



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C21C 5/52 (2024.01); F27B 3/28 (2024.01); F27D 19/00 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023103237, 13.02.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.02.2023Дата регистрации:
26.03.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.02.2023

(43) Дата публикации заявки: 13.08.2024 Бюл. № 23

(45) Опубликовано: 26.03.2025 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

196247, Санкт-Петербург, Ленинский пр., 153,
лит. А, оф. 930, БЦ Set/Center

(72) Автор(ы):

Беляев Дмитрий Николаевич (RU),
Куркин Владимир Михайлович (RU),
Герасимов Юрий Сергеевич (RU),
Фролов Егор Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ООО "МегалТЭК" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Б.Н. ПАРСУНКИН и др.
Непрерывный контроль температуры жидкий
стали в технологических агрегатах
металлургического производства. Вестник
ЮУрГУ, Серия "Металлургия", 2018, N 3, т.
18, с. 33-41. RU 2539501 C1, 20.01.2015. SU 815044
A, 23.03.1981. UA 34011 U, 25.07.2008. BR
200104773 A, 25.02.2004. EP 0572848 B1,
08.07.1998. JP 09-227918 A, 02.09.1997.(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ В ДУГОВОЙ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии и может быть использовано для управления технологическим процессом при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи. В способе используют в реальном времени технологическую информацию предыдущих плавов: общий расход кислорода на рафинирование с начала плавки, $\text{нм}^3/\text{ч}$, температуру отходящих газов на входе в охладитель, $^{\circ}\text{C}$, расход электроэнергии с начала плавки, $\text{кВт}\cdot\text{ч}$, при этом технологическая информация предыдущих плавов поступает в блок математического моделирования, в котором методом регрессионного анализа рассчитывают

температуру Y расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи. Анализируют полученную температуру Y расплавленного металла путем сравнения ее с требуемым значением диапазона температур металла, согласно нормативно-справочной информации, и прекращают подачу электроэнергии и кислорода на рафинирование при достижении температуры металла требуемого значения диапазона температур. Изобретение позволяет повысить точность непрерывного определения температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи. 2 табл., 1 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C21C 5/52 (2006.01)
F27B 3/28 (2006.01)
F27D 19/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C21C 5/52 (2024.01); F27B 3/28 (2024.01); F27D 19/00 (2024.01)

(21)(22) Application: **2023103237, 13.02.2023**

(24) Effective date for property rights:
13.02.2023

Registration date:
26.03.2025

Priority:

(22) Date of filing: **13.02.2023**

(43) Application published: **13.08.2024** Bull. № 23

(45) Date of publication: **26.03.2025** Bull. № 9

Mail address:

**196247, Sankt-Peterburg, Leninskij pr., 153, lit. A,
of. 930, BTS Set/Center**

(72) Inventor(s):

**Belyaev Dmitrij Nikolaevich (RU),
Kurkin Vladimir Mikhajlovich (RU),
Gerasimov Yuriy Sergeevich (RU),
Frolov Egor Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

OOO "MegalTEK" (RU)

(54) **METHOD OF CONTROLLING MELTING DURING PRODUCTION OF STEEL IN ARC STEEL-MAKING FURNACE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy and can be used to control the process during steelmaking in an arc steel-making furnace. Method employs in real time technological information of previous melts: total oxygen consumption for refining from the beginning of melting, nm³/h, temperature of exhaust gases at the cooler inlet, °C, power consumption from the beginning of melting, kW·h, wherein technological information of previous melts is supplied to mathematical modelling unit, in which the temperature Y of the molten metal

in the bath of the arc steel-making furnace is calculated by the regression analysis method. Obtained temperature Y of molten metal is analysed by comparing it with required value of metal temperature range, according to reference information, and supply of electric power and oxygen for refining is stopped when temperature of metal reaches required value of temperature range.

EFFECT: invention increases accuracy of continuous determination of temperature of molten metal in a bath of an arc steel-making furnace.

1 cl, 2 tbl, 1 ex

**C 2
C
3
6
1
7
3
8
2
R U**

**R U
2
8
3
7
1
9
3
C 2**

1. Область техники, к которой относится изобретение

Предлагаемое изобретение относится к области автоматизации сталеплавильного производства и может быть использовано в автоматизированном управлении выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

5 2. Уровень техники

Известен способ непрерывного определения температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи [1], основанный на свойстве оптического волокна передавать оптический сигнал среды, в которую помещено оптическое волокно.

Данный способ осуществляется с помощью устройства для измерения температуры расплава, в частности расплавленного металла, содержащее оптическое волокно и направляющую трубку, имеющее погружной конец и второй конец, противоположный погружному концу. Оптическое волокно частично располагается в направляющей трубке. Внутренний диаметр направляющей трубки больше наружного диаметра оптического волокна. Причем первая втулка располагается на погружном конце или
15 внутри направляющей трубки близко к погружному концу направляющей трубки. При этом оптическое волокно подается через втулку и причем втулка уменьшает зазор между оптическим волокном и направляющей трубкой. Технический результат - повышение информативности измерений температуры за счет поддержания непрерывности измерений посредством непрерывной подачи оптического волокна.

Недостатком известного способа является то, что оптическое волокно подвергается
20 деструкции - разрушению, для каждого изменения требуется новая партия оптического волокна. В качестве наиболее близкого аналога (прототипа) принят способ, изложенный в [2], основанный на использовании изменений текущей температуры активного слоя огнеупорной кладки сталеплавильного агрегата. Реализация рассматриваемого метода
25 осуществляется за счет измерения текущей температуры активного слоя огнеупорной кладки сталеплавильного агрегата в 3-5 равноотстоящих точках по толщине (до 80 мм) от границы раздела "жидкая сталь - огнеупорная кладка". Расчетное определение температуры жидкой стали $t_{ст}(\tau)$ на границе "расплав - огнеупорная футеровка" осуществляется путем численного решения обратной задачи теплопроводности, когда
30 по известному распределению температуры в фиксированных точках по толщине огнеупорной кладки и постоянной известной температуре окружающей среды необходимо восстановить температуру расплава на внутренней стороне огнеупорной кладки. Используется итерационный метод, суть которого заключается в подборе, в
каждый момент времени такого значения температуры жидкой стали $t_{ст}(\tau)$, при котором
35 непрерывное распределение температуры по толщине кладки, полученное при решении прямой задачи теплопроводности по уравнению (1) совпадало бы с измеренными значениями температуры в конкретных точках.

$$40 \quad C^*(t) \frac{\partial t(x,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(t) \frac{\partial t(x,\tau)}{\partial x} \right] \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq S$$

где: $t(x,\tau)$ - распределение температуры по толщине огнеупорной кладки во времени, К;

τ - текущее время, с;

45 S - толщина огнеупорной кладки, м;

$C^*(t)$ - удельная объемная теплоемкость материала кладки, Дж/(м³*К);

$\lambda(t)$ - теплоемкость материала, Вт/(м*К), $c^*(t)$ и $\lambda(t)$ - как функции температуры.

Недостатком данного способа непрерывного контроля температуры жидкой стали

в технологических агрегатах металлургического производства является то, что не учитывается изменение толщины слоя огнеупорной кладки, вызванное растворением огнеупорной кладки и торкретированием внутренней поверхности ванны.

Основной задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение 5 точности определения температуры металла дуговой сталеплавильной печи.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого способа определения температуры металла, который, как и прототип, использует технологическую информацию плавки дуговой сталеплавильной печи.

В отличие от прототипа, в предлагаемом способе используется в реальном времени 10 информация:

- общий расход кислорода на рафинирование.
- температура отходящих газов на входе в охладитель;
- расход электроэнергии с начала плавки;

Расчет температуры металла в дуговой сталеплавильной печи выполняют по формуле, 15 рассчитанной регрессионным методом:

$$Y = 1432,619 + 0,01047X_1 - 0,10461X_2 + 0,002536X_3;$$

где: 1432,619 - свободный член, 0,01047, 0,10461, 0,002536 - коэффициенты уравнения,

X_1 - общий расход кислорода на рафинирование, $\text{нм}^3/\text{ч}$;

20 X_2 - температура отходящих газов на входе в охладитель, $^{\circ}\text{C}$;

X_3 - расход электроэнергии с начала плавки, кВт·ч, анализируют полученную величину температуры и прекращают подачу электроэнергии, газа и кислорода при достижении температуры металла требуемого диапазона.

3. Раскрытие сущности изобретения 25

Сущность предлагаемого способа непрерывного определения температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи заключается в том, что благодаря контролю непрерывно в ходе плавки измеряют общий расход кислорода на рафинирование, температуру отходящих газов на входе в охладитель, расход 30 электроэнергии с начала плавки, расчет температуры расплавленного металла выполняют по формуле, определенной регрессионным методом:

$$Y = 1432,619 + 0,01047X_1 - 0,10461X_2 + 0,002536X_3;$$

где: 1432,619 - свободный член, 0,01047, 0,10461, 0,002536 - коэффициенты уравнения,

35 X_1 - общий расход кислорода на рафинирование, $\text{нм}^3/\text{ч}$;

X_2 - температура отходящих газов на входе в охладитель, $^{\circ}\text{C}$;

X_3 - расход электроэнергии с начала плавки, кВт·ч., анализируют полученную величину температуры и прекращают подачу электроэнергии, газа и кислорода при достижении температуры металла требуемого диапазона.

40 Таким образом, перечисленные новые существенные признаки изобретения в совокупности с известными позволяют получить технический результат, заключающийся в более точном непрерывном определении температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи и окончании подачи газа на рафинирование, подачи электроэнергии на плавку при достижении температуры расплавленного металла 45 в ванне дуговой сталеплавильной печи требуемого диапазона, что экономит расход кислорода, электроэнергии, уменьшает угар металла.

4. Осуществление изобретения

Предлагаемый способ непрерывного контроля температуры металла в ванне дуговой

сталеплавильной печи осуществляется с помощью системы, которая включает объект управления (дуговая сталеплавильная печь), выход объекта управления соединен с входом блока ввода и обработки технологической информации. Выход блока ввода и обработки технологической информации соединен с входом блока адаптации технологической информации по времени. Выход блока адаптации технологической информации по времени соединен с входом блока математического моделирования. Выход блока математического моделирования соединен с входом блока монитора оператора. Выход блока монитора оператора соединен с входом объекта управления (дуговая сталеплавильная печь). Система "способ непрерывного контроля температуры металла в ванне дуговой сталеплавильной печи" содержит блок нормативно-справочной информации, один выход, которого соединен с входом блока математического моделирования, другой выход соединен с входом блока ввода и обработки технологической информации.

Предлагаемый способ непрерывного определения температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи осуществляют следующим образом.

Способ непрерывного определения температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи включает контроль расхода кислорода на рафинирование, контроль температуры отходящих газов на входе в охладитель, контроль расхода электроэнергии с начала плавки и по определенному расходу кислорода на рафинирование, определенной температуре отходящих газов на входе в охладитель, определенному расходу электроэнергии с начала плавки рассчитывают температуру металла в ванне дуговой сталеплавильной печи по формуле:

$$Y = 1432,619 + 0,01047X_1 - 0,10461X_2 + 0,002536X_3;$$

где: 1432,619 - свободный член, 0,01047, 0,10461, 0,002536 - коэффициенты уравнения, X_1 - общий расход кислорода на рафинирование, $\text{нм}^3/\text{ч}$;

X_2 - температура отходящих газов на входе в охладитель, $^{\circ}\text{C}$;

X_3 - расход электроэнергии с начала плавки, $\text{кВт}\cdot\text{ч}$.

Пример расчета температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи. От объекта управления (дуговая сталеплавильная печь) в блок ввода и обработки технологической информации поступает информация о фактических значениях: общего расхода кислорода на рафинирование, температуры отходящих газов на входе в охладитель, расхода электроэнергии с начала плавки, с блока монитора оператора поступает информация о номере плавки и требуемом диапазоне температуры металла. Вся поступающая информация подвергается верификации, систематизируется и формируется таблица для расчета многофакторной математической модели. Таблица для расчета многофакторной математической модели обновляется с поступлением информации по каждой последующей плавке в блоке адаптации технологической информации во времени. Вся информация прошедшая верификацию, обработку и адаптацию во времени поступает в блок математического моделирования. В блоке математического моделирования методом регрессионного анализа рассчитывается температура расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи по формуле:

$$Y = 1432,619 + 0,01047X_1 - 0,10461X_2 + 0,002536X_3;$$

где: 1432,619 - свободный член, 0,01047, 0,10461, 0,002536 - коэффициенты уравнения,

X_1 - общий расход кислорода на рафинирование, $\text{нм}^3/\text{ч}$;

X_2 - температура отходящих газов на входе в охладитель, °С;

X_3 - расход электроэнергии с начала плавки, кВт·ч.

5 Рассчитанное значение температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи с блока математического моделирования передается блок монитора оператора. Блок монитора оператора имеет связь с объектом управления (дуговая сталеплавильная печь). Окончание подачи кислорода на рафинирование и подачи электроэнергии производят при достижении температуры металла в ванне дуговой сталеплавильной печи требуемого диапазона температуры.

10 Пример

Технологическая информация процесса производства стали в дуговой сталеплавильной печи для 30-ти плавов представлена табл. 1.

По данным 30-ти плавов выполнен регрессионный анализ, результаты которого представлены в табл. 2. Уравнение связи (математическая модель) имеет вид:

15
$$Y = 1432,619 + 0,01047X_1 - 0,10461X_2 + 0,002536X_3 \quad (2)$$

Математическая зависимость (2) адекватна и имеет высокую сходимость [3], коэффициент множественной корреляции $R=0,865$, среднее квадратическое отклонение (ошибка модели) равно 9°С.

20

25

30

35

40

45

Таблица 1. Технологическая информация процесса производства стали в дуговой сталеплавильной печи для 30-ти плавов

№п/п	X ₁	X ₂	X ₃	Y _{факт}	Y _{расчёт}	Δ	
5	1	4484,744	443,7112	53089,32	1567,6	1567,792	-0,19219
	2	3095,902	467,9705	46162,21	1525,8	1533,146	-7,34601
	3	4266,299	353,1695	54139,63	1564,9	1577,64	-12,7402
	4	3437,392	516,5817	49368,74	1540,5	1539,768	0,731998
10	5	3748,09	436,735	43946,79	1526,2	1537,624	-11,4238
	6	3834,649	253,3749	52352,89	1568,8	1579,029	-10,2291
	7	3114,529	255,2615	56655,17	1602,9	1582,203	20,6973
	8	2559,448	246,9599	57125,15	1581	1578,451	2,548662
	9	3304,422	330,5936	49883,25	1550,1	1559,137	-9,03684
15	10	3470,347	291,4171	48843,21	1573,7	1562,335	11,36517
	11	3801,042	340,5188	49553,68	1558,1	1562,462	-4,36238
	12	4679,536	389,5313	43604,09	1548,4	1551,445	-3,04484
	13	4786,801	380,3245	51302,49	1569,5	1573,054	-3,55418
	14	4379,251	368,9001	52330,51	1559,8	1572,589	-12,7892
20	15	4592,472	439,1455	50413,05	1581,9	1562,611	19,28935
	16	4168,914	380,4832	49799,21	1572,6	1562,756	9,844004
	17	4051,029	396,3908	46935,05	1553	1552,594	0,405872
	18	5347,386	273,7898	46322,46	1582,2	1577,439	4,761225
	19	4653,138	305,6405	47848,68	1579,6	1570,709	8,891433
25	20	4218,058	447,7756	44613,7	1547,9	1543,081	4,819421
	21	4889,094	417,6842	49317,92	1557,5	1565,184	-7,68411
	22	3489,334	239,4369	44705,06	1552,2	1557,477	-5,27692
	23	5037,762	387,5663	51585,4	1572,2	1575,642	-3,44169
30	24	4675,305	375,3937	48837,5	1555,4	1566,151	-10,7514
	25	5381,529	488,7152	45464,71	1551,1	1553,138	-2,03764
	26	5590,948	533,3749	42478,73	1553,2	1543,086	10,11403
	27	3287,312	460,7213	41675,61	1533,5	1524,53	8,969564
	28	6735,01	390,1856	46902,96	1586	1581,263	4,736842
35	29	4486,625	502,0834	46680,97	1547	1545,454	1,546046
	30	6072,354	455,4044	43239,6	1554,1	1558,212	-4,11234

где X₁ - общий расход кислорода на рафинирование, нм³/ч;

X₂ - температура отходящих газов на входе в охладитель, °С;

40 X₃ - расход электроэнергии с начала плавки, кВт·ч;

Y_{факт} - фактическое значение температуры металла в ванне дуговой сталеплавильной печи, выполненное аппаратурой "Positherm", °С;

Y_{расчет} - рассчитанное по математической модели значение температуры металла в ванне дуговой сталеплавильной печи, °С;

45 Δ - разница между фактическим и расчетным значениями температур, °С.

Таблица 2. Регрессионный анализ

ВЫВОД ИТОГОВ				
<i>Регрессионная статистика</i>				
Множественный R	0,865034			
R-квадрат	0,748284			
Нормированный R-квадрат	0,71924			
Стандартная ошибка	9,485296			
Наблюдения	30			
<i>Дисперсионный анализ</i>				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	3	6953,951	2317,984	25,76372
Остаток	26	2339,242	89,97084	
Итого	29	9293,193		
	<i>Коэф фициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P- Значение</i>
Y-пересеч.	1432,619	32,767	43,72141	7,13E-26
Перемен. X ₁	0,01047	0,002037	5,140065	2,32E-05
Перемен. X ₂	-0,10461	0,024742	-4,22816	0,000257
Перемен. X ₃	0,002536	0,000519	4,882985	4,58E-05

Вывод

Таким образом, применение предлагаемого способа непрерывного определения температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи позволяет повысить точность контроля и качества управления процессом плавки с использованием информации общего расхода кислорода на рафинирование, температуры отходящих газов на входе в охладитель, расхода электроэнергии с начала плавки путем непрерывного и точного расчета температуры металла в ванне дуговой сталеплавильной печи и окончания подачи кислорода на рафинирование и подачи электроэнергии с начала плавки при достижении температуры металла в ванне дуговой сталеплавильной печи требуемого значения диапазона температур.

Тем самым достигается экономия расхода кислорода на рафинирование, расхода электроэнергии, уменьшается угар металла, уменьшается количество разовых замеров температуры расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация патент на изобретение №2 710 384, МПК: G01J 5/00, 2006.01; G01K 11/32 2006/01; B65H 49/02 2006/01; F27 D 21/00 2006/01.

2. Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, А.Р. Бондарева, У.Б. Ахметов. "Непрерывный контроль температуры жидкой стали в технологических агрегатах металлургического производства" Вестник ЮУрГУ. Серия "Металлургия" 2018. Т. 18, №3. С. 33-41.

3. И.И. Елисеева "Эконометрика" М. С. 439, 2015 г.

(57) Формула изобретения

Способ управления плавкой при производстве стали в дуговой сталеплавильной

печи, включающий осуществление измерений текущей технологической информации по ходу плавки металла, отличающийся тем, что используют в реальном времени технологическую информацию предыдущих плавки: общий расход кислорода на рафинирование с начала плавки, $\text{нм}^3/\text{ч}$, температуру отходящих газов на входе в охладитель, $^{\circ}\text{C}$, расход электроэнергии с начала плавки, $\text{кВт}\cdot\text{ч}$, при этом технологическая информация предыдущих плавки поступает в блок математического моделирования, в котором методом регрессионного анализа рассчитывают температуру Y расплавленного металла в ванне дуговой сталеплавильной печи по формуле:

$$Y = 1432,619 + 0,01047X_1 - 0,10461X_2 + 0,002536X_3,$$

где: Y - температура расплавленного металла, $^{\circ}\text{C}$;

1432,619 - свободный член;

0,01047, 0,10461, 0,002536 - коэффициенты уравнения;

X_1 - общий расход кислорода на рафинирование, с начала плавки, $\text{нм}^3/\text{ч}$;

X_2 - температура отходящих газов на входе в охладитель, $^{\circ}\text{C}$;

X_3 - расход электроэнергии с начала плавки, $\text{кВт}\cdot\text{ч}$,

анализируют полученную температуру Y расплавленного металла путем сравнения ее с требуемым значением диапазона температур металла, согласно нормативно-справочной информации, и прекращают подачу электроэнергии и кислорода на рафинирование при достижении температуры металла требуемого значения диапазона температур.