

1. H. Ding, D. Liu, M. Cai, Y. Zhang. (2022). Austenite-based Fe-Mn-Al-C lightweight steels: Research and prospective. *Metals*, Volume 12, Issue 10, 1572. <https://doi.org/10.3390/met12101572>
2. D. Mijangos, I. Mejia, J. M. Cabrera. (2022). Influence of microalloying additions (Nb, Ti, Ti/B, V and Mo) on the microstructure of TWIP Steels. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, Volume 11, pp. 524–536. <https://doi.org/10.1007/s13632-022-00871-w>
3. M. P Kotla Sairam, K. R. Phaniraj. (2023). Effect of molybdenum on recrystallization behavior of Fe₃₀Mn₅Al₁C- xMo lightweight austenitic steels. *Scripta Materialia*, Volume 230, 115399. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115399>
4. J. Moon, H. Y. Ha, S. J. Park, T. H. Lee, J. H. Jang, T. H. Lee, J. H. Jang, Ch.-H. Lee, H. N. Han, H.-U. Hong. (2019). Effect of Mo and Cr additions on the microstructure, mechanical properties and pitting corrosion resistance of austenitic Fe-30Mn-10.5Al-1.1C lightweight steels. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 775, pp. 1136-1146. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.10.253>
5. R. A. Howell, D. C. Van Aken. (2015). Microstructural and fracture behavior of phosphorus containing Fe-30Mn-9Al-0.9C-0.5Mo alloy steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Volume 46, Issue 8, pp. 3309-3316. <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2971-8>

УДК 669.26:675.024:621.78:669.168

С. В. Семірягін

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

td.destal@ukr.net

ПЕРЕРОБКА ЗАЛИШКІВ ШКІРЯНИХ ВИРОБІВ У ФЕРОХРОМ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛЮМОТЕРМІЧНОГО ПРОЦЕСУ

При виробництві шкіри широко застосовується хромове дублення для підвищення її міцності та стійкості [1, 2]. На жаль, цей процес спричиняє утворення значних обсягів відходів, що містять сполуки хрому. Переробка таких залишків дозволяє не лише зменшити екологічне навантаження, але й отримати ферохром – сплав, який є важливим легуючим елементом у виробництві нержавіючої та легованої сталі.

Залишки шкіри, одержані після хромового дублення, збирають і сортують для подальшої обробки. Ці відходи містять різноманітні хромові сполуки, зокрема хром (III), що є відносно менш токсичним, і хром (VI), який є високотоксичним та шкідливим для

людини і довкілля. Основна задача технології полягає в обробці відходів таким чином, щоб видалити або знизити рівень токсичних сполук, перевести їх у стабільні форми або навіть перетворити на корисні для промисловості продукти.

Для усунення органічних домішок відходів в роботі застосовували термічну обробку, завдяки якій усі легкозаймисті компоненти спалюються. Під час цього процесу відбувається окислення органічних речовин, що призводить до повного згорання вуглецевих компонентів – утворюються діоксид вуглецю, вода та інші газоподібні продукти реакції, які видаляються разом із димовими газами.

В результаті випалу одержали шлаковий продукт – золу, яка характеризується високим вмістом оксиду хрому (Cr_2O_3) (рис. 1, табл. 1). Завдяки правильному режиму спалювання і оптимальним температурним умовам (температура перевищує 600–800 °С, а в деяких випадках може бути ще вищою) органічна частина практично повністю видаляється, і одержана зола насичується оксидом хрому. В результаті оксид хрому у складі золи може сягати 50–62%, що свідчить про ефективне видалення органіки та концентрування цінного компоненту для подальшої переробки.



Рис.1. Випалений концентрат хрому

Таблиця 1 — Узагальнений хімічний склад випаленого хромового концентрату

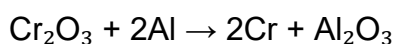
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_2	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	інші
2.0-3.0	1.5-2.5	1.3-1.8	0.5-0.9	0.4-0.7	2.5-3.5	6.0-9.0	78-83	2.0-3.5	0.1-0.5

Крім того, контроль параметрів термічної обробки (температури, часу випалу, складу повітря або іншого окислювального середовища) є критично важливим для досягнення оптимального співвідношення між спалюванням органіки та збереженням оксиду хрому. Надмірне або недостатнє нагрівання може призвести до небажаних

побічних реакцій або зниження вихідного вмісту Cr_2O_3 . Тому технологічні процеси передбачають регулювання цих параметрів задля отримання максимально ефективної та екологічно безпечної операції.

Випалювання залишків шкіряного виробництва призводить до утворення різних побічних продуктів, таких як гази, що містять діоксиди вуглецю (CO_2), оксиди азоту, а також сліди токсичних речовин. Ці гази повинні бути очищені перед викидом в атмосферу, щоб мінімізувати забруднення повітря. Для цього застосовуються системи фільтрації та очищення газів, що дозволяють ефективно знизити концентрацію шкідливих сполук в відпрацьованих газах.

Оскільки виробництво ферохрому є складним металургійним процесом, який включає кілька ключових етапів, то використання алюмотермічного процесу для переробки шкіряних відходів є перспективним напрямком у металургії, що поєднує ефективність виробництва з екологічною відповідальністю. Цей метод базується на сильній відновній здатності алюмінію, який здатен витіснити менш активні метали з їхніх оксидів. Основна реакція відновлення виглядає так:



Під час реакції алюміній відновлює оксид хрому, утворюючи металевий хром та оксид алюмінію (шлак). Екзотермічна реакція досягає температур, інколи перевищуючи $2100\text{ }^\circ\text{C}$, що сприяє повному плавленню продуктів реакції. Зважаючи на інтенсивне виділення тепла, реакцію можна контролювати, підтримуючи оптимальні температурні режими за допомогою ізоляційних матеріалів та додаткових джерел тепла. Завдяки різниці щільності рідкого металу і шлаку (Al_2O_3) відбувається природне розділення у реакційній камері. Металевий хром, який має набагато вищу щільність, осідає на дно, а легкоплавкий шлак піднімається догори. Після завершення реакції розплавлений ферохром видобувають за допомогою спеціальних виливних систем. Потім продукт охолоджують і подрібнюють до необхідних розмірів для подальшого використання у виробництві легованої сталі та інших сплавів.

У підсумку, практична значущість методу виробництва сплавів хрому з твердого залишку виробництва шкіряних виробів полягає в економії природних ресурсів, покращенні екологічної ситуації, підвищенні економічної ефективності і сприянні сталому розвитку як металургійної, так і шкіряної промисловості. Це дозволяє зробити значний внесок у забезпечення сталого економічного росту з мінімальним впливом на довкілля.

Список літератури

1. Ammar Malek, Messaoud Hachemi, Villemin Didier New approach of depollution of solid chromium leather waste by the use of organic chelates: Economical and environmental impacts. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 170, Issue 1, 15 October 2009, Pages 156-162. [DOI:10.1016/j.jhazmat.2009.04.118](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.118)
2. Changdao Mu, Wei Lin, Mingrang Zhang, Qingshi Zhu. Towards zero discharge of chromium-containing leather waste through improved alkali hydrolysis. *Waste Management*. Volume 23, Issue 9, 2003, Pages 835-843. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00040-0)

УДК 669.14.018.44:536.75:669.018.09

**Р. А. Сергієнко, О. А. Щерецький, В. О. Щерецький, Д. С. Каніболоцький,
Р. С. Сергійко, О. В. Железняк, М. І. Науменко, В. В. Железняк, А. М. Верховлюк**
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ
rsruslan17@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСНЕННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВІВ

Високоентропійні сплави (ВЕС) вперше були запропоновані в 2004 [1-3] та базуються на принципово новій матеріалознавській концепції синтезу багатокомпонентних сплавів з відсутнім основним елементом. Високоентропійними називають сплави, які містять 5 і більше елементів в атомних концентраціях від 5 до 35%. Проведені на даний час дослідження показали, що ВЕС мають унікальний комплекс фізико-механічних та спеціальних властивостей не характерний для традиційних сплавів, що пояснюється такими факторами як [4]: високою ентропією змішування; сильною деформацією кристалічної ґратки, яка викликається великою різницею атомних розмірів елементів; уповільненою дифузією, яка підвищує термостабільність; та так званий «коктейльний ефект» який полягає в тому, що властивості високоентропійних сплавів не є результатом усереднення властивостей елементів, які його утворюють. Беручи до уваги комплекс властивостей високоентропійних сплавів вони вважаються перспективними для виготовлення із них високотемпературних, жаростійких та зносостійких виробів.