

УДК 669.28:519/87

С. М. Григор'єв

доктор технічних наук, професор

Т. К. Хохлина**А. А. Гайдай**

Запорізький національний університет

ІННОВАЦІЙНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УТИЛІЗАЦІЇ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ ІЗ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ

У статті виконано оцінювання економічної ефективності технічних рішень щодо одержання сплаву для легування та розкиснення на основі техногенних відходів з подальшим його використанням при виплавці нержавіючих сталей. Використано вдосконалену методику розрахунку економічної утилізації на прикладі хрому та нікелю.

Ключові слова: утилізація тугоплавких металів, техногенні відходи, економічна ефективність, економія матеріальних ресурсів.

I. Вступ

Високі темпи зростання виробництва спеціальних сталей можуть бути забезпечені лише за умови одночасного збільшення обсягу випуску відповідних їм легуючих матеріалів і поліпшення їх якості, причому для радикальної зміни структури на користь спеціальних сталей нарощування обсягу виробництва легованих сталей має здійснюватись випереджальними темпами [1; 2]. Але підприємства металургійного комплексу є джерелом шкідливих викидів у навколишнє середовище, створюють напружену економічну обстановку в районах їхнього розташування. Окрім заповідання шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини, на цих підприємствах втрачаються цінні компоненти легувальних елементів. Україна не має власної мінерально-сировинної бази та виробничих потужностей для їх виробництва, будучи водночас споживачем великих обсягів.

З метою виправлення існуючого стану справ велику увагу зараз приділяють удосконаленню технічного рівня очисних споруд та ступеню переробки відходів. Комплексна переробка сировини й підвищення ступеня видалення корисних компонентів, розробка безвідходних технологій дають змогу знизити економічну напругу та пов'язаний із цим негативний вплив металургійних виробництв на природне середовище.

Підвищення рівня технічних рішень у галузі переробки металургійних відходів супроводжується необхідністю розробки та вдосконалення конкретних методів оцінювання ефективності цих рішень. Зараз, коли активно шукають нові можливості використання вторинної сировини, практичний інте-

рес становлять уточнені методики розрахунку економічного ефекту, отриманого від утилізації легувальних елементів.

Над вирішенням перелічених проблем значної економії працювали такі вчені, як Р. Бредехев, С. Грищенко [6], Г. Ендеман [7], Ю. Керкхофф [8], Х. Крогерус [4], М. Лейтман [3], Е. Сидоров, А. Фляйшандерль [5], І. Хунгер, та ін.

Зокрема, М. Лейтман та Х. Крогерус здійснювали розробку та оптимізацію методів переробки рудних матеріалів молібдену, вольфраму й інших тугоплавких елементів методами порошкової металургії. При цьому акцент робили на економії при вичерпних природних запасах з досягненням великої економічної незалежності від країн експортів [5; 7]. А. Фляйшандерль та Г. Ендеман розробляли економічно вигідні технологічні аспекти переробки оксидних техногенних відходів [5; 7]. Х. Ю. Керкхофф та С. Г. Грищенко аналізували цінову ситуацію на світовому ринку сировинних матеріалів для спеціальної металургії. У результаті було виявлено нестабільність цін, зі стрибкоподібними їх змінами, тенденціями до їх підвищення, що призводить до ускладнення налагодження довгострокових зв'язків з постачальниками й нестабільності забезпечення [3].

II. Постановка завдання

Мета статті – удосконалення методики оцінювання ефективності з урахуванням факторів, які набули розвитку і впливають на кінцевий результат утилізації тугоплавких елементів при виплавці та використанні сплаву для легування й розкиснення при виробництві найбільш ємного класу спеціальних сталей – нержавіючих сталей. Для ширшого впровадження запропонованих рішень вкрай необхідна об'єктивна кількісна

оцінка ефективності для обґрунтування доцільності їх використання [9; 10].

III. Результати

До факторів слід зарахувати концентрацію тугоплавких елементів, які використовуються у відходах, витратні коефіцієнти, рівень їх наскрізної утилізації, зниження чаду всього комплексу тугоплавких і активних елементів при веденні процесу в системах з надлишковим відносним потенціалом та інші чинники, які не враховують відомі методи оцінювання ефективності нової техніки та прямого ефекту від заходів природоохоронного значення.

Нетрадиційний напрям заповнення дефіциту нікелю полягає у використанні висококонцентрованих відходів виробництва корозійностійких матеріалів і прецизійних сплавів на нікелевій основі при отриманні нікелевих лігатур, що задовольняють високі вимоги якісної металургії. Ці лігатури можуть бути застосовані при виплавці спеціальних сплавів на нікелевій основі, а також як легувальні домішки нікелю в різних сферах його використання.

Випробувані розробки можуть бути реалізовані на вивільнених плавильних потужностях кольорової металургії без будь-яких конструкційних доробок, що відкриває перспективу впровадження багатьох технологічних проектів без використання значних капітальних вкладень. При цьому потрібно враховувати такі нетипові фактори, як форма присутності елементів у відходах, наявність і концентрація супутніх шкідливих домішок, що знижують практичну цінність тугоплавких елементів тощо.

Сума річного економічного ефекту або впровадження одного окремо взятого технічного рішення з одержання й використання нових складів сплавів замість традиційно застосовуваних металевих нікелю та хрому високої чистоти при виробництві нержавіючих сталей визначається за формулою:

$$E = \sum_{i=1}^n \left\{ (E_{\text{шм}_i} + E_{\text{ЗВ}_i} + E_{\text{ТВ}_i} + E_{\text{ЗФ}_i}) \times E_{\text{ВФ}} \right\}, \quad (1)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – кількість варіантів отримання та використання сплавів, що відрізняються різною структурою легувальних і активних елементів;

$E_{\text{шм}}$ – сума економії відповідних витрат на шихтові матеріали при виробництві сталі, грош. од./т;

$E_{\text{ЗВ}}$ – сума економії відповідних легувальних елементів і розкиснювачів за рахунок зниження чаду на наступних переділах (виробничих коефіцієнтів), грош. од./т;

$E_{\text{ТВ}}$ – сума економії за рахунок скорочення технологічних витрат (палива, води, енергії тощо) при зниженні температури плавлення й збільшенні швидкості розчинення

тугоплавких елементів у розплаві сплаву, грош. од./т;

$E_{\text{ЗВ}}$ – економія (перевитрата) за рахунок зміни зовнішніх факторів і їхнього впливу на збільшення швидкості обороту оборотних коштів, грош. од./т;

$E_{\text{ВФ}}$ – річний обсяг виробництва i -го прецизійного сплаву із застосуванням нового виду комплексного матеріалу, т.

Розрахунок суми економії шихтових матеріалів на плавку сталі проведено за формулою:

$$E_{\text{шм}_i} = \sum_{j=1}^m Q_j \sum_{\beta=1}^{\beta} (X_{0j} - X_{1j}) \zeta_j, \quad (2)$$

де $j = 1, 2, 3, \dots, m$ – кількість порівнюваних марок нержавіючих сталей;

$j = 1, 2, 3, \dots, \beta$ – кількість видів шихтових матеріалів на плавку;

Q – обсяг виробництва j -ї марки прецизійного сплаву після впровадження технології виплавки з використанням лігатури, т;

X – витрати шихтових матеріалів до і після впровадження виплавки сплаву із застосуванням лігатури на 1 т сплаву, т;

ζ – ціна кожного компонента шихти, грош. од./т.

За інших рівних умов виплавки нержавіючих сталей, легованих рідкісними елементами, визначати ефективність їх виробництва будуть ціна та технологічні особливості нікелю й інших тугоплавких елементів. Тому при розрахунку наскрізної економічної вигоди необхідно враховувати резерви підвищення економії на стадії отримання легувальних матеріалів:

$$\zeta_j = (\Pi_j + C_j), \quad (3)$$

$$\zeta_j = \sum_{j=1}^{\mu} \zeta_{oj} \times K_1 \times K_2, \quad (4)$$

де J – прибуток, одержуваний при виробництві сплаву на основі легованих відходів, грош. од./т;

Π – прибуток, одержуваний при виробництві лігатури на основі легованих відходів;

C – повна собівартість виробництва цього сплаву, грош. од./т;

$\sum \zeta$ – ціна окремо взятого стандартного компонента шихти, отриманого за наявними технологіями (наприклад, металевих нікелю, молібдену, хрому тощо), грош. од./т;

K_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення рівня використання кожного елемента при введенні їх у розплав сплавом;

K_2 – коефіцієнт, що враховує технологічні переваги комплексного сплаву порівняно з використанням кожного металевого елемента окремо (підвищення швидкості розчинення в розплаві, зниження температури розплаву тощо).

Для аналізу величини одержуваного прибутку за наявності оригінальної й достатньо надійної технології виплавки сплаву, легового тугоплавкими елементами, з метою її використання при отриманні нержавіючих сталей доцільно врахувати нетрадиційні чинники, які набули матеріалізації при формуванні постатейної структури собівартості. Тоді повну собівартість виплавки сплаву в загальному вигляді можна отримати за формулою:

$$C_j = C_{3B} + C_{BP} + C_{HB}, \quad (5)$$

де C_{3B} – витрати за статтею “задано у виробництво”, грош. од./т;

C_{BP} – витрати по переділу з урахуванням витрат на оренду основних фондів та допоміжного обладнання, грош. од./т;

З урахуванням технологічних факторів отримаємо:

$$C_j = \left[\frac{(C_{3B} + C_{BP} + C_{HB})}{(\eta \times y_\eta) + (Z_{\beta-\alpha} \times Y_Z) + (L_{\zeta-t} \times y_L)} \right] \times K_\eta \times \omega,$$

де η – базовий вміст провідного легувального елемента у відходах виробництва, % (мас);

\hat{y} – рівень засвоєння провідного легувального елемента лігатурою з відходів;

Z – концентрація відповідних елементів: 1, 2, 3, ..., а тугоплавких та інших корисних елементів у відходах виробництва, % (мас.);

y – рівень засвоєння супутніх $p = 1, 2, 3, \dots$, а елементів лігатурою з відходів;

L_t – концентрація активних елементів (або розкиснювачів) у відходах та компонентів шихти на виплавку лігатури;

y_L – рівень засвоєння активних елементів (або розкиснювачів) при виплавці сплаву;

j – коефіцієнт, що враховує концентрацію шкідливих або корисних домішок, які підвищують або знижують споживчі якості лігатури;

£7 – вихід придатного сплаву.

Ця формула дає змогу визначити собівартість отримання комплексу легувальних і активних елементів у сплаві на основі нікелю, одержуваного з висококонцентрованих відходів, на відміну від пропорційної собівартості видобування кожного елемента при комплексній переробці рудної сировини або утилізації цінних компонентів з уловленого пилу аналогічно:

$$E_{TP_i} = T_{p1_i} - T_{p2_i}, \quad (7)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots$ – кількість варіантів технологій виплавки нержавіючих сталей, що відрізняються складами шихтових матеріалів способом їх введення, технологічними агрегатами для їх здійснення;

T – технологічні витрати за межею виробництва нержавіючих сталей без і з використанням сплаву, за варіантами, грош. од./т.

За цією статтею витрат найбільш достовірними є показники зниження витрат технологічних палива (електроенергії), води, шлакоутворювальних домішок і флюсів. Це забезпечується технологічними перевагами лігатури порівняно з окремими компонентами шихти на плавку.

Економію за рахунок зниження чаду легувальних елементів і розкиснювачів при виплавці можна визначити за формулою:

$$E_{3B} = Z_1 - Z_2, \quad (8)$$

де Z – витрати на легувальні й розкиснювальні елементи при виплавці сталей до і після впровадження сплаву, грош. од./т.

Підставляючи конкретні вирази діючих факторів, у цьому випадку отримаємо:

$$E_{3B} = (3'_1 y'_\eta + 3'_2 y'_Z + 3'_3 y'_L) - (3''_1 y''_\eta + 3''_2 y''_Z + 3''_3 y''_L), \quad (9)$$

де Z_1 – вартість нікелевої основи у сплаві при використанні металевго нікелю, грош. од./т;

y – рівень переходу нікелю у сплав, частки од.;

Z_2 – вартість інших легувальних елементів при використанні їх у металевому вигляді, грош. од./т;

y – рівень засвоєння інших легувальних елементів нержавіючої сталі, частки од.;

Z_3 – вартість чистих розкиснювачів при виплавці сплаву, грош. од./т;

y – видаткові коефіцієнти розкиснювачів при виплавці сплаву за базовою технологією, т/т;

Z_1, Z_2, Z_3 – витрати на нікелеву основу, легувальні елементи та розкиснювачі в разі використання лігатури для виплавки сталі, грош. од./т;

y, y_Z, y_L – рівень використання (засвоєння) нікелевої основи, легувальних елементів і розкиснювачів при виплавці сталі з сплаву, відповідно.

Очікувану економію за рахунок зміни зовнішніх факторів можна розрахувати за допомогою коефіцієнтів, що враховують швидкість обороту оборотних коштів, кон'юнктуру ринкових цін та інших неврахованих факторів. Це стало можливим при значній сумі наскрізної економії витрат (приблизно на 60–70%) з використанням нової ефективної технології переробки висококонцентрованих відходів у комплексний матеріал, що дає змогу виключити використання дорогих нікелю, хрому та інших елементів.

За запропонованою методикою оцінювання економічної ефективності нових технічних рішень щодо одержання матеріалів із техногенних відходів і утилізації тугоплавких легувальних елементів в сталеплавильному виробництві як приклад наведено заключну

частину розрахунку економії використання попередньо підготованого сплаву із дрібно-дисперсних металооксидних відходів нержавіючих сталей типу 18-10.

Загальний обсяг сплаву для легування та розкиснення марки НМ1, використаного для виплавки прецизійного сплаву марки 79НМ, прийнятого в дійсних розрахунках, становить 70,6 т. Використання попередньо виплавленого з вторинного матеріалу нового легуючого й розкиснюючого сплаву здійснювали при виплавці в індукційній печі ИСТ-4 ємністю тигля 4000 кг. У результаті шихтової добавки сплаву НМ1 з видатковими коефіцієнтами 140...220 кг/т прецизійного сплаву знижується масова частка витрат нікелю, молібдену, алюмінію тощо. У розрахунку використовується тільки дані за нікелем та молібденом та взято середнє значення видаткового коефіцієнта шихтової добавки сплаву НМ1 у 180 кг/т.

Розрахунок обсягу виплавленого прецизійного сплаву марки 79НМ з використанням сплаву для легування та розкиснення марки НМ1:

$$70,6 \times \frac{1000}{180} = 392,22, \text{ т.}$$

Згідно з обсягом використання в обсязі 70,6 т і сертифікації хімічного складу сплаву для легування та розкиснення НМ1 при промисловому виробництві сплаву марки 79НМ, в перерахунку на базовий вміст (100% мас.), економія за нікелем становить:

$$- X_{86,5} = 61,07 \text{ т,}$$

де 70,6 – маса використаного сплаву марки НМ1, т;

100 – базовий вміст провідного елемента, % мас.;

86,5 – середнє значення вмісту нікелю в сплаві марки НМ1, % мас.

Аналогічно до розрахунків економії нікелю заощадження за молібденом становлять:

$$- x_{2,45} = 1,73, \text{ т.}$$

1. Економія коштів за рахунок зниження витрат легуючих елементів на 1 т прецизійного сплаву 79НМ (порівняно з використанням стандартних феросплавів і легуючих матеріалів):

$$\begin{aligned} E_1 &= (\psi_1 - p_2) \times V_1' \times C_1 + (m_1 - m_2) \times U_2 = \\ &= (792,5 - 636,8) \times 0,98 \times 15,999 + \\ &+ (39,5 - 35,1) \times 0,97 \times 22,5 = \\ &= 2537,47, \text{ дол. США/т,} \end{aligned}$$

де ψ_1, p_2 – видатки нікелю при виплавці сплаву 79НМ з використанням стандартного електролітичного нікелю та додатковою добавкою сплаву НМ 1 відповідно, кг/т сплаву;

m_1, m_2 – видатки молібдену при виплавці сплаву 79НМ з використанням стандартного

феромолібдену та додатковою добавкою сплаву НМ1 відповідно, кг/т сплаву;

$\psi_1 > \psi_2$ – ступінь засвоєння нікелю та молібдену відповідно згідно із запропонованим технічним рішенням з використанням сплаву НМ1, дол. од.;

C_1, C_2 – ціна за 1 кг нікелю та молібдену відповідно станом на 25.03.2014 р. на Лондонській біржі металів (LME), дол. США.

2. Економія коштів при використанні 1 т сплаву для легування та розкиснення марки НМ1:

$$\begin{aligned} E_2 &= E_1 \times \frac{1000}{180} = \\ &= 2537,47 \times \frac{1000}{180} = 14097, \text{ дол. США.} \end{aligned}$$

3. Загальна економія коштів при використанні 70,6 т сплаву для легування та розкиснення марки НМ1:

$$\begin{aligned} E &= (E_2 - B_2 - B_3) \times 70,6 = \\ &= (14097 - 8672,13 - 2124,28) \times 70,6 = \\ &= 233,03 \text{ тис. дол. США,} \\ &\text{округлено 233 тис. дол. США,} \end{aligned}$$

де B_1 – вартість витрати на збір компонентів шихти, виплавку й розливу сплаву, подрібнення та транспортування на 1 т сплаву марки НМ1, дол. США;

B_2 – витрати на НДР, супроводження нормативно-технічною документацією на випробування та виробництво промислової партії, в перерахунку на 1 т сплаву марки НМ1, дол. США.

Загальний обсяг витрат коштів на НДР з наукового обґрунтування, розробку технології виплавки сплаву для легування й розкиснення та його використання при виплавці нікельмолібденвмістних прецизійних сплавів становить 150 тис. дол. США.

IV. Висновки

Удосконалено методику оцінювання економії від розроблених технічних рішень утилізації тугоплавких легувальних елементів з оксидних дрібнодисперсних техногенних відходів при виплавці нержавіючих сталей. Набули розвитку нетипові фактори, які відображають специфічні ознаки виробництва корозійностійких сталей і властивості їх провідних елементів.

Оцінка наскрізної економічної ефективності утилізації легуючих елементів у виробництві нержавіючих сталей та визначена кількісна питома економія на одиницю продукції підтверджують економічну інноваційну доцільність вибраного напрямку ресурсозбереження в металургії спеціальних сталей.

Список використаної літератури

1. Сидоров М. Н. Структурная перестройка черной металлургии: сущность, проблемы и пути их решения / М. Н. Сидоров // Экономика Украины. – 1994. – № 2. – С. 43–47.

2. Григор'єв С. М. Оптимізація техніко-економічних показників виплавки сталі в індукційній печі з використанням хромовмісних брикетів / С. М. Григор'єв, С. Ю. Білим // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2006. – № 6. – С. 89–93.
3. Лейтман М. С. Тугоплавкие металлы: состояние рынка и перспективы применения в России / М. С. Лейтман // Сталь. – 2008. – № 3. – С. 47–50.
4. Крогерус Х. Технология производства феррохрома фирмы Outokumpu: экономическая эффективность и высокая производительность / Х. Крогерус, П. Ойкаринен // Черные металлы. – 2003. – № 12. – С. 23–31.
5. Хунгер Й. ZEWA – Новый металлургический процесс для производства ценных материалов из промышленных отходов / Й. Хунгер, А. Фляйшандерль, У. Женнари, Ж. Борле // Чёрные металлы. – 2005. – № 6. – С. 33–40.
6. Грищенко С. Г. Мировой финансово-экономический кризис и металлургия / С. Г. Грищенко // Сталь. – 2009. – № 2. – С. 68–71.
7. Эндеман Г. Образование пыли, окалины и шлама и их утилизация на металлургических заводах Германии / Г. Эндеман, Х. Б. Люнген, К. Д. Вупперман // Черные металлы. – 2007. – № 2. – С. 49–56.
8. Керкхофф Х. Ю. Взрыв цен на сырьё – угроза экономическому подъёму / Х. Ю. Керкхофф // Чёрные металлы. – 2010. – № 10. – С. 61–66.
9. Григорьев С. М. Технико-экономические показатели развития металлургии губчатых и порошковых лигатур на примере металлизированного молибденового концентрата / С. М. Григорьев // Чёрные металлы. – 2005. – № 3. – С. 26–29.
10. Григор'єв С. М. Ресурсо- та енергозбереження в регіональній економічній політиці на прикладі утилізації легувальних елементів з техногенних відходів виробництва прецизійних сплавів / С. М. Григор'єв, Я. О. Зубрицька // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2012. – № 2. – С. 89–92.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2015.

Григорьев С. М., Хохлина Т. К., Гайдай А. А. Инновационная целесообразность утилизации тугоплавких металлов из техногенных отходов производства нержавеющей сталей

В статье выполнена оценка экономической эффективности технических решений получения сплава для легирования и раскисления на основе техногенных отходов с последующим его применением при выплавке нержавеющей сталей. Использована усовершенствованная методика расчета экономической эффективности утилизации на примере хрома и никеля.

Ключевые слова: утилизация тугоплавких металлов, техногенные отходы, экономическая эффективность, экономия материальных ресурсов.

Grigor'ev S., Khokhlina T., Gayday A. Innovative Expediency of Utilization of Refractory Metals from Technogenic Production Wastes of Stainless Steels

In this paper a study of technical and economic parameters of melting alloy for alloying and deoxidation based on technical waste with its subsequent use in the smelting of stainless steels. On the basis of new technical solutions proposed to fill one of the directions deficiency of chromium and nickel and some accompanying elements by processing highly nitrated waste production and processing of stainless steel to give a new alloying materials. They can be used in the melting of steels traditionally used metal materials and ferroalloys based on chromium and nickel.

Improved assessment methodology through economic efficiency of the doped waste and use them in the metallurgy of special steels. Coefficients have been developed that allow for increasing the level of each element when introduced into the melt with a ligature, which allows for a complex technological advantages compared ligation with each other and the metal element.

The calculations of economic efficiency of the proposed new techno-economic decisions disposing of refractory alloying elements from industrial waste products of stainless steel steelmaking and processing conversions confirm the economic feasibility of the chosen direction of improving efficiency in the metallurgy of special steels. Industrially significant saving valuable alloying elements in the smelting of stainless steels using this alloy confirmed the feasibility of the production of innovative new doping material and Ukraine and its use in the steel industry special steels. Resource and energy efficiency in steel production is one of effective factors in improving the competitiveness of the national and metallurgical production.

Key words: recycling of metals refractory, technogenic waste, economic efficiency, saving material resources.