



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011134119/02, 12.08.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.08.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.08.2011

(45) Опубликовано: 20.04.2013 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2240351 C2, 20.11.2004. RU 2156306  
C1, 20.09.2000. RU 2185444 C2, 20.07.2002. SU  
1328380 A1, 07.08.1987. JP 60043412 A,  
08.03.1985. JP 2002249806 A, 06.09.2002.

Адрес для переписки:

455002, Челябинская обл., г.Магнитогорск,  
ул. Кирова, 93, ОАО "ММК", Научно-  
технический центр, патентно-лицензионная  
группа, В.П. Торохтико

(72) Автор(ы):

Спирин Николай Александрович (RU),  
Лавров Владислав Васильевич (RU),  
Онорин Олег Павлович (RU),  
Чевычелов Андрей Витальевич (RU),  
Бегинюк Виталий Александрович (RU),  
Косаченко Иван Ерастович (RU),  
Рыболовлев Валерий Юрьевич (RU),  
Краснобаев Алексей Викторович (RU),  
Гилева Лариса Юрьевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

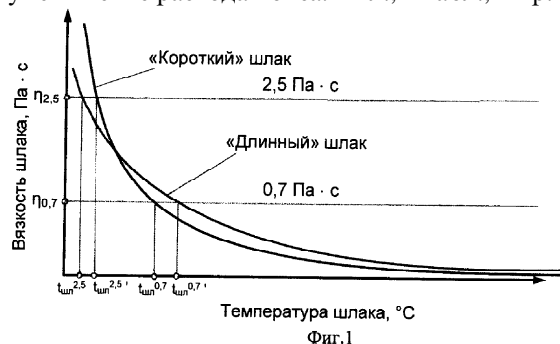
Открытое Акционерное Общество  
"Магнитогорский металлургический  
комбинат" (RU)

## (54) СПОСОБ ВЕДЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к производству чугуна в доменной печи. Способ включает загрузку в доменную печь агломератов и окатышей разного состава, кокса, флюсов, контроль состава чугуна и шлака на выпуске, определение основности шлака по отношению  $V=CaO/SiO_2$ . Дополнительно определяют вязкость шлака при различных температурах и регламентируют вязкость конечного шлака в пределах 0,2-0,5 Па·с. Также определяют градиент вязкости шлака, равный уменьшению его вязкости при увеличении температуры на 1°C, в диапазоне его вязкости от 2,5 Па·с до 0,7 Па·с, в пределах значений, не превышающих 0,030 Па·с/°С.

Использование изобретения обеспечивает улучшение показателей работы доменной печи при выплавке передельных чугунов из многокомпонентных шихт переменного состава, повышение производительности, уменьшение расхода кокса. 1 ил., 1 табл., 1 пр.





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**C21B 5/00** (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2011134119/02, 12.08.2011

(24) Effective date for property rights:  
12.08.2011

Priority:

(22) Date of filing: 12.08.2011

(45) Date of publication: 20.04.2013 Bull. 11

Mail address:

455002, Cheljabinskaja obl., g.Magnitogorsk, ul.  
Kirova, 93, OAO "MMK", Nauchno-tehnicheskij  
tsentr, patentno-litsenzionnaja gruppy, V.P.  
Torokhtiju

(72) Inventor(s):

**Spirin Nikolaj Aleksandrovich (RU),  
Lavrov Vladislav Vasil'evich (RU),  
Onorin Oleg Pavlovich (RU),  
Chevychelov Andrej Vital'evich (RU),  
Beginjuk Vitalij Aleksandrovich (RU),  
Kosachenko Ivan Erastovich (RU),  
Rybolovlev Valerij Jur'evich (RU),  
Krasnobaev Aleksej Viktorovich (RU),  
Gileva Larisa Jur'evna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe Aktsionernoe Obshchestvo  
"Magnitogorskij metallurgicheskij kombinat" (RU)**

## (54) BLAST-FURNACE SMELTING METHOD

(57) Abstract:

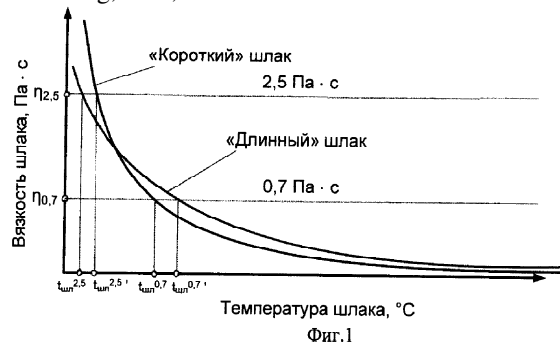
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method involves loading to a blast furnace of agglomerates and pellets with different composition, coke, fluxes, control of the composition of cast iron and slag at the outlet; determination of basicity of slag as per the ratio  $B=CaO/SiO_2$ . Besides, slag viscosity at different temperatures is determined and viscosity of final slag is regulated within 0.2-0.5 Pa-sec. In addition, there determined is slag viscosity gradient equal to reduction of its viscosity at temperature increase by 1°C, in the range of its viscosity of 2.5 Pa-sec to 0.7 Pa-sec, within the values not exceeding 0.030 Pa-sec/°C.

EFFECT: improvement of blast furnace operating

properties at smelting of open-hearth pig irons from multicomponent charges of variable composition; improvement of productivity; reduction of coke consumption.

1 dwg, 1 tbl, 1 ex



Изобретение относится к черной металлургии, в частности к производству чугуна в доменной печи из многокомпонентной шихты переменного химического состава, содержащей основные компоненты железорудных материалов.

Известен способ доменной плавки (Типовая технологическая инструкция «Доменное производство», Научно-техническое управление Министерства черной металлургии СССР. Институт черной металлургии СССР, Днепропетровск, 1990), по которому в случаях вынужденного изменения соотношения компонентов железорудной части шихты предусматривается ввод в шихту флюсов (известняка или кварцита) в количествах, обеспечивающих постоянную основность шлака  $(CaO)/(SiO_2)$ .

Недостаток этого способа заключается в том, что он не предусматривает каких-либо мероприятий, направленных на улучшение свойств шлака во всем интервале процессов шлакообразования, а также не учитывает содержание других оксидов  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ .

Известен способ ведения доменной плавки, по которому основность шлака  $(CaO)/(SiO_2)$  устанавливают по рекомендациям, выбранным длительным опытом работы доменных печей в разных сырьевых условиях. Например, при работе на сернистом коксе из-за необходимости удаления из чугуна большого количества серы доменную плавку ведут на шлаках с основностью  $(CaO)/(SiO_2) \leq 1,3$ , при плавке передельного чугуна на малосернистом коксе работают с более кислыми шлаками  $(CaO)/(SiO_2) = 0,85 \div 1,1$  (Металлургия чугуна. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. и др. - М.: Металлургия, 1989, стр.215).

Недостаток этого способа заключается в том, что рекомендуемые значения основности шлака допускают широкий интервал значений этого параметра. В указанных пределах основности шлака существенно различаются по вязкости, серопоглотительной способности и другим важным характеристикам.

Известен способ ведения доменной плавки (патент 2034031С (С21В 5/02)), который предусматривает постоянное использование в шихте для производства чугуна от 10 до 30% первичного мартеновского шлака, содержащего 20-25%  $FeO$ , 23-26%  $CaO$ , 19-20%  $SiO_2$ , 7-9%  $MgO$ , 7-8%  $MnO$ , 4-5%  $Al_2O_3$ . При этом загрузка мартеновского шлака осуществляется в общей схеме загрузки шихтовых материалов. Сущность способа заключается в снижении вязкости шлаков за счет уменьшения образования в печи карбонитридов титана и гренали. Недостатком способа является то, что в первичном мартеновском шлаке содержится большое количество фосфора, который полностью переходит в чугун.

Ближайшим аналогом является способ ведения доменной плавки (патент 2240351, С21В 5/00), включающий загрузку в доменную печь рудных материалов в виде агломерата и окатышей, кокса, контроль химического состава и расходов рудных материалов, кокса и других добавок, контроль состава чугуна и шлака на выпуске, при этом основность шлака, измеряемую по массовому отношению  $CaO/SiO_2$ , устанавливают по эмпирической зависимости.

Недостатки данного способа заключаются в следующем:

1. В прототипе регламентируется показатель основность шлака в виде численного значения массового отношения  $(CaO)/(SiO_2)$ . При этом в совокупности соблюдение требований по химическому составу к рудным материалам с учетом общего количества серы, поступающей в доменную печь, и к химическому составу флюсовой смеси обеспечивает образование шлака с соотношением оксидов  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$  в пределах, выражаемых в виде отношений  $B^* = (CaO + MgO)/SiO_2 = 1,20 \div 1,40$  и  $Al_2O_3/MgO = 0,5 \div 1,6$ , и ограничивает максимальное содержание  $Al_2O_3$  в шлаке на

уровне 10-12%. При содержании глинозема  $Al_2O_3 \geq 12\%$  для шлаков свойственны другие закономерности и зависимости физико-химических свойств шлака (вязкости, обессеривающей способности).

2. Вязкость шлака определяется не только его составом, но и температурой. При этом шлаки по изменению вязкости в зависимости от температуры (политермы вязкости) делятся на «длинные» и «короткие». Работа на «коротких» шлаках крайне затруднена, т.к. малейшее понижение теплового состояния печи (температуры шлака) вызывает существенное возрастание вязкости шлака и невозможность нормальной работы доменной печи и отработки жидких продуктов плавки. Колебания свойств шлака приводят к колебаниям химического состава чугуна, изменению характера выпуска продуктов плавки и в конечном итоге перерасходу кокса и снижению производительности печи. Таким образом, эти недостатки отрицательно сказываются на технических показателях доменной плавки.

Технический результат заявляемого способа заключается в улучшении показателей работы доменной печи при выплавке передельных чугунов из многокомпонентных шихт переменного состава, повышении производительности, уменьшении расхода кокса, повышении стабильности состава чугуна и шлака.

Указанный технический результат достигают тем, что в способе ведения доменной плавки, включающем загрузку в доменную печь агломератов и окатышей разного состава, кокса, флюсов, контроль состава чугуна и шлака на выпуске, определение основности шлака  $B$  по отношению  $B=CaO/SiO_2$ , в отличие от ближайшего аналога дополнительно определяют вязкость шлака при различных температурах и регламентируют вязкость конечного шлака в пределах 0,2-0,5 П·с, а также градиент вязкости шлака, равный уменьшению его вязкости при увеличении температуры шлака на  $1^\circ C$ , в диапазоне вязкости шлака от 2,5 Па·с до 0,7 Па·с, в пределах значений, не превышающих  $0,030 \text{ Па}\cdot\text{с}/^\circ\text{C}$ .

Для того чтобы исключить отрицательное влияние колебаний вязкости шлака на ход процессов доменной плавки, выбирается такое соотношение компонентов железорудных материалов и такие значения состава шлака, при которых политермы (температурная зависимость вязкости шлака) будут близки к оптимальным. Состав шлака, его количество и свойства оказывают воздействие на газодинамические, тепловые и восстановительные процессы, протекающие в печи.

В основе аналитического расчета вязкости шлака лежат диаграммы тройной шлаковой системы  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  при стандартных температурах 1400 и 1500 $^\circ C$  в области реальных значений доменных шлаков и известная зависимость вязкости гомогенных шлаковых расплавов от температуры. [Жило Н.Л. Формирование и свойства доменных шлаков. - М.: Metallurgia, 1974. 120 с. Свойства жидких доменных шлаков / В.Г. Воскобойников, Н.Е. Дунаев, А.Г. Михалевич. - М.: Metallurgia, 1975. 182 с. Доменное производство: Справочное издание. Т.12. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е.Ф. - М.: Metallurgia, 1989, 496 с.]

Для описания зависимости вязкости шлака от его состава приняты уравнения следующего вида:

$$\eta_t = a_{0t} + a_t CaO + b_t SiO_2 + c_t Al_2O_3 + d_t B_1 + e_t B_2, \quad (1)$$

где  $\eta_t$  - вязкость шлака при температуре шлака  $t_{шл}$ , пуаз;

$CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  - содержание соответствующих оксидов в трехкомпонентной шлаковой системе, % мас.;

$B_1$  - основность шлака ( $B_1 = (CaO)/(SiO_2)$ );

$B_2$  - отношение содержания в шлаке оксида кремния к оксиду алюминия ( $B_2 = (\text{SiO}_2)/(\text{Al}_2\text{O}_3)$ );

$a_0, a_1, b_1, c_1, d_1, e_1$  - эмпирические коэффициенты, полученные в результате математической обработки тройной диаграммы шлаковой системы для температуры шлака  $t_{\text{ш.л.}}$ .

В случае присутствия в шлаке заметного количества других оксидов ( $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) необходимо вводить соответствующие корректировки, учитывающие влияние этих оксидов на вязкость шлаков. Так, предполагая прямо пропорциональное снижение вязкости шлака с ростом ( $\text{TiO}_2$ ), корректировку можно осуществить следующим образом:

$$\Delta\eta_t^{\text{TiO}_2} = \alpha_t (\text{TiO}_2), \quad (2)$$

где  $\eta_t^{\text{TiO}_2}$  - вязкость шлака, содержащего диоксид титана при температуре  $t$ , пуаз;

$\alpha_t$  - температурный коэффициент;

( $\text{TiO}_2$ ) - содержание диоксида титана в четырехкомпонентной системе  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ , %.

Оксид магния имеет более сложный характер влияния на вязкость шлака. Для расчета поправки используется полином 3 степени:

$$\Delta\eta_t^{\text{MgO}} = \alpha_{t3} (\text{MgO})^3 + \alpha_{t2} (\text{MgO})^2 + \alpha_{t1} (\text{MgO}) + \alpha_{t0}, \quad (3)$$

где ( $\text{MgO}$ ) - содержание оксида магния в шлаке, %;

$\alpha_{t3}, \alpha_{t2}, \alpha_{t1}, \alpha_{t0}$  - эмпирические коэффициенты, полученные в результате математической обработки диаграмм шлаковых систем для температуры шлака  $t_{\text{ш.л.}}$ .

Вязкость шлака на выпуске зависит от конечной температуры шлака ( $t_{\text{ш.л.}}$ ), связанной с температурой чугуна ( $t_{\text{ч.г.}}$ ) и его химическим нагревом уравнением следующего вида [Информационные системы в металлургии / Н.А.Спирин, Ю.В.Ипатов, В.И.Лобанов и др. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2001. - 617 с.]:

$$t_{\text{ш.л.}} = t_{\text{ч.г.}} + c_0 \cdot [\text{Si}] + c_1 10 \cdot [\text{Si}]^2, \quad (4)$$

где  $c_0$  и  $c_1$  - эмпирические коэффициенты.

По уравнению (9) рассчитываются вязкость шлака при  $t_{\text{ш.л.}}$  ( $\eta_{\text{ш.л.}}$ ). Нормальный доменный шлак должен иметь вязкость при температуре шлака в пределах 0,2-0,5 Па·с и свободно вытекать через шлаковые фурмы, а также через чугунную летку вместе с чугуном [Металлургия чугуна. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н, Юсфин Ю.С., Клемперт В.М. - М.: Металлургия, 1989, 512 с., стр.207]. Если вязкость шлака при температуре шлака меньше 0,2 Па·с, то шлак характеризуется малой вязкостью, обладает высокой агрессивностью к огнеупорной кладке и разрушает гарнисаж, что в итоге приводит к понижению производительности печи, повышению расхода кокса, нестабильности работы печи и колебаниям состава чугуна и шлака. Верхним пределом вязкости нормального доменного шлака, обеспечивающей свободно вытекание его через шлаковые фурмы, а также через чугунную летку вместе с чугуном следует считать 0,5 Па·с [Металлургия чугуна. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н, Юсфин Ю.С., Клемперт В.М. - М.: Металлургия, 1989. 512 с., стр.207]. Превышение этого значения вязкости шлака препятствует нормальной фильтрации чугуна в металлоприемник, загромождает горн, ухудшает ход печи и в конечном итоге приводит к понижению производительности печи, повышению расхода кокса, нестабильности работы печи и колебаниям состава чугуна и шлака.

Для технологов, ведущих доменную плавку, необходимо знать не только численные значения вязкости при фиксированных температурах, например

температуре шлака, 1400°C и 1500°C, но и характер зависимости вязкости от температуры в диапазоне 1350...1550°C [Металлургия чугуна. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н., Юсфин Ю.С., Клемперт В.М. - М.: Metallurgia, 1989. 512 с.; А.Д.Готлиб. Доменный процесс. - М.: Metallurgia, 1966. 503 с. Доменное производство: Справочное издание. Т. 12. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е.Ф. - М.: Metallurgia, 1989. 496 с.]

Известно, что для гомогенных шлаковых расплавов влияние температуры на вязкость шлака описывается уравнением Ле-Шателье, имеющим следующую структуру [Информационные системы в металлургии / Н.А.Спирин, Ю.В.Ипатов, В.И.Лобанов и др. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2001. - 617 с.]:

$$\ln(\ln(\eta)) = a_0 + a_1 t_{\text{шл}}, \quad (5)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  - коэффициенты, априорно неизвестные.

При известных значениях вязкости шлака конкретного состава при температурах 1400 и 1500°C (1-3), решая систему уравнений вида (5), можно получить численные значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$  и, тем самым конкретизируя уравнение (5), найти функциональную зависимость вязкости шлака от его температуры.

На фиг.1 представлена зависимость вязкости шлака от температуры (политермы вязкости). Из графика ясно, что «короткие» (основные) шлаки менее устойчивы в области 0,7-2,5 Па·с, зато имеют хорошую подвижность в области рабочих температур 1400-1550 градусов. «Длинные» (кислые) шлаки более устойчивы в области 0,7-2,5 Па·с, зато менее подвижны в области рабочих температур. При «коротких» шлаках, несмотря на сравнительно низкую вязкость в области рабочих температур, шлак характеризуется существенной потерей текучести при снижении нагрева горна печи, что будет сопровождаться загромождением горна, возрастает вероятность образования настывлей в области заплечиков и распара. Подобный шлак при движении по желобам сравнительно быстро теряет текучесть, застывает в желобах и значительно увеличивает трудоемкость горных работ. Производительная работа на основных (коротких) шлаках и, как следствие, получение высокого качества чугуна возможна только при высоком уровне технологии при постоянстве теплового и шлакового режимов.

Параметрами полученной политермы вязкости являются (фиг.1):

- температура плавления шлака  $t_{\text{шл}}^{2,5}$ ;
- вязкость шлака при температуре шлака на выпуске  $\eta_{\text{шл}}$ ;
- уменьшение вязкости шлака при увеличении температуры шлака на 1°C в диапазоне его вязкости от 2,5 до 0,7 Па·с (градиент вязкости шлака)  $\Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t$ .

Известно, что расплав из коксовой насадки начинает вытекать, когда его вязкость достигает 2,5 Па·с. Для шлаков предлагается принимать температуру, при которой вязкость шлака достигает 2,5 Па·с, поскольку более высокая вязкость свидетельствует уже о нетекучести шлака. [А.Д.Готлиб. Доменный процесс. - М.: Metallurgia, 1966. 503 с., стр.259]. В связи с этим за температуру плавления шлака ( $t_{\text{пл}}$ ) принята температура, при которой шлак имеет вязкость 2,5 Па·с,  $t_{\text{шл}}^{2,5}$ .

$$t_{\text{шл}}^{2,5} = \frac{a_0 - \lg \lg 2,5}{a_1} \quad (6)$$

Определяется температура шлака, соответствующая предельно допустимой вязкости шлака, равной 0,7 Па·с  $t_{\text{шл}}^{(0,7)}$ . Шлаки при вязкости более 0,7 Па·с неприемлемы [А.Д.Готлиб. Доменный процесс. - М.: Metallurgia, 1966. 503 с., стр.286]

. Такой шлак в значительной мере затрудняет и обслуживание печи, так как с трудом вытекает из печи и застывает на канавах, не доходя до ковшей. Повышение вязкости шлаков сверх 0,7 Па·с из-за ошибок в шихтовке приводит к аварии при выпуске, а в сочетании с похолоданием печи к закозлению горна.

Одной из важнейших характеристик шлакового режима является устойчивость шлаковых систем («короткие» и «длинные» шлаки). Для оценки устойчивости шлака предлагается использовать градиент вязкости шлака, численно равный уменьшению вязкости шлака при увеличении температуры шлака на 1°С в диапазоне вязкости шлака от 2,5 Па·с до 0,7 Па·с:

$$\Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t = \frac{2,5 - 0,7}{t_{\text{шл}}^{0,7} - t_{\text{шл}}^{2,5}}, \quad \text{Па} \cdot \text{с} / ^\circ \text{С}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{шл}}^{0,7}$  и  $t_{\text{шл}}^{2,5}$  - температуры шлака при его вязкости 0,7 Па·с и 2,5 Па·с соответственно.

Градиент вязкости шлака наряду с допустимыми при различных температурах шлака диапазонами вязкости шлака используется при выборе шлакового режима в качестве ограничивающего фактора для диагностики шлакового режима.

$$\eta_{\text{шл}}^{\min} \leq \eta_{\text{шл}} \leq \eta_{\text{шл}}^{\max}, \quad \left( \Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \right) \leq \left( \Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \right)_{\max}. \quad (8)$$

При «коротких» шлаках, т.е. когда  $\left( \Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \right) \leq \left( \Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \right)_{\max}$ , несмотря на

сравнительно низкую вязкость в области рабочих температур, характеризуется существенной потерей текучести при снижении нагрева горна печи, что будет сопровождаться загромождением горна, возрастает вероятность образования настывлей в области заплечиков и распара.

Предельное значение градиента вязкости шлака  $\left( \Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \right)_{\max}$  получено

обработкой опытных данных о работе доменных печей ОАО ММК и составляет 0,030 Па·с/°С. Резкое повышение градиента вязкости шлаков из-за ошибок в корректировке теплового режима доменной плавки может привести к аварии, а в сочетании с похолоданием печи к закозлению горна, потере производительности, перерасходу топлива и нестабильной работе печи.

Результаты расчета вязкости шлака при 1400°С ( $\eta_{\text{шл}}^{1400}$ ) и 1500°С ( $\eta_{\text{шл}}^{1500}$ ) и температуре конечного шлака ( $\eta_{\text{шл,л}}$ ), градиента вязкости шлака  $\left( \Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \right)_{\max}$  и

указанных выше параметрах шлака, приведенные в таблице 1, показывают, что в пределах предусмотренного в прототипе изменения состава шлака могут наблюдаться существенные изменения вязкости конечного шлака и его градиента.

Таким образом, при плавке передельного чугуна.

1. Если вязкость шлака при его температуре  $\eta_{\text{шл,л}}$  находится в пределах 0,2-0,5 Па·с, то шлак имеет нормальную вязкость при температуре шлака.

2. Если вязкость шлака при его температуре  $\eta_{\text{шл,л}}$  превышает  $\eta_{\text{шл}}^{\max} = 0,5 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , то вязкость шлака превышает допустимые пределы для нормального режима плавки. Режим работы печи затруднен.

3. Если вязкость шлака при температуре шлака меньше  $\eta_{\text{шт}}^{\text{min}} = 0,2 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , то шлак характеризуется малой вязкостью, обладает высокой агрессивностью к огнеупорной кладке и разрушает гарниссаж.

4. Если уменьшение вязкости шлака при увеличении температуры шлака на  $1^\circ\text{C}$  в диапазоне его вязкости от 2,5 до 0,7 Па·с (градиент вязкости  $\Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t \geq 0,03 \text{ Па} \cdot \text{с}/^\circ\text{C}$ ),

то шлак относится к типу «коротких». Возможно загромождение горна, образование настывлей, застывание шлака в желобах. Режим работы печи затруднен.

Признаки, отличительные от прототипа

1. Заявляемый способ ведения доменной плавки дополнительно регламентирует вязкость конечного шлака в виде допустимого интервала 0,2-0,5 Па·с, что обеспечивает свободное вытекание шлака через чугунную летку вместе с чугуном.

2. Заявляемый способ ведения доменной плавки дополнительно регламентирует предельное значение градиента вязкости шлака, равное 0,030 Па·с/°C, численно равный уменьшению вязкости шлака при увеличении температуры шлака на  $1^\circ\text{C}$  в диапазоне вязкости шлака от 2,5 Па·с до 0,7 Па·с, что дополнительно обеспечивает необходимую устойчивость шлаковых систем. Превышение предельного значения градиента вязкости шлака вызывает существенную потерю текучести шлака при снижении нагрева горна печи, что будет сопровождаться загромождением горна, образованием настывлей в области заплечиков и распара.

Анализ научно-технической и патентной литературы показывает отсутствие совпадения отличительных признаков предлагаемого способа с признаками известных технических решений, на основании чего делается вывод о соответствии предлагаемого технического решения критерию «изобретательский уровень».

#### ПРИМЕР КОНКРЕТНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Проводилась доменная плавка с использованием в шихте железорудного сырья, состоящего из агломерата и окатышей, а также флюсов (известняк, кварциты). Измерялся химический состав чугуна и шлака на выпуске. Результаты плавки в различных периодах приводятся в таблице 1.

Период 1 - работа по прототипу, вязкость конечного шлака равна 0,17 Па·с, что меньше минимально допустимого значения 0,2 Па·с, градиент вязкости равен 0,033 Па·с/°C, что больше максимально допустимого значения 0,030 Па·с/°C.

Период 2 - работа по предлагаемому способу при вязкости конечного шлака, равной 0,18 Па·с, меньше минимально допустимого значения 0,2 Па·с, при этом градиент равен 0,29 Па·с/°C и не превышает допустимого значения 0,030 Па·с/°C.

Период 3 - работа по предлагаемому способу при вязкости конечного шлака, равной 0,55 Па·с, что больше допустимого значения равного 0,5 Па·с (вязкость конечного шлака превышает допустимые значения), градиент равный 0,014 Па·с/°C и не превышает допустимое значение 0,030 Па·с/°C.

Период 4 - работа по предлагаемому способу, вязкость конечного шлака равна 0,24 Па·с, находится в допустимом диапазоне от 0,2 Па·с до 0,5 Па·с (вязкость конечного шлака находится в оптимальном диапазоне), но градиент вязкости составляет 0,032 Па·с/°C и превышает допустимое значение 0,030 Па·с/°C.

Период 5 - работа по предлагаемому способу при вязкости конечного шлака равна 0,29 Па·с, т.е. находится в диапазоне от 0,2 Па·с до 0,5 Па·с (вязкость конечного шлака находится в оптимальном диапазоне), градиент вязкости составляет 0,022 Па·с/°C и не превышает допустимое значение 0,030 Па·с/°C.

Анализ приведенных данных показывает, что предлагаемый способ позволяет



улучшить показатели работы доменной печи, при этом уменьшается расход кокса и повышается производительность печи и повышается качество и стабильность состава чугуна.

Таблица 1

Способ ведения доменной плавки					
Показатель	Периоды				
	Период 1. прототип	2	3	4	5
Производительность печи, т/сутки	3800	3810	3790	3800	3885
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	420	419	422	420	417
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т чугуна	95	95	95	95	95
Расход дутья, м <sup>3</sup> /мин.	5425	5425	5425	5425	5425
Содержание кислорода в дутье, %	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Температура дутья, °С.	1180	1180	1180	1180	1180
Химический состав шлака, %					
SiO <sub>2</sub>	40,00	41,00	39,0	40,00	37,0
CaO	40,00	43,00	38,5	42,00	40,0
MgO	11,00	9,0	8,1	10,00	8,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,00	5,00	13,0	6,00	12,5
Сумма	98,00	98	98,6	98	98
Основность шлака (CaO)/(SiO <sub>2</sub> )	1,00	1,049	0,987	1,05	1,081
Суммарная основность шлака $V_{сум}=(CaO+MgO)/(SiO_2)$ (по прототипу 1,20±1,40), доли	1,275	1,268	1,200	1,30	1,311
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MgO (по прототипу 0,5±1,6)	0,64	0,56	1,60	0,60	1,47
Полная основность шлака $V_{полн}=(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)$ , доли	1,085	1,13	0,896	1,130	0,980
Химический состав чугуна, %:					
Si	0,66	0,66	0,48	0,48	0,48
S	0,013	0,014	0,019	0,017	0,013
P	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Среднеквадратичные отклонения					
содержания серы в чугуне, %	0,0009	0,0009	0,0010	0,0008	0,0005
содержания кремния в чугуне, %	0,0015	0,0014	0,0015	0,0015	0,0011
Вязкость при температуре 1400°С $(\eta_{шл}^{1400})$ Па·с.	0,81	0,93	0,87	0,83	0,001
Вязкость при температуре 1500°С $(\eta_{шл}^{1500})$ Па·с.	0,25	0,27	0,58	0,25	0,30
Температура шлака, °С	1535	1535	1510	1510	1510
Вязкость шлака при температуре шлака $(\eta_{шл})$ , (по изобретению 0,2-0,5), Па·с.	0,17	0,18	0,55	0,24	0,29
Температура шлака при вязкости 2,5 Па·с $(t_{шл}^{2,5})$ , °С	1349	1355	1304	1353	1315
Температура шлака при вязкости 0,7 Па·с $(t_{шл}^{0,7})$ , °С.	1409	1417	1426	1409	1398
Градиент вязкости шлака $\Delta\eta_{0,7}^{2,5} / \Delta t$ (по изобретению не более 0,003), Па·с /°С.	0,033	0,029	0,014	0,032	0,022

### Формула изобретения

Способ ведения доменной плавки, включающий загрузку в доменную печь агломератов и окатышей разного состава, кокса, флюсов, контроль состава чугуна и шлака на выпуске, определение основности шлака по отношению  $V=CaO/SiO_2$ , отличающийся тем, что дополнительно определяют вязкость шлака при различных температурах и регламентируют вязкость конечного шлака в пределах 0,2-0,5 Па·с, а также градиент вязкости шлака, равный уменьшению его вязкости при увеличении

температуры шлака на  $1^{\circ}\text{C}$ , в диапазоне вязкости шлака от 2,5 до 0,7 Па·с, в пределах значений, не превышающих 0,030 Па·с/ $^{\circ}\text{C}$ .

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50