

**ТЕРМОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛКОТЕРМІЧНОГО МЕТОДУ  
ОТРИМАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО ФЕРОМАРГАНЦЮ У КОНВЕРТЕРІ**

Киричок В.С., Надточій А.А., Великонська Н.М.

*Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна*

Марганець відіграє важливу роль у чорній металургії. Використання марганцю поділяється у відсотковому співвідношенні: 30% застосовують в процесах виробництва сталі для десульфурзації і в якості розкислювача [1], а 70% - виключно в якості легуючого елемента при отриманні різних марок сталей і сплавів на залізній основі. Потреба сталеплавильної промисловості у середньовуглецевому феромарганці і металевому марганці задовольнялася застосуванням досить складної технології: виплавка переробного малофосфористого марганцевого шлаку, виплавка переробного силікомарганцю, отримання металевого марганцю. Наскрізне вилучення марганцю знижувалося.

Широке використання марганцю при одержанні сталі дещо обмежує його застосування при розкисленні низьковуглецевих марок сталей в силу вживання марганцю переважно у вигляді високовуглецевого феромарганцю. Фізико-хімічна сутність силкотермічного способу отримання марганцю металевому, низько- і середньовуглецевого феромарганцю може бути представлена як поєднаний процес відновлення-рафінування з отриманням марганцевих феросплавів із заданим стандартним вмістом кремнію. У зв'язку з цим, актуальним є визначення термодинамічних характеристик процесів відновлення-окислення в системі Mn-Si-Fe-P-O-C шлак-метал-газ та розробка технології зневуглецювання високовуглецевих марганцевих розплавів при застосуванні продувки газоподібним киснем та обробки шлаковими розплавами певного складу.

Автори [2, 3] випробували технологію силкотермічного відновлення оксидів марганцю із шлаку в конвертері з донним дуттям. Дослідні плавки проводилися в конвертері ємністю 1 т з трьома донними фурмами типу «труба в трубі», виготовленими з мідних і нержавіючих труб. Для розплавлення

силікомарганцю марки MnC17 використовувалася дугова сталеплавильна піч ємністю 1,5 т (ДСП-1,5). Алгоритм проведення плавки був таким. Після розплавлення 950-970 кг MnC17 і нагрівання його до температури 1620-1630 °С він заливався в конвертер, на підніжжя якого перед зливом рідкого силікомарганцю присаджувалось вапно в кількості 20 кг/т. З метою підігріву металеві ванни в конвертер вдували кисень протягом 5-6 хвилин з інтенсивністю 0,98-1,02 м<sup>3</sup>/т·хв і природний газ з інтенсивністю 7-10 % від витрати кисню. За цей період метал підігрівався до температури 1670-1680 °С. Потім переходили на продувку аргоном, який подавався із сумарною інтенсивністю 0,7 м<sup>3</sup>/т·хв. З переходом на продувку конвертерної ванни нейтральним газом в конвертер присаджували близько 800 кг офлюсованого агломерату. За цей період температура металеві ванни конвертера знизилася до 1320-1340 °С. Для підігріву розплаву переходили на 6-7 хвилинну кисневу продувку. У цей період метал підігрівався до температури 1600 - 1620 °С. Після розігріву сплаву переходили на продувку нейтральним газом. У конвертер присаджували 25 кг/т вапна і близько 650 кг офлюсованого агломерату. Друга продувка нейтральним газом продовжувалася протягом 7-9 хв. При цьому температура металу знизилась до значень 1300-1320 °С [2].

Розрахунок термодинамічних параметрів процесів в складній гетерогенній системі Mn-Si-Fe-P-O-C виконано із застосуванням програмного комплексу "HSC Chemistry 6.0". Для детального вивчення поведінки компонентів металу та шлаку розрахунок рівноваги проводили для кожного періоду окремо. Отримані данні на кожному періоду були вхідними даними для наступного періоду. В якості вихідних даних для розрахунку рівноваги на першому періоді взяли силікомарганець (16,15% Si, 67,20% Mn, 1,74 % C, 0,37% P, 0,027% S) в кількості 950 кг та вапно в кількості 20 кг, кисню – 7,145 кг і природного газу – 0,357 кг. Розрахунок провели для температур 1620-1680 °С. Результат розрахунку для вмісту компонентів шлакової системи показав можливе утворення складних сполук: силікатів кальцію (3CaO·2SiO<sub>2</sub>, CaO·SiO<sub>2</sub>, 2CaO·SiO<sub>2</sub>, 3CaO·SiO<sub>2</sub>, 3CaO·SiO<sub>2</sub>), силікатів марганцю (2MnO·SiO<sub>2</sub>, MnO·SiO<sub>2</sub>), а також вільні оксиди SiO<sub>2</sub>, MnO та CaO, причому зі збільшенням температури відбувається невеликі зміни в кількості цих сполук. Маса отриманого шлаку

складає 39,80 кг, основність шлаку на першому періоді складає 1,04. Результати розрахунку складу металеві системи, % мас.: 67,88 Mn, 15,32 Si, 14,68 Fe, 1,73 C, 0,384 P, 0,0008 S. Розрахункова маса металу складає 940 кг, кратність шлаку – 0,042.

У другому періоді у розрахунку до шихтових матеріалів додали 800 кг офлюсованого марганцевого агломерату складу, % мас.: 44 MnO, 28,3 CaO, 14,8 SiO<sub>2</sub>, 4,7 MgO, 4,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,4 FeO, 0,3 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Розрахунок для другого періоду провели для температур 1680-1330 °С. Маса отриманого шлаку складає 628,9 кг, маса металу – 1151 кг, кратність шлаку – 0,55, основність шлаку – 0,83. Як показав розрахунок рівноваги, вміст марганцю зростає з 67,88% до 79,45%, а вміст кремнію знижується з 15,32% до 6,2%.

У третій період розрахунку добавили кисень в кількості 10 кг та природний газ – 0,5 кг для температур 1330-1610 °С. Маса отриманого металу складає 1120 кг. Склад та кількість компонентів шлакової системи на протязі третього періоду змінилися незначно, маса отриманого шлаку – 633,8 кг, кратність шлаку – 0,56 та основність шлаку – 0,86.

У четвертий період в розрахунок добавили 600 кг офлюсованого агломерату та 28 кг вапна. При цьому розрахунок проводили для температур 1610-1330°С. Маса отриманого шлаку складає 1154 кг, маса металу – 1771 кг, кратність шлаку – 0,9, основність шлаку – 0,92.

Вміст компонентів металеві системи в узлові моменти розрахунку представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад металу на всіх періодах розрахунку

Компонент	Вміст компонентів металу, чисельник – кг/ знаменник - %			
	1 період	2 період	3 період	4 період
Mn	638/67,878	901/79,447	876/78,209	1070/83,8
Fe	138/15,320	159/14,02	159/14,19	176/13,784
Si	144/14,682	70,3/6,20	64,1/5,72	8,98/0,703
C	16,3/1,734	16,3/1,437	16,3/1,45	15,3/1,277
P	3,61/0,384	4,66/0,411	4,66/0,416	5,51/0,431
S	0,012/0,001	8,07·10 <sup>-4</sup> /7,12·10 <sup>-5</sup>	0,0136/0,001	0,00157/0,000123

Аналіз розрахункових даних показав зниження вмісту кремнію з 16,05% у вихідному матеріалі до 0,7 у кінцевому феромарганцю. Вміст вуглецю знижується незначно з 1,72% до 1,28%. Зниження вмісту вуглецю у металі пов'язано, вірогідно, з його «розбавленням» марганцем, що відновився. Вміст марганцю збільшується з 67,25% у вихідному матеріалі до 83,8% у кінцевому феромарганцю. Для фосфору спостерігається підйом вмісту на усіх періодах, у кінцевому продукті вміст фосфору вже 0,43%. Для досягнення прийнятних концентрацій фосфору в металі необхідно застосовувати низькофосфористі вихідні шихтові матеріали.

На рисунку 1 представлений розрахунок кількості оксидних компонентів, що внесені за усі періоди плавки, та кількості компонентів шлаку наприкінці четвертого періоду. Марганець відновлюється більш ніж на 87%, а кремній окислюється на 56 %.

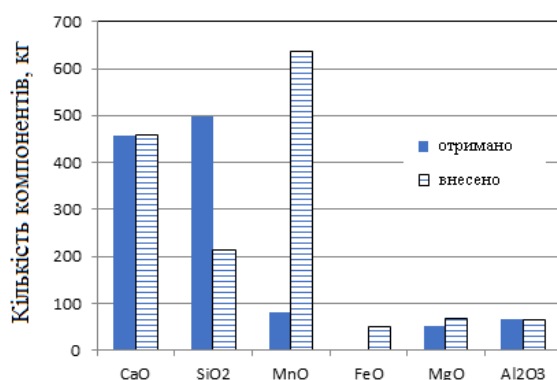


Рисунок 1 - Кількість компонентів шлакового розплаву, що внесені, та отриманні у кінці плавки

У результаті проведення дослідних плавок [2] наведено хімічний склад середньовуглецевого феромарганцю, що отримали, % мас.: 1,55 Si, 84,75 Mn, 1,47 C, 0,40 P, 0,026 S. Порівняння цих даних з даними таблиці 1 показує близькість отриманих даних.

Висновки. Отже, результати теоретичних досліджень та дослідних плавок [2, 3] свідчать про перспективність подальшої розробки технології зневуглецювання високовуглецевих марганцевих розплавів при застосуванні продувки газоподібним киснем та обробки шлаковими розплавами певного складу, але потребує проведення подальших досліджень.

### Література

1. Физико-химия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов / Гасик М.И., Лякишев Н.П. Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии». 2005. 448 с.
2. Величко А.Г., Ду Юньшен, Лысаков А.В. Силикотермический метод получения среднеуглеродистого марганца в конвертере с донным дутьём. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 3. С.23-25.
3. Величко А.Г., Ду Юньшен, Гасик М.И. Исследование термодинамики восстановления закиси марганца силикомарганцем при получении среднеуглеродистого ферромарганца. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 4. С.34-37.

### **THERMODYNAMIC SIMULATION OF SILICOTHERMAL METHOD FOR PRODUCTION OF MEDIUM CARBON MANGANESE IN A CONVERTER**

Kyrychok Vladyslav, Nadtochij Anzhela, Velikonska Nataliya

**Abstract.** The widespread use of manganese in the production of steel somewhat limits its use in the deoxidation of low-carbon steel grades due to the use of manganese, mainly in the form of high-carbon ferromanganese. Thermodynamic modeling of equilibrium in a complex heterogeneous Mn-Si-Fe-P-O-C slag-metal-gas system was carried out for a detailed study of the behavior of metal and slag components for each period separately using the technology of silicothermal reduction of manganese oxides from slag in an envelope with bottom blast.

An analysis of the calculated data showed a decrease in the silicon content from 16.05% in the starting material to 0.7 in the final ferromanganese. The carbon content decreases slightly from 1.72 to 1.28%. The manganese content increases from 67.25% in the starting material to 83.8% in the final ferromanganese. For phosphorus, an increase in content is observed in all periods. To achieve acceptable concentrations of phosphorus in the metal, it is necessary to use low-phosphorus initial charge materials. The results of theoretical studies indicate the prospects for further development of the technology for decarburization of high-carbon manganese melts using blowing with gaseous oxygen and treatment with slag melts of a certain composition.

**Keywords:** silicomanganese, medium carbon ferromanganese, converter, oxygen, slag melt, equilibrium.

### References

1. Fiziko-himiya i tekhnologiya elektroferrosplavov: Uchebnik dlya vuzov / Gasik M.I., Lyakishev N.P. Dnepropetrovsk: GNPP «Sistemnye tekhnologii». 2005. 448 s.
2. Velichko A.G., Du Yun'shen, Lysakov A.V. Silikotermicheskiy metod polucheniya sredneuglerodistogo marganca v konvertere s donnym dut'yom. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2015. № 3. S.23-25.
3. Velichko A.G., Du Yun'shen, Gasik M.I. Issledovanie termodinamiki vosstanovleniya zakisi marganca silikomargancem pri poluchenii sredneuglerodistogo ferromarganca. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2015. № 4. S.34-37.