

емітерного p-n переходу буде збігатися з глибиною максимальної концентрації базової домішки.

#### Список посилань

1. Kato T., Nishi Y. Redistribution of diffused boron in silicon by thermal oxidation. [Text] / Japan. J. Appl. Phys. – 1067, v.3. – № 7. – P. 377-383.
2. Баганов Е.А. Расчет параметров дрейфовых n-p-n транзисторов по выходным характеристикам [Текст] / Баганов Е.А., Фролов А.Н., Фролов К.А. // Известия вузов, Радиоэлектроника. – № 9-10. – 2009. – С.10-17.
3. Самойлов Н.А. Методика оперативной оценки пробивного напряжения p-p-n транзисторов [Текст] / Н.А. Самойлов, А.Н. Фролов, С.В. Шутов. / Петербургский журнал электроники. – 1996. – №4. – с.42-45.

УДК 621.762

Лебедєва Н. Ю., канд. техн. наук, доцент  
Дрозд О. В., канд. техн. наук, доцент  
Гашицька О. М., студентка  
Буренко Г. М., студент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,  
oksanadroz183@gmail.com

### ФОРМУВАННЯ МІДНИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИРОБНИЧИХ ВІДХОДІВ

Створення нових мідних пористих матеріалів обумовлено перспективністю їх застосування для виготовлення фільтрів та антифрикційних виробів. Для їх виготовлення використовуються порошки міді, зокрема марки ПСМ-1 (ДСТУ 4960:2019, IDT) дисперсністю до 100 мкм. Це дороговартісна дефіцитна сировина з високою хімічною чистотою, подальше застосування якої у технологіях порошкової металургії не є доцільним і рентабельним. Вирішення проблем заміни мідного порошку полягатиме у теоретично-практичній проробці питань застосування в технологіях одержання пористих матеріалів порошків, одержаних здрібненням виробничих відходів міді.

Мета роботи – експериментальне дослідження можливостей формування мідних пористих матеріалів з використанням виробничих відходів.

Науково-методичне підґрунтя дослідження складають фізико-механічні основи та існуючий практичний досвід з формування мідних порошкових матеріалів і виробів [1, 2]; основи теорії мідних сплавів [3] та досвід авторів роботи [4], присвяченої розвитку рециклінгу виробничих відходів як перспективного напрямку матеріалознавства. Для досягання поставленої мети в роботі застосовані методи оптичної металографії (оптичний мікроскопи ММР-2Р, БИОЛАМ-И), механічних випробувань, холодного статичного пресування з використанням зразків лабораторного обладнання.

Експериментальні роботи полягали у одержанні порошку міді (рис. 1, а) шляхом механічного здрібнення виробничих відходів міді (тирсів, бракованих виробів тощо) та одержанні з них пресовок (рис. 1, б) методом холодного двобічного статичного пресування.

Досліджено морфологічні характеристики порошку (дисперсність, фактор форми, периметр), визначено його мікротвердість (прилад ПМТ-3, навантаження на індентор 50 мг). Процес пресування здійснено у холодному стані (тиск 20 МПа) без пластифікатора, для чого застосовано прес-форму із нержавіючої сталі марки 10Х18Н9Т. За допомогою оптичної металографії досліджено пористість пресовки, ступінь деформації порошку міді; визначено його мікротвердість після пресування (прилад ПМТ-3, навантаження на індентор 50 мг). Для спікання одержаної заготовки застосовано герметично зачинений контейнер з термічно необробленого графіту марки МПГ-6. Пресовка разом з контейнером зазнавала

нагрівання до температури 700...800 °С у лабораторній печі СНОЛ-1,6.2.08/9-М1 з окисною атмосферою; швидкість підйому температури не перевищувала 30...40 °С/хв. Під час спікання при нагріванні з інтервалом 100 °С, досліджувалися мікроструктура та мікротвердість фаз, визначалися ступінь деформації порошку.

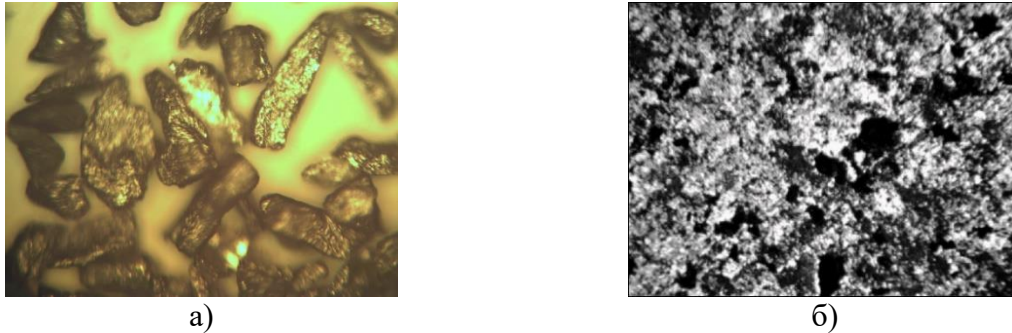


Рис. 1 – Оптична мікрофотографія а) порошку міді  $\times 150$  ( $\mu 10:1$ ); б) пресовки міді,  $\times 370$

**Аналіз одержаних результатів.** Середня дисперсність отриманого порошку міді (рис. 1, а) складатиме 120...180 мкм, фактор форми ставить 0,3...0,5; насипна щільність належить діапазону 1500...2000 кг/м<sup>3</sup>. Структура пресовки являтиме собою пресований каркас (рис. 2, б) щільністю 5000 кг/м<sup>3</sup> з середнім розміром пор 60 мкм; її загальна пористість складатиме 40...45%. Пресовка має компакту структуру без чітко визначеної приконтактної області між спресованими частинками, що свідчить про їх пластичну деформацію (до 15 %) під час холодного статичного пресування. Цей ефект опосередковано підтверджується зростанням мікротвердості  $H_{\mu 50}$  частинок з 290 МПа (вихідний стан) до 420 МПа (протягом нагрівання). Визначені режими спікання не є остаточними, проте сформована заготовка може бути застосована для подальшого просочення фторопластом, розплавом срібла та іншими легкоплавкими металевими і неметалевими компонентами, зокрема розм'якшеним склом.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням експериментальних робіт щодо впливу технологічних параметрів на формування спеціальних властивостей пористих мідних матеріалів.

Одержані результати спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми впровадження безвідходних технологій одержання функціональних порошкових матеріалів.

**Висновки.** Експериментально доведена можливість формування мідних пористих матеріалів з порошків, отриманих механічним здрібненням виробничих відходів, зокрема тирсів та бракованих заготовок.

Досліджено морфологічні і фізико-механічні характеристики одержаних порошків та проаналізовано їх зміни в результаті холодного двобічного пресування.

Проаналізовано процеси структуроутворення спресованих та спечених заготовок.

#### Список посилань

1. Дослідження особливостей консолідації антифрикційних матеріалів на основі порошкової суміші Cu-Pb-C [Текст] / В. О. Чишкала, С. В. Литовченко, Е. С. Геворкян, В. П. та ін. // Збірник наук. праць УкрДУЗТ. – 2021. – вип. 198. – С. 7-21.
2. Степанчук, А. М. Закономірності компактування порошкових антифрикційних матеріалів на основі дисперсно зміцненої міді [Текст] / А. М. Степанчук, О. С. Богатов, М. О. Грабійчук // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2011. – № 5. – С. 95-100.
3. Інженерне матеріалознавство : підручник для студ. вищ. навч. закл. [Текст] / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева та ін. – Миколаїв : НУК, 2009. – С. 342-357.
4. Казимиренко, Ю. О. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів [Текст] / Ю. О. Казимиренко, О. В. Дрозд // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. – 2022. – № 29. – С. 13-20.