

base/miscellaneous/delve-into-the-materials-steel-vs-aluminum-for-solar-frames/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.09.2025)

18. Піонткевич О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В., Савуляк В. В. Забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта – доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ–Вінниця–Тернопіль, Краматорськ: ДДМА, 2024. С. 247-252.

19. Петров О. В., Піонткевич О. В., Буда А. Г., Коломієць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.

20. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця: ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>

21. Веб-сайт: Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels [Електр. ресурс]. https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.09.2025)

Гурія І. М., Лобода П. І., Руденький С. О., Смірнова Я. О.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)
МІДНО-НІКЕЛІВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ
ВИСОКОШВИДКІСНОГО ДЕФОРМУВАННЯ
E-mail: yana.luschay@gmail.com

У цивільній та військовій галузях для руйнування гірських порід, буріння нафтових свердловин, виконання саперних робіт поширені вироби, що здатні працювати в умовах швидкісного деформування, яке утворюється під час детонації заряду вибухової речовини. В умовах вибухового навантаження матеріал

облицювання кумулятивного заряду деформується (рівень деформації може досягати 500 % і навіть 1000 %) [1] та утворює тонкий струмінь, який проникає в ціль за надзвичайно високих температури та тиску [2]. Численні дослідження демонструють, що форма та суцільність струменя визначають його пробивну здатність [2].

Властивості струменя в значній мірі залежать від матеріалу облицювання кумулятивного заряду та технології його виготовлення. Щільні суцільні струмені з високою пробивною здатністю формують облицювання з міді, технічного заліза та низьковуглецевої сталі [3]. Найбільш поширені мідні облицювання кумулятивних зарядів отримують методами оброблення різанням [4–6], оброблення тиском [4–6], порошкової металургії [6–7] та електроформування [1, 4, 6, 8–10].

Отримання кумулятивних тонкостінних облицювань складної форми з дрібним зерном методом електроосадження розглянуто в ряді робіт [1, 4, 6, 8–10].

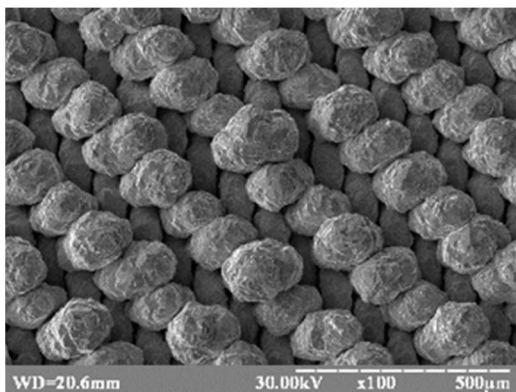
Аналізом літературних джерел встановлено, що більшість досліджень параметрів процесу електроосадження, впливу структури та властивостей мідних облицювань на формування струменю та його пробивну здатність присвячено гомогенним виробам. Авторам не вдалося знайти дослідження армованих облицювань на основі міді. Тому в роботі поставлено задачу отримання композиційного матеріалу на основі міді, армованої нікелевою сіткою та дослідження впливу параметрів процесу електроосадження (концентрація водного розчину мідного купоросу, щільність струму, час нанесення) на мікроструктуру композиту.

Електролітичне покриття міддю наносили на поверхню прямокутних зразків з нікелевої сітки розміром 30×40 мм та конусного зразка діаметром 30 мм і висотою 40 мм, які перед нанесенням покриття знежирювали з метою видалення забруднень і надання відповідної чистоти.

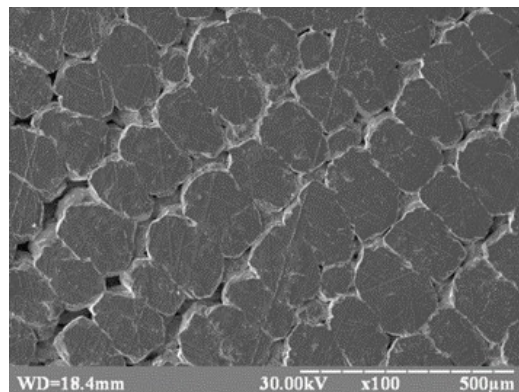
Для проведення досліджень використовували водний розчин мідного купоросу (CuSO_4) з концентрацією від 0,6 моль/л до 1,2 моль/л. Щільності струму варіювали від 0,04 А/см² до 0,1 А/см², тривалість процесу електролітичного осадження – від 1 год до 4 год. Зважування нікелевої сітки та отриманих зразків

після електроосадження проводили на аналітичних вагах. Мікроструктуру зразків мідно-нікелевого композиту вивчали на скануючому електронному мікроскопі «РЕМ-106И».

Оскільки під час електролітичного осадження міді отвори нікелевої сітки не заростають, тому для підвищення величини щільності та суцільності композиційного матеріалу зразки з найбільшою масою, отримані за концентрації розчину 0,8 моль/л, тривалості електроосадження 3 год та щільності струму 0,06 А/см² і 0,1 А/см² піддавали додатковому обробленню тиском 300 МПа з використанням сталеві прес-форми. Встановлено, що в умовах стиснення в напрямку сітки, виділення витягнутої та близької до сферичної форм пластично деформуються без руйнування (рис. 1). У процесі пластичної деформації відбувається заповнення проміжків між частинками, сформованими під час електролітичного осадження, і формується суцільний матеріал, що представляє собою ділянки із міді витягнутої еліптичної форми армовані сіткою із нікелю.



а



б

Рис. 1. Мікроструктура мідно-нікелевого композиту, виготовленого за концентрації розчину 0,8 моль/л, тривалості електроосадження 3 год та щільності струму 0,1 А/см² до (а) та після (б) оброблення тиском

В даній роботі встановлено оптимальні параметри технологічного процесу виготовлення мідного композиційного матеріалу, армованого нікелевою сіткою: концентрація розчину CuSO₄ 0,8 моль/л; щільність струму від 0,06 А/см² та до 0,1 А/см²; тривалість електроосадження 3 год.

Отримано мідно-нікелевий композит, якій піддається пластичному деформуванню, що свідчить про можливість отримання тонкостінного щільного облицювання кумулятивного заряду. Тому перспективними є подальші дослідження суцільності та пробивної здатності кумулятивного струменя, сформованого облицюванням із представленого композиційного матеріалу.

Література

1. Sun M., Yang W., He H.Y., Chen D.P., Li Z.P., Tian W.H. Shear localization and recrystallization in an ultrahigh strain rate deformed copper shaped charge liner // Materials Characterization. – 2021. – Vol. 177. – 111184.
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111184>
2. Li X., Xu M., Wang J., Xu H. Study on grain refinement of copper-based liner by vacuum gradient heat treatment process using response surface methodology // Journal of Materials Research and Technology. – 2021. – Vol. 15. – P. 2345–2354.
3. Войтенко Ю.І., Гошовський С.В., Закусило Р.В. Матеріалознавчі аспекти ефективності вибухової кумуляції // VI Міжнародна науково-практична конференція «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» (Шостка, Україна, Листопад, 23-25, 2022 р.). – Суми, Україна, 2022. – С. 56–59.
4. Held M. Liners for shaped charges // Journal of battlefield technology. – 2001. – Vol. 4, № 3. – P. 1–6.
5. Wong C.C., Dean T.A., Lin J. A review of spinning, shear forming and flow forming processes // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2003. Vol. 43, № 14. – P. 1419–1435. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00172-X](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00172-X)
6. Elshenawy T. Criteria of design improvement of shaped charges used as oil well perforators: PhD Thesis / Tamer Abd Elazim Elshenawy. – Manchester, 2012. – 253 p.
7. Xu H., Liu J., Cai Q., Xue X., Li S. Significantly improved penetration performance of intermetallic-compound-contained Ti-Al-Nb alloy shaped charge liner against reinforced concrete targets // Materials & Design. – 2022. – Vol. 221. – 110997.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110997>

8. Fan A.L., Li Sh.K., Tian W.H. Grain growth and texture evolution in electroformed copper liners of shaped charges // Materials Science and Engineering: A. – 2008. – Vol. 474, № 1–2. – P. 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.04.001>
9. Memannavaz H., Pebdeni H. H., Liaghat G., Rahmati S., Najafi M., Fazeli H. Numerical and Experimental Analysis of Copper Electroforming on an Aluminum Substrate as a Rotating Cone Electrode Cell // Chemistry Select. – 2019. – Vol. 4, № 40. – P. 11839–11847. <https://doi.org/10.1002/slct.201903204>
10. Elshenawy T., Soliman S., Hawwas A. Influence of electric current intensity on the performance of electroformed copper liner for shaped charge application // Defence Technology. – 2017. – Vol. 13, № 3. – P. 439–442. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.05.015>

Гурія І. М., Смірнова Я. О., Прокопенко О. М.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)
МІКРОСТРУКТУРА ШАРУВАТОГО ТИТАН-АЛЮМІНІЄВОГО
КОМПОЗИТУ СИСТЕМИ BT1-0/AK12
E-mail: yana.luschay@gmail.com

На сьогоднішній день розробка нових матеріалів стає все більш актуальною у зв'язку зі зростаючими до них вимогами за сучасних умов розвитку технологій та промисловості. Одними з перспективних матеріалів є шаруваті титан-алюмінієві композити, які поєднують міцність і корозійну стійкість титану та легкість і теплопровідність алюмінію, що дозволяє застосовувати їх в авіаційній, автомобільній, оборонній та інших технічно складних галузях [1–2].

Існує значна кількість технологій виготовлення шаруватих металевих композитів, серед яких практичний інтерес представляє просочення титанових пластин розплавом алюмінієвого сплаву [3–4], проте властивості одержаного матеріалу значною мірою залежатимуть від технологічних параметрів процесу. Тому метою даної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення, а саме температури просочення та часу витримування, на