УДК 669.187:65.011

С.М. Григор'єв
доктор технічних наук, професор

О.О. Головань
кандидат фізико-математичних наук, доцент
Запорізький національний університет

СТРАТЕГІЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕТАЛУРГІЇ СПЕЦІАЛЬНИХ СТАЛЕЙ НА ПРИКЛАДІ ВИКОРИСТАННЯ ГУБЧАСТОГО ФЕРОВОЛЬФРАМУ

У статті виконано оцінювання економічної ефективності використання нового легувального матеріалу на основі вольфраму та показано доцільність розширення інновацій у металургійну галузь.

Ключові слова: *економічні методи, ефективність, металургія, ресурсо- й енергозбереження, зниження витрат, інновації, засвоєння.*

І. Вступ

Організаційно-структурна реорганізація галузі або окремо взятого підприємства неможлива без удосконалення апаратурно-технологічної основи та якості продукції, що виробляється. У найближчі 10–15 років найбільш перспективною видається стратегія інвестування будівництва нових і реконструкція діючих виробничих потужностей, що спеціалізуються на випуску тугоплавких легувальних матеріалів, освоєння виробництва достатньо випробуваних виробництв металізації рудної сировини [12; 13]. Високі темпи зростання виробництва спеціальних легованих сталей можуть бути забезпечені лише за умови одночасного збільшення виробництва необхідних легувальних матеріалів та поліпшення їх якості. Причому для радикальної зміни структури на користь спеціальних сталей випереджальними темпами має здійснюватися нарощування обсягів виробництва легувальних матеріалів [1–4]. Найбільш поширеними серед таких класів сталей є інструментальні леговані та швидкорізальні сталі, отримані відкритою виплавкою або методом порошкової металургії. У собівартості цього класу сталей, легованих рідкісними й тугоплавкими елементами, частка витрат на феросплави та лігатури становить 40–85% [3].

Вирішити поставлені завдання можна шляхом розробки і впровадження у виробництво прогресивних технологій отримання легувальних матеріалів з особливими наперед заданими споживчими властивостями, що задовольняють нові вимоги сталеплавильного виробництва [4]. Очевидно, що ресурсо- й енергозберігаючі виробництва та використання цих видів металопродукції є одним із головних джерел розвитку металургії спеціальних сталей.

Особливостями чорної металургії є високі капітало-, матеріало- та енергоємності виробництва. Енерговитрати на виробництво 1 тони сталі в 1,5–1,8 разів вищі, ніж у США. Це пов'язано із застосуванням застарілого устаткування й технологій, а також неефективних методів управління матеріальними й енергетичними потоками у виробничому циклі і з суміжними виробництвами внутрішньогалузевої кооперації.

На сьогодні більше ніж коли-небудь справедливо стверджувати, що міжнародна конкурентоспроможність чорної металургії визначається зниженням витрат за переділом розрахунку на 1 тону сталі, все ширше висувається вимога впроваджувати новаторство й удосконалювати процес виробництва з метою зниження витрат, ресурсо- та енергозбереження [11; 14].

Одним із найбільш дорогих виробництв чорної металургії є електросталеплавильне, що істотно впливає на економіку галузі та результати виконання договірних зобов'язань. Встановлено світові тенденції, випереджальних темпів розвитку електрометалургії порівняно з виробництвом масових сталей. Нарощування обсягів виробництва електросталі відбувається за рахунок інтенсивних чинників. До найбільш поширених причин, які впливають на темпи розвитку електросталеплавильних виробництв, слід віднести порушення дисципліни постачань і зниження якості продукції (запобігання випуску браку).

Незважаючи на те, що проблема підсилення економічних методів дії на механізм зниження виробничих витрат не вичерпана, актуальність підвищення якості продукції набуває першочергового значення. Тому в системі заходів з підвищення якості металопродукції велике значення має запобігання випуску браку та підсилення заходів госпо-

© Григор'єв С.М., Головань О.О., 2013

дарської дії на робітників, що допустили його випуск.

У цьому напрямі суттєвий внесок зробили й досягли економічно значущих результатів такі науковці: Д.О. Дюдкін, Л.П. Іванова, М.С. Лейтман, О.Ф. Метс, А.Н. Півень, О.М. Смірнов, Г.А. Семенов та ін.

Вітчизняний і зарубіжний досвід формування безвідходних технологій підтверджує перспективність отримання металізованих і плавлених легувальних матеріалів методами порошкової металургії [5; 6; 9; 10]. Стосовно цього напряму розроблені методики визначення економічної ефективності впровадження інноваційних рішень [7]. Вирішенням вищеназваних проблем з досягненням суттєвої економії матеріальних і енергетичних ресурсів займалися такі науковці: Р. Бредехефт, В.І. Дубодєлов, М.С. Лейтман, В.П. Найдек, М.П. Ревун, Г.А. Семенов, Е.В. Сидоров, Р. Фрейден, Т. Хантсман, У. Хунгер, А.Г. Шалімов та ін.

II. Постановка завдання

Мета статті – поглибити дослідження в напрямі підвищення ефективності використання нового легувального матеріалу на основі вольфраму. Конкретні завдання роботи полягали в аналізі, економічному оцінюванні використання губчастого феровольфраму при легуванні швидкорізальних сталей та оптимізації економічних показників порівняно з використанням стандартного феровольфраму.

III. Результати

У роботі було використано матеріали промислових результатів плавлення із застосуванням стандартного феровольфраму ФВ75а і губчастого феровольфраму. Промислові випробування губчастого феровольфраму виконували в умовах СПЦ-1 та цеху порошкової металургії заводу “Дніпроспецсталь” на дуговій печі ДСП-25 та індукційній печі ємністю 4000 кг відповідно. Зроблено по 200 плавок за варіантами технологій згідно з чинною інструкцією (Сборник технологических инструкций по выплавке стали в основных дуговых электропечах / Министерство металлургии СССР, з-д “Днепроспецсталь”. – Днепропетровск, 1990. – 587 с.).

Стосовно виробництва та використання нового легувального матеріалу на основі вольфраму вдосконалено методику оцінювання економічної ефективності [6] з урахуванням критеріїв оцінювання [7], котрі не враховувались у відомих методиках, які набули розвитку в цій праці. До таких критеріїв належать: розрахунок балансів за елементами, внесеними і засвоєними при виплавці сталі, і порівнюються витрати елемента, заданого шихтою з вмістом його в готовому металі (величина, обернена коефіцієнту засвоєння).

У цих умовах кращим є розрахунок з використанням вищеназваних коефіцієнтів для визначення балансу шихтових матеріалів за плавками, приведеними за базовими та новими технологіями. При виконанні розрахунків використано вдосконалену методику, яка описана у праці [7], з використанням видаткових коефіцієнтів.

Теоретичне обґрунтування ефективності та показники впровадження технологій виробництва й використання губчастого феровольфраму (ФВГ) згідно з технологічним регламентом, рекомендується застосовувати замість плавленого феровольфраму марок ФВ70, ФВ75, ФВ65 тощо за ДСТ17293-82 і вольфрамового концентрату за ДСТ213-73 марок КШ, КШІ, КМШ1, КМШ3.

Ціна шеєлітового концентрату (вольфраму), що використовується як вихідна сировина для виробництва ФВГ, за даними Лондонської біржі металів і з досвіду маркетингових операцій на вітчизняних заводах спеціальної металургії, у 2012 р. з урахуванням ПДВ становила 22,42–22,84 дол. США за 1 кг W у концентраті. Для розрахунку взято ціну – 22,62 дол./кг (середнє значення). Видатковий коефіцієнт вольфрамового концентрату КШІ дорівнює 1,07–1,09 на 1 кг W у ФВГ, ціна за досліджуваний період дорівнювала 15,42–15,96 дол. США (ціна на 2012 р.). З урахуванням фактичних витрат на переробку виробництва ФВГ була розрахована повна собівартість 1 кг ФВГ із вмістом 60% W на міжнародний базовий вміст 100% W з урахуванням видаткового коефіцієнта.

Прибуток від виробництва й реалізації нового легувального матеріалу на основі вольфраму визначається за формулою:

$$П = \sum_{i=1}^{n} (Цi - Ci) \times Qi , \qquad (1)$$

де $Ц_i$ – ціна 1 кг вольфраму у стандартному та губчастому феровольфрамі, за курсом LME;

C_i – повна собівартість виробництва губчастого феровольфраму в перерахуванні на базовий вміст 100% W;

Q_i – обсяг виробництва (на 1000 кг).

1. Економія коштів за рахунок зниження витрат легувальних елементів на 1 кг сталі Р6М5К5 при виплавці в дуговій та індукційній печах розраховується за формулою:

$$Ei = \frac{h_1 - h_2}{\beta_1} \times y_1 \times Ц_1 + \frac{z_1 - z_2}{\beta_2} \times$$
$$\times_2 \times Ц_2 + \frac{L_1 - L_2}{\beta_3} \times y_3 \times Ц_3 + \qquad (2)$$
$$+ \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\beta 4_1} \times y_4 \times Ц_4 + \frac{m_1 - m_2}{\beta_5} \times$$
$$\times y_5 \times Ц_5$$

де $h_1, z_1, L_1, \varepsilon_1, m_1$ – витрати хрому, ванадію, молібдену, кобальту, вольфраму на тону рідкої сталі при виплавці із КШІ, кг;

$h_2, z_2, L_2, \varepsilon_2, m_2$ – витрати хрому, ванадію, молібдену, кобальту, вольфраму на тону рідкої сталі при виплавці із ФВГ, кг;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – частина хрому, ванадію, молібдену, кобальту, вольфраму, відповідно, у феросплавах;

y_1, y_1, y_3, y_4, y_5 – засвоєння хрому, ванадію, молібдену, кобальту, вольфраму із феросплавів;

$Ц_1, Ц_2, Ц_3, Ц_4 Ц_5$ – вартість ферохрому, феровanадію, феромолібдену, кобальту, феровольфраму відповідно, дол./кг.

2. Витрати зі збільшенням вартості ФВГ відносно до КШІ:

$$З_1 = Z_2 \times (Ц_1 - Ц_2), \qquad (3)$$

де Z_2 – витрати вольфраму, кг/т;

$Ц_1$ – вартість ФВГ, дол./кг W;

$Ц_2$ – вартість КШІ, дол./кг W.

3. Витрати зі збільшенням вартості ФВ75а відносно феровольфраму плавленого:

$$З_2 = (Z_1 - Z_2) \times (Ц_1 - Ц_2), \qquad (4)$$

де Z_1 – витрати ФВГ, кг/т;

Z_2 – витрати КШІ, кг/т;

$Ц_1, Ц_2,$ – вартість ФВГ і ФВ75а, дол./кг W.

4. Сумарна ефективність при використанні ФВГ разом із КШІ та ФВ75а становить:

$$E_2 = E_1 - З_1 - З_2, \text{ дол./т сталі.} \qquad (5)$$

Для оцінювання ефективності використання нового легувального матеріалу на основі вольфраму розрахунок за приведеною методикою виконано за двома варіантами технології виплавки швидкорізальних сталей у дуговій печі ДСВ-25 та індукційній печі в порошковому виробництві.

Динаміку зміни собівартості виплавки сталі марки Р6М5К5 в дуговій печі ДСВ-25 з використанням губчастого феровольфраму та плавленого феровольфраму ФВ75а відображено на рис. 1.

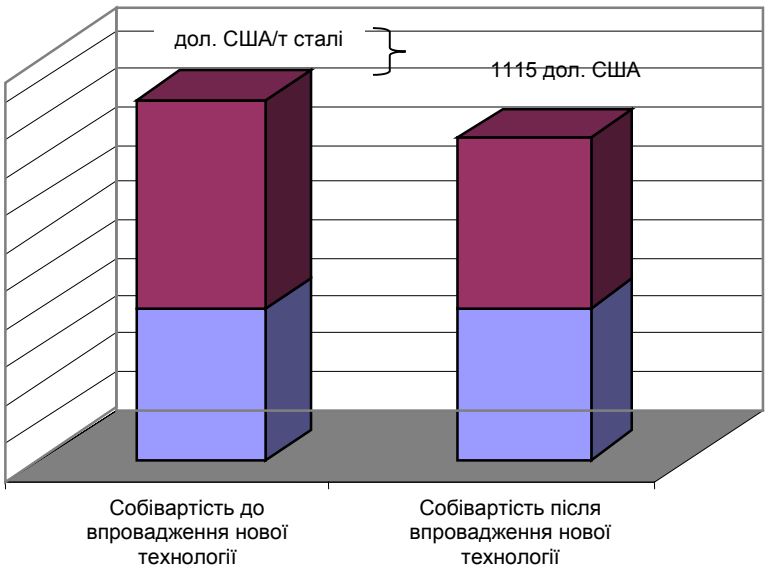

Рис. 1. Зміна собівартості виплавки сталі марки Р6М5К5 у дуговій печі до і після впровадження технології із застосуванням стандартного феровольфраму ФВ75а і губчастого феровольфраму ФВГ

Як видно з рис. 1, впровадження технології виплавки сталі марки Р6М5К5 із застосуванням губчастого феровольфраму сприяє значному зниженню собівартості переділу за рахунок нових, наперед заданих властивостей використаного матеріалу: губчаста будова, щільність 3,4–3,8 г/см^3. Щільність стандартного феровольфраму ФВ75а перебуває в межах 15,5–16,3 г/см^3. Останній має плавлену структуру, що забезпечує збільшення швидкості розчинення вольфраму у 5–7 разів порівняно зі стандартним. Ці властивості губчастого феровольфраму забезпечують зниження вигару легувальних елементів із розплаву сталі, таких як молібден, вольфрам, ванадій, хром на 4–10% мас., зниження витратних коефіцієнтів і технологічної енергії. Врахування тільки цих факторів забезпечує зниження собівартості переділу виплавки сталі в середньому на 1115 дол. США на 1 т сталі.

Аналогічно спостерігається зниження собівартості в разі використання губчастого феровольфраму замість стандартного при виплавці порошкової сталі Р6М5К5-МП в індукційній печі. Економія за собівартістю в цьому випадку збільшується (рис. 2).

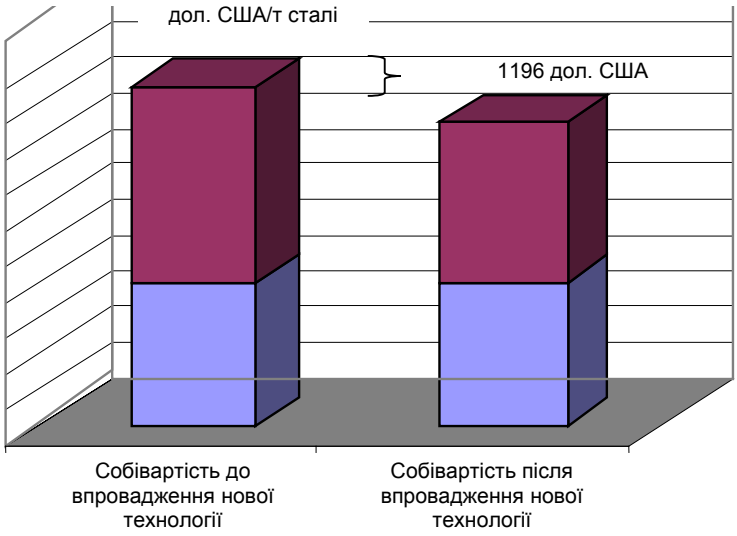

Рис. 2. Зміна собівартості виплавки сталі марки Р6М5К5-МП в індукційній печі до і після впровадження нової технології з використанням нового легуючого матеріалу на основі вольфраму

На основі результатів активного промислового експерименту виплавки швидкорізальної сталі марки Р6М5К5 в індукційній печі ємністю 4000 кг порошкового виробництва встановлено область оптимальних залежностей витрат вольфраму з вольфрамовмісних брикетів (а) і стандартного феровольфраму (б) та засвоєння розплавом сталі (рис. 3). Як видно з рисунка, треба надавати перевагу області (а) відносно області (б), оскільки значно збільшується ступінь засвоєння вольфраму за рахунок підвищення швидкості розчинення його в розплаві сталі, який зумовлений наперед закладеними технологічними властивостями (щільність 3,4–3,8 г/см^3, губчаста будова, наявність супутніх домішок оксидних сполук активних елементів – алюміній, кальцій, магній тощо).

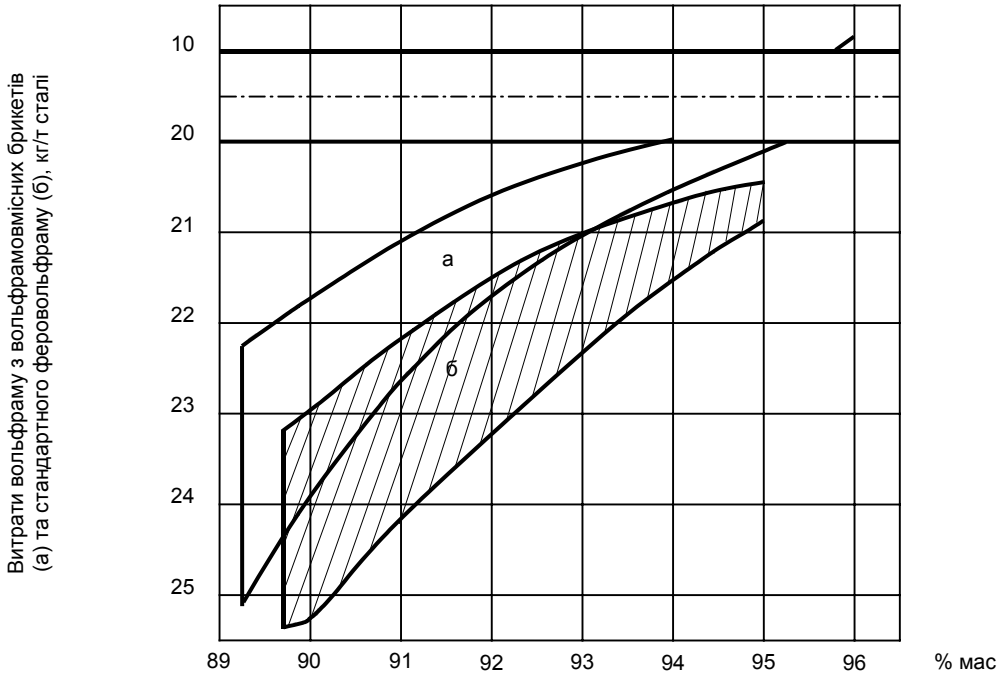

Рис. 3. Засвоєння вольфраму сталі Р6М5К5 з вольфрамовмісних брикетів (а) і стандартного феровольфраму ФВ75а (б) при виплавці в індукційній печі, % мас.

а) $89,3 \le y \le 96;\quad 9,8 \le x \le 25,1;\quad 0,4071x^2 - 1,3329x + 90,36 \le y \le 0,1857x^2 - 0,1657x + 89,38$

б) $89,7 \le y \le 95;\ 20,5 \le x \le 25,3;\ 0,2714x^2 - 0,2686x + 89,62 \le y \le 0,0857x^2 + 0,4257x + 89,16$

Аналогічна картина спостерігається при виплавці порошкової швидкорізальної сталі Р6М5К5-МП в індукційній печі з використанням нового легувального матеріалу на основі вольфраму замість стандартного феровольфраму ФВ75а (рис. 4, області а і б).

Вагомі досягнуті техніко-економічні показники зумовлені більш сприятливими фізико-хімічними умовами індукційної плавки, ніж відкритої електродугової плавки з вищим окислювальним потенціалом.

Порівнюючи показники зниження собівартості виплавки швидкорізальної сталі у двох пічних агрегатах із застосуванням стандартного та губчастого феровольфраму, відзначимо, що помітно виділяється більш значна економія коштів за статтею "сировина та матеріали". Це пояснюється тим, що, по-перше, в індукційній печі виплавляється сталь для подальшого виробництва порошкової сталі, яка за якістю значно краще, ніж випуск аналогічної сталі в дуговій печі відкритої виплавки, що й зумовлює збільшення витрат на виробництво, а відповідно, і більшу різницю в собівартості. По-друге, ступінь засвоєння тугоплавких елементів в індукційній печі дещо вищий, ніж при виплавці в відкритій дуговій печі за рахунок зниження вигару.

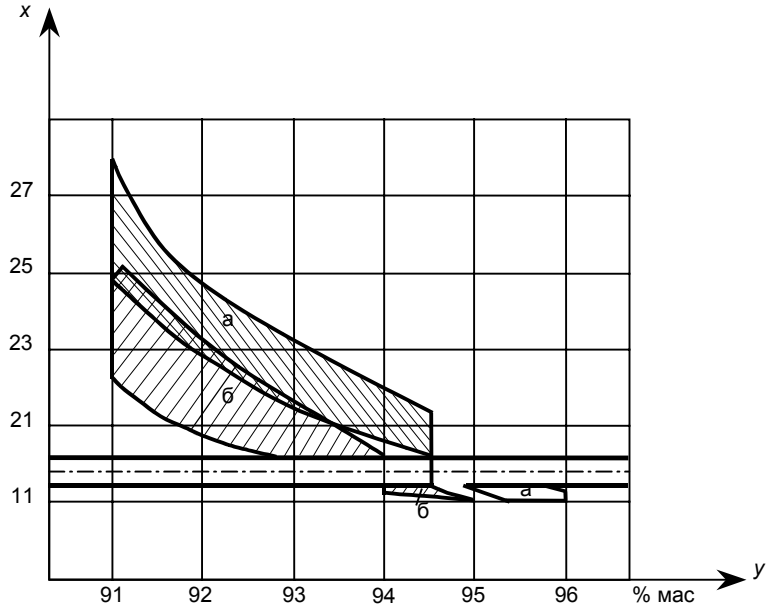

Рис. 4. Засвоєння вольфраму розплавом сталі Р6М5К5-МП з вольфрамовмісних брикетів (а) і стандартного феровольфраму ФВ75а (б) при виплавці в індукційній печі, % мас.

а) $91 \le y \le 96;\quad 11 \le x \le 28;\quad 0,1554x^2 - 0,2561x + 91,19 \le y \le 0,0446x^2 - 0,0126x + 91,062$

б) $91 \le y \le 95;\quad 11 \le x \le 25,1;\quad 0,425x^2 - 0,905x + 91,775 \le y \le 0,0292x^2 + 0,3792x + 90,821$

Для більш повного розкриття сутності економічних переваг використання нового легувального матеріалу при виплавці швидкорізальних сталей визначено математичну залежність впливу витратних коефіцієнтів на ступінь засвоєння головного елементу. Для цього в роботі використано статистичні дані послідовно приведених промислових плавок за варіантами технологій в умовах заводу "Дніпроспецсталь". Виконано їх аналіз, відібрані, а потім скореговані найбільш імовірні залежності ступеня засвоєння елемента розплавом сталі від витратних коефіцієнтів. Це дало змогу представити залежність кращого в обґрунтованих межах.

IV. Висновки

Проаналізовано використання стандартного феровольфраму і губчатого феровольфраму при виплавці швидкорізальних сталей у відкритій дуговій та індукційних печах, що дало змогу підтвердити технологічність та високу економічність нового легувального матеріалу. Встановлена область оптимальної залежності ступеня засвоєння вольфраму при виплавці швидкорізальних сталей з використанням губчастого феровольфраму від видаткових коефіцієнтів, яка виражається відповідними рівняннями. На основі промислових випробувань зі зміною головних параметрів у широких межах. При виплавці в дуговій печі ДСВ-25 ця залежність має математичний вираз $91 \le y \le 96;\quad 11 \le x \le 28;$ $0,1554x^2 - 0,2561x + 91,19 \le y \le 0,0446x^2 - 0,0126x + 91,062$, а при використанні нового легувального матеріалу в індукційній печі залежність набуває такого вигляду:

$$91 \le y \le 95;\quad 11 \le x \le 25,1;$$

$$0,425x^2 - 0,905x + 91,775 \le y \le$$

$$\le 0,0292x^2 + 0,3792x + 90,821.$$

При виплавці в індукційній печі залежність засвоєння вольфраму від видаткових коефіцієнтів математично виражається:

а) $89,3 \le y \le 96$; $9,8 \le x \le 25,1$;

$$0,4071x^2 - 1,3329x + 90,36 \le y \le$$

$$\le 0,1857x^2 - 0,1657x + 89,38$$

$89,7 \le y \le 95$; $20,5 \le x \le 25,3$;

б) $0,2714x^2 - 0,2686x + 89,62 \le y \le$

$$\le 0,0857x^2 + 0,4257x + 89,16.$$

Список використаної літератури

1. Григор'єв С.М. Стратегічні й тактичні напрями ресурсо- та енергозбереження в металургії важкоплавких легувальних матеріалів і спеціальних сталей / С.М. Григор'єв // Держава та регіони. – 2009. – № 6. – С. 70–75.
2. Григор'єв С.М. Стратегія ресурсо- та енергозбереження в металургії тугоплавких легуючих матеріалів і спеціальних сталей в Україні / С.М. Григор'єв // Соціально-економічний розвиток України і регіонів : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції. – Запоріжжя, 2009. – С. 178–179.
3. Григор'єв С.М. Регіональна політика розвитку: напрями ресурсо- та енергозбереження в металургії важкоплавких легувальних матеріалів і спеціальних сплавів / С.М. Григор'єв, А.С. Петрищев // Сучасні тенденції розвитку менеджменту : збірник матеріалів міжрегіональної наукової конференції. – Запоріжжя : ЗНУ, 2010. – С. 24–25.
4. Григор'єв С.М. Економічна доцільність інноваційного розвитку виробництва губчастого феровольфраму в вітчизняній металургії / С.М. Григор'єв // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2010. – № 3. – С. 32–34.
5. Григор'єв С.М. Інноваційна доцільність виробництва металізованого молібденового концентрату в Україні / С.М. Григор'єв // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2010. – № 1. – С. 97–100.
6. Григор'єв С.М. Економічна ефективність упровадження інновацій у розвиток виробництва хромовмісних легувальних матеріалів в Україні / С.М. Григор'єв // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2010. – №5. – С. 177–181.
7. Григорьев С.М. Совершенствование методики экономической оценки технических решений по получению материалов из вторичного сырья / С.М. Григорьев, А.Н. Пивень, Е.Н. Архипенкова // Цветные металлы. – 1992. – № 4. – С. 4–9.
8. Григорьев С.М. Технико-экономические показатели развития металлургии губчатых и порошковых лигатур на примере металлизованного молибденового концентрата / С.М. Григорьев // Черные металлы. – 2005. – № 3. – С. 26–29.
9. Григорьев С.М. Разработка и оптимизация многофункциональной системы зависимости технико-экономических показателей производства металлизованного молибденового концентрата / С.М. Григорьев, И.Ю. Нагорный, С.Ю. Былим // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2006. – № 1. – С. 101–103.
10. Пивень А.Н. Эффективность ресурсосбережения при использовании молибденсодержащих материалов / А.Н. Пивень, С.М. Григорьев // Цветные металлы. – 1992. – №11. – С. 10–12.
11. Салихов В.А. Методологические основы геологоэкономической оценки техногенных месторождений, необходимых для развития металлургической промышленности / В.А. Салихов // Изв. вузов, черная металлургия. – 2007. – С. 63–67.
12. Сидоров М.И. Структурная перестройка черной металлургии: сущность проблемы и пути их решения / М.И. Сидоров // Экономика Украины. – 1994. – № 2. – С. 43–47.
13. Шалимов А.К. Черная металлургия в России и СНГ в 21 веке / А.К. Шалимов // Сталь. – 1994. – № 12. – С. 4–8.
14. Энергосбережение в металлургии : Четвертое Всероссийское совещание по энергосбережению, 9–11 апреля 2003 г. // Сталь. – 2003. – № 6. – С. 91.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2013.

Григорьев С.М., Головань О.А. Стратегия ресурсосбережения в металлургии специальных сталей на примере использования губчатого ферровольфрама

В статье осуществлена оценка экономической эффективности использования нового легирующего материала на основе вольфрама и показана целесообразность расширения инноваций в металлургическую отрасль.

Ключевые слова: *экономические методы, эффективность, металлургия, ресурсо- и энергосбережение, снижение расходов, инновации, усвоение.*

Grygor'ev S., Golovan O. Resource saving strategy in metallurgy of special steels reference to the use of sponge ferrotungsten

The article presents the evaluation of the economic efficiency of a new doping material based on tungsten and shown the feasibility of increasing innovation in the steel industry.

Key words: *economic methods, efficiency, metallurgy, resource- and energysaving, decrease in expenses, innovation, mastering.*