

DOI: 10.31319/2519-2884.41.2022.3

УДК 669.162

М.В. Пушкаренко¹, аспірант, nikshustrii@gmail.com

В.Г. Кисляков², к.т.н., ovoch-isi@outlook.com

Л.С. Молчанов², к.т.н., metall729321@gmail.com

К.І. Чубін³, к.т.н., доцент., ch.konstanta@ukr.net

А.А. Похвалітій³, к.т.н., доцент., artemmslp@gmail.com

¹Український державний університет науки та технології, м. Дніпро

²Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро

³Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ РАФІНУВАННЯ ЧАВУНУ СУМІШШЮ ОКСИДНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$

Метою роботи є уточнення особливостей фізико-хімічних перетворень, що протікають в об'ємі рідкого чавуну при інжектуванні рафінуючої суміші системи $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ при подачі в струмені газу-носія. Встановлені можливості та черговості протікання певних хімічних перетворень під час комплексного рафінування чавуну шляхом введення суміші оксидних складових, при використанні різних газів для інжектування, за допомогою методу термодинамічного аналізу, який базувався на оцінці величини показника K_p (константи рівноваги). Узагальнено інформацію стосовно взаємодії компонентів розплаву з продуктами окислення, що утворилися в зоні дії газового струменя, була побудована залежність $\lg K_p$ від температури для можливих реакцій хімічних перетворень. Проведено термодинамічний аналіз процесу рафінування за рахунок інжекції рафінуючої суміші системи $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ при використанні різних газів-носіїв. Встановлено, що процеси видалення кремнію переважно протікають у зоні безпосереднього впливу газопорошкового струменя на розплав, а утворений при цьому діоксин кремнію ефективно зв'язується у двокальцієвий силікат. Видалення сірки з розплаву протікає безпосередньо за рахунок взаємодії елементів розплаву з продуктами, що утворилися в зоні впливу газопорошкового струменя на рідкий чавун і базуються на десульфурзації содою у присутності високих концентрацій соди у розплаві.

Ключові слова: комплексна обробка; домішки; сірка; кремній; термодинамічний аналіз.

The purpose of the work is to clarify the features of the physicochemical transformations occurring in the volume of liquid cast iron when the refining mixture of the $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ system is injected when the carrier gas is supplied in the jet. Establishing the possibility and sequence of the occurrence of certain chemical transformations during the complex refining of cast iron by introducing a mixture of oxide components, when using different gases for injection, using the method of thermodynamic analysis, which was based on the estimation of the value of the K_r indicator (equilibrium constant). Information on the interaction of melt components with oxidation products formed in the zone of action of the gas jet was summarized, and the dependence of $\lg K_p$ on temperature was constructed for possible reactions of chemical transformations. A thermodynamic analysis of the refining process was carried out due to the injection of the refining mixture of the $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ system using different carrier gases. It has been established that silicon removal processes mainly take place in the zone of direct impact of the gas-powder jet on the melt, and the silicon dioxin formed at the same time is effectively bound into dicalcium silicate. Removal of sulfur from the melt proceeds directly due to the interaction of elements of the melt with products formed in the zone of influence of the gas-powder jet on liquid cast iron and is based on desulfurization with soda in the presence of high concentrations of soda in the melt.

Keywords: complex processing; impurities; sulfur; silicon; thermodynamic analysis.

Постановка проблеми

В даний час на меткомбінатах України використовується нестабільна за хімічним складом шихта, що призводить до значного коливання температури, вмісту сірки, кремнію, в чавуні

і до істотного зниження техніко-економічних показників подальшого процесу виробництва залізовуглецевого напівпродукту. Застосування стандартної технології поетапного багатостадійного рафінування чавуну від сірки, кремнію та фосфору призводить до збільшення циклу плавки, значному зниженню температури, що знижує техніко-економічні показники конвертерної плавки. Тому є актуальними дослідження процесів одноетапного видалення сірки і кремнію з рідкого чавуну для розробки рекомендацій по реагентам і технології комплексної обробки чавуну перед сталеплавильним переробом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Якість металопродукції є головним критерієм, що визначає її конкурентоспроможність [1]. При цьому, в сучасних умовах виплавка конкурентоспроможної металопродукції базується на використанні найдешевшої металошихти, що у значній мірі ускладнює процес її виробництва, а подекуди потребує запровадження нових прогресивних технологій виробництва.

З метою виробництва якісної металопродукції впроваджуються прогресивні технічні рішення з рафінування залізовуглецевого розплаву на стадіях, що передують знеуглецюванню. При цьому найбільш поширеною в сучасних умовах є операція десульфурації чавуну різними реагентами [2]. Поряд з цим, при виробництві сталей якісного сортаменту, на провідних світових підприємствах починають впроваджуватися технологічні операції з комплексного видалення домішок (сірка, кремній, фосфор) у різних варіаціях [3]. При цьому у якості реагентів для здійснення комплексного рафінування чавуну від домішок в основному використовують оксиди заліза, кальцію та сполуки лужних та лужноземельних металів, які вводяться у чавун за рахунок інжекції у струмені газу-носія.

Процеси комплексного рафінування чавуну за рахунок введення суміші оксидних складових можуть проходити по схемам, що принципово відрізняються одна від одної за рахунок

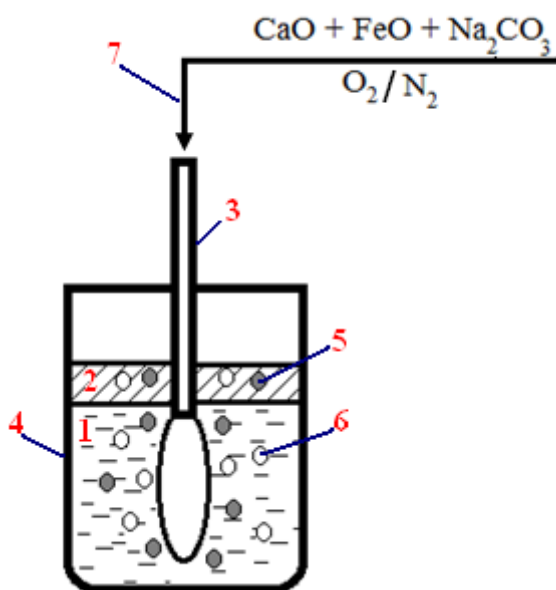


Рис. 1. Схема протікання фізико-хімічних реакцій при здійсненні рафінування чавуну: 1 — рідкий чавун; 2 — шлак; 3 — заглубна фурма для введення реагентів у розплав; 4 — ківш з чавуном; 5 — краплі шлако-металевої фази; 6 — бульбашки газу-носія; 7 — газовий струмінь, що несе порошкоподібні реагенти

використання різних газів для інжектування (кисню або азоту). Схематичне зображення фізико-хімічних процесів, що протікають при цьому представлено на рис. 1. У випадку використання у якості газу, що інжектує кисень в об'єм металевого розплаву, можна умовно виділити дві зони, які принципово відрізняються між собою фізико-хімічними перетвореннями, що в них протікають (що характерно для всіх технологічних процесів, які базуються на вдуванні газоподібного кисню в об'єм рідкої металеві ванни [4]). При цьому, в межах зони безпосереднього контакту газоподібного кисню з розплавом відбувається загальне окислення усіх домішок, що там знаходяться. В межах іншої частини металеві ванни відбувається взаємодія продуктів окислення газоподібним киснем з елементами металевого розплаву. При цьому додатково в рафінуванні беруть участь оксидні компоненти, що вводяться в металеву ванну. У випадку використання у якості газу-носія азоту є відсутнім процес окислення домішок розплаву за рахунок взаємодії з газоподібним киснем, а окислення відбувається лише за рахунок взаємодії домішок розплаву з оксидами заліза, що вводяться.

Таким чином, для зазначених вище умов важливо встановити можливість та черговість протікання певних хімічних перетворень, що будуть впливати на рафінування металевого розплаву від сірки, кремнію та фосфору.

Встановлення можливості та черговості протікання певних хімічних перетворень проводилося за рахунок методу термодинамічного аналізу, який базувався на оцінці величини показника K_p (константи рівноваги). Зазначений показник є похідною від Енергії Гібса та відрізняється універсальністю й дозволяє більш точно інтерпретувати отримані результати для прогнозування [5]. Він може бути розрахований виходячи з рівняння:

$$\ln K_p = \frac{-\Delta G}{RT} = \frac{-\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (1)$$

де ΔG — енергія Гібса, Дж/моль; ΔH — ентальпія, Дж/ моль; ΔS — ентропія, Дж/моль·К; T — температура, К; $R = 8,31$ — універсальна газова стала, Дж/моль·К.

Розрахунок значення константи рівноваги для визначених хімічних реакцій проводився з використанням температурних залежностей, які наведені в довідковій літературі. При відсутності даної залежності в довідковій літературі, вона визначалась шляхом аналітичних розрахунків з використанням термодинамічних величин, наведених у довідковій літературі [6].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є уточнення особливостей фізико-хімічних перетворень, що протікають в об'ємі рідкого чавуну при інжектуванні рафінуючої суміші системи CaO-FeO-Na₂CO₃ при подачі в струмені газу-носія.

Виклад основного матеріалу

Термодинамічний аналіз проводився для двох наступних випадків: інжектування компонентів суміші у кисні та у азоті. Вказані умови значно різняться між собою, і відрізняються тим, що у першому випадку в хімічних перетвореннях буде приймати газоподібний кисень, а в другому – азот буде нейтральним по відношенню до компонентів чавуну. У обох випадках, що розглядаються, можна умовно виділити в об'ємі чавуну дві області, що відрізняються одна від одної, а саме: ділянку виходу газопорошкового потоку з наступним контактом з розплавом та залишковий об'єм чавуну, де протікають хімічні перетворення за рахунок взаємодії продуктів реакцій хімічних перетворень газопорошкового потоку зі складовими розплаву. Узагальнені рівняння хімічних реакцій, що протікають у зоні взаємодії газопорошкового потоку з розплавом та температурні залежності для розрахунку константи рівноваги, що їм відповідають, для обох випадків представлено у табл. 1.

Таблиця 1. Узагальнені рівняння хімічних реакцій та аналітичні вирази, що їм відповідають для умов зони взаємодії компонентів чавуну з газоподібним киснем [6, 7].

№	Рівняння хімічної реакції	Рівняння для визначення константи рівноваги в залежності від температури
Взаємодія компонентів розплаву з газоподібним киснем		
1	$[\text{Fe}] + \frac{1}{2} \{\text{O}_2\} = (\text{FeO})$	$\lg K_p = 12439/T - 2,584$
2	$[\text{Si}] + \{\text{O}_2\} = (\text{SiO}_2)$	$\lg K_p = 43060/T - 11,46$
3	$[\text{Mn}] + \frac{1}{2} \{\text{O}_2\} = (\text{MnO})$	$\lg K_p = 18880/T - 5,83$
4	$[\text{S}] + \{\text{O}_2\} = \{\text{SO}_2\}$	$\lg K_p = -26134/T + 3,99$
5	$[\text{S}] + \frac{1}{2} \{\text{O}_2\} = \{\text{SO}\}$	$\lg K_p = -4373/T + 4,52$
6	$[\text{C}] + \{\text{O}_2\} = \{\text{CO}_2\}$	$\lg K_p = -25400/T + 9,30$
7	$[\text{C}] + \frac{1}{2} \{\text{O}_2\} = \{\text{CO}\}$	$\lg K_p = 7287/T + 2,22$
8	$2[\text{P}] + 5/2 \{\text{O}_2\} = (\text{P}_2\text{O}_5)$	$\lg K_p = -95948/T + 10,82$
Хімічні перетворення, що протікають за рахунок введення оксидів заліза		
9	$[\text{Si}] + 2(\text{FeO}) = (\text{SiO}_2) + 2[\text{Fe}]$	$\lg K_p = 20200/T - 10,6$
10	$[\text{Mn}] + (\text{FeO}) = (\text{MnO}) + [\text{Fe}]$	$\lg K_p = 6440/T - 2,95$
11	$[\text{C}] + (\text{FeO}) = \{\text{CO}\} + [\text{Fe}]$	$\lg K_p = -5160/T + 4,74$

Продовження таблиці 1

12	$[C]+2(FeO)=\{CO_2\}+2[Fe]$	$lgK_p = -19928/T+12,04$
13	$2<FeO>+1/2\{O_2\}=(Fe_2O_3)$	$lgK_p=15952/T-3,33$
Хімічні перетворення, що протікають за рахунок введення Na_2CO_3		
14	$<Na_2CO_3>=<Na_2O>+\{CO_2\}$	$lgK_p=-16555/T+6,85$
15	$2\{CO_2\}+[Si]=2\{CO\} + (SiO_2)$	$lgK_p=13824/T-2,61$
16	$\{CO_2\}+[Fe]=\{CO\} + (FeO)$	$lgK_p=-2128/T+1,85$
17	$\{CO_2\}+[Mn]=\{CO\} + (MnO)$	$lgK_p=4312/T-1,1$
18	$5\{CO_2\}+2 [P]=5\{CO\} + (P_2O_5)$	$lgK_p=-5388/T-6,17$
19	$\{CO_2\}+[C]=2\{CO\}$	$lgK_p=-7288/T+6,58$

Для наведених рівнянь були побудовані температурні залежності lgK_p відповідно до ділянок хімічних перетворень, що були визначені (рис. 2—4).

У разі введення компонентів розплаву у струмені кисню в зоні безпосереднього контакту розплаву з газом-носієм відбуваються процеси активного окислення компонентів розплаву. У зазначеному випадку можливе протікання хімічних реакцій (1)—(8) табл. 1. При цьому температурна залежність lgK_p , що відповідають ним, наведені на рис. 2.

Відповідно до даних, наведеному на ньому, можна зробити висновок, що за рахунок взаємодії з газоподібним киснем можуть протікати процеси окислення кремнію, марганцю, заліза й вуглецю та сірки з утворенням їх монооксидів. При цьому, найбільш вірогідними у цьому випадку є реакції окислення кремнію, марганцю та вуглецю до монооксиду. Для випадку подачі рафінуючих компонентів у струмені азоту зазначені процеси не відбуваються.

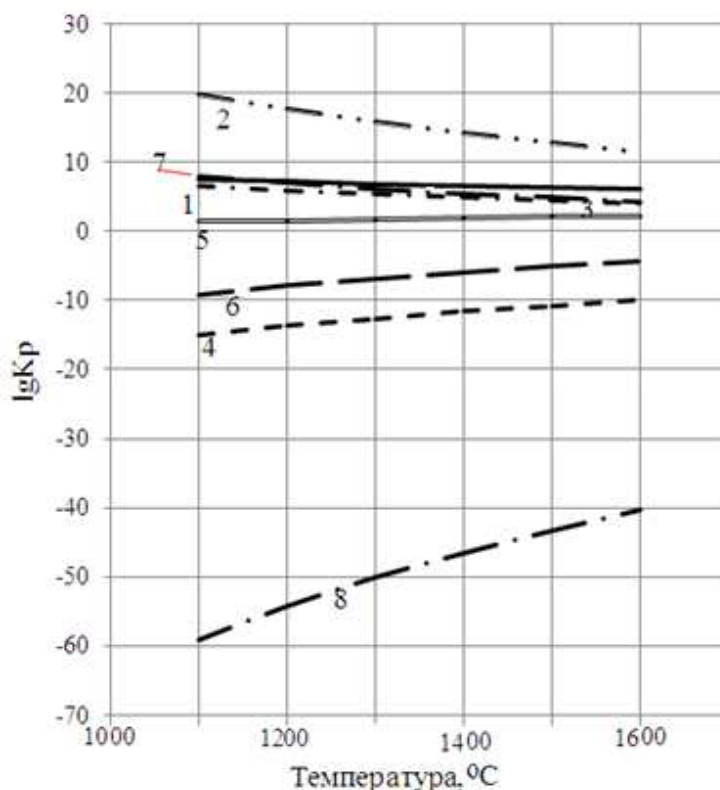


Рис. 2. Температурні залежності lgK_p для хімічних реакцій, що можуть протікати в зоні безпосередньої взаємодії з газоподібним киснем (цифри біля кривих — номери хімічних реакцій у табл. 1)

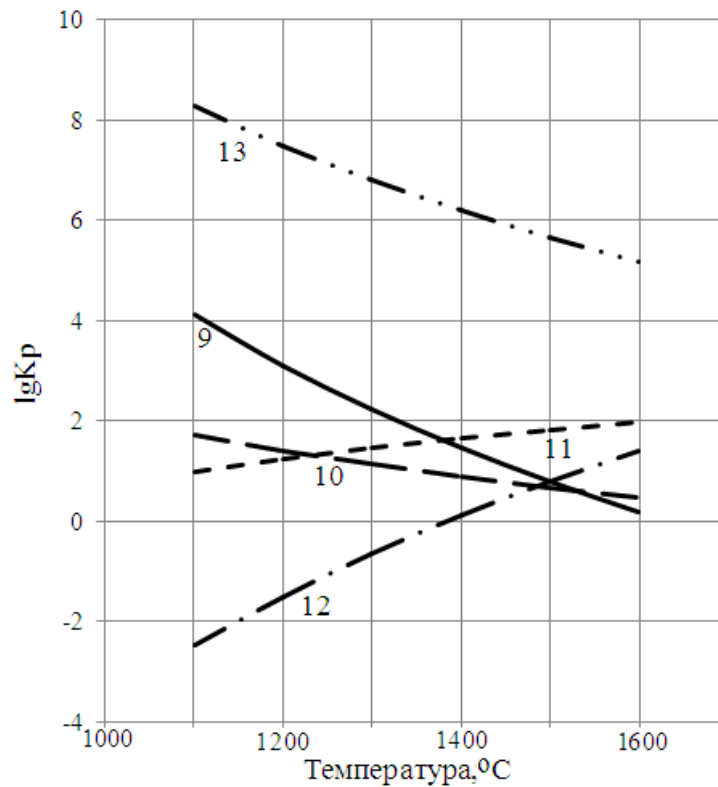


Рис. 3. Температурні залежності $\lg K_p$ для хімічних реакцій, що можуть протікати при взаємодії FeO з компонентами розплаву та газоподібним киснем (цифри біля кривих — номери хімічних реакцій у табл. 1)

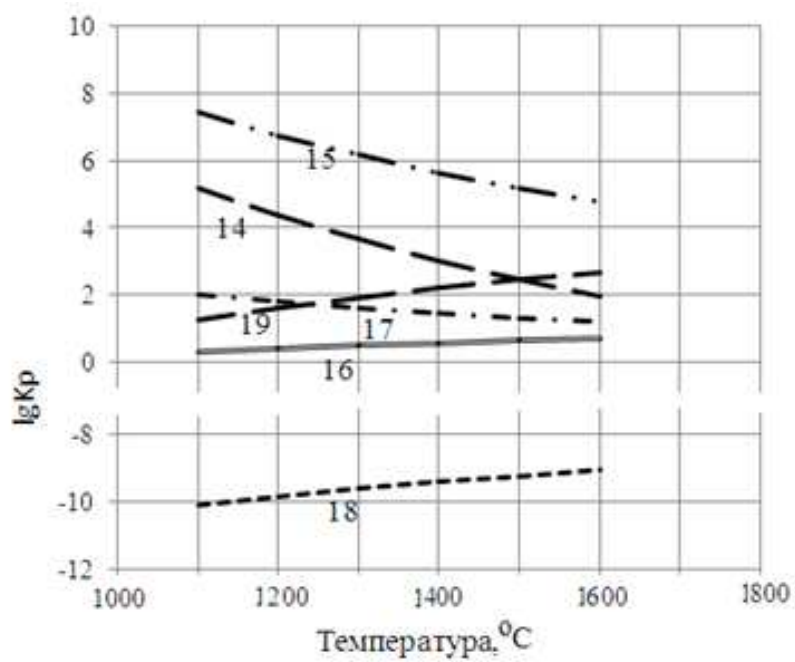


Рис. 4. Температурні залежності $\lg K_p$ для хімічних реакцій, що можуть протікати при взаємодії FeO з компонентами розплаву та газоподібним киснем (цифри біля кривих — номери хімічних реакцій у табл. 1)

Наступною ланкою хімічних перетворень при введенні рафінуючої суміші системи CaO-FeO-Na₂CO₃ у струмені газу-носія можуть відбуватися процеси безпосередньої взаємодії компонентів розплаву та газоподібного кисню з FeO. Температурні залежності lgK_p для хімічних перетворень, що можуть протікати в зазначеній хімічній ділянці, представлені на рис. 3.

Відповідно до відомостей, представлених на рис. 2, можна зробити висновок, що найбільш термодинамічно вірогідним процесом є окислення FeO до вищого оксиду Fe₂O₃. Крім цього, додатково можуть протікати процеси окислення кремнію, марганцю та вуглецю до монооксиду за рахунок взаємодії з компонентами розплаву.

Наступним компонентом рафінуючої суміші є Na₂CO₃ тому необхідно розглянути можливі хімічні перетворення, що можуть протікати при її взаємодії з газом-носієм та розплавом. Залежності lgK_p від температури для зазначених умов представлені на рис. 4. Відповідно до неї, при потраплянні Na₂CO₃ у об'єм металевого розплаву, можливими є процеси його дисоціації та подальша взаємодія CO₂, що утворюється, з компонентами розплаву за виключенням фосфору. При цьому найбільш вірогідною є взаємодія діоксиду вуглецю з кремнієм, марганцем та вуглецем розплаву.

Таким чином, узагальнюючи закономірності процесів, які протікають в зоні безпосередньої взаємодії газопорошкового струменю з рідким чавуном, необхідно відзначити, що для умов використання у якості газу-носія найбільш термодинамічно вірогідними будуть процеси окислення компонентів розплаву під дією газоподібного кисню, термічної дисоціації Na₂CO₃ та утворення вищого оксиду заліза Fe₂O₃; для умов введення компонентів рафінуючої суміші у струмені азоту найбільш термодинамічно вірогідними будуть процеси окислення кремнію, марганцю, вуглецю та фосфору у розплаві, а також термічної дисоціації Na₂CO₃, що протікає з утворенням CO₂. Таким чином, можна зробити висновок, що з позицій видалення кремнію з розплаву обидва варіанти технологічного процесу є рівноправними, а з позицій подальшого видалення сірки з розплаву найбільш перспективним є процес, що базується на використанні у якості газу-носія азоту, оскільки він виключає значне переокислення розплаву за рахунок насичення киснем.

Враховуючи значний окислювальний потенціал, що утворюється в зоні безпосереднього впливу газопорошкового струменя на розплав, необхідно відзначити, що процеси видалення кремнію та фосфору там будуть протікати, а процес десульфурації буде ускладненим. Тому, найвірогідніше він буде протікати в глибині розплаву за рахунок взаємодії з компонентами розплаву продуктів хімічної взаємодії, що утворилися в зоні впливу газопорошкового струменя. Узагальнені рівняння хімічних реакцій, що можуть протікати у зазначеному вище випадку і відповідні аналітичні вирази для розрахунку констант рівноваги в залежності від температури представлені у табл. 2. Відповідно до відомостей, представлених у ній, усі хімічні процеси, що

Таблиця 2. Узагальнені рівняння хімічних реакцій та аналітичні вирази для умов зони взаємодії компонентів чавуну з продуктами окислення газоподібним киснем [7—9]

№	Рівняння хімічної реакції	Рівняння для визначення константи рівноваги в залежності від температури
Взаємодія компонентів розплаву та продуктів окислення у зоні дії газового струменя з CaO		
1	$2\langle\text{CaO}\rangle + [\text{S}] + 1/2[\text{Si}] = (\text{CaS}) + 1/2\langle 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rangle$	$\lg K_p = 11800/T - 3,90$
2	$\langle\text{CaO}\rangle + [\text{S}] + [\text{C}] = (\text{CaS}) + \{\text{CO}\}$	$\lg K_p = -3860/T + 3,29$
3	$\langle\text{CaO}\rangle + [\text{S}] + [\text{Mn}] = (\text{CaS}) + (\text{MnO})$	$\lg K_p = 23400/T - 11,58$
4	$\langle\text{CaO}\rangle + [\text{S}] + [\text{Fe}] = (\text{CaS}) + (\text{FeO})$	$\lg K_p = 16960/T - 8,63$
5	$\langle\text{CaO}\rangle + (\text{SiO}_2) = \langle\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2\rangle$	$\lg K_p = 4666,98/T - 0,026$
		$\lg K_p = 4358,29/T + 0,178$
6	$2\langle\text{CaO}\rangle + (\text{SiO}_2) = \langle 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rangle$	$\lg K_p = 6604,72/T - 0,263$
7	$3\langle\text{CaO}\rangle + (\text{SiO}_2) = \langle 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rangle$	$\lg K_p = 5323,76/T - 0,87$
Взаємодія компонентів розплаву з Na ₂ CO ₃		
8	$\langle\text{Na}_2\text{CO}_3\rangle + [\text{S}] + 2[\text{C}] = (\text{Na}_2\text{S}) + 3\{\text{CO}\}$	$\lg K_p = -623,29/T + 4,98$

Продовження таблиці 2

9	$\langle \text{Na}_2\text{CO}_3 \rangle + [\text{S}] + [\text{Si}] = (\text{Na}_2\text{S}) + (\text{SiO}_2) + \{\text{CO}\}$	$\lg K_p = 1777,38/T - 0,109$
Взаємодія компонентів розплаву з продуктами окислення, що утворилися в зоні дії газового струменя		
10	$[\text{Si}] + 2(\text{FeO}) = (\text{SiO}_2) + 2[\text{Fe}]$	$\lg K_p = 20200/T - 10,6$
11	$[\text{Mn}] + (\text{FeO}) = (\text{MnO}) + [\text{Fe}]$	$\lg K_p = 6440/T - 2,95$
12	$[\text{Si}] + 2(\text{MnO}) = 2[\text{Mn}] + (\text{SiO}_2)$	$\lg K_p = 5200/T - 0,4$
13	$[\text{C}] + (\text{FeO}) = \{\text{CO}\} + [\text{Fe}]$	$\lg K_p = -5160/T + 4,74$
14	$[\text{C}] + (\text{MnO}) = \{\text{CO}\} + [\text{Mn}]$	$\lg K_p = -5272/T + 5,02$
15	$2[\text{C}] + (\text{SiO}_2) = 2\{\text{CO}\} + [\text{Si}]$	$\lg K_p = -28400/T + 15,77$
16	$2\{\text{CO}_2\} + [\text{Si}] = 2\{\text{CO}\} + (\text{SiO}_2)$	$\lg K_p = 13824/T - 2,61$
17	$\{\text{CO}_2\} + [\text{Fe}] = \{\text{CO}\} + (\text{FeO})$	$\lg K_p = -2128/T + 1,85$
18	$\{\text{CO}_2\} + [\text{Mn}] = \{\text{CO}\} + (\text{MnO})$	$\lg K_p = 4312/T - 1,1$
19	$5\{\text{CO}_2\} + 2[\text{P}] = 5\{\text{CO}\} + (\text{P}_2\text{O}_5)$	$\lg K_p = -5388/T - 6,17$
20	$\{\text{CO}_2\} + [\text{C}] = 2\{\text{CO}\}$	$\lg K_p = -7288/T + 6,58$
21	$[\text{C}] + 2(\text{FeO}) = \{\text{CO}_2\} + 2[\text{Fe}]$	$\lg K_p = -19928/T + 12,04$
22	$3[\text{Si}] + 2(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 3(\text{SiO}_2) + 4[\text{Fe}]$	$\lg K_p = 38572/T - 9,99$
23	$3[\text{Mn}] + (\text{Fe}_2\text{O}_3) = 3(\text{MnO}) + 2[\text{Fe}]$	$\lg K_p = 11486/T - 4,83$

* - в температурному діапазоні 298—1483 К існує α CaO·SiO₂, а при 1483—1813 — β CaO·SiO₂

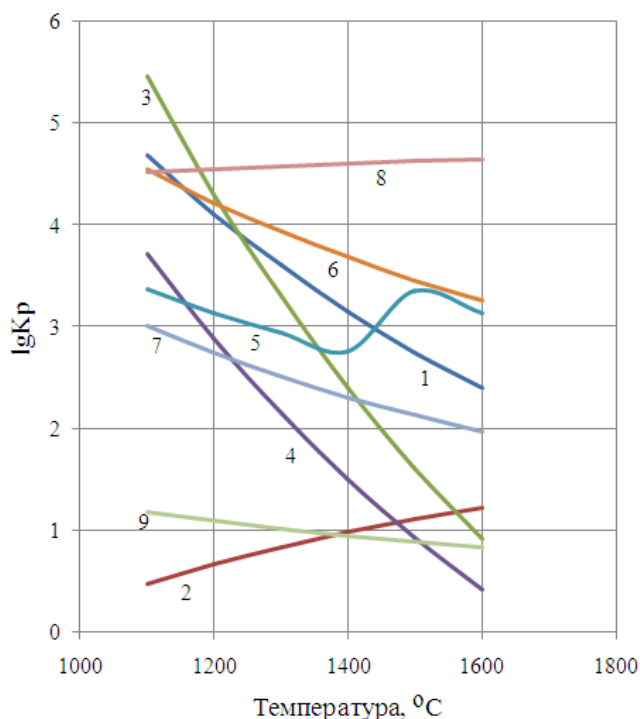


Рис. 5. Температурні залежності $\lg K_p$ для хімічних реакцій, що можуть протікати при взаємодії компонентів розплаву та продуктів окислення у зоні дії газового струменя з CaO та Na₂CO₃ (цифри біля кривих — номери хімічних реакцій у табл. 2)

протікають в об'ємі рідкого чавуну можна умовно розділити на три групи: взаємодія компонентів розплаву та продуктів окислення у зоні дії газового струменя з CaO; взаємодія компонентів розплаву Na₂CO₃; взаємодія компонентів розплаву з продуктами окислення, що утворилися в зоні дії газового струменя.

Залежність $\lg K_p$ від температури для процесів що протікають за рахунок взаємодії компонентів розплаву та продуктів окислення у зоні дії газового струменя з CaO та Na₂CO₃ представлені на рис. 5. Відповідно до даних, представлених на ньому, найбільш вірогідним є процес десульфурзації рідкого чавуну за рахунок взаємодії з содою при наявності розчиненого у розплаві вуглецю. При цьому, значно вірогідним є процес утворення двокальцієвого силікату, що обумовлює зв'язування діоксиду кремнію у стійкі з'єднання та виведення його з зони взаємодії.

Узагальнюючи інформацію стосовно взаємодії компонентів розплаву з продуктами окислення, що утворилися в зоні дії газового стру-

меня була побудована залежність $\lg K_p$ від температури для можливих реакцій хімічних перетворень (рис. 6). Відповідно до неї встановлено, що ефективно окислювати кремній в розплаві можуть як CO_2 так і Fe_2O_3 , що утворилися при взаємодії газопорошкового струменя з рідким чавуном. Усі інші фізико-хімічні процеси в зоні хімічної взаємодії, що розглядається, відбуваються відповідно до відомих закономірностей відновлення оксидів у металевій ванні: відбувається процес відновлення оксидів заліза та марганцю, що утворилися на попередній стадії хімічної взаємодії [1].

Таким чином, відповідно до проведених досліджень встановлено, що найбільш придатними умовами для введення в рідкий чавун рафінуючої суміші системи $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ є використання аргону або азоту для інжекції. Це дозволить виключити переокислення металеві фази в зоні проникнення газопорошкового струменя і досягти високих ступенів десіліконізації розплаву. Наявність в складі суміші CaO дозволяє ефективно зв'язувати SiO_2 у двокальцієвий силікат та виключати його з подальшої взаємодії. Основний ефект десульфурації досягається за рахунок зв'язування сірки у стійкі сполуки при взаємодії з содою.

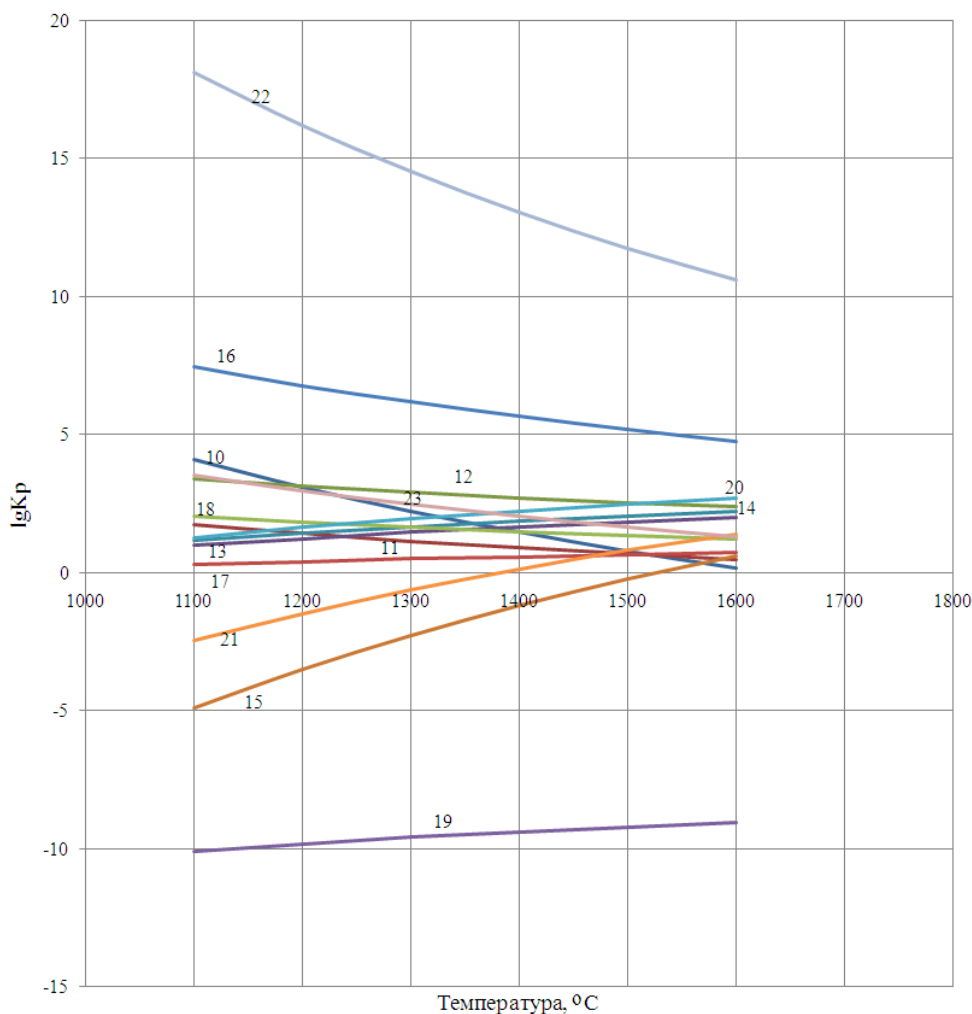


Рис. 6. Температурні залежності $\lg K_p$ для хімічних реакцій, що можуть протікати при взаємодії компонентів розплаву з продуктами окислення, що утворилися в зоні дії газового струменя (цифри біля кривих — номери хімічних реакцій у табл. 2)

Висновки

Проведено термодинамічний аналіз процесу рафінування за рахунок інжекції рафінуючої суміші системи $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ при використанні різних газів-носіїв. Встановлено, що зазначена технологія дозволяє видаляти кремній і сірку з розплаву і умовою ефективного їх здійснення є використання у якості газів-носіїв аргону або азоту. При цьому процеси видалення кремнію переважно протікають у зоні безпосереднього впливу газопорошкового струменя на розплав, а утворений при цьому діоксин кремнію ефективно зв'язується у двокальцієвий силікат. Видалення сірки з розплаву протікає безпосередньо за рахунок взаємодії елементів розплаву з продуктами, що утворилися в зоні впливу газопорошкового струменя на рідкий чавун і базуються на десульфурації содою у присутності високих концентрацій соди у розплаві.

Список використаної літератури

1. Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: Учебник. Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2006. 454 с.
2. А.Ф. Шевченко, И.А. Маначин, А.С. Вергун и др. Внепечная десульфурация чугуна в ковшах. Технология. Исследования. Анализ. Совершенствование: Монография. Днепропетровск: Дніпро–VAL, 2017. 256 с.
3. Молчанов Л.С., Вакульчук В.В., Кобеляцький О.С. Аналіз сучасних технологій позапічної обробки чавуну / Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 17 квітня 2018 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 273–286.
4. Меджибожський М.Я. Основи термодинаміки і кінетики сталеплавильних процесів: Підручник / М.Я. Меджибожський, П.С. Харлашин. Київ: Вища школа, 1994. 327 с.
5. Теорія металургійних процесів: Підручник/В.Б. Охотський, О.Л. Костьолов, В.К. Симонов та ін. К.: ІЗМН, 1997. 512 с.
6. Казачков Е. А. Расчеты по теории металлургических процессов. М.: Металлургия, 1988. 288 с.
7. Охотский В.Б. Модели металлургических систем. Днепропетровск: Системные технологии, 2006. 287 с.
8. Баптизманский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. Теория, технология, конструкции агрегатов: Учебник. Киев, Донецк: Вища школа, 1984. 343 с.
9. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. М.: Металлургия, 1980. 240 с.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL OPERATION OF CAST IRON REFINING WITH A MIXTURE OF OXIDE COMPONENTS OF THE $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ SYSTEM

Pushkarenko M., Kyslyakov V., Molchanov L., Chubin K., Pokhvalityy A.

Abstract

At present, at the metallurgical plants of Ukraine, a charge with an unstable chemical composition is used, which leads to significant fluctuations in temperature, the content of sulfur, silicon in cast iron and to a significant decrease in the technical and economic indicators of the further process of the production of iron-carbon semi-products. The application of standard technology of step-by-step multi-stage refining of cast iron from sulfur, silicon and phosphorus leads to an increase in melting cycle, a significant decrease in temperature, which reduces the technical and economic indicators of converter melting. Therefore, studies of the processes of one-stage removal of sulfur and silicon from liquid cast iron are relevant for the development of recommendations for reagents and technology of complex treatment of cast iron before steelmaking processing. The purpose of the work is to clarify

the features of the physicochemical transformations occurring in the volume of liquid cast iron when the refining mixture of the CaO-FeO-Na₂CO₃ system is injected when the carrier gas is supplied in the jet. Information on the interaction of melt components with oxidation products formed in the zone of action of the gas jet was summarized, and the dependence of lgK_p on temperature was constructed for possible reactions of chemical transformations. A thermodynamic analysis of the refining process was carried out due to the injection of the refining mixture of the CaO-FeO-Na₂CO₃ system using different carrier gases. It has been established that silicon removal processes mainly take place in the zone of direct impact of the gas-powder jet on the melt, and the silicon dioxin formed at the same time is effectively bound into dicalcium silicate. Removal of sulfur from the melt proceeds directly due to the interaction of elements of the melt with products formed in the zone of influence of the gas-powder jet on liquid cast iron and is based on desulfurization with soda in the presence of high concentrations of soda in the melt.

References

- [1] Boichenko B.M., Okhotskyi V.B., Kharlashyn P.S. (2006) *Konverternoe proyzvodstvo staly: teoriya, tekhnolohiya, kachestvostaly, konstruksyyahreatov, retsyrkuliyatsiyamaterialov i ekolohiya* [Converter steel production: theory, technology, steel quality, unit design, material recycling and ecology] Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL [in Russian].
- [2] Shevchenko A.F., Manachyn Y.A., Verhun A.S. and other (2017) *Vnepechnaiadesulfuratsyiachuhunavkovshakh Tekhnolohiya. Yssledovaniya. Analiz. Sovershenstvovaniye* [Out-of-furnace desulfurization of cast iron in ladles. Technology. Research. Analysis. Perfection] Dnepropetrovsk: Dnipro-VAL [in Russian].
- [3] Molchanov L.S., Vakulchuk V.V., Kobeliatskyi O.S. (2018) *Analiz suchasnykh tekhnolohii po zapichnoobrobky chavunu* [Analysis of modern technologies of non-furnace processing of cast iron]. *Spetsialna metallurhiia: vchera, sohodni, zavtra - Special metallurgy: yesterday, today, tomorrow: materialy XVII vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii*, Kyiv, KPI im. I. Horii Sikorskoho, (pp. 273–286) [in Ukrainian].
- [4] Medzhybozhskiy M.I. (1994) *Osnovy termodinamiki i kinetyki staleplavnykh protsesiv* [Basics of thermodynamics and kinetics of steelmaking processes] Kyiv: Vyschashkola [in Ukrainian].
- [5] Okhotskyi V.B., Kostolov O.L., Symonov V.K. and other (1997) [Theory of metallurgical processes] Kyiv: IZMN [in Ukrainian].
- [6] Kazachkov E.A. (1988) *Raschetypoteoriy metallurhicheskikh protsessov* [Calculations according to the theory of metallurgical processes]. Moscow: Metallurhiya [in Russian].
- [7] Okhotskyi V.B. (2006) *Modely metallurhicheskikh sistem* [Models of metallurgical systems] Dnepropetrovsk: Systemnie tekhnolohii [in Russian].
- [8] Baptyzmanskyi V.Y., Medzhybozhskiy M.I., Okhotskyi V.B. (1984) *Konvertornyeprotsessi proyzvodstvostaly. Teoriya, tekhnolohiya, konstruksyyahreatov* [Converter steel production processes. Theory, technology, unit designs]. Kyev, Donetsk: Vyschashkola [in Russian].
- [9] Voronova N.A. [1980] *Desulfuratsyiachuhunamahnyem* [Cast iron desulfurization with magnesium]. Moscow: Metallurhiya [in Russian].