

А. С. Петрищев, асп.; С. М. Григор'єв, д-р. техн. наук, доц.

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПОКАЗНИКІВ УТИЛІЗАЦІЇ ВАЖКОТОПКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ

Розроблено багатофункціональну систему залежностей техніко-економічних показників виробництва сплаву для легування та розкиснення швидкорізальних сталей на основі техногенних відходів. Встановлено та оптимізовано області техніко-економічних показників, результатом чого показано можливість стабілізації якості вторинної сировини з комплексним вмістом легувальних елементів в ній і напрям зниження собівартості виплавки сталі з її використанням.

Вступ

Обставини, які склалися з утворюваними відходами у металургійному виробництві (окалина швидкорізальних сталей, циклонний пил, металообразивна суміш та ін.) і їхньою переробкою, характеризуються низьким ступенем утилізації вартісних дефіцитних рідкісних і важкотопких елементів, а також відсутністю надійних технологій переробки техногенних відходів. Це, у свою чергу, знижує ефективність виробництва металопродукції [1, 2].

Основним способом одержання вторинної сировини із забруднених відходів є рафінувальна плавка в системі рідкофазних реакцій із застосуванням шлакоутворювачів, інертних газів, вакууму та їх комбінації. Однак, такі способи утилізації легувальних елементів не забезпечують очікуваної на практиці ефективності, що зумовило необхідність розв'язання проблем підвищення ефективності ресурсо- і енергозбереження рециклінгу техногенних відходів [3, 4].

Ця проблема особливо загострилася в останні роки у зв'язку зі стрімким зростанням цін на рідкісні важкотопкі легувальні матеріали на світовому ринку споживання [5]. Тому розробка вітчизняних ресурсозберігальних технологій молібден- і вольфрамвмісних сплавів і лігатур, тим більше з паралельною утилізацією немобільних відходів (окалина швидкорізальних сталей) складає не тільки науковий, але, й насамперед, практичний промисловий інтерес [6, 7].

Метою роботи є підвищення ефективності ресурсо- і енергозбереження в металургії спеціальних сталей. Конкретні завдання цих досліджень полягали в економіко-математичному моделюванні й оптимізації техніко-економічних показників виробництва сплаву для легування та розкиснення швидкорізальних сталей.

Матеріали й методика проведення досліджень

У роботі використано техніко-економічні показники активного промислового експерименту виплавки й впровадження сплаву для легування й розкиснення сталі.

Завдання комплексного легування з одночасною утилізацією металургійних відходів досягається тим, що шихта включає металевий порошок і матеріал, який містить оксиди легувальних елементів (окаліну швидкорізальних сталей), вуглецевий відновник і подрібнений феросиліцій і (або) кристалічний кремній.

З метою досягнення оптимальних властивостей цільового продукту з урахуванням комплексного впливу складу шихти на економію від використання сплаву для легування та розкиснення сталей використовувався регресійний аналіз [8].

Теорія й аналіз отриманих результатів

Досліджено взаємозв'язок процесів і експериментально побудована функціональна залежність, що дозволило з деякою вірогідністю використовувати її в плануванні очікуваних техніко-економічних показників. Підвищення ступеня відновлення легувальних елементів, що залежить від багатьох факторів, можна описати за допомогою нелінійної множинної регресії. Оцінки коефіцієнтів регресійної моделі знаходимо за допомогою МНК (методу найменших квадратів) у матричній формі.

Фактори, які досліджувалися в роботі, подано у табл. 1.
В результаті отримано математичну модель

$$y = -45,207 + 0,008x_1^2 - 84,768\left(\frac{1}{x_2}\right) + 21,405 \ln x_3 + 1,916\sqrt{x_4} - 0,024x_5. \quad (1)$$

Будуючи структуру регресії, з одного боку, потрібно включити в регресію всі фактори, які мають істотний статистичний вплив на показник, а з іншого боку, потрібно, щоб виконувалась умова лінійної незалежності між факторами, тобто відсутність мультиколінеарності для ефективного застосування МНК. Методом Фаррара-Глобера досліджуємо в моделі (1) присутність мультиколінеарності. Перевірка за допомогою тесту χ^2 показала, що з надійністю $p = 0,95$ існує загальна мультиколінеарність.

З вигляду кореляційної матриці було зроблено висновок, що між факторами x_2 і x_4 існує тісний зв'язок. Оскільки вплив на показник y фактора x_2 більш значний ($ry_{x_2} = 0,94$, $ry_{x_4} = 0,81$), то з регресії виключаємо фактор x_4 для усунення мультиколінеарності.

З урахуванням перетворень математична модель набуває вигляду:

$$y = 0,25 + 0,0081x_1^2 - 89,4287\left(\frac{1}{x_2}\right) + 25,1379 \ln x_3 - 0,0249x_5. \quad (2)$$

Перевірка за допомогою тесту χ^2 показала, що мультиколінеарність залишилася, але значно зменшалася (на 27,48 % у порівнянні з попереднім випадком) t -тест на значущість коефіцієнтів регресії показав, що всі параметри регресії значимі, тобто жоден з факторів не можна виключити з регресії.

Згідно з перевіркою за допомогою критерію Фішера отримана модель, адекватна статистичним даним. ($F = 259,04$, $F_{\text{крит}} = 2,87$).

Коефіцієнти регресії з надійністю $p = 0,95$ перебувають у таких межах:

$$-43,8508 < \beta_0 < 44,3507; \quad 0,005 < \beta_1 < 0,0112; \quad -101,1084 < \beta_2 < -77,749;$$

$$14,3911 < \beta_4 < 35,8848; \quad -0,0253 < \beta_5 < -0,0245.$$

Значення « y » і довірчі інтервали для регресії зазначені на рис. 1, з якого маємо графічне підтвердження розрахункових значень, що отримана модель задовільно відповідає практичним даним.

Таблиця 1
Досліджувані техніко-економічні показники виробництва нового легувального матеріалу

n	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	19	25	55	1010	13	100
2	24	23	52	990	15	100
3	28	21	50	980	16	100
4	29	20	49	980	18	100
5	33	19	46	980	29	100
6	36	18	43	970	32	100
7	42	17	38	970	38	100
8	47	16	34	970	42	100
9	51	15	30	960	48	100
10	53,5	14,5	28	950	47	99,9
11	56	14	26	940	46	99,9
12	57,5	13,5	25	940	42,5	99,9
13	59	13	24	940	39	99,8
14	60,5	12,5	22,5	930	36,5	99,7
15	62	12	21	920	34	99,5
16	65	11	19	915	33,5	99,3
17	68	10	17	910	33	99
18	70	9,5	15,5	910	32,5	98,8
19	72	9	14	910	32	98,1
20	73,5	7,5	13,5	905	30	97,2
21	75	6	13	900	28	96
22	76	5,5	12,5	890	26,5	94
23	77	5	12	880	25	91,7
24	78	5	11	870	24,5	90,5
25	79	5	10	860	24	90

Примітки. n – номер шихти; x_1 – окалина швидкорізальних сталей марок Р6М5Ф3, Р9М4К8 і Р12Ф2К8М3 (суміш), % мас.; x_2 – металевий порошок швидкорізальних сталей, % мас.; x_3 – феросиліцій марки ФС45, % мас.; x_4 – маса одержаного сплаву для легування та розкиснення сталі, кг; x_5 – час відновлення легувальних елементів, хв; y – ступінь відновлення легувальних елементів, %

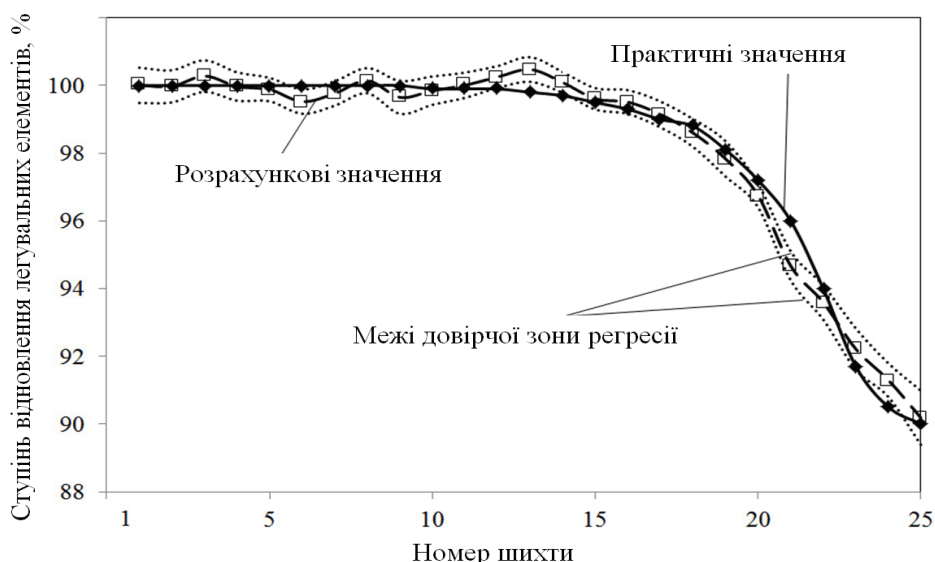


Рис. 1. Практичні й розрахункові значення ступеня відновлення легувальних елементів з позначенням верхньої й нижньої границі 95 % довірчої зони регресії

Для наочного аналізу отриманої моделі побудовано дві найбільш значущі з практичної точки зору часткові залежності у вигляді поверхонь (рис. 2) із закріпленням деяких параметрів: а – $y_1 = f(x_1, x_2) - x_3 = 14\%$ мас., $x_5 = 28$ хв; б – $y_2 = f(x_2, x_3) - x_1 = 36\%$ мас., $x_5 = 48$ хв.

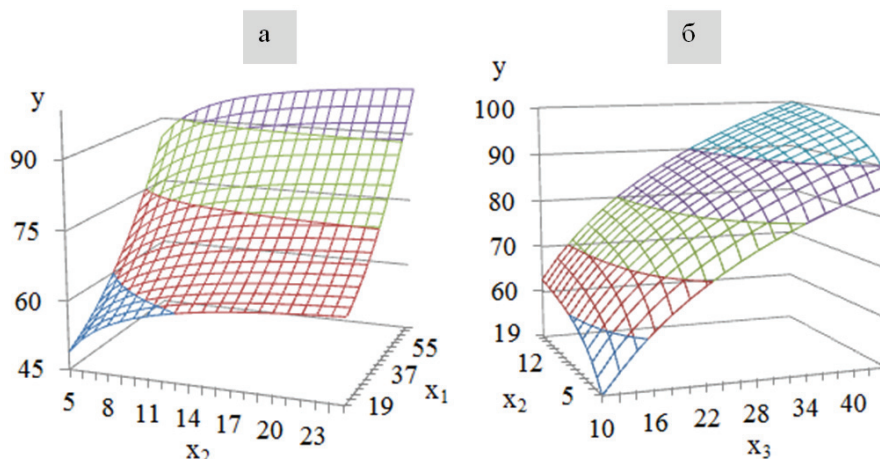


Рис. 2. Графічні залежності техніко-економічних показників виробництва сплаву для легування та розкиснення сталі:

а – $y_1 = f(x_1, x_2) - x_3 = 14\%$ мас., $x_5 = 28$ хв; б – $y_2 = f(x_2, x_3) - x_1 = 36\%$ мас., $x_5 = 48$ хв

Проведена робота дозволяє виявити оптимальні області техніко-економічних показників вихідних матеріалів з подальшою оптимізацією технологічних параметрів і складу шихти й зниженням втрат легувальних елементів в процесі відновлення та при виплавці сталей з використанням сплаву для легування та розкиснення сталей з урахуванням вже досягнутих результатів у цьому напрямку. При цьому одночасно враховується вплив відразу чотирьох факторів на ступінь відновлення легувальних елементів.

За допомогою поверхонь (рис. 2) можна візуально простежити комплексний вплив факторів і визначити оптимальні умови для підвищення економії при виплавці сталі. Виходячи з аналізу побудованої моделі, для забезпечення високої якості сплаву з найвигіднішим вмістом легувальних елементів у ньому, що дає значне зниження собівартості виплавки сталі, оптимальні області техніко-економічних показників відповідають значенням, поданим у табл. 2):

Оптимальні межі досліджуваних техніко-економічних показників одержання сплаву для легування та розкиснення сталі

Межі оптимальних значень факторів	x_1	x_2	x_3	x_5	y
min	36	12	13	28	97,2
max	62	16	28	48	99,8

Встановлена висока техніко-економічна ефективність використання досліджуваного легувального матеріалу при виплавці швидкорізальних сталей. В процесі виплавки сталі Р6М5К5-МП у результаті присадки нового легувального матеріалу в кількості 45...70 кг/т масова витрата хрому знизилася на 2...3 %, молібдену – на 3...4 %, вольфраму – на 30...36 %, ванадію – на 7...8 % [9].

Висновки

Побудовано економіко-математичну модель, яка дозволила встановити оптимальні області техніко-економічних показників виробництва та застосування сплаву для легування та розкиснення швидкорізальних сталей. Встановлено можливість підвищення якості сплаву з найвигіднішим вмістом легувальних елементів у ньому. Оптимальний вміст суміші окалини швидкорізальних сталей Р6М5Ф3, Р9М4К8 і Р12Ф2К8М3 перебуває в межах 36...62 % мас., вміст металевого порошку швидкорізальних сталей – 12...16 % мас., вміст феросиліцію марки ФС45 – 13...28 % мас., час відновлення легувальних елементів – 28...48 хв з досягненням ступеня відновлення легувальних елементів 97,2...99,8 %. Значна економія вартісних легувальних елементів при виплавці швидкорізальних сталей із застосуванням досліджуваного сплаву підтверджує інноваційну доцільність виробництва нового легувального матеріалу в Україні і його використання в металургії спеціальних сталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волынкина Е. П. Отходы металлургического предприятия : от анализа потерь к управлению / Е. П. Волынкина, Е. В. Протопопов // Изв. вузов. Черная Металлургия. — 2005. — № 6. — С. 72—76.
2. Грищенко С. Г. Рынок металлопродукции Украины в странах СНГ: проблемы и задачи / С. Г. Грищенко // Сталь. — 2008. — № 9. — С. 88—90.
3. Фляйшандерль А. ZEWA — Новый металлургический процесс для производства ценных материалов из промышленных отходов / А. Фляйшандерль, У. Женнари, Ж. Борле [и др.] // Черные металлы. — 2005. — № 6. — С. 33—40.
4. Найдек В. Л. Технология получения лигатур и сплавов из железорудного сырья и оксидсодержащих материалов // В. Л. Найдек, В. Н. Костяков, Е. Б. Полетаев [и др.] // Изв. вузов. Черная Металлургия. — 2003. — № 3. — С. 84—85.
5. Керкхофф Х. Ю. Взрыв цен на сырье — угроза экономическому подъему / Х. Ю. Керкхофф // Черные металлы. — 2010. — № 10. — С. 61—66.
6. Григор'єв С. М. Стратегічні й тактичні напрями ресурсо- та енергосбереження в металургії важкотопких легувальних матеріалів і спеціальних сталей / С. М. Григор'єв // Держава та регіони : Серія «Економіка та підприємництво». — 2009 — № 6. — С. 70—76.
7. Григор'єв С. М. Оптимизация технологических параметров получения и использования сплавов для легирования и раскисления быстрорежущих сталей / С. М. Григор'єв, А. С. Петрицев // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — 2008. — № 1. — С. 61—66.
8. Лук'яненко І. Г. Економетрика / І. Г. Лук'яненко, Л. І. Краснікова. — К. : Знання. — 1998. — 494 с.
9. Григор'єв С. М. Повышение эффективности утилизации легирующих элементов в производстве специальных сталей / С. М. Григор'єв // Металлургия. — 2001. — № 4. — С. 32—36.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Стаття надійшла до редакції 1.04.12
Рекомендована до друку 30.05.12

Петрицев Артем Станіславович — аспірант.

Кафедра економіки та організації виробництва;

Григор'єв Станіслав Михайлович — завідувач кафедри теорії і практики менеджменту.

Запорізький національний університет, Запоріжжя