

УДК 621.793.7.

ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ ПРИ ФОРМУВАННІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ**Карпеченко А. А.***кандидат технічних наук,
доцент кафедри вищої математики
anton.karpchenko@nuos.edu.ua***Бобров М. М.***кандидат технічних наук,
асистент кафедри матеріалознавства і технології металів
laborantmtm@gmail.com***Дубовий О. М.***доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри матеріалознавства і технології металів
м. Миколаїв, Україна
oleksandr.dubovuj@nuos.edu.ua***Савенков О. І.***старший викладач кафедри кондиціювання і рефрижерації
savenkov.oleg@gmail.com***Кондратьєва А. А.***студентка**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
instalallo@gmail.com*

Анотація. Показано, що особливо актуальною проблема утилізації відходів виробництва бокситу, а саме червоного шламу, є для Миколаївської області, оскільки на її території розташований Миколаївський глиноземний завод (МГЗ). Встановлено, що перспективним є напрям пов'язаний із використанням червоного шламу в якості напилуваного матеріалу при нанесенні газотермічних покриттів. Отримано експериментальні зразки композиційних електродугових покриттів шляхом розпилення дроту з алюмінієвого сплаву системи Al-Si марки ER4043 та порошку червоного шламу МГЗ, досліджено їх мікроструктуру та міцність зчеплення покриттів з металевою основою.

Ключові слова: електродугове напильнення, червоний шлам, композиційні покриття, міцність зчеплення, пористість.

Вступна частина. З підвищенням світового споживання алюмінію збільшується кількість відходів, що утворюються у процесі виробництва глинозему за способом Байєра - червоних шламів. Залежно від складу вихідних бокситів і технології, на 1 т глинозему утворюється від 0,9 до 1,5 т цих відходів [1, 2]. До сих пір червоні шлами не переробляються, а накопичуються в спеціальних шламосховищах. Через високий вміст лугів та високодисперсність шламу його складування становить небезпеку для людини і навколишнього середовища [3]. Особливо актуальною дана проблема є для Миколаївської області, оскільки на її території розташовано одне з найбільших в Європі підприємств кольорової металургії Миколаївський глиноземний завод (МГЗ). За останні 10 років на шламосховищах МГЗ кількість накопиченого червоного шламу збільшилася на 54% і за станом на 1 січня 2019 року складає 43,5 мільйони тон. Це 82,2% від усіх накопичених відходів IV класу в Миколаївській області [4]. Дослідження по переробці червоних шламів ведуться по всьому світу і в даний час розроблені сотні способів їх утилізації. В останні роки число

публікацій по темі рециклінгу червоних шламів значно зросла. Однак незважаючи на численні дослідження, до сих пір лише незначна частина червоних шламів піддається переробці, що обумовлено низькою рентабельністю більшості технологій, високими капітальними витратами на освоєння нових і складністю реалізації виробленої продукції. Інноваційним є рішення авторів роботи [5] застосовувати червоний шлам у якості напилюваного матеріалу при плазмовому нанесенні покриттів. Покриття товщиною до 210 мкм отримували на різних потужностях плазмотрону (6, 9, 12, 16 Вт) на підкладках з вуглецевої та неіржавіючої сталей, алюмінію та міді. Аналіз мікроструктури отриманих покриттів показав наявність тріщин вздовж границі поділу, що пов'язано з великою різницею у показниках коефіцієнту теплового лінійного розширення матеріалу основи та покриття. Міцність зчеплення з основою плазмових покриттів з червоного шламу складає лише від 3,1 до 7,5 МПа хоча автори вказують на перспективи застосування таких покриттів у якості зносостійких. Подальші дослідження [6] полягали у формуванні композиційних плазмових покриттів з додаванням червоного шламу. Наносили суміші червоного шламу з золою (30%, 50%), вуглецем (20%) та алюмінієм (5%). Пористість покриттів складала від 8% до 13%, вдалося підвищити міцність зчеплення до 13 МПа. Найвищі показники твердості та зносостійкості спостерігали для композиції з алюмінієм. Однак плазмове напилення характеризується досить високою вартістю та складністю обладнання і низьким значенням коефіцієнту використання енергії. В той же час електродугове напилення вирізняється простотою та технологічністю, високими енергетичним ККД розпилення і коефіцієнтом використання матеріалу, найвищою продуктивністю та низькою собівартістю.

Метою роботи є дослідження можливості формування композиційних електродугових покриттів із додаванням червоного шламу, аналіз мікроструктури та визначення їх фізико-механічних властивостей.

Основна частина. Перед напиленням покриттів провели дослідження гранулометричного складу порошку червоного шламу з шламосховища МГЗ металографічним методом. Для запобігання конгломерації частинок застосовували спиртовий розчин. Аналіз отриманих даних показує, що частинки червоного шламу мають розмір у широкому діапазоні від 1 мкм до 1000 мкм. Найбільша кількість частинок менша за 5 мкм (35%) та з розміром від 10 до 50 мкм (26%). Для газотермічного напилення покриттів використовується порошок розміром 40...80 мкм, тому для їх отримання можна застосовувати лише до 20% червоного шламу після операцій сушки та ситової класифікації.

Електродугові композиційні покриття наносили на металеву підкладку виготовлену зі сталі 45 шляхом розпилення дроту з алюмінієвого сплаву системи Al-Si марки ER4043 та порошку червоного шламу за допомогою установки КДМ-2, що укомплектована апаратом ЕМ-14М з модернізованим ковпаком розпилювальної голівки [7].

Параметри режиму напилення обиралися виходячи з попередніх досліджень щодо формування композиційних керметних покриттів [8] та становили: сила струму - 120А, напруга на дузі - 30В, тиск стисненого повітря - 0,6 МПа, тиск транспортуючого газу - 0,02 МПа, дистанція напилення - 100 мм.

Металографічний аналіз наведених мікроструктур показав, що електродугові композиційні покриття системи дрiт ER4043 - червоний шлам характеризуються досить низькою пористістю, яка становить близько 6%, в структурі добре диференціюються частинки темної (імовірно частинки червоного шламу) і світлої (сплав Al-Si) фаз. Ідентифікацію фаз в композиційному покритті проводили шляхом вимірювання їх мікротвердості. Середня мікротвердість світлої фази (сплав Al-Si) складала 526 МПа; темної 658 МПа, що відповідає мікротвердості червоного шламу [9]. Об'ємний вміст червоного шламу в отриманих покриттях склав 12,2% об. У порівнянні з композиційними металокарбідними покриттями системи 65Г-ТіС, отриманими на аналогічному режимі напилення у роботі [8], вміст наповнювача нижчий, що пояснюється низькою щільністю червоного шламу. Більш легкі напилювані частинки

виносяться на периферію високотемпературного струменя при напиленні та рідше закріплюються у покритті.

Штифтовим методом визначено міцність зчеплення зі сталлюю основою ненаповнених з дроту ER4043 (12,1 МПа) та композиційних ER4043 – червоний шлам (10 МПа) покриттів. Зниження адгезійної міцності пояснюється зменшенням фактичної площі контакту покриття з основою за рахунок неповного проплавлення частинок наповнювача при напиленні.

Висновки. Досліджено гранулометричний склад порошку червоного шламу МГЗ за допомогою металографічного аналізу та встановлено, що лише до 20% червоного шламу придатно для газотермічного напилення. Отримано електродугові металеві покриття з дроту ER4043 (Al-Si) та композиційні з ER4043 – червоний шлам та вказано на перспективу використання даного матеріалу для нанесення газотермічних покриттів. Проаналізовано мікроструктуру нанесених покриттів і проведено ідентифікацію фаз шляхом визначення їх мікротвердості. Показано, що пористість композиційного покриття складає близько 6%, а кількість червоного шламу – 12,2% об. Штифтовим методом визначено міцність зчеплення зі сталлюю основою ненаповнених з дроту ER4043 (12,1 МПа) та композиційних ER4043 – червоний шлам (10 МПа) покриттів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1]. R. Zhang, S. Zheng, S. Ma, Y. Zhang, “Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossular hydrogarnet in hydrothermal proces”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 189, pp. 827–835, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.004>.
- [2]. K. Evan, “The history, challenges and new developments in the management and use of bauxite residue”, *Journal of Sustainable Metallurgy*, vol.2, pp. 316–331, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0060-x>.
- [3]. R. Boily, “Twenty cases of red hazard, an inventory of ecological problems caused by bauxite residue from alumina production”, *Conference paper in Inforex, Larval, Quebec, Canada*, 2012, pp. 58-62.
- [4]. “Сколько опасных отходов накопил НГЗ за последние 10 лет: С 28 млн тонн красного шлама — до 43”, *НикВести*, . [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nikvesti.com/news/photoreportage/179475>. Дата звернення: Лютий. 7, 2020.
- [5]. A. Satapathy, H. Sutar, S.C. Mishra, S.K. Sahoo, “Characterization of Plasma Sprayed Pure Red Mud Coatings: An Analysis”, *American Chemical Science Journal*, vol. 3(2), pp. 151-163, 2013. <https://doi.org/10.9734/ACSJ/2013/3218>.
- [6]. H. Sutar, S.C. Mishra, S.K. Sahoo, A. Satapathy, “Morphology and solid particle erosion wear behavior of red mud composite coating”, *Natural Science*, vol. 4 (11), pp. 832-838, 2012. . <https://doi.org/10.4236/ns.2012.411111>.
- [7]. О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров, А.О. Мазуренко, «Пристрій для електродугового напилення композиційних покриттів», Патент України, МПК C23C 26/02, B05B 7/22, № 111760, 10.06.2016.
- [8]. О.М. Dubovoy, A.A. Karpechenko, M.N. Bobrov, et al. “Electric arc spraying of cermet coatings of steel 65G-TiC system”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol.2, pp. 63-68, 2021. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/063>.
- [9]. H. Sutar, R. Murmu, D. Roy, S. Mirsha, “Plasma Sprayed Mud-Fly Ash Composite coatings on Mild Steel: A Comprehensive Outline”, *Physical Science International Journal*, vol 5(1), pp. 61-73, 2015.