

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Довбенка Володимира Віталійовича

за темою «Оптимізація технології одержання алюмінію з вторинної сировини»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 136 – «Металургія»

Дисертаційна робота спрямована на розвиток теоретичних і технологічних основ переробки алюмінієвих відходів та одержання з них високоякісного продукту.

Актуальність роботи.

Суттєвий ріст використання алюмінієвих виробів приводить до накопичення відходів, які використовують для виробництва вторинних алюмінієвих сплавів. В порівнянні з первинним металом витрати на їх виробництво набагато нижчі. Переробку шлаків та стружки, що утворюються в процесі лиття і обробки з алюмінієвих сплавів виконують на спеціалізованих підприємствах. Ливарний алюмінієвий шлак утворюється в поверхневому шарі і представляє собою суміш піни, яка містить продукти взаємодії алюмінію з компонентами повітря. Перед випусканням плавки шлак видаляється. Вміст чистого металу (або сплаву) в ньому за різними даними знаходиться в межах 7-10 % мас. част. металічного алюмінію, 70-75 % мас. част. оксиду алюмінію і різних домішок. Переробку такого типу шлаку проводять на підприємствах кольорової металургії. Процес в основному складається з наступних стадій: а) подрібнення шлаку; б) фракційне його розділення; в) водяне вилуговування подрібненого шлаку; г) фільтрування розчину з метою розділення розчину солі та твердого залишку; д) випаровування твердого розчину; ж) сушіння; з) випалювання твердого залишку.

Як вказано вище, легкий алюмінієвий брухт важко ефективно плавити, тому що він дуже легко окислюється. Незахищені розвинені алюмінієві

поверхні швидко окислюються на повітрі навіть при температурі навколишнього середовища. При впливі високих температур, процес окислення значно прискорюється. Тому, однією з найбільш поширених технологій переробки алюмінієвих відходів є процес, який пов'язаний із захистом алюмінієвого брухту від окислення, наприклад, зануренням роздробленої суміші в розплав алюмінію. Для зменшення витрат на переробку часто використовують пресування гарячих шлаків безпосередньо після забору їх з дзеркала плавильної печі. Згідно з такою технологією гарячий шлак завантажують в форму і здавлюють під пресом. Вичавлений розплав алюмінію стікає в металеву форму і твердне. Для переробки отриманого після здавлювання залишку у вигляді спресованої кірки потрібні менші витрати. Однак, застосування даного прийому лише частково вирішує проблему переробки алюмінієвих шлаків і зменшення їх частки. Метод також не дозволяє відокремлювати алюміній при переробці холодних шлаків.

Технологія одержання алюмінію шляхом відновлення ливарних шлаків дозволяє суттєво зменшити кількість відходів, понизити затрати електроенергії на виробництво виливок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертація виконана відповідно до Закону України № 2519-VI від 9.09.2010 р. "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки та Перелік пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок, тематичних планів, господарчого договору між ФТІМС НАН України та ТОВ «Виробниче підприємство «Укркабель» № 130 від 11 лютого 2020 р. на тему: «Дослідження металургійного виходу алюмінію з ливарного шлаку».

Наукова новизна отриманих результатів

1. Розвинуто уявлення про механізм процесу вилучення алюмінію при переробці металургійного шлаку на основі зміни валентності

алюмінію з три- до одновалентного, що реалізується у дві стадії: через хімічну реакцію: $2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = 2\text{NaAlO}_2 + \text{Al}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ ($t = 2500 - 3000$ °C), пониження температури до $1000-1100$ °C, при якій оксид одновалентного алюмінію розкладається на металевий алюміній та оксид тривалентного алюмінію: $3\text{Al}_2\text{O} = 4\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3$.

Для інтенсифікації процесу переробки ливарного алюмінієвого шлаку вперше використано сполуку Na_2CO_3 , що поліпшило стан довкілля внаслідок зниження шкідливих викидів (Cl, F), які утворюються при використанні традиційних технологій.

2. Одержали подальший розвиток дослідження закономірностей впливу теплообмінних процесів на металургійний вихід при переробці низькосортних алюмінійвмісних шлаків, визначено раціональні теплові режими, що забезпечують підвищення виходу придатного алюмінію на 35 %.

Управління теплообмінними процесами на основі виявлених закономірностей дозволило досягти відновлення алюмінію зі шлаку приблизно від 75 до 85 %, що значно перевищує показники відомих аналогів.

3. Уперше проведено комплексні наукові дослідження та розроблено технічні рішення з підвищення ефективності роботи електротермічного обладнання з переробки алюмінієвих шлаків за рахунок використання змінного струму для нагрівання потоку розплаву до температур від 1820 °C до 2250 °C; підтримання циркуляції розплавленого металу між вакуумною електродуговою камерою і накопичувальною піччю; додаткового впливу високих температур в зоні горіння дуги на шлак. Новизну технічних рішень, розроблених у роботі, підтверджує патент на винахід України № 124750. Вони забезпечують спрощення технологічного процесу переробки, зниження енергозатрат та захист навколишнього середовища.

4. Набули подальшого розвитку експериментальні дослідження процесу окислення алюмінію. Встановлено, що окислення відбувається

як за рахунок атмосферного кисню, так і розчинних в розплаві неметалічних включень (MgO , AlN , Mg_3N_2 , Al_2O_3 , AlB_2 та інш). Суттєвому зростанню окислення рідкого алюмінію сприяють лужні або лужноземельні елементи, а також цинк, які утворюють поверхневі рихлі оксидні плівки.

Одержані результати мають наукове значення і можуть бути використані при вирішенні прикладних задач, пов'язаних з переробкою вторинної сировини.

5. Уперше для сплаву системи Al-Mg-Cu, що виплавлений з алюмінію, вилученого з ливарного шлаку, розроблено спосіб введення цинку в пароподібному стані, що дозволило одержати вироби без гарячих тріщин.

Розробка відрізняється способом введення цинку до розплаву. Введення його в пароподібному стані покращує структуру високоміцного алюмінієвого сплаву, що деформується, дозволяє вирішити складну проблему боротьби з гарячими тріщинами, для цього в роботі розроблено відповідні технічні умови.

Практичне значення роботи

Представлено безвідходну технологію та спосіб переробки алюмінієвого шлаку в електротермічній установці, який передбачає подачу шлаку на поверхню алюмінієвого розплаву і оплавлення шлаку електричною дугою, при цьому оплавлення алюмінієвого шлаку проводять в електродуговій камері, в яку всмоктують алюмінієвий розплав з накопичувальної печі, причому рівень розплаву в електродуговій камері піднімають на задану відстань від електрода, а в процесі горіння електричної дуги регулюють її довжину шляхом зміни газового тиску в електродуговій камері, оплавлення алюмінієвого шлаку проводять в процесі підтримки циркуляції розплавленого металу між електродуговою камерою і накопичувальною піччю, при цьому циркуляцію розплаву підтримують під дією електродинамічної сили, що генерується лінійними асинхронними

статорами, встановленими на трубопроводах, котрі з'єднують тигель з накопичувальної піччю (патент України на винахід 124750. Бюл. № 45 від 10.11.2021).

Вдосконалено установку для переробки алюмінієвого шлаку, яка складається з плавильної накопичувальної печі і розташованої над нею камери з встановленим дозатором шлакової суміші (акт промислового випробування на виробничому підприємстві ТОВ «НВП» Укркольормет);

Впровадження у виробництво розробок, що запропоновані в роботі, дозволять підприємствам використовувати безвідходну технологію та одержувати продукцію підвищеної якості. Чистий середньозважений прибуток становить з розрахунку на 1 тону шлаку 24652,04 грн.

Апробація результатів дисертації

Основні положення і результати дисертаційної роботи повідомлені та обговорені на Міжнародній науковій конференції «Современная научная идея '2019 (Modern scientific idea '2019)». 9-30 сентября 2019, г. Минск, Беларусь; Міжнародній науково-технічній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження. Виробництво та технології», 1-3 квітня 2020, м. Івано-Франківськ, Україна; Міжнародній науково-технічній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні - 2020», 28-29 квітня 2020 р., м. Київ, Україна, XVI Міжн. нук.-практ. кон-ції (8-9 вересня 2020 р., м. Запоріжжя) «Литво. Металургія. 2020». - Запоріжжя, International Scientific Conference «International Scientific Inregration '2020», November 9-10.- Seattle, Washington, USA, XVIII Міжн. нук.-практ. кон-ції (04-06 жовтня 2022 р., м. Харків-м. Київ) «Литво. Металургія. 2022».- Запоріжжя.

У повному обсязі робота доповідалась на розширеному симінарі Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України 08.11.2023 р.

Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Довбенко В. В. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів

фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень без відповідних посилань.

Перелік публікацій за темою дисертації

Публікації в яких висвітлені основні результати дисертації:

1. Верховлюк А.М., Довбенко В.В., Червоний І.Ф. Технології переробки алюмінієвого скрапу. *Science Rise*. 2019. № 12 (65). С. 47-54. DOI: 10.15587/2313-8416.2019.189686.
2. Верховлюк А.М., Довбенко В.В., Червонный И.Ф. Технологические особенности переработки алюминиевого шлака. *Modern Scientific Researches*. Yolnat PE, Minsk, Belarus. 2019. P. 9-18. DOI: 10.30889/2523-4692.2019-09-01-003.
3. Довбенко В.В., Верховлюк А.М. Особливості одержання алюмінію з відходів ливарного виробництва. *Процеси лиття*. 2020. № 2 (140). С. 3-7.
4. Verkhovliuk A.M., Dovbenko V.V., Zhelesniak A.V., Chervonyi I.F. Investigation of the metallurgical yield of aluminum from foundry slag. *Modern engineering and innovative technologies*. 2020. Issue 12. Part 2. P. 5-16.
5. Verkhovliuk A.M., Dovbenko V.V., Chervonyi I.F. Processing of aluminum slag. *Heritage of European science: engineering and technology, informatics, transport, architecture*. Monographic series «European Sciens». Karlsruhe, Germany. 2020. Book 2. Part 3. P. 9-36. DOI: 10.30888/978-3-9821783-5-6.2020-02-03-080.
6. Верховлюк А.М., Щерецький О.А., Каніболоцький Д.С., Довбенко В.В. Вплив технологічних факторів на властивості високоміцного алюмінієвого сплаву системи Al-Zn-Mg-Cu. *Металознавство та обробка металів*. 2020. № 1. Т. 26. С. 27-36.
7. Верховлюк А.М., Довбенко В.В., Русаков П.В. Електротермічна установка для переробки відходів алюмінієвого виробництва. *Процеси лиття*. 2021. № 1 (143). С. 11-18.
8. Верховлюк А.М., Щерецький О.А., Довбенко В.В., Червоний І.Ф. Науково-методичний аналіз переробки алюмінієвих шлаків. *Процеси лиття*. 2021. № 3

(145). С. 5-13.

9. Dovbenko V.V., Verkhovliuk A.M. (2023.). Features the Processing of Aluminum Slag using the Soda. *Sci. innov.* 19 (4), 93-102. <https://doi.org/10.15407/scine.19.04.093>

10. Довбенко В.В. Екологічні аспекти переробки алюмінієвого шлаку. *Металознавство та обробка металів. Металознавство та обробка металів.* 2023. № 3. Т. 30. С. 50-55. <https://doi.org/10.15407/mom2023.03.050>

Публікації які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Верховлюк А.М., Русаков П.В., Сергієнко Р.А., Довбенко В.В., Червоний І.Ф. Спосіб і установка для переробки алюмінієвого шлаку. Заявка на винахід № а2020 00450 від 27.01.2020.

12. Верховлюк А.М., Довбенко В.В., Железняк О.В., Железняк В.В., Таранухіна Л.Д. Визначення металургійного виходу алюмінію із відходів ливарного виробництва // *Нові матеріали і технології в машинобудуванні - 2020: матеріали XII Міжн. науково-технічної конференції, 28-29 квітня 2020 р., м. Київ.- Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2020.- 158 с.- С. 43.*

13. Верховлюк А.М., Довбенко В.В., Червоний І.Ф. Особливості переробки алюмінієвого шлаку. М-ли IV міжн. наук.-техн. к-ції «Прикладні науково-технічні дослідження. Виробництво та технології», 1-3 квітня 2020.- Івано-Франківськ, 2020.- С. 162-163.

14. Верховлюк А.М., Довбенко В.В., Железняк О.В., Железняк В.В. Металургійний вихід алюмінію з ливарного шлаку. М-ли XVI Міжн. нук.-практ. кон-ції (19-21 травня 2020 р., м. Запоріжжя) «Литво. Металургія. 2020». – Запоріжжя. - 2020.- 330 с. (С. 31-32).

15. Dovbenko V.V., Verkhovliuk A.M., Chervonyi I.F. Processing of aluminum of slag // *Book of abstracts International Scientific Conference «International Scientific Inregration '2020», November 9-10.- Seattle, Washington, USA.- 2020, P. 21-24. DOI: 10.30888/2709-2267.2020-4, ISBN 979-8-5776002-6-6.*

16. Верховлюк А.М., Русаков П.В., Сергієнко Р.А., Довбенко В.В., Червоний І.Ф. Спосіб і установка для переробки алюмінієвого шлаку. Патент України

на винахід 124750, Бюл. № 45 від 10.11.2021.

17. Верховлюк А.М., Щерецький О.А., Довбенко В.В., Железняк О.В. Хімічний та фазовий склад алюмінію, одержаного з ливарного шлаку // Литво. Металургія. 2022: М-ли XVIII Міжн. нук.-практ. кон-ції (04-06 жовтня 2022 р., м. Харків-м. Київ) / Під. заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Харків, НТУ «ХПІ». - 2022.- 270 с. (С. 39-42).

Виходячи з аналізу вищенаведених робіт, можна зробити висновок про успішне виконання встановлених вимог щодо необхідної кількості наукових публікацій перед представленням дисертаційної роботи Довбенка В. В. до захисту, а також про достатню повноту висвітлення наукових і практичних результатів в опублікованих матеріалах.

Розглянута дисертаційна робота Довбенка В. В. «Оптимізація технології одержання алюмінію з вторинної сировини», представлена на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 136 – Металургія, за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.

Голова семінару
д. т. н., проф.



Олексій СМІРНОВ

Секретар семінару



Марія НАУМЕНКО