

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫПЛАВКИ СПЛАВА ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ И РАСКИСЛЕНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

⁽¹⁾ Запорожский национальный технический университет,

⁽²⁾ Запорожский национальный университет

Виконано розробку багатofункціональної системи залежностей техніко-економічних показників виробництва сплаву для легування та розкислення швидкорізальних сталей на основі техногенних відходів. Виявлено можливість підвищення якості зазначеного сплаву та зниження собівартості виплавляння сталі з його використанням.

Выполнена разработка многофункциональной системы зависимостей технико-экономических показателей производства сплава на основе техногенных отходов для легирования и раскисления быстрорежущих сталей. Выявлена возможность повышения качества указанного сплава и снижения себестоимости выплавки стали с его использованием.

Введение. Ситуация, которая сложилась с отходами металлургического производства, такими как окалина быстрорежущих сталей, и их переработкой, характеризуется низкой степенью использования дефицитных редких и тугоплавких элементов, а также отсутствием на практике надежных технологий их утилизации из техногенных отходов, что, в свою очередь, снижает эффективность производства металлопродукции [1,2].

Основным способом получения вторичного сырья из загрязненных отходов является рафинирующая плавка с применением шлакообразователей, инертных газов, вакуума и их сочетания. Однако такие способы утилизации легирующих элементов не обеспечивают ожидаемой на практике эффективности, что обусловило необходимость решения проблем повышения эффективности ресурсо- и энергосбережения рециклинга техногенных отходов [3,4].

Особенно эта проблема обострилась в последние годы в связи со стремительным ростом цен на редкие и тугоплавкие легирующие материалы на мировом рынке потребления [5]. Поэтому разработка отечественных ресурсосберегающих технологий молибден- и вольфрамсодержащих сплавов и лигатур, тем более с параллельной утилизацией автомобильных отходов (окалина быстрорежущих сталей), представляет не только научный, но и практический интерес [6].

Постановка задачи. Целью работы является построение многофункциональной модели системы зависимостей технико-экономических показателей производства этого сплава для легирования и раскисления быстрорежущих сталей и выявление оптимальных технологических параметров его получения.

Основная часть исследований. Комплексное легирование с одновременной утилизацией металлургических отходов достигается применением шихты, состоящей из металлического порошка и материала, содержащего оксиды легирующих элементов (окалину быстрорежущих сталей), углеродный восстановитель и измельченный ферросилиций и/или металлический кремний. Для достижения оптимальных свойств целевого продукта использовали регрессионный анализ [7]. Факторы, которые исследовали в работе, представлены в табл. 1.

В результате проведенных исследований получили математическую модель, которая имеет вид:

$$y = -45,207 + 0,008 x_1^2 - 84,768 x_2^{-1} + 21,405 \ln x_3 + 1,916 x_4^{0,5} - 0,024 x_5, \quad (1)$$

где y – степень восстановления легирующих элементов, %, x_1 – окалина смеси быстрорежущих сталей марок Р6М5Ф3, Р9М4К8 и Р12Ф2К8М3, % мас., x_2 – металлический порошок быстрорежущих сталей, % мас.; x_3 – ферросилиций марки ФС45, % мас.; x_4 – масса полученного сплава для легирования и раскисления стали, кг; x_5 – время восстановления легирующих элементов, мин.

Методом Фаррара-Глобера [7] исследовали присутствие в модели (1) мультиколлинеарности, то есть наличия линейной зависимости между факторами $x_1 \dots x_5$. Проверка при помощи теста χ^2 показала, что с надежностью $p = 0,95$ существует общая мультиколлинеарность.

Таблица 1 – Исследуемые технико-экономические показатели производства сплава для легирования и раскисления быстрорежущих сталей для 25 опытов

Фактор					
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
19,0	25,0	55,0	1010	13,0	100
24,0	23,0	52,0	990	15,0	100
28,0	21,0	50,0	980	16,0	100
29,0	20,0	49,0	980	18,0	100
33,0	19,0	46,0	980	29,0	100
36,0	18,0	43,0	970	32,0	100
42,0	17,0	38,0	970	38,0	100
47,0	16,0	34,0	970	42,0	100
51,0	15,0	30,0	960	48,0	100
53,5	14,5	28,0	950	47,0	99,9
56,0	14,0	26,0	940	46,0	99,9
57,5	13,5	25,0	940	42,5	99,9
59,0	13,0	24,0	940	39,0	99,8
60,5	12,5	22,5	930	36,5	99,7
62,0	12,0	21,0	920	34,0	99,5
65,0	11,0	19,0	915	33,5	99,3
68,0	10,0	17,0	910	33,0	99,0
70,0	9,5	15,5	910	32,5	98,8
72,0	9,0	14,0	910	32,0	98,1
73,5	7,5	13,5	905	30,0	97,2
75,0	6,0	13,0	900	28,0	96,0
76,0	5,5	12,5	890	26,5	94,0
77,0	5,0	12,0	880	25,0	91,7
78,0	5,0	11,0	870	24,5	90,5
79,0	5,0	10,0	860	24,0	90,0

Установлено, что между факторами x_2 и x_4 существует тесная связь. Поскольку влияние фактора x_2 на показатель y более значительное ($r_{yx_2} = 0,94$; $r_{yx_4} = 0,81$), то для устранения мультиколлинеарности исключаем фактор x_4 .

С учетом выполненных преобразований математическая модель приобретает следующий вид:

$$y = 0,25 + 0,008x_1^2 - 89,429x_2^{-1} + 25,138\ln x_3 - 0,025x_5 . \quad (2)$$

Проверка при помощи теста χ^2 зафиксировала значительное уменьшение мультиколлинеарности модели (2) – на 27,48 % по сравнению с моделью (1), при этом модель (2) адекватна статистическим данным ($F = 259,04$, $F_{крит} = 2,87$).

Для представительного анализа полученной модели на рис. 1 и 2 построены две наиболее значимые с практической точки зрения частичные зависимости в виде поверхностей: $y_1 = f(x_1, x_2)$ при $x_3 = 14$ % мас., $x_5 = 28$ мин.; $y_2 = f(x_2, x_3)$ при $x_1 = 36$ % мас., $x_5 = 48$ мин.

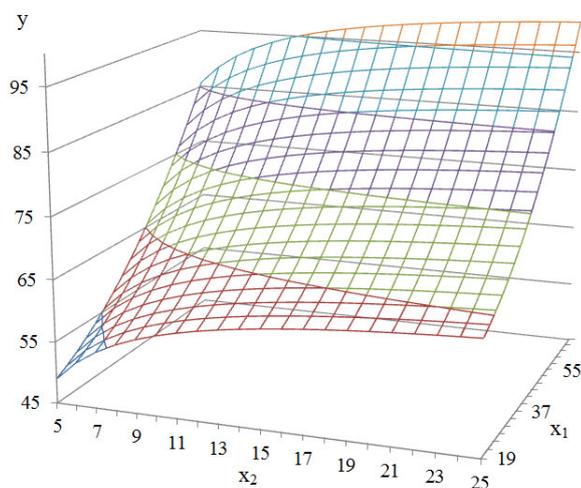


Рисунок 1 – Зависимость степени восстановления легирующих элементов (y) от содержания в шихте окислы быстрорежущих сталей марок Р6М5Ф3, Р9М4К8 и Р12Ф2К8М3 (x_1) и металлического порошка быстрорежущих сталей (x_2)

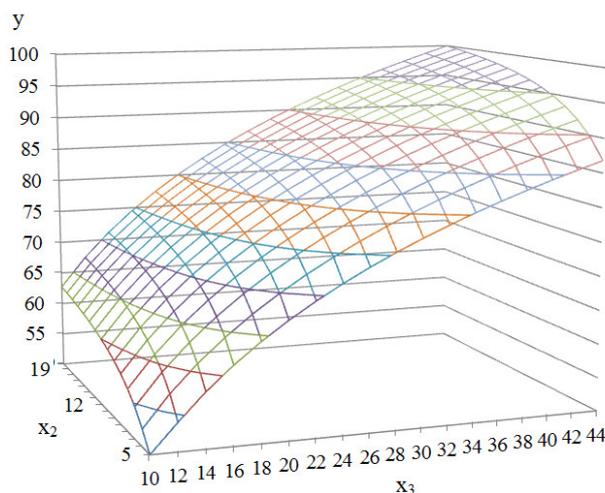


Рисунок 2 – Зависимость степени восстановления легирующих элементов (y) от содержания в шихте металлического порошка быстрорежущих сталей (x_2) и ферросилиция марки ФС45 (x_3)

При помощи указанных поверхностей можно визуально проследить комплексное влияние факторов и рассчитать оптимальные условия для повышения экономии при выплавке стали. Исходя из анализа построенной модели, для обеспечения высоко-кого качества сплава с наиболее предпочтительным содержанием легирующих элементов в нем были выявлены оптимальные области технико-экономических показателей (табл. 2).

Таблица 2 – Оптимальные области содержания составляющих шихты для выплавки сплава (x_1, x_2, x_3) и времени восстановления легирующих элементов (x_5)

Границы оптимальных значений факторов	x_1	x_2	x_3	x_5
min	36	12	13	28
max	62	16	28	48

Выводы

Предложенная математическая модель позволяет исследовать области технико-экономических показателей и расходных коэффициентов с целью выявления возможности повышения качества сплава для легирования и раскисления стали с наиболее выгодным содержанием легирующих элементов в нем. Оптимальное содержание смеси окислы быстрорежущих сталей Р6М5Ф3, Р9М4К8 и Р12Ф2К8М3 находится в пределах 36...62 % мас., содержание металлического порошка быстрорежущих сталей – 12...16 % мас., содержание ферросилиция марки ФС45 – 13...28 % мас., время восстановления легирующих элементов – 28...48 мин. Значительная экономия дорогостоящих легирующих элементов при выплавке быстрорежущих сталей с применением исследуемого сплава подтверждает инновационную целесообразность производства нового легирующего материала в Украине и его использование в металлургии специальных сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев, А. М. Некоторые физико-химические закономерности восстановления окислы прецизионного сплава 79МН [Текст] / А. М. Ковалев, С. М. Григорьев // Черные металлы. – 2007. – № 10. – С. 8-10.
2. Григорьев, С. М. Оптимизация технологических параметров получения и использования сплавов для легирования и раскисления быстрорежущих сталей [Текст] / С. М. Григорьев, А. С. Петрищев // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2008. – № 1. – С. 61-66.
3. ZEWA – новый металлургический процесс для производства ценных материалов из промышленных отходов [Текст] / А. Фляйшандерль, У. Женнари, Ж. Борле и др. // Черные металлы. – 2005. – № 6. – С. 33-40.
4. Технология получения лигатур и сплавов из железорудного сырья и оксидсодержащих материалов [Текст] // В. Л. Найдек, В. Н. Костяков, Е. Б. Полетаев и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. – 2003. – № 3. – С. 84-85.
5. Керкхофф, Х. Ю. Взрыв цен на сырье – угроза экономическому подъему [Текст] / Х. Ю. Керкхофф // Черные металлы. – 2010. – № 10. – С. 61-66.
6. Григор'єв, С. М. Рентгеноструктурний фазовий аналіз та мікроскопічне дослідження при одержанні сплаву для легування та розкислення швидкорізальної сталі [Текст] / С. М. Григор'єв, А. С. Петрищев // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2009. – № 1. – С. 42-45.
7. Лук'яненко І. Г. Економетрика [Текст] / І. Г. Лук'яненко, Л. І. Краснікова. – К. : Товариств-во «Знання», КОО, 1998. – 494 с. – Бібліогр. : с. 489-494. – ISBN 966-7293-08-4.

Рецензент, проф. В.Г. Міщенко