

МЕХАНІЧНІ ТА КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНО НАДРУКОВАНИХ ВИРОБІВ З МІДІ

Котик М.М., Ущатовський Д.Ю., Воробйова В.І., Васильєв Г.С.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
e-mail: miskokotuk@gmail.com*

Адитивне виробництво або 3D-друк - це стрімко зростаюча виробнича технологія, яка дозволяє швидко виготовляти складні деталі, використовуючи підхід "знизу-вгору" [1]. Відомо, що структура металів залежить від технології, за допомогою якої метал був отриманий, і визначає його властивості. Враховуючи темпи розвитку технологій адитивного виробництва та заміну традиційно виготовлених деталей на 3D-друковані, варто розглянути можливі зміни у властивостях матеріалу та їх вплив на роботу надрукованих деталей.

Процес локального електрохімічного осадження досліджувався на квадратній моделі. Осадження проводили із сульфатного електроліту міднення за густини струму 4 А/дм^2 . Мікромеханічні випробування зразків міді, надрукованих на 3D-принтері та осаджених традиційним методом, проводили на універсальному мікротвердомірі "Мікрон-гамма" методом безперервного натискання індентора [2]. Корозійну стійкість металевої міді оцінювали з використанням поляризаційних методів. Вольтамперні залежності реєстрували в 3,5% розчині NaCl зі швидкістю сканування 2 мВ/сек . Оцінювали загальну електрохімічну поведінку міді та порівнювали її для різних способів отримання міді. Для кількісної оцінки корозійної стійкості застосовували метод поляризаційного опору (LPR). Визначали нахил вольтамперної залежності в області стаціонарного потенціалу і перераховували його в швидкість корозії, використовуючи значення константи $B = 17 \text{ мВ}$ [3].

Усереднені діаграми проникнення індентора Берковича, отримані на зразках міді, представлені на рисунку 1. На основі отриманих діаграм

проникнення були розраховані та усереднені механічні параметри досліджуваних зразків міді, які наведені в таблиці 1.

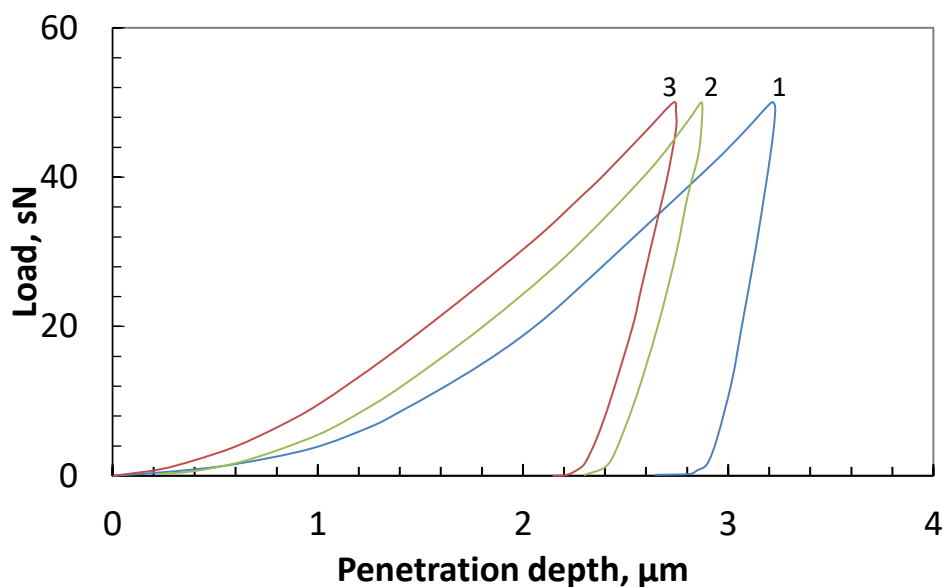


Рисунок 1 – Усереднені діаграми проникнення індентора Берковича:
1 - металургійна мідь; 2 - електроосаджена мідь; 3 - 3D-друкована мідь

Таблиця 1– Механічні параметри досліджених зразків міді

Металургійна мідь			Гальванічна мідь			Мідь надрукована на 3D принтері		
НМ, GPa	E, GPa	K_{elast}	НМ, GPa	E, GPa	K_{elast}	НМ, GPa	E, GPa	K_{elast}
2.16	114.4	0.918	3.1	100.1	0.88	3.3	97.1	0.87

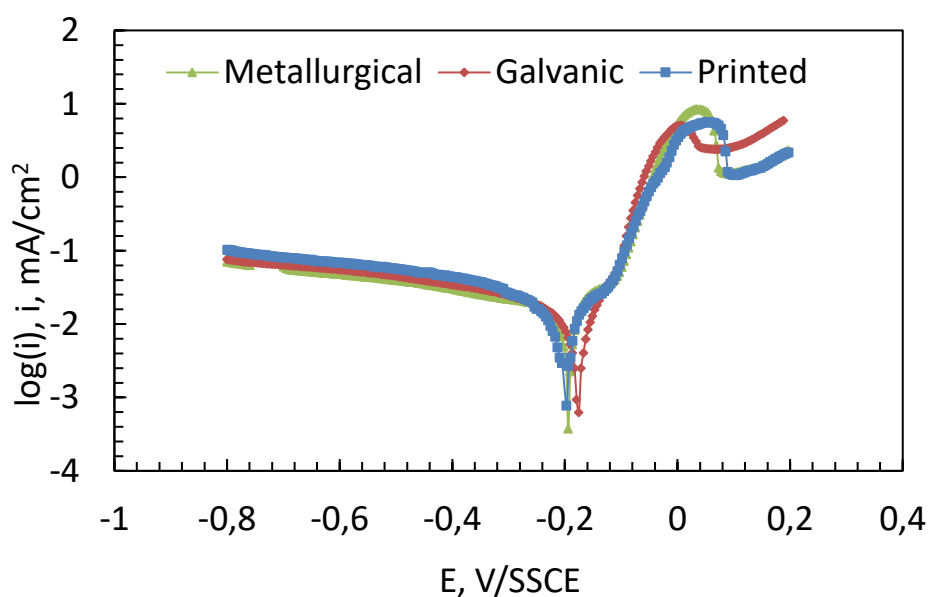


Рисунок 2 – Поляризаційні криві показують подібну електрохімічну поведінку міді в 3,5 % NaCl

Таблиця 2 – Швидкість корозії мідного матеріалу

Походження міді	Нахил залежності струм-потенціал при стаціонарному потенціалі di/dE , $A/(cm^2 \cdot V)$	Поляризаційний опір, $R_p = dE/di$, $V/(A/cm^2)$	Швидкість корозії, $I_{corr} = B / R_p$, mA/cm^2
Металургійна	0.000651	1536.1	11.1
Гальванічна	0.000405	2469.1	6.9
Надрукована	0.000437	2288.3	7.4

Лінійні ділянки в околі стаціонарного потенціалу, отримані з поляризаційних кривих, представлені на рис. 3. Значення стаціонарного потенціалу друкованої та металургійної міді становить -0,20 В/ХСЕ і майже збігається. Стаціонарний потенціал гальванічної міді дещо зміщений в анодному напрямку до -0,18 В/ХСЕ. Лінійні ділянки вольт-амперних залежностей були лінійно апроксимовані і розраховано їх нахил. Рівняння апроксимації наведено на рис. 3.

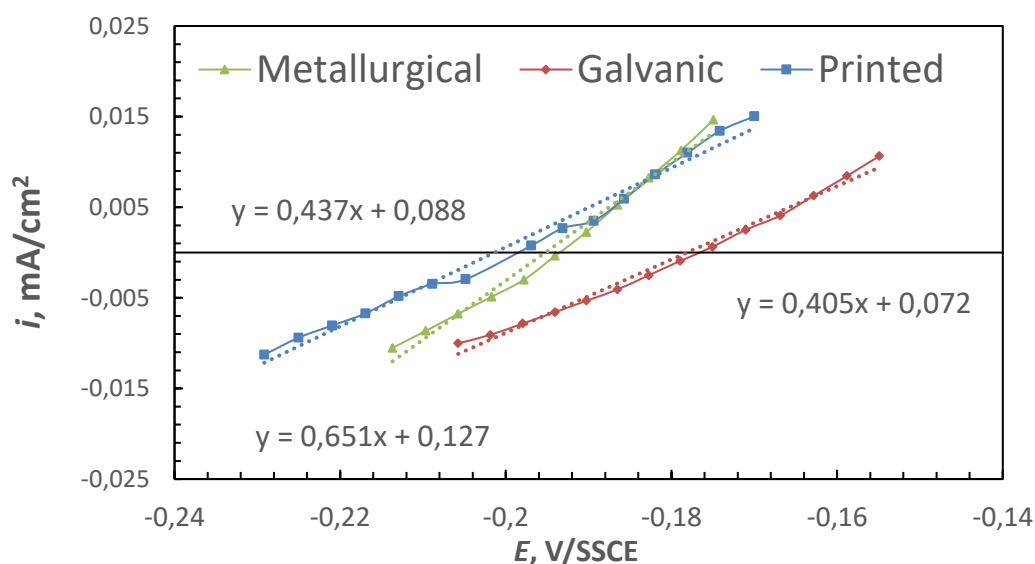


Рис.унок 3 – Области поляризаційного опору міді різного походжуння в 3.5 % NaCl

Проведений мікроскопічний аналіз металічної міді. У процесі електроосадження формується однорідна дрібнокристалічна структура з

пірамідальними зернами (рис. 4а). При електрохімічному 3D-друці структура металу глобулярна, а розмір зерен на порядок більший (рис. 4б).

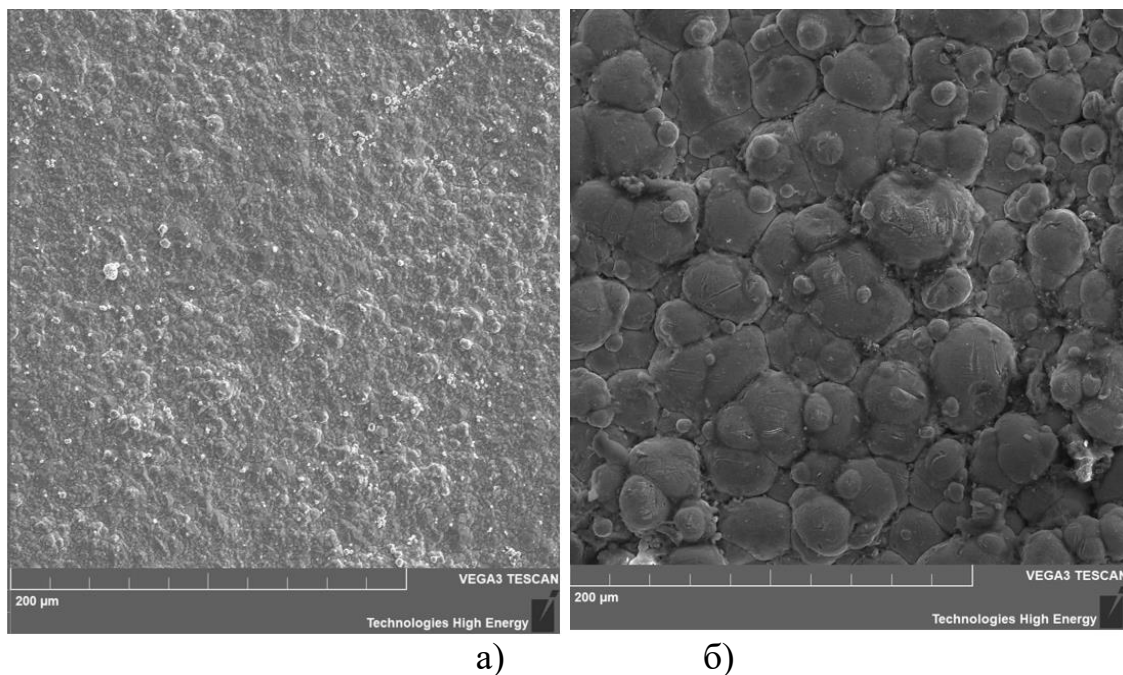


Рисунок 4 – Морфологія поверхні міді: а) електроосадженої; б) 3D-друкованої.

Висновки

Порівнюючи результати аналізу мікроструктури, механічних та корозійних властивостей міді, отриманої методом електрохімічного 3D-друку, з металургійною та гальванічною міддю, можна зробити висновок, що за допомогою електрохімічного 3D-друку можна отримати метал з компактною дрібнокристалічною структурою, з механічними та корозійними властивостями, близькими до відповідних параметрів для електроосадженої міді.

Література

1. Babu SS, Goodridge R (2015) Additive manufacturing. Mater Sci Technol 31:881–883. [https:// doi.org/10.1179/0267083615Z.000000000929](https://doi.org/10.1179/0267083615Z.000000000929)
2. Mechnik VA, Bondarenko MO, Kolodnitskyi VM, et al (2021) Influence of diamond–matrix transition zone structure on mechanical properties and wear of sintered diamond-containing composites based on Fe–Cu–Ni–Sn matrix with varying CrB₂ content. Int J Refract Met Hard Mater 100:105655. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105655>
3. Mansfeld F (1976) The polarization resistance technique for measuring corrosion currents. Springer US.