

А.С. Петрищев (Запорожский национальный
технический университет, Украина)

С.М. Григорьев (Запорожский национальный
технический университет, Украина)

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

В статье разработана и оптимизирована многофункциональная система зависимостей технико-экономических показателей производства металлized окалины быстрорежущих сталей. Определены и исследованы области основных показателей, в результате чего выявлена возможность стабилизации качества полученного материала с наиболее предпочтительным содержанием легирующих элементов в нем и направление снижения себестоимости передела выплавки стали с ее использованием.

Ключевые слова: технико-экономические показатели, экономико-математическая модель, себестоимость, техногенные отходы, расходные коэффициенты.

Форм. 2. Табл. 1. Рис. 1. Лит. 13.

А.С. Петрищев (Запорізький національний
технічний університет, Україна)

С.М. Григор'єв (Запорізький національний
технічний університет, Україна)

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІЗОВАНИХ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

У статті розроблено й оптимізовано багатофункціональну систему залежностей техніко-економічних показників виробництва металізованої окалини швидкорізальних сталей. Визначено й досліджено області основних показників, внаслідок чого виявлено можливість стабілізації якості одержанного матеріалу з найбільш раціональним вмістом легуювальних елементів в ньому і напрям зниження собівартості переділу виплавки сталі з його використанням.

Ключові слова: техніко-економічні показники, економіко-математична модель, собівартість, техногенні відходи, витратні коефіцієнти.

A.S. Petryshchev (Zaporizhzhya National
Technical University, Ukraine)

S.M. Grygoriev (Zaporizhzhya National
Technical University, Ukraine)

ECONOMIC MATHEMATICAL MODELLING OF PRODUCTION PARAMETERS FOR METALLIZED TECHNOGENIC WASTE OF RAPID STEEL

The article develops and optimizes the multipurpose system of dependences of the technical and economic indices in production of metallized scale of rapid steel. The scope of basic parameters is defined and studied, and in the process the opportunity for stabilisation of quality of the obtained material with the most rational content of alloying elements in it is determined as well as the way to decrease the prime cost of repartition of steel smelting when it is applied.

Keywords: technical and economic indices; economic mathematical model; prime cost; technogenic waste; cost ratios.

Постановка проблеми. Україна не має власної мінерально-сировинної бази для виробництва легуючих матеріалів на основі рідких і тугоплавких елементів. Потреба в них задовольняється імпортованими поставками з ближнього і дальнього зарубіжжя. В зв'язі з цим в останні роки науковою громадськістю активно обговорюються питання ресурсо- і енергозбереження в промисловому виробництві металопродукції [1; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Представлено і впроваджуються ефективні і достатньо оригінальні техніко-економічні рішення, що дозволяють суттєво скоротити відставання в даному напрямку [9; 11]. Серед них чітко виділяються два шляхи: виробництво легуючих матеріалів і спеціальних сплавів з якісно новими технологічними властивостями і розвиток напрямку переробки техногенних відходів і вторинного сировини, що дозволяють суттєво підвищити ступінь використання дорогих інгредієнтів, багато з яких поставляються із-за кордону [12; 13].

Рішенням вище перерахованих проблем з досягненням суттєвої економії займаються наступні вчені: С.Г. Грищенко [3], Х.Ю. Керкхофф [5], Х. Крогерус [6], М.С. Лейтман [7], А. Фляшандерль [10] і інші.

Нерешені частини проблеми. Проблема забезпечення спеціальної металургії рідкими і тугоплавкими елементами обострилася в останні роки в зв'язі зі стрімким зростанням цін на них на світовому ринку споживання [4; 5]. Тому розробка вітчизняних ресурсо- і енергозберігаючих технологій молибден- і вольфрамсодержащих сплавів і легатур, тим більше з паралельною утилізацією автомобільних відходів, представляє не тільки науковий, але й перш за все практичний промисловий інтерес, тим більше що резерви розвитку даного напрямку далеко не вичерпані.

Ціль дослідження є економіко-математичне моделювання і оптимізація показників виробництва металізованих техногенних відходів одного з найбільш дорогих класів – швидкоплавних сталей.

Основні результати дослідження. В роботі були використані статистичні матеріали активного промислового експерименту металізації окисли швидкоплавних сталей і застосування отриманого матеріалу виробництва спеціальних сталей.

З метою досягнення оптимальних властивостей цільового продукту з урахування комплексного впливу складу шихти на економію від використання металізованого сировини для легування сталей використовується регресійний аналіз [8, 17].

Досліджена взаємозв'язок процесів і експериментально побудована функціональна залежність, що дозволило з деякою достовірністю використовувати її в плануванні очікуваних техніко-економічних показників.

Підвищення ступеня засвоєння легуючих елементів, яке призводить до зниження собівартості виробництва металопродукції, залежить від багатьох факторів, можна описати з допомогою нелінійної багатовимірної регресії. Оцінки коефіцієнтів регресійної моделі знаходимо з допомогою методу найменших квадратів (МНК) в матричній формі. В результаті була отримана математична модель, яка має наступний вигляд:

$$y = -26,3984 - 0,0011x_1^2 + 4,1362\ln x_2 + 1,13 \times 10^{-9} \times x_3^3 - 0,2629\ln x_4 + 0,2117x_5, \quad (1)$$

де y – повышение степени усвоения легирующих элементов, %; x_1 – массовое соотношение окалины и концентратов Мо и W; x_2 – скорость нагрева шихты, °С/мин.; x_3 – температура нагрева шихты, °С; x_4 – время выдержки шихты при температуре тепловой обработки, час; x_5 – степень восстановления оксидов металлов, %.

При построении структуры регрессии, с одной стороны, нужно включить в регрессию все факторы, которые имеют существенное статистическое влияние на показатель, а с другой стороны, нужно, чтобы было выполнено условие линейной независимости между факторами, то есть отсутствие мультиколлинеарности для эффективного применения МНК. Методом Фаррара-Глобера исследуем в модели (1) присутствие мультиколлинеарности. Проверка при помощи теста χ^2 показала, что с надежностью $p = 0,95$ существует общая мультиколлинеарность.

Из вида корреляционной матрицы был сделан вывод, при котором между факторами x_2 и x_4 существует тесная связь. Поскольку влияние на показатель y фактора x_2 более значительное ($r_{yx_2} = 0,70$, $r_{yx_4} = 0,68$), то из регрессии исключаем фактор x_4 для устранения мультиколлинеарности.

С учетом преобразований математическая модель приобретает следующий вид:

$$y = -25,6379 - 0,0007x_1^2 + 3,8723\ln x_2 + 3,29 \times 10^{-10} \times x_3^3 + 0,2166x_5. \quad (2)$$

Проверка при помощи теста χ^2 показала, что мультиколлинеарность осталась, но значительно уменьшилась на 27,6% в сравнении с предыдущим случаем.

t-тест на значимость коэффициентов регрессии показал, что все параметры регрессии значимые, то есть ни один из факторов нельзя исключить из регрессии.

Согласно проверке, при помощи критерия Фишера полученная модель адекватна статистическим данным ($F = 31,709$, $F_{\text{крит}} = 2,87$).

Коэффициенты регрессии с надежностью $p = 0,95$ находятся в таких пределах: $-39,6334 < \beta_0 < -11,6424$, $-0,0040 < \beta_1 < 0,0027$, $0,2111 < \beta_2 < 7,5334$, $-3,88 \times 10^{-9} < \beta_3 < 4,54 \times 10^{-9}$, $0,2100 < \beta_5 < 0,2231$.

Для наглядного анализа полученной модели построены три наиболее значимых с практической точки зрения частичные зависимости в виде поверхностей (рис. 1) с закреплением некоторых параметров: $y_1 = f(x_1, x_2) - x_3 = 945$ °С, $x_5 = 95,9\%$; $y_3 = f(x_3, x_5) - x_1 = 5,6$, $x_2 = 10$ °С/мин.

С помощью поверхностей (рис. 1) возможно визуально проследить комплексное влияние факторов и рассчитать оптимальные условия для повышения экономии при выплавке стали. Исходя из анализа построенной модели, обеспечение высокого качества металлизированной окалины с наиболее предпочтительным содержанием легирующих элементов в ней дает значительное снижение себестоимости выплавки стали, оптимальные области

технико-экономических показателей принимают следующие значения (табл. 1).

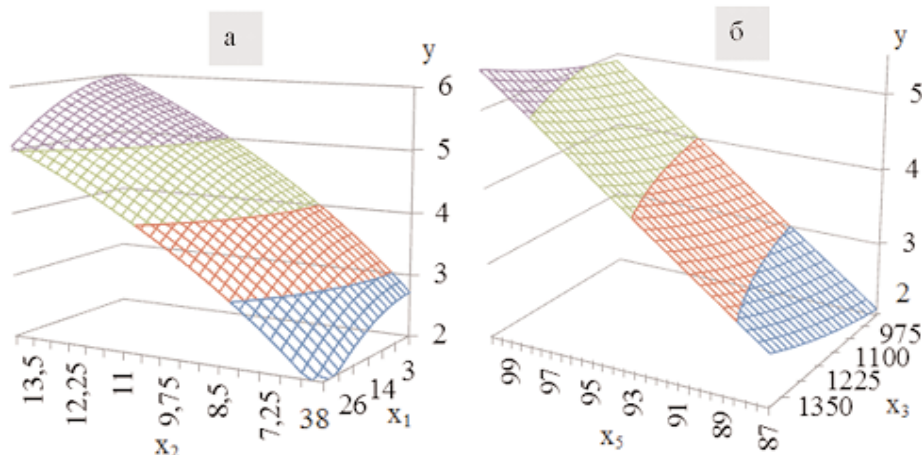


Рис. 1. Графические зависимости технико-экономических показателей производства нового легирующего материала, авторская разработка

Таблица 1. Оптимальные области исследуемых технико-экономических показателей получения и использования нового легирующего материала, авторская разработка

Пределы оптимальных значений факторов	x_1	x_2	x_3	x_4	y
Min	2,7	9	1100	94	4,5
Max	9,8	13	1280	98	5,7

Установленная высокая экономическая эффективность использования нового легирующего материала, полученного из техногенных отходов, при выплавке быстрорежущих сталей. При использовании брикетов из металлизированной окалины россыпью и в капсулах в количестве 150–320 кг/т [2] усвоение легирующих элементов повысилось (в среднем, % мас.): с 80–84 до Сг – 95,3, W – 97,9, Мо – 96,7 соответственно. Повышенное относительно завалки брикетов россыпью усвоение легирующих элементов при введении их в капсулах связано со снижением окислительного потенциала в связи с усовершенствованием технико-экономического регламента, что привело к повышению выхода годного (снижение брака)¹ на 2,5...3,3%.

Выводы. Разработанная экономико-математическая модель позволила установить и оптимизировать области основных показателей, в результате чего выявлена возможность стабилизации качества металлизированной окалины быстрорежущих сталей с наиболее предпочтительным содержанием легирующих элементов в ней. Это позволило оптимизировать пределы расходных коэффициентов. Значительная экономия дорогостоящих легирующих элементов при выплавке быстрорежущих сталей с применением предварительно металлизированного сырья подтверждает инновационную целесообразность

¹ повышение количества полученного продукта (стали) с соответствующими требованиями свойствами.

производства нового легирующего материала в Украине и проведения дальнейших исследований в данном направлении.

1. *Волынкина Е.П., Протопопов Е.В.* Отходы металлургического предприятия: от анализа потерь к управлению // Известия вузов. Чёрная металлургия.— 2005.— №6. — С. 72–76.
2. *Григорьев С.М.* Извлечение тугоплавких элементов из окалины быстрорежущей стали // Сталь.— 1994.— №3. — С. 63–66.
3. *Грищенко С.Г.* Мировой финансово-экономический кризис и металлургия // Сталь.— 2009.— №2. — С. 68–71.
4. *Грищенко С.Г.* Рынок металлопродукции Украины в странах СНГ: проблемы и задачи // Сталь.— 2008.— №9. — С. 88–90.
5. *Керкхофф Х.Ю.* Взрыв цен на сырьё — угроза экономическому подъёму // Черные металлы.— 2010.— №10. — С. 61–66.
6. *Крогерус Х., Ойкаринен П.* Технология производства феррохрома фирмы Outokumpu: экономическая эффективность и высокая производительность // Черные металлы.— 2003.— №12. — С. 23–31.
7. *Лейтман М.С.* Тугоплавкие металлы: состояние рынка и перспективы применения в России // Сталь.— 2008.— №3. — С. 47–50.
8. *Лук'яненко І.Г., Краснікова Л.І.* Економетрика. — К.: Знання, 1998. — 494 с.
9. *Сидоров Е.В., Валуев А.Г., Босякова Н.А. и др.* Подготовка железосодержащих отходов для использования в качестве сырья // Сталь.— 2009.— №10. — С. 105–106.
10. *Фляйшандерль А., Женнари У., Борле Ж. и др.* ZEWA — Новый металлургический процесс для производства ценных материалов из промышленных отходов // Черные металлы.— 2005.— №6. — С. 33–40.
11. *Хансман Т., Фонтана П., Чианперо А. и др.* Технологии оптимального рециклинга отходов черной металлургии // Черные металлы.— 2008.— №10. — С. 32–37.
12. *Черепанов К.А.* Переработка и утилизация отходов — один из путей рационального использования природных ресурсов // Известия вузов. Чёрная металлургия.— 2004.— №12. — С. 73–77.
13. *Юзов О.В., Седых А.М.* О развитии мирового рынка стали // Сталь.— 2003.— №8. — С. 81–85.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2012.