

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к способам продувки расплава в мартеновских печах и двухванных сталеплавильных агрегатах, и может быть использовано при выплавке стали в электропечах.

Известен способ продувки расплава кислородом через многосопловые фурмы, погружаемые до границы раздела металл-шлак (М-Ш) или в металл [1].

Недостатком данного способа является понижение выхода жидкого металла вследствие неизменного положения фурмы по ходу продувки.

Известен также способ продувки расплава кислородом с переменным положением фурмы по ходу продувки [2].

Однако неполное использование возможностей интенсификации процесса при применении газообразного кислорода не позволяет обеспечить максимальную производительность агрегата при данном расходе кислорода.

Наиболее близким к заявляемому по технической сущности и достигаемому результату является способ выплавки высокоуглеродистой стали в двухванной печи, включающий продувку металла заглубленными струями кислорода, подогрев шлака топливно-кислородными горелками и предварительное раскисление металла, причем при содержании углерода в ходе продувки на 0,2-0,4% выше среднезаданного в готовой стали 20-30% от расходуемого на продувку кислорода подают над поверхностью шлака [3].

Но этот способ не обеспечивает максимальную производительность агрегата при данном расходе кислорода.

Задачей изобретения является разработка способа продувки расплава в подовом сталеплавильном агрегате путем изменения продолжительности периода доводки и расстояния между соплами фурм над границей раздела металл-шлак с последующим измерением содержания окислов железа в шлаке и продувкой, что обеспечивает повышение производительности сталеплавильного агрегата за счет снижения продолжительности доводки.

Поставленная задача решается тем, что в способе продувки расплава в подовом сталеплавильном агрегате, включающем подачу через сводовые водоохлаждаемые фурмы газообразного кислорода в периоды продувки и доводки на границу раздела М-Ш, подъем фурм в период доводки выше границы раздела М-Ш, проведение беспродувочного периода, согласно изобретению, в первые 20-40% продолжительности периода доводки продувку ведут при положении сопел фурм над границей раздела М-Ш на расстоянии 6-8 приведенных калибров, затем сопла фурм устанавливают на границе раздела М-Ш, измеряют содержание окислов железа в шлаке и продувают кислородом до восстановления 50-70% окислов железа из шлака, после чего продувку проводят при положении сопел фурмы на расстоянии 2-4 приведенных калибров над границей раздела М-Ш, а по ходу плавки определяют границу раздела М-Ш.

Для успешного проведения процессов шлакообразования, определяющих продолжительность доводки, необходимо обеспечить выполнение двух условий: наличие в шлаке активных растворителей извести и высокую температуру металла и шлака. Решение этих задач достигается при погружении фурмы в шлак, т.е. расположение ее над границей раздела М-Ш. Результатом такого воздействия является интенсивное окисление железа, сопровождающееся быстрым ростом температуры и насыщением шлака окислами железа. При этом достигается быстрое растворение извести, уже в начале доводки формируется активным гомогенный шлак, обладающий высоким десульфурующим и дефосфорирующим потенциалом. Однако при проведении этой операции в течение менее 20% продолжительности доводки не достигается достаточного форсирования процессов нагрева и насыщения шлака окислами железа для заметного повышения производительности агрегата.

При проведении этой операции в течение более 40% продолжительности доводки перегрев ванны и высокое содержание окислов железа в шлаке приводит к возникновению выбросов металла и шлака из печи, что вынуждает снижать тепловую нагрузку, прекращать продувку, присаживать в ванну охладители и в конечном итоге ведет к снижению производительности печи. При положении фурмы менее чем на 6 приведенных калибров кислородных сопел выше границы М-Ш ускорения нагрева ванны практически не наблюдается, а при подъеме на высоту более 8 приведенных калибров снижается степень использования тепла окисления железа на нагрев металла, что связано с интенсивным диспергированием шлака и выносом его из рабочего пространства печи. В обоих случаях производительность агрегата снижается.

После окончания первого периода доводки, проводимого при высоком положении фурмы, ванна оказывается подготовленной к проведению основного периода доводки, т.е. сформирован активный шлак и обеспечена высокая температура металла. Для реализации достигнутых в начале доводки преимуществ фурму опускают на границу раздела М-Ш. При этом, вследствие высокой температуры металла, повышается скорость окисления углерода, что ведет к интенсивному перемешиванию ванны, улучшению ее нагрева теплом факела, ускорению процессов рафинирования от вредных примесей. Таким образом ускоряются все основные процессы, протекающие в ванне: нагрев, десульфурация и дефосфорация, окисление углерода, что является решающим условием повышения производительности агрегата. Однако форсирование этих процессов наблюдается только в ограниченный период доводки, который в каждом конкретном случае определяется снижением содержания окислов железа в шлаке. При продолжении продувки через фурмы, расположенные на границе раздела М-Ш, после того, как содержание окислов железа снизится более чем на 70% от их содержания в момент погружения фурм на границу раздела, перемешивание металла и шлака в значительной степени замедляется вследствие снижения интенсивности окисления углерода на границе между металлом и шлаком, протекающего за счет кислорода, содержащегося в окислах железа. Это приводит к замедлению процессов рафинирования, осложняет перенос тепла и атмосферного кислорода к металлу через шлак и приводит к снижению производительности печи.

При прекращении продувки на границе раздела М-Ш ранее восстановления 50% окислов железа, содержащихся в шлаке в момент погружения, оказывается недоиспользованным потенциал, накопленный ванной в первый период доводки, т.е. еще интенсивны процессы перемешивания, нагрева, десульфурации и удаления углерода, а фурмы поднимаются, снижая интенсивность окисления углерода и перемешивания ванны, что приводит к потере производительности агрегата.

После падения окисленности шлака и снижения интенсивности подшлакового кипения ванны необходимо интенсифицировать этот процесс, являющийся основой быстрого рафинирования и нагрева ванны; это достигается повторным подъемом фурмы над границей раздела М-Ш. В этот завершающий период доводки

ванна уже достаточно нагрета и для окисления углерода нет необходимости вдувать кислород непосредственно в металл. Процесс идет устойчиво за счет передачи через шлак атмосферного кислорода, кислорода, растворенного в металле, и вдуваемого кислорода, переходящего в металл через шлак. При подъеме фурм в третьем периоде доводки менее чем на 2 приведенных калибра кислородных сопел не достигается интенсификация подшлакового кипения ванны, а при подъеме фурмы на высоту более 4 приведенных калибров в шлак поступает избыточное количество окислов железа, что термодинамически тормозит десульфурацию. Кроме того, при этом снижается скорость окисления углерода за счет снижения эффективности непосредственного взаимодействия струй кислорода с жидким металлом. В обоих случаях производительность агрегата снижается.

Иллюстрацией приведенной схемы является хронометраж двух плавов, проведенных в 300-т мартеновской печи по предлагаемому (1) и известному (прототип) (2) способу (см. табл. 1).

Пример. Сталь марки БСтЗСП выплавляли в 300-т мартеновской печи, работающей скрап-рудным процессом с продувкой ванны кислородом. После выпуска предыдущей плавки осуществляли завалку металлолома (150 т), загрузку известняка (18 т), производили прогрев шихты в течение 40 мин, заливали жидкий чугун (180 т) и начинали продувку кислородом с интенсивностью $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ через три шестисопловые водоохлаждаемые фурмы с диаметром сопла 12 мм (приведенный диаметр сопла 29,4 мм). Тепловой режим печи во время проведения опытных плавов соответствовал инструкции и от плавки к плавке не изменялся. Продувку начинали непосредственно после заливки чугуна, опуская фурму по мере расплавления шихты до границы раздела М-Ш. Полное расплавление ванны фиксировалось визуально по прекращению фонтанирования металла в местах нахождения нерасплавившегося металлолома. При проведении плавов предлагаемым способом в момент прекращения фонтанирования металла (т.е. в момент начала доводки) фурмы поднимали над границей раздела М-Ш на определенную высоту и удерживали в таком положении некоторое время, затем опускали на границу раздела и производили повторный подъем фурм в конце доводки.

При проведении плавки, как в прототипе, фурмы находились на границе раздела М-Ш в течение всей доводки.

Положение границы М-Ш определяли электроконтактным методом, для чего одна из фурм была изолирована от металлоконструкций. Между изолированной фурмой и металлоконструкциями был установлен омметр. При нахождении фурмы в атмосфере печи сопротивление в цепи фурма-металлоконструкции составляло 140000-350000 Ом.

При нахождении фурмы в шлаке сопротивление составляло 150-230 Ом (цепь замыкалась через шлак). При попадании фурмы в металл сопротивление составляло 2-7 Ом (цепь замыкалась через металл). Сопоставляя диаграмму движения фурмы с резкими переломами на диаграмме сопротивления, определяли положение границы раздела М-Ш. Затем по сельсину производили установку всех фурм в нужное положение. С учетом того, что положение границы раздела М-Ш по ходу плавки несколько изменяется, определение положения границы производили каждые 7 мин, внося при необходимости коррективы в положение фурм. Точность установки фурм $\pm 1 \text{ см}$.

Эффективность способа продувки оценивалась продолжительностью доводки, которая определялась от момента прекращения фонтанирования металла (конец плавления) до момента достижения температуры металла 1620°C , содержания углерода 0,2%, содержания фосфора 0,025%.

В момент, когда все названные параметры достигали требуемых значений, продувку прекращали, производили выдержку металла в печи в течение 10 мин (беспродувочный период для самораскисления ванны) и начинали выпуск металла в ковш, где производили его раскисление. Во всех случаях сталь была назначена по ГОСТ 380-71 без ограничения применения.

В табл. 2 приведены результаты опытных плавов с использованием предлагаемого и известного (прототип) способов продувки расплава, в котором в течение всей доводки фурмы находились на границе раздела М-Ш.

Таким образом, реализация предлагаемого способа при одновременном попадании всех его параметров в заявляемые пределы обеспечивает существенное повышение производительности агрегата за счет снижения продолжительности доводки.

Таблица 1

Время от начала доводки, мин	Положение фурмы, калибров над границей раздела шлака		Содержание углерода в металле, %		Содержание серы в металле, %		Содержание фосфора в металле, %		Температура металла, °C		Содержание окиси железа в шлаке, %	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	0	0	1.50	1.50	0.052	0.051	0.062	0.058	1505	1510	18.3	18.2
5	8	0	1.42	1.41	0.052	0.050	0.058	0.056	1514	1515	18.8	17.4
10	8	0	1.34	1.31	0.051	0.050	0.054	0.054	1524	1520	19.6	16.5
15	8	0	1.28	1.22	0.051	0.049	0.050	0.052	1535	1525	20.2	15.8
20	8	0	1.18	1.10	0.050	0.049	0.046	0.050	1544	1530	21.0	14.9
25	8	0	1.10	0.94	0.050	0.048	0.042	0.048	1556	1535	21.8	14.3
30	0	0	1.02	0.86	0.049	0.048	0.040	0.046	1562	1540	21.6	13.6
35	0	0	0.94	0.79	0.048	0.047	0.038	0.044	1568	1545	19.6	13.1
40	0	0	0.85	0.73	0.047	0.047	0.038	0.043	1573	1550	17.5	12.6
45	0	0	0.76	0.68	0.046	0.046	0.037	0.042	1579	1555	15.6	12.4
50	0	0	0.66	0.64	0.044	0.046	0.036	0.041	1584	1560	13.4	12.1
55	0	0	0.58	0.61	0.043	0.045	0.034	0.040	1590	1565	12.4	11.8
60	0	0	0.49	0.58	0.042	0.045	0.032	0.039	1595	1570	10.5	11.6
65	4	0	0.39	0.54	0.041	0.044	0.030	0.038	1600	1575	8.6	11.4
70	4	0	0.30	0.50	0.040	0.044	0.028	0.036	1606	1580	8.8	11.4
75	4	0	0.24	0.46	0.039	0.043	0.026	0.035	1611	1585	8.9	10.9
80	прекр.	0	0.19	0.42	0.038	0.043	0.024	0.033	1617	1590	9.2	10.6
85	прод-ки	0	0.19	0.38	0.037	0.042	0.023	0.032	1622	1595	9.3	10.3
90	Выпуск	0	0.18	0.34	0.035	0.042	0.022	0.031	1628	1600	9.3	10.0
95	-	0		0.30	-	0.041	-	0.030	-	1605	-	9.8
100	-	0		0.26	-	0.041	-	0.028	-	1610	-	9.6
105	-	прекр.		0.22	-	0.040	-	0.027	-	1615	-	9.4
110	-	прод-ки		0.20	-	0.039	-	0.025	-	1620	-	9.4
115	-	выпуск		0.18	-	0.038	-	0.024	-	1625	-	9.3

Таблица 2

Параметры плавки							Результаты плавки			
Прод. прод-ки с высоким положением фурмы в нач доводки		Высота фурмы над границей мет-шлак в начале доводки, калибр	Содержание закиси железа в момент прекращения продувки с высоким положением фурмы, %	Содержание закиси железа в момент подъема фурмы, %	Доля восстановившейся FeO за время прод-ки на гр разд. мет.-шлак %	Высота вторного подъема фурмы над границей мет-шл калибров	Продолжительность доводки, мин	Продолжительность плавки мин	Выход жидкой стали т	Производительность печи т/час
мин	% до прод. доводки									
12.0	10	5	14,8	8,9	40	1	120	420	304	43,4
25.0	20	5	14,3	7,15	50	1	125	425	303	42,8
36.0	30	5	15,2	8,06	60	2	120	420	304	43,4
52.0	40	5	16,4	4,92	70	1	130	430	303	42,3
60.0	50	5	17,8	3,56	80	1	120	420	304	43,4
11.5	10	6	15,6	9,36	40	2	115	415	303	43,8
18.6	20	6	22,3	11,15	50	2	90	390	305	46,9
28.5	30	6	22,2	8,88	60	2	95	395	306	46,5
34.0	40	6	22,0	6,6	70	2	85	385	305	47,5
57.5	50	6	32,6	6,52	80	2	115	415	304	44,0
12.0	10	7	14,8	8,86	40	3	120	420	303	43,3
19.0	20	7	22,6	11,3	50	3	95	395	307	46,6
25.5	30	7	22,7	9,08	60	3	85	385	306	47,7
36.0	40	7	22,3	6,69	70	3	90	390	306	47,1
60.0	50	7	34,8	6,96	80	3	120	420	304	43,4
12.5	10	8	15,6	9,36	40	4	125	425	303	42,8
17.0	20	8	22,2	11,1	50	4	85	385	305	47,5
27.0	30	8	23,4	9,36	60	4	90	390	305	46,9
36.0	40	8	24,5	7,35	70	4	90	390	306	47,1
62.5	50	8	36,7	7,34	80	4	125	425	304	42,6
13.0	10	9	36,8	22,1	40	5	130	430	303	42,3
26.0	20	9	37,3	18,7	50	5	130	430	304	42,4
39.0	30	9	38,5	15,4	60	5	130	430	303	42,3
50.0	40	9	39,6	11,9	70	5	125	425	303	42,8
60.0	50	9	41,5	8,3	80	5	120	420	304	43,4
Прототип							120	420	304	40,4
в течение всей доводки фурмы на границе раздела металл-шлак										