкФ. Напруга зарядки конденсатора становила 110...190В, частота розрядних імпульсів – 0,025...0,5 кГц.

Обробку результатів дослідження здійснювали методами математичної статистики з використанням пакету прикладних програм «Statistika» (версія 10.0).

Результати дослідження свідчать, що найбільше значення концентрації колоїдної фракції досягається при миттєвих значеннях напруги 160 В, ємності робочого конденсатора – 600 мкФ та частоті 0,1 кГц.

Ключові слова: *електротехнологічний комплекс, об'ємно-електроіскрова обробка матеріалів, дисперсність порошку, колоїдна фракція, нанокompозити*

Актуальність. Розвиток сучасних індустріальних технологій знаходиться на порозі шостого технологічного укладу (технологічної революції). Сучасна парадигма використання матеріалів передбачає не тільки зниження вартості матеріалів, але й забезпечення цілого ряду його специфічних властивостей.

Очевидно, що подібні властивості можуть бути досягнуті за рахунок використання надзвичайних технологічних рішень, одним з яких є об'ємно-електроіскрова обробка металів для отримання дисперсних матеріалів [6]. Традиційні способи отримання таких матеріалів, а саме: фізичні та хімічні, потрібно переглянути та ревізувати, оскільки вони мають суттєві очевидні недоліки та не забезпечують широких технологічних можливостей [7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш простим у технологічному виконанні вважається механічне подрібнення речовини. Дисперсність порошку, що при цьому досягається, має обмеження завдяки особливості процесу.

Як один зі способів отримання порошкових матеріалів розглядається метод електричного вибуху провідника (ЕВП) [1]. За своєю природою ЕВП, як метод отримання мікропорошків, поєднує в собі фізичні явища, такі як вибухове плавлення провідника та випаровування під дією електричного струму. Реалізація даного методу призводить до ускладнення подальшого збору кінцевого продукту в об'ємі вибухової камери. Даний спосіб отримання не дозволяє синтезувати тверду фазу в промислових обсягах.

Як один із найбільш продуктивних методів отримання слід відзначити плазмохімічний синтез, в основу якого закладено процес плазмоутворення за допомогою електродугових плазмотронів [5]. Особливістю даного методу, є те, що утворюються частинки, які являють собою не металеву фазу, а переважно оксиди металів.

Крім того, для зазначених вище методів здебільшого після утворення мікро- і нанофракцій відбувається їх закономірна консолідація, що ускладнює їх застосування. Отже, для вирішення даної проблеми необхідно передбачати формування дисперсно-ізолюваного стану (можливо за рахунок пасивації поверхні), наприклад, за рахунок середовища диспергування.

Мета дослідження – створення технологічного комплексу об'ємного підводного електроіскрового диспергування для отримання нано- і мікрофракцій матеріалів.

Матеріали і методи дослідження. Як об'єкти дослідження використовувалися такі модельні метали: алюміній, мідь, залізо, а методологічне дослідження проводиться шляхом реєстрації осцилограм струму та напруги.

Дослідження електроіскрового синтезу продуктів диспергування гранул алюмінію проводили на технологічному комплексі, основним елементом якого є генератор розрядних імпульсів (рис. 1). Силова частина комплексу збудована на тиристорах типу ТБ-320. Як накопичувач енергії використовували конденсатори ємністю 50...600 мкФ типу К75-17. Подача імпульсного струму здійснювалася на електроди розрядних камер, які виготовлені з алюмінію, а робочий простір заповнений струмопровідним

шаром алюмінієвих гранул. Процес отримання передбачав об'ємно електроіскрове диспергування гранул в низькопровідному водному середовищі [3, 4].

Опрацювання результатів дослідження здійснювали методами математичної статистики з використанням пакета прикладних програм «Statistika» (версія 10.0).

Результати досліджень та їх обговорення. Для того, щоб об'єднати різні фізичні явища в один технологічний процес, було запропоновано використання підводного електроіскрового диспергування з отриманням колоїдної форми металу.

Суть об'ємного електроіскрового диспергування полягає у формуванні одночасно існуючих багатоканальних швидко мігруючих електроіскрових розрядів у шарі металевих гранул між електродами. Електроіскровий синтез продуктів диспергування гранул алюмінію проводився на технологічному комплексі, загальний вигляд якого наведено на рис. 1.



Рис. 1. Електротехнічний комплекс отримання нано- і мікропорошків металів:

1— генератор розрядних імпульсів; 2 — розрядна камера; 3 — осцилограф

Подача на електроди одного потужного розрядного імпульсу викликає одночасне іскріння між багатьма гранулами.

Іскріння призводить до електричної ерозії матеріалу гранул і утворення мікро- і наноструктурного порошку, який за рахунок гідродинамічної складової процесу або примусової механічної активації

розрядної зони виноситься з шару гранул. Кількість розрядів, їх потужність, тривалість і частота повторення впливають на продуктивність утворення порошку і його дисперсність [4].

У результаті опрацювання та аналізу дослідних даних можна констатувати наступне: вигляд поверхні відгуку свідчить про те, що найбільше значення концентрації колоїдної фракції (K_{ϕ} , г/дм³) досягалося при миттєвих значеннях напруги $U=160\text{В}$ (рис. 2). Тривалість проведення обробки гранул закономірно збільшувало значення K_{ϕ} , проте визначальним фактором є напруга U на електродах розрядної камери, що описується рівнянням регресії:

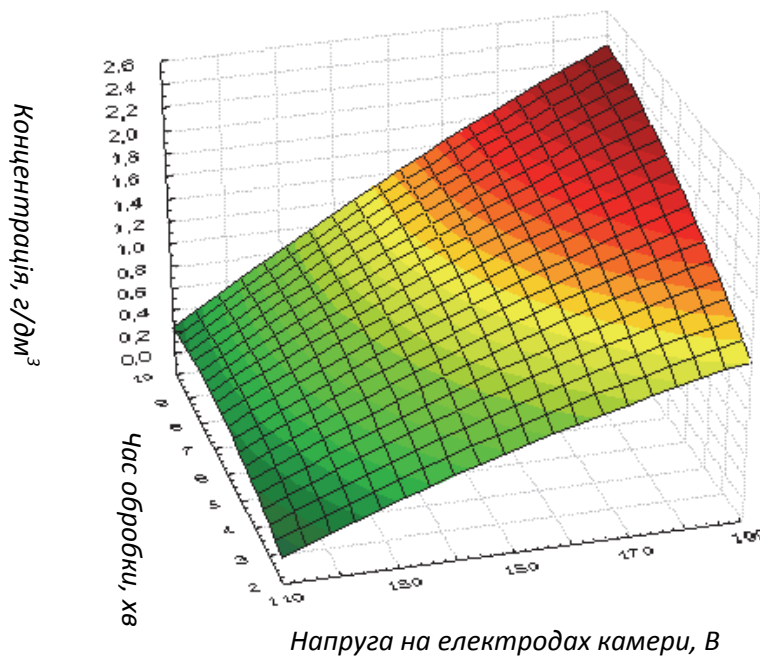


Рис. 2. Аналіз рівня регресії та поверхні відгуку

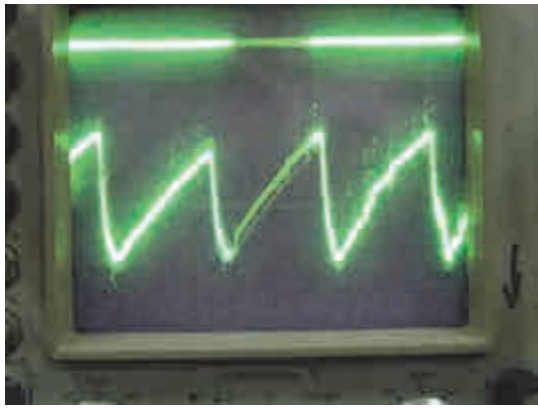
$$K_{\phi} = -2,7649 + 0,0297x - 0,0083y - 5,9375E-5x^2 + 0,0014xy - 0,0103y^2, \quad (1)$$

де x – тривалість проведення обробки гранул, хв.;

y – напруга на електродах камери, В.

Слід нагадати, що процес електроіскрової обробки проводиться в шарі струмопровідних гранул, які мають максимальну можливу кількість ступенів свободи, а, отже, існує висока ймовірність порушення загальної феноменології процесу.

Феноменологія даного процесу достатньо докладно викладена в роботі [3] та працях інших дослідників, проте деякі питання залишаються дискусійними і потребують свого подальшого дослідження. На підтвердження даного тезису, на рис. 3 наведені осцилограми напруги, які свідчать, що в процесі об'ємної електроіскрової ерозії в шарі алюмінієвих гранул, можуть спостерігатися два режими роботи: а – нормальний режим; б – режим гармонійних сплесків напруги. Ці сплески напруги зумовлені утворенням сплаву гранул, які можуть призвести до аварійних режимів роботи установки.



a



б

Рис. 3. Осцилограми напруги при отриманні гідроксиду алюмінію

Як видно з осцилограм, на початковій стадії накопичення заряду в конденсаторі миттєве значення напруги доходить до значення $U_0 = 160 \text{ В}$ і прямо пропорційно залежить від робочої ємності накопичувача енергії, тривалості його накопичення та коефіцієнта заповнення. У наступній стадії процесу настає пробій іскрового проміжку шару алюмінієвих гранул тривалістю приблизно 15^{-7} с , протягом якого формується канал розряду. Після цього спад напруги в каналі розряду різко сповільнюється за рахунок нелінійності його опору і спостерігається імпульс струму.

Висновки і перспективи. Завдяки проведеним дослідженням параметрів підводного електроіскрового розряду встановлено, що найбільше значення концентрації колоїдної фракції досягається при миттєвих значеннях напруги 160В, ємності робочого накопичувача енергії 600 мкФ, та частоті розрядних імпульсів 0,1 кГц.

Встановлено, що миттєве значення напруги прямо пропорційно залежить від робочої ємності накопичувача енергії та коефіцієнта заповнення.

Список літератури

1. Бурцев В. А. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках / В. А. Бурцев, Н. В. Калинин, А. В. Лучинский. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 289 с.
2. Розрядно-імпульсна система виробництва іскроерозійних порошків металів з високою електропровідністю / В. В. Коробський, А. В. Жильцов, С. О. Лапшин, Г. А. Гранкін // Наук. вісн. НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". Вип. № 242. – 2016. – С. 210–217.
3. Синтез ультра- и наноразмерных частиц биогенных металлов методом объемного электроискрового диспергирования / К. Г. Лопатько, Е. Г. Афтандилианц, А. А. Щерба [и др.] // Вісник ХНТУ сільського господарства. – Х. : ХНТУ, 2010. – Вип. № 96. – С. 25–35.
4. Муратов В. А. Полупроводниковые преобразователи для питания технологических аппаратов электроэрозионного диспергирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.12. – Муратов В. А. – К., 1986. – 279 с.
5. Екологічно чиста технологія плазмового диспергування електропровідних матеріалів з одностадійним циклом виготовлення суспензій

наночасток у широкому спектрі рідких основ / М. В. Новіков, Л. Д. Кістерська, В. В. Садохін [та ін.] // Порошкова металургія. – 2012. – №1/2. – С. 34–45.

6. Щерба А. А. Полупроводниковые адаптивные системы объемной электроискровой обработки материалов и сред / А. А. Щерба, С. Н. Захарченко // Праці інституту електродинаміки НАНУ. Електроенергетика. – Вип. № 2. – К. : Вид-во ін-ту електродинаміки НАНУ, 1999. – С. 66–73.

7. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / [Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. и др.] ; под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – Т.1. – 247 с.

References

1. Burtsev, V. A. (1990). Elektricheskiy vzryv provodnikov i yego primeneniye v elektrofizicheskikh ustanovkakh [Electrical explosion of conductors and its application in electrophysical installations]. Moscow, Russia: Energoatomizdat, 289.

2. Korobskyy, V. V., Zhiltsov, A. V., Lapshin, S. O., Hrankin, H. A. (2016). Rozryadno-impul'sna sistema virobnitstva iskroyeroziynikh poroshkiv metaliv z visokoyu yelektroprovodnistyu [Bit-width production system iskroeroziyynih powder with high conductivity]. Science Journal of NUBiP Ukraine. A series of "Technology and energy in agriculture", 242, 210–217.

3. Lopatko, K. G., Aftandilyants, E. G., Shcherba, A. A. [et al.] (2010). Sintez ul'tra- i nanorazmernykh chastits biogennykh metallov metodom ob'yemnogo elektroiskrovogo disperirovaniya [Synthesis of ultra and nano-sized particles of biogenic metals by the method of volumetric electric spark dissolution]. Bulletin KNTU agriculture. – Kharkov, Ukraine: KNTU Publishing, 96, 25–35.

4. Muratov, V. A. (1986). Semiconductor converters for power supply of technological devices of electroerosive dispersion: Dis. cand. tech. sciences: 05.09.12. – Muratov V. A. Kyiv, 279.

5. Novikov, M. V., Kisterska, L. D., Sadohin, V. V. [et al.] (2012). Ekolohichno chysta tekhnolohiya plazmovoho dysperhuvannya elektroprovodnykh materialiv z odnostadiynym tsyklom vyhotovlennya cuspenziy nanochastok u shyrokomu spektri ridkykh osnov [Ecologically pure technology of plasma dispersion elektroprovodnyh materials with odnostadiynym cuspenziy cycle of nanoparticles in a wide range of liquid foundations]. Powder metallurgy, 1/2, 34–45.

6. Shcherba, A. A., Zakharchenko, S. N. (1999). Poluprovodnikovyye adaptivnyye sistemy obyemnoy elektroiskrovoy obrabotki materialov i sred [Semiconductor adaptive systems for volumetric electrospark processing of materials and media]. Proceedings of National Academy of Sciences Institute of electrodynamics. Electroenergy. – Vol. 2. – Kyiv, Ukraine: Publisher Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences, 66–73.

7. Artamonov, B. A., Volkov, Yu. S., Droshalova, V. I. [et al.] (1983). Elektrofizicheskiye i elektrokhimicheskiye metody obrabotki materialov [Electrophysical and electrochemical methods of material processing]. – Moscow, Russia: The Highest. School, 1, 247.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНО- И МИКРОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ

**А. В. Жильцов,
В. В. Коробский,
С. А. Лапшин,
В. В. Олишевский**

Аннотация. Приведен обзор технологических операций получения нано- и микропорошков металлов. Для получения указанных материалов используются технологические решения, одним из которых является подводная объемно-электроискровая обработка материалов. Традиционные способы получения порошковых материалов, а именно: физические и химические, имеют некоторые недостатки, один из которых – отсутствие широких технологических возможностей.

Целью работы является создание технологической установки объемного подводного электроискрового диспергирования для получения нано- и микропорошков металлов.

Исследование электроискровой синтеза продуктов диспергирования гранул металлов проводилось на технологическом комплексе, основным элементом которого является генератор разрядных импульсов, силовая часть которого построена на тиристорной элементной базе. В качестве накопителя энергии используются конденсаторы емкостью 50...600 мкФ. Напряжение зарядки конденсатора составляло 110...190 В, частота разрядных импульсов – 0,025...0,5 кГц.

Обработка результатов исследования осуществляется методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ «Statistika» (версия 10.0).

Результаты исследования свидетельствуют, что наибольшее значение концентрации коллоидной фракции достигается при мгновенных значениях напряжения 160 В и частоты 0,1 кГц.

Ключевые слова: электротехнологический комплекс, объемно-электроискровая обработка материалов, дисперсность порошка, коллоидная фракция, нанокompозиты

USE OF THE ELECTROTECHNICAL COMPLEX FOR NANO AND MICROPOWDERS OF METALS

A. V. Zhiltsov,
V. V. Korobskyy,
S. O. Lapshin,
V. V. Olishkevskyy

Abstract. The review of technological operations for obtaining nano- and micropowders of metals is given. To produce these materials, technological solutions are used, one of which is underwater volumetric-spark treatment of materials. The traditional ways of obtaining powder materials, namely physical and chemical, have some drawbacks, one of which is the lack of broad technological capabilities.

The aim of the work is to create a technological installation of volumetric underwater electric spark disperse for the production of nano- and micropowders of metals.

The investigation of the electrospark synthesis of products of dispersion of metal granules was carried out on the technological complex, the main

element of which is a discharge pulse generator, the power part of which is built on a thyristor element base. As a storage device, capacitors of 50 ... 600 μF are used. The charging voltage of the capacitor was 110 ... 190 V, the frequency of the discharge pulses was 0.025 ... 0.5 kHz.

Processing of the research results is carried out using mathematical statistics using the "Statistika" software package (version 10.0).

The results of the study show that the highest concentration of colloidal fraction is achieved at instantaneous values of voltage 160 V and frequency 0,1 kHz.

Keywords: *electrotechnological complex, volumetric-electrospark processing of materials, powder dispersion, colloid fraction, nanocomposites*

УДК 536.21

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР СТРУМАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

А. О. КВІЦИНСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

В. Г. САНТОЦЬКИЙ, інженер НПЦР ОЕС України

Анотація. *Допустиму тривалість однофазних замикань на землю (ОЗЗ) у мережах з ізольованою нейтраллю і струмами замикання на землю до 10 А в пострадянських країнах не встановлено. Мета даного дослідження – унормувати допустиму тривалість режиму ОЗЗ, яка не порушує термічної стійкості опор. Експериментальні дослідження виконувалися на полігонах інституту «Укрсільенергопроект». Показано, що ізольовану нейтраль мережі 6–20 кВ зі струмами ОЗЗ до 10 А не слід заземлювати через високоомний резистор. У мережах 20 кВ слід застосовувати компенсацію ємнісних струмів і обмежувати час існування ОЗЗ чотирма годинами. З метою зменшення кількості випадків ОЗЗ, на проміжних опорах повітряних ліній 20 кВ слід встановлювати стрижньові ізолятори, а на анкерних – підвісні.*

Ключові слова: *залізобетонна опора, термічне ураження заземлювача, струм однофазного замикання на землю*

Актуальність. За протяжністю повітряні лінії (ПЛ) напругою 10 кВ у сільській місцевості на залізобетонних опорах зі струмами ОЗЗ до 10 А перевищують протяжність усіх разом узятих ПЛ напругою понад 1 кВ.