

УДК 669.162.24

Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Малиханов Ю.С., Игликова У.Ж., Семенюк М.А., Бегинюк В.А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ПРИ ЛОКАЛЬНОЙ ПРОМЫВКЕ ГОРНА КРЕМНЕЗЁМО-МАРГАНЦОВИСТЫМ МАТЕРИАЛОМ

***Аннотация.** На доменной печи полезным объёмом 1370 м³ ПАО «ММК» исследовали параметры доменной плавки, в том числе показатели дренажной способности коксовой насадки в горне, при использовании в составе шихты промывочного материала. В специальном периоде загружали кремнезёмо-марганцовистый материал, содержащий 15,8% марганца и 45 % SiO₂, в локальную зону, соответствующую станциям № 6-7 углового положения лотка БЗУ, для промывки горна печи в зоне, соответствующей рудному гребню. Применение его в количестве 36 кг/т чугуна на период длительностью 6 сут обеспечило улучшение дренажной способности коксовой насадки в горне печи по ряду показателей: снижение количества шлака, остающегося в нём после выпуска продуктов плавки, на 4,46%; индекса DMI на 13,07%; перепада температур охлаждающей воды холодильников горна на 0,92%; среднеквадратического отклонения количества шлака между лотками на 0,92% при увеличении растворимости углерода в чугуне на 1,63%. Улучшение дренажной способности горна печи обеспечило повышение технико-экономических показателей плавки. Уменьшение удельного расхода кокса составило 4,4 кг/чугуна, повышение производительности – 10 т/сут.*

***Ключевые слова:** доменная печь, чугун, шлак, промывка горна, кремнезёмо-марганцовистый материал, кокс.*

Введение

Промывка горна доменной печи является составляющей технологии производства чугуна на предприятиях РФ. Имеются различные варианты её осуществления [1-11]. В ПАО «ММК» ранее исследована промывка специально произведенным высокозакисным агломератом на двух доменных печах полезным объёмом 1370 м³ [12]. На одной из них проплавили 495 т агломерата с содержанием FeO 29,3%, а на другой – 460 т с содержанием FeO 27,6%. При этом в железорудной части шихты печей содержание FeO повысилось с 7,9 до 27,5 и с 9,3 до 21,3% соответственно. Улучшение показателей промывающего действия высокозакисного агломерата свидетельствовало о достижении цели на обеих печах. Использование высокозакисного агломерата, произведенного на агломашине с однослойной загрузкой без тракта укладки постели, получили в среднем по двум печам снижение удельного расхода топлива-восстановителя на 7,7 кг/т чугуна и рост производительности на 0,23%.

На одной из печей комбината изучали возможность использования шлака от выплавки ферромарганца [13]. Проплавили 757 т шлака доменного производства ферромарганца. Получено 22995 т чугуна. Расход шлака составил 33 кг/т чугуна. Приход марганца возрос в 1,95 раза, содержание его в чугуне увеличилось с 0,198 до 0,396%. Содержание MnO в шлаке возросло с 0,197 до 0,339%. Коэффициент перехода марганца в чугун составил в базовом периоде 0,77, в промывочном – 0,67. Для промывки оказалось достаточно 5 сут. Тепловые нагрузки на третий ряд горновых холодильников увеличились на 16%. Рост производительности печи составил 20 т/сут, снижение удельного расхода кокс – 0,6 кг/т чугуна.

Опробовали применение брикетов, произведен-

ных из окалины со связующими [14]. Перед загрузкой подач с брикетами за предшествующие ей 5 сут устанавливали основность шлака по $(CaO+MgO)/SiO_2$ в пределах 0,90-0,95 от средней величины основности и содержание кремния в чугуне в пределах 1,15-1,25 от средней величины его содержания в чугуне. Загрузку брикетов осуществляли в циклическом режиме по станциям вращающегося распределителя шихты конусного загрузочного устройства или по угловым положениям лотка лоткового устройства. При этом заменяли 30-100% железорудного сырья брикетами в 2-10% загруженных подач. Загрузку брикетов производили до уменьшения отношения нижнего перепада давления газов в печи в первой половине периода работы между выпусками чугуна и шлака к величине нижнего перепада давления газов во второй половине этого периода до 0,8-0,95. Проявилась целесообразность увеличения прочности брикетов в соответствии с условиями, при которых они перемещаются от ковшника до горна.

Исследовали способ промывки доменной печи, включающий загрузку основных компонентов шихты и периодическую загрузку доз промывочного материала в виде металлофлюса, содержащего CaO, MnO, FeO, и SiO₂, совместно с кварцитом [15]. Результаты исследований использовали при внедрении режима загрузки кремнезёмо-марганцовистого материала в локальную зону, соответствующую станциям №6-7 углового положения лотка БЗУ, для промывки горна печи в зоне, соответствующей рудному гребню.

В варианте промывки загрузкой в печь ферросилиция совместно с коксом [16] выделяется дополнительное тепло от окисления кремния и железа в зоне горения. Количество выделяющегося тепла на 1 кг кремния составляет 30700 кДж, на 1 кг железа – 4700 кДж, на 1 кг ферросилиция марки ФС – 65: $30700 \times 0,65 \times 0,35 \times 4700 = 21600$ кДж. Из зоны горения в горн печи поступают перегретые SiO₂ и FeO.

© Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Малиханов Ю.С., Игликова У.Ж., Семенюк М.А., Бегинюк В.А., 2020

Оксид железа, потребляя углерод на восстановление, обеспечивает очистку горна от коксового мусора и спели. Кремнезём, взаимодействуя с высокоосновными силикатами, переводит их в низкоосновные ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) с уменьшением температуры плавления и вязкости. Поступление SiO_2 и FeO в перегретом виде сопровождается повышением температур в горне, что обеспечивает дополнительное снижение вязкости шлака, а также чугуна, вывод из печи масс, находящихся до этого в непрогретом вязком состоянии. Чем выше содержание кремния в ферросилицие, тем больше тепла выделяется на 1 кг этого сплава. Выделение тепла в зоне горения от окисления кремния и железа повышает температуру газов, образующихся в ней и поднимающихся в последующем вверх. Это улучшает теплопередачу в нижней части печи, создаёт благоприятные условия для восстановления трудновосстановимых элементов, снижает температуру газов на колошнике. Способ может быть эффективным, но требует дорогостоящего промывочного материала.

Использование неофлюсованных окатышей в промывочном режиме, наряду с очисткой горна, сопровождается ускоренным разрушением футеровки низа шахты, заплечиков и распара [17].

Промывочный эффект достигался при снижении реакционной способности кокса с повышением горячей прочности [18]. Однако возможности реализации этого направления в ПАО «ММК» отсутствуют.

Некоторого улучшения дренажной способности кокса в горне удавалось обеспечить технологическими мероприятиями доменной плавки [19 – 31].

В связи с изложенным разработали и внедрили в ПАО «ММК» режим промывки горна загрузкой кремнезёмо-марганцовистого материала в локальную зону колошникового пространства печи. Основанием для определения технологических параметров доменной плавки послужили физическое и математическое моделирование с испытанием отдельных составляющих [32, 33].

Материалы исследования

Средний химический состав поступающего компонента шихты для промывки приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав кремнезёмо-марганцовистого материала, %

Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	Mn	S
12,3	45,0	3,76	0,45	4,44	0,036	15,78	0,038

Характеризующие его основные соотношения следующие: $\text{Fe}/\text{Mn} = 0,78$; $\text{SiO}_2/\text{Fe} = 3,66$; $\text{SiO}_2/\text{Mn} = 2,85$; $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,08$; $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,14$; $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2 = 0,09$; $\text{CaO}/\text{MgO} = 8,36$; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO} = 9,87$. Содержание SiO_2 , превышающее CaO на 41,24 %, участвовало в промывке. Повышенное содержание Al_2O_3 было допустимым вследствие приемлемой концентрации его

в остальных компонентах шихты. Содержание серы меньше, чем в использованном агломерате. Содержание фосфора выше на 0,01 %, но это было допустимо. Содержание SiO_2 с избытком покрывает расход его на образование силикатов железа и марганца.

Действие промывки оценили сравнением трёх периодов работы доменной печи. Первый период был исходным базовым. Во втором периоде загружали промывочный материал специальным режимом. По третьему периоду, который следовал непосредственно после завершения промывки, оценивали работу печи в условиях очищенного горна.

Условия в исследованные периоды по составу и свойствам угольной шихты, использованной для коксования, представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Результаты технического анализа угольной шихты

Период	W ^r , %	A ^d , %	V ^{daf} , %	S ^d , %	X, мм	У, мм	Помол, %
Базовый	8,7	10,2	26,2	0,48	33,3	19,5	77,0
Специальный	8,8	9,9	26,2	0,48	33,7	19,7	77,5
Эксплуатационный	8,5	9,7	26,6	0,50	32,7	19,7	77,0

Таблица 3

Ситовый состав угольной шихты, %

Период	Крупность, мм					
	>10	10-6	6-3	3-1	1-0,5	0-0,5
Базовый	3,6	6,0	12,3	23,4	21,7	33,0
Специальный	3,9	5,5	12,2	23,9	20,5	34,0
Эксплуатационный	2,7	5,4	14,1	24,0	24,2	29,7

Таблица 4

Расчетные характеристики угольной шихты

Период	Насыпная плотность, т/м ³	C, %	ΣOK, %	Ro	σR
Базовый	0,792	80,47	30	1,010	0,231
Специальный	0,794	79,13	29	0,990	0,238
Эксплуатационный	0,782	81,88	29	0,970	0,196

Условия по свойствам кокса даны в табл. 5 – 7.

Таблица 5

Результаты технического анализа кокса, %

Период	W ^r	A ^d	V ^{daf}
Базовый	3,7	13,0	1,4
Специальный	3,8	12,9	1,5
Эксплуатационный	3,6	12,7	1,5

Таблица 6

Гранулометрический состав кокса, %

Период	Крупность, мм				
	+80	80-60	60-40	40-25	-25
Базовый	15,2	44,2	30,8	7,2	2,8
Специальный	12,5	36,6	39,6	8,6	2,6
Эксплуатационный	12,2	40,2	36,7	8,6	2,4

Таблица 7

Показатели горячей и холодной прочности кокса

Период	Холодная прочность кокса по показателям, %		Горячая прочность кокса по CSR, %	Реакционная способность (CRI), %
	M10	M25		
Базовый	8,5	86,4	41,4	38,3
Специальный	8,4	86,2	38,9	39,2
Эксплуатационный	8,0	86,7	38,5	39,1

Таблица 10

Матрица загрузки

Вид материала	К	К	Р	Р	К	К	Р	Р	К	К	К	Р	Р
Номер станции	1												
	2						2					2	
	3		1				1						
	4		1		1						1		
	5		1		1				1		1		1
	6	1			1	1			1	1	1		1
	7	1				1			1	1			1
	8	1		1		1			1				1
	9			1					1				1
	10			1					1				1
	11												

Компоненты, входящие в состав сырья (ЖРС), расходовали в соответствии с табл. 8. Их химический состав дан в табл. 9.

Таблица 8

Удельные расходы составляющих сырья, кг/т чугуна

Период	Наименование материала						
	AA №3	АН	ОМ	ОС	К	КММ	КФ
Базовый	1015	145	567	-	3,0	-	20,3
Специальный	1093	125	501	-	1,4	36	15,8
Эксплуатационный	1016	135	572	8,8	9,8	-	20,4

Примечание. AA № 3 – агломерат аглофабрики №3, АН – агломерат неочищенный, ОМ – окатыши Михайловские, ОС – окатыши ССГПО, К – кварцит, КММ – кремнеземо-марганцовистый материал, КФ – коксовая фракция

Таблица 9

Химический состав сырьевых материалов, %

Периоды	Компоненты шихты	Содержание элементов, %										
		Fe	FeO	CaO	SiO ₂	S	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P	Zn	Cr
Базовый	AA №3	54,4	11,0	12,3	6,79	0,066	1,97	1,67	0,25	0,029	0,043	0,028
	ОМ	63,1	-	0,57	8,73	0,01	0,24	0,15	0	0,012	-	-
Специальный	AA №3	54,1	11,2	12,5	6,8	0,1	2,1	1,6	0,2	-	-	-
	ОМ	63,1	-	0,7	8,7	-	0,3	0,2	-	-	-	-
Эксплуатационный	AA №3	54,1	11,7	12,4	6,8	0,1	2,2	1,7	0,3	-	-	-
	ОМ	63,2	-	0,7	8,8	-	0,3	0,2	-	-	-	-

Примечание. AA № 3 – агломерат аглофабрики №3, ОМ – окатыши Михайловские

Результаты исследования

Исследования охватывали три смежных периода, длительность которых определена по времени пребывания материалов в печи, в том числе в зоне мало подвижного состояния их (ЗММ) [10].

В базовом периоде кремнеземо-марганцовистый материал в составе шихты не использовали. В специальном периоде его загрузку осуществляли в локальную зону, соответствующую станциям №6-7 углового положения лотка БЗУ, для промывки горна печи в зоне, соответствующей рудному гребню. Матрица загрузки представлена в табл. 10.

Примечание. К – кокс, Р – сырьевые материалы, цифры – номера станций и количество оборотов лотка

Использование кремнеземо-марганцовистого материала в специальном режиме в количестве 36 кг/т чугуна обеспечило увеличение содержания марганца в чугуне от 0,23 до 0,57 % (табл. 11) и MnO в шлаке от 0,19 до 0,41 % (табл. 12).

Таблица 11

Химический состав чугуна в исследуемых периодах, %

Наименование компонента	Период		
	Базовый	Специальный	Эксплуатационный
Si	0,66	0,73	0,73
Mn	0,23	0,57	0,25
S	0,016	0,014	0,016
Ti	0,045	0,050	0,052
P	0,058	0,062	0,065
Cr	0,038	0,041	0,041
C	4,63	4,71	4,67
V	0,072	0,070	0,075
Ni	0,011	0,011	0,012
Cu	0,014	0,014	0,014

В период промывки горна печи по сравнению с базовым наблюдали улучшение дренажной способности горна по ряду показателей. Уменьшилось количество шлака, остающегося в горне после выпуска продуктов плавки, на 4,46%; индекса DMI на 13,07%; перепада температур охлаждающей воды холодильников горна на 0,92%; среднеквадратического отклонения количества шлака между летками на 0,92% при увеличении растворимости углерода в чугуне на 1,63% (табл. 13).

Очистка горна в специальном режиме происходила под действием ряда факторов:

- поступление в него монооксидов железа и марганца; участие их ионов в процессах удаления мелочного кокса и спели, в преобразовании высокоосновных минералов;
- участие в процессах очистки горна кремнекислородных комплексов;
- увеличение растворимости углерода в чугуне;

– уменьшение температуры плавления группировок в составе шлаке;
 – уменьшение вязкости шлака, обеспечивающего механический вынос из печи мелочи кокса и спели.

Рассматриваемый материал при расходе 36 кг/т чугуна на печи производительностью 3484 т/сут может превратить в СО за сутки 2195 кг спели и углерод 4264 кг мелочи кокса. Её кремнезём может преобразовать в однокальциевый силикат 18 т группировки ранкинита или 13 т вида $2CaO \cdot SiO_2$. На увеличение количества углерода, переходящего в чугун, приходится 30 кг/сут.

Таблица 12

Химический состав шлака в исследуемых периодах, %

Наименование компонента	Период		
	Базовый	Специальный	Эксплуатационный
SiO ₂	39,8	39,5	39,7
Al ₂ O ₃	9,49	9,39	9,43
TiO ₂	0,65	0,62	0,70
CaO	40,3	40,3	39,5
MgO	7,44	7,62	8,14
S	0,7	0,7	0,7
FeO	0,3	0,3	0,3
MnO	0,19	0,41	0,21
NaO	0,73	0,72	0,73
K ₂ O	0,82	0,83	0,86

Таблица 13

Показатели дренажной способности коксовой насадки в горне по периодам

Наименование компонента	Период		
	Базовый	Специальный	Эксплуатационный
Количество шлака, остающегося в горне после выпуска продуктов плавки через лётки, т	22,4	21,4	19,1
Характеристика растворимости углерода в чугуне, %	94,58	96,12	94,61
Индекс DMI	199	173	202
Перепад температур охлаждающей воды холодильников горна, °С	1,09	1,08	1,07
Среднеквадратическое отклонение ковшей шлака между летками	1,09	1,08	1,07

Основные технологические показатели работы доменной печи представлены в табл. 14. Улучшение условий фильтрации жидких продуктов плавки через слой кокса в горне обеспечило уменьшение удельного расхода кокса на 4,4 кг/т чугуна и повышение производительности на 10 т/сут. При этом параметры дутья соответствовали табл. 15. Колошниковый газ имел

характеристики, представленные в табл. 16 – 20.

Таблица 14

Основные технологические показатели работы печи в исследуемые периоды

Наименование компонента	Период		
	Базовый	Специальный	Эксплуатационный
Удельный расход кокса, кг/т чугуна: фактический	431,5	438,1	417,0
приведенный к базовому	431,5	427,1	418,3
Расход коксовой фракции, кг/т чугуна	19,9	15,6	19,8
Производительность, т/сут: по фактическому количеству загруженных подач приведенная к базовому периоду	3474	3483	3568
	3474	3484	3497
Расход, кг/т чугуна: сырьевых материалов в том числе марганцево-кремнезёмистого материала	1694	1734	1696
	-	36	-
Доля окатышей от ЖРС, %	32,7	30,6	33,6
Интенсивность хода: по дутью, м ³ /(м ³ мин)	2,129	2,096	2,093
по суммарному углероду, т/м ³ сут	1,145	1,153	1,137
Давление горячего дутья, кПа	371	372	372

Таблица 15

Параметры дутья в исследуемых периодах

Период	Температура горячего дутья, °С	Содержание O ₂ в дутье, %	Расход природного газа, м ³ /т чугуна
Базовый	1126	25,12	154,6
Специальный	1126	26,35	148,8
Эксплуатационный	1126	27,15	147,4

Таблица 16

Параметры колошникового газа в исследуемых периодах

Период	Содержание в колошниковом газе, %			Степень использования CO, %	Давление колошникового газа, кПа	Вынос пыли	
	CO ₂	CO	H ₂			кг/т чугуна	кг/т шихты
Базовый	17,1	25,0	9,1	40,62	242,7	14,33	8,5
Специальный	17,4	25,4	9,2	40,33	242,2	14,83	8,5
Эксплуатационный	17,6	24,9	9,2	41,35	241,5	15,17	8,8

Таблица 17

Температура колошникового газа, °С

Период	Номер газоотвода				Пылеуловитель
	1	2	3	4	
Базовый	245,7	215,3	219,5	220,7	206,6
Специальный	239,2	213,1	211,0	214,8	201,8
Эксплуатационный	227,0	205,2	200,7	206,6	193,2

Таблица 18

Температура периферийных газов в верху шахты по секторам, °С

Период	Номер сектора					
	1	2	3	4	5	6
Базовый	413,4	275,7	236,5	369,4	444,2	359,8
Специальный	421,2	274,7	227,8	362,4	444,2	344,5
Эксплуатационный	399,3	279,1	224,7	372,5	444,3	349,5

Таблица 19

Температура периферийных газов под газоотводами, °С

Период	Номер газоотвода			
	1	2	3	4
Базовый	259,8	209,7	203,0	204,1
Специальный	259,6	210,3	195,4	212,7
Эксплуатационный	242,7	204,7	201,1	197,5

Таблица 20

Температура газа по радиусу, °С

Период	Номер места расположения термопары											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Базовый	199	183	177	158	259	405	440	368	254	242	290	305
Специальный	195	180	175	158	252	385	420	353	243	234	271	276
Эксплуатационный	192	175	169	148	236	383	433	350	226	223	276	287

Заключение

На доменной печи полезным объемом 1370 м³ ПАО «ММК» в специальном периоде загружали кремнеземо-марганцовистый материал в локальную зону, соответствующую станциям №6-7 углового положения лотка БЗУ, для промывки горна печи в зоне, соответствующей рудному гребню. Применение его в количестве 36 кг/т чугуна на период длительностью 6 сут обеспечило улучшение дренажной способности горна по ряду показателей: снижение количество шлака, остающегося в нём после выпуска продуктов плавки, на 4,46%; индекса DMI на 13,07%; перепада температур охлаждающей воды холодильников горна на 0,92%; среднеквадратического отклонения количества шлака между летками на 0,92% при увеличении растворимости углерода в чугуне на 1,63%. Уменьшение удельного расхода кокса составило 4,4 кг/чугуна, повышение производительности – 10 т/сут.

Список литературы

1. Дашевский В.Я., Жучков В.И., Леонтьев Л.И. Марганец Российской Федерации // Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершённых фундаментальных исследований и НИОКР: ФЕРРОСПЛАВЫ: труды научно-практической конференции с международным участием и элементами школы молодых ученых. 2018. С. 56-66.
2. Промышленные материалы для доменной плавки / В.А. Кобелев, А.Ю. Чернавин, Г.А. Нечкин, Д.А. Чернавин, И.А. Сергиенко // Доменное производство – XXI век: труды Международного конгресса доменщиков, Москва, 12-16 апреля. М., 2010. С. 137-140.
3. Крячко Г.Ю., Авдеев Р.В. К вопросу о поведении марганца в доменной печи // Теория и практика производства чугуна: труды Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию КГГМК «Криворожсталь», Кривой Рог, 24-27 мая. Кривой Рог, 2004. С. 341-343.
4. Особенности доменной плавки при работе на железорудном сырье сложного состава месторождений центрального Казахстана / А.А. Ванак, Ю.К. Абраменко, А.М. Печеркин, Н.Е. Султанов // Сталь. 2007. № 8. С. 5-7.
5. Восстановительная плавка комплексного железорудного сырья / С.М. Тлеугабулов, С.Б. Абикиев, Д.Х. Алтыбаева, Ю.Д. Исупов, Б.С. Тлеугабулов // Сталь. 2015. № 5. С. 20-24.
6. Улучшение дренажной способности шлака доменной плавки / В.А. Долинский, Л.Д. Никитин, Л.В. Портнов, С.Ф. Бугаев, К.И. Домнин // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. 2008. № 22. С. 41-50.
7. Влияние расхода конвертерного шлака на показатели работы доменных печей / А.А. Полинов, А.В. Павлов, Г.Н. Логачёв, О.П. Онорин, Н.А. Спириин // Металлург. 2017. № 4. С. 41-47.
8. Еремеев Н.А., Лысюк А.Ж. Опыт промышленного использования конвертерного шлака Южно-Уральского никелевого комбината в качестве раскислителя в ДЦ ПАО ЧМК // Сталь. 2018. № 3. С. 7.
9. Зоря В.Н., Волынкина Е.П., Протопопов Е.В. Оценка металлургической ценности конвертерного шлака // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 10. С.29-34
10. Непрерывная добавка конвертерного шлака в шихту доменной печи / А.А. Полинов, А.В. Павлов, Н.А. Спириин, Г. Логачев и др. // AISTech Conference Proceedings, Philadelphia, Tenn., 7-10 May, 2017. С. 317-322.
11. Пат. 2067998 РФ, С21В 3/00 (1995.01). Способ промывки доменной печи / Г.Н. Мулько, Г.М. Гуляев, А.А. Бондарь, М.В. Рогов, В.Г. Подпорин, В.А. Зайцев, В.А. Кобелев, В.В. Павлов, А.И. Истеев.

12. Воздействие промывочных материалов на ход доменных процессов / Терентьев В.Л., Гибадуллин М.Ф., Мавров А.Л., Сибатуллин С.К., Гостенин В.А. // *Сталь*. 2004. № 12. С. 16 – 17.
13. Промывка горна доменной печи шлаком от выплавки ферромарганца / Терентьев В.Л., Нефёдов С.Н., Сибатуллин С.К., Пишнограев С.Н., Прохоров И.Е., Фадеев А.М. // *Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Вып. 3. Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 29 – 33.*
14. Пат. 2360974 РФ, МПК С21В5/00. Способ промывки доменной печи / Ю.А. Бодяев, В.А. Гостенин, С.К. Сибатуллин, М.Ф. Гибадуллин, В.Л. Терентьев, А.Л. Мавров, В.М. Колокольцев. Заявл. 28.06.2007; Оpubл. 10.07.2009. Бюл. № 19. С. 646.
15. Пат. 224400 РФ, МПК⁷ С 21В 3/00. Способ промывки доменной печи / И.М. Шатохин, С.К. Сибатуллин. Заявл. 16.02.2004; Оpubл. 20.03.2005. Бюл. № 8. С. 439.
16. Пат. 2150510 РФ, МПК С21В5/00. Способ промывки доменной печи / В.Л. Терентьев, К.Н.Вдовин, С.К. Сибатуллин, С.Г. Краснов, Е.В. Карпов, В.Н. Котий. Заявл. 12.04.1999; Оpubл. 10.06.2000. Бюл. № 16. С. 348.
17. Влияние загруженности пристеночной зоны доменных печей железорудным сырьем на тепловые нагрузки системы охлаждения / А.С. Харченко, Е.О. Харченко, М.В. Сидоров и др. // *Теория и технология металлургического производства*. 2015. № 2 (17). С. 15-18.
18. Сибатуллин С.К., Харченко А.С. Рациональное использование металлургического кокса в доменной плавке: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. 162 с.
19. Улучшение работы доменной печи кратковременным уменьшением расхода природного газа / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Харченко Е.О., Сибатуллина М.И., Минакаев С.Р., Бегинюк В.А. // *Черная металлургия*. 2017. № 2 (1406). С. 16-20.
20. Стабилизация соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам доменной печи / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А., Павлов А.В., Семенюк М.А., Бегинюк В.А. // *Теория и технология металлургического производства*. 2014. № 1 (14). С. 23 – 25.
21. Опыт промывки горна доменных печей брикетами из окалины / И.Ф. Курунов, Э.М. Щеглов, В.Л. Емельянов, В.Н. Титов, О.Г. Болшакова // *Металлург*. 2007. №6. С. 36-39.
22. Курунов И.Ф., Болшакова О.Г. Брикетты для промывки горна доменных печей // *Металлург*. 2007. № 5. С. 46-50.
23. Промывка доменных печей специальными промывочными брикетами / А.Ю. Чернавин, Г.А. Нечкин, Д.А. Чернавин, В.А. Кобелев, Е.А. Терентьев, В.В. Бабанакон // *Черная металлургия*. 2010. №11. С. 19-21.
24. Регулирование работы горна доменной печи / А.М. Коверзин, Л.В. Портнов, Л.Д. Никитин, В.Г. Шипицын // *Сталь*. 2014. № 7. С. 14-16.
25. Высокоокислительный металлургический брикет для промывки горна доменной печи / Ф.Ф. Очеретнюк, С.В. Юдина, Н.П. Сысоев, М.А. Шерстобитов, А.Г. Валуев // *Теория и технология металлургического производства*. 2005. №5. С. 64-67.
26. Опыт применения технологии промывки горна / В.П. Русских, Д.И. Гаврилоглу, В.П. Лялюк, А.П. Витязь, М.Я. Васкевич, А.Н. Батищев // *Черная металлургия*. 2011. № 10. С. 41-45.
27. Моделирование влияния MnO на характеристики шлака, а также распределение Mn, Si и S в доменной печи / С. Chun-lin, Z. Ling, W. Steven и др. // *Chin. Soc. Metals*. 2009. P. 1120-1124.
28. Фильтруемость доменных шлаков через коксовую насадку горна доменных печей / Г.А. Нечкин, В.А. Кобелев, А.Ю. Чернавин, Д.А. Чернавин // *Черная металлургия*. 2012. №9. С. 15-19.
29. Тлеугабулов Б.С. Совершенствование шлакового режима доменной плавки за счет использования добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2010. 24 с.
30. Разработка специальных промывочных материалов и технологии промывки доменных печей / А.Ю. Чернавин, Г.А. Нечкин, Д.А. Чернавин, В.А. Кобелев // *Новые технологии и материалы в металлургии: сборник научных трудов Уральского института металлургии*. 2015. С. 186-191.
31. Пат. 2238329 РФ, С21В 3/00 (2000.01). Способ промывки доменной печи / И.Ф. Курунов, И.С. Яриков, С.С. Ляпин, Д.Д. Иванов, В.Л. Емельянов, В.Н. Титов, Д.Н. Тихонов.
32. Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Колосов А.В. Использование нейросетевого моделирования для изучения газодинамического режима в нижней части доменной печи в условиях ее работы с коксовым орешком // *Изв. вузов. Чёрная металлургия*. 2011. № 8. С. 18 – 19.
33. Дмитриев А.Н. Математическое моделирование доменного процесса. Екатеринбург: УРО РАН, 2011. 162 с.

Сведения об авторах

Сибатуллин Салават Камилевич – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-30. E-mail: 10tks@mail.ru.

Харченко Александр Сергеевич – зав. кафедрой металлургии и химических технологий, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-30. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Малиханов Юрий Сергеевич – аспирант кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: limp.m.yu@yandex.ru.

Игликова Ульяна Мужасейтовна – студент кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: iglikovau75@gmail.com.

Семенюк Михаил Александрович – старший мастер участка загрузки, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия.

Бегинюк Виталий Александрович – ведущий специалист технологической группы доменного цеха, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF BLAST FURNACE WITH LOCAL FLUSHING HORN OF SILICA-MANGANESE MATERIAL

Salavat K. Sibagatullin – D. Sci. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: 10tks@mail.ru.

Alexander S. Kharchenko – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Yury S. Malikhanov – Postgraduate, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. E-mail: limp.m.yu@yandex.ru.

Juliana M. Iglukova – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. E-mail: iglikovau75@gmail.com.

Mikhail A. Semenyuk – Senior Master of the loading section, PJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Magnitogorsk, Russia.

Vitaliy A. Beginyuk – Leading specialist of the technological group of the blast furnace shop, PJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Magnitogorsk, Russia.

Abstract. Blast furnace useful volume of 1370 cubic meters, Public Joint Stock Company “Magnitogorsk Iron and Steel Works” have explored the parameters of the blast furnace, including indicators drainage capacity of the coke nozzles in the furnace, using the charge composition of the wash material. In the special period of the loaded silica-manganese material containing 15,8 % of manganese, and 45 % silicon dioxide, the local area corresponding to the stations No. 6-7 angular position of the tray bell-less charging Device for flushing horn of the furnace in the appropriate zone of the ore ridge. Use it in an amount of 36 kg per ton of pig iron for a period of 6 days improved drainage capacity of the coke nozzles in the furnace is a furnace for a number of indicators: decrease the amount of slag remaining in it after the release of fusion products by 4,46 %; DMI index by 13,07 %; the temperature difference of the cooling water refrigerators horn by 0,92 %; the standard deviation of the amount of slag tap holes between 0,92 % and increased the solubility of carbon in iron by 1,63 %. Improvement of the drainage ability of the furnace horn increased technical and economic indicators of milting. Reducing the specific coke consumption was 4.4 kg per ton of pig iron, increasing productivity – 10 ton per day.

Keywords: Blast furnace, pig iron, slag, flushing horn, silica-manganese material, coke.

Ссылка на статью:

Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Малиханов Ю.С., Игликова У.Ж., Семенюк М.А., Бегинюк В.А. Технологические параметры доменной плавки при локальной промывке горна кремнезёмо-марганцовистым материалом // Теория и технология металлургического производства. 2020. №2(33). С. 11-17.

Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Malikhanov Yu.S., Iglukova Ju.M., Semenyuk M.A., Beginyuk V.A. Technological parameters of blast furnace with local flushing horn of silica-manganese material. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 33, no. 2, pp. 11-17.