

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности, к внепечной обработке стали в ковше и может быть использовано в сталеплавильных цехах.

Наиболее близким к нам известным решением, принятым за прототип, является способ подогрева жидкой стали в ковше [1].

Повышение эффективности подогрева в открытых ковшах без изменения качества стали известным способом осуществляется за счет непрерывного ввода алюминия в количестве 0,5 - 3,0 кг/т в зону истечения аргоно-кислородной струи, заглубленной в металл на $1/6 - 4/5$ его высоты при соотношении расходов $Ar O_2$ и Al 1 : (5 - 300) : (6 - 340) и расхода аргона 10 - 80 л/ч.

Общие с заявляемым изобретением признаки прототипа включают:

- перемешивание металла в ковше инертным газом и подогрев кислородом;
- использование с этой целью одной фурмы;
- футерованная фурма погружена в металл.

Этот способ позволяет получать удовлетворительное качество металла по неметаллическим включениям без последующей обработки аргоном и высокие скорости подогрева (до 10°C/мин). Однако, присущие этому способу недостатки, связанные с использованием закрепляемого на стержне фурмы алюминиевого блока, через канал в котором подается в металл аргоно-кислородная смесь, не позволили использовать его для снижения температуры металла в конвертере. Из-за быстрого расплавления и растворения алюминия из блока в стали (за 30 - 40 с). Фурма укорачивалась на 1 - 1,5 м, в результате чего основное время продувки (60 - 80%) аргоно-кислородной смесью проводилась через фурму заглубленную на 40 - 50% высоты металла в ковше, что не позволяло расплавлять настывшие на дне ковша, образующиеся при выпуске из конвертера стали с пониженной температурой. В основу изобретения поставлена задача создания способа внепечной обработки стали в котором, в результате использования химического подогрева стали в ковше, обеспечивается глубокое и равномерное перемешивание и подогрев металла со скоростью 10°C/мин кислородом через фурму погруженную в ковш на 80 - 95% его высоты и позволяющего не только подогревать единичные "холодные" плавки, но и дополнительно снижать температуру металла на выпуске из конвертера на 30 - 40°C, и тем самым, стабилизировать производство, снизить расходы ферросплавов, огнеупоров, электроэнергии, повысить стойкость конвертеров и улучшить качество разливаемой стали.

Поставленная задача решается тем, что в способе внепечной обработки стали, содержащем перемешивание инертным газом и подогрев кислородом через погружаемую в металл футерованную фурму, согласно изобретению, перемешивание и подогрев металла осуществляется кислородом с соответствующими расходами 0,01 - 0,05 м³/т мин и 0,10 - 0,30 м³/т мин, вводимым через фурму погруженную в ковш на 80 - 95% его высоты со скоростью истечения кислорода из сопла при подогреве 200 - 1200 л/с.

В предлагаемом способе использование заглубления фурмы на 80 - 95% в сочетании с большой кинетической энергией газовой струи соответствующей истечению кислорода из ковша со скоростью 200 - 1200 л/с обеспечивают эффективное смывание дна ковша горячим металлом, что исключает образование настывших и позволяет, тем самым, понизить среднюю температуру металла в плавильных агрегатах на 30 - 40°C, что в 3 - 4 раза эффективнее известных способов химического подогрева стали в ковше.

Применение технического кислорода с расходами 0,01 - 0,05 м³/т мин и 0,10 - 0,3 м³/т мин с указанными выше параметрами заглубления фурмы и скорости истечения газа при известных расходах (0,03 м³/т°C) и алюминия (0,04 кг/т°C) обеспечивает удовлетворительное перемешивание, достаточное для усреднения температуры и химического состава стали в объеме ковша, а также очищения металла от продуктов окисления алюминия, без использования для этих целей инертного газа.

Таким образом, использование предлагаемого изобретения исключает необходимость использования инертного газа и обеспечивает, при сохранении уровня качества металла, возможность выпуска из плавильного агрегата металла со средней температурой на 20 - 30°C ниже, чем при известных способах химического подогрева, что можно характеризовать как существенное отличие.

Указанные выше преимущества предполагаемого изобретения подтверждаются примерами №1 - 6 (таблица), не исключающих другие решения в объеме. Плавки проводились на стали 09Г2ФБ, выплавляемой в 320-т конвертере и разливаемой на МНЛЗ в слэбы сечением 1850 × 300 мм с требуемой температурой в промежуточном ковше 1525 - 1540°C и рабочей скоростью 0,7 - 0,8 м/мин. До опробования обработки стали кислородом металла после выпуска в ковш продувался 3 - 5 мин аргоном в открытом ковше для усреднения химического состава и температуры.

После получения анализа первой пробы металл обрабатывался порошкообразным силикокальцием в струе аргона в количестве 450 - 550 кг. При обработке силикокальцием в ковш присаживали 500 кг феррованадия и 140 кг феррониобия и, при необходимости, корректирующие добавки ферромарганца и алюминия (катанкой через трайб-аппарат). Температура в этом случае перед выпуском из конвертера составляла 1660 - 1685°C при среднем значении 1560°C. Для снижения температуры около 40% плавки охлаждались в ковше слэбом в течение 5 - 12 мин. Температура металла в промежуточном ковше находилась в пределах 1515 - 1545°C и составляла в среднем 1535°C. Из-за низкой температуры до 2% плавки не могли быть различены на МНЛЗ и возвращены в конвертер. Опытные плавки с продувкой кислородом в ковше проводились по той же технологии, что описана выше, но имели на 25 - 40°C пониженную температуру перед выпуском из конвертера, а также отличались использованием кислорода вместо аргона при усреднительной продувке и подогреве металла в ковше за счет реакции взаимодействия кислорода с растворенным в стали алюминием.

Опытные плавки с продувкой кислородом обрабатывались на той же самой аргоновой установке с одной погружаемой фурмой, дооборудованной устройством химподогрева стали в ковше. Фурма со стержневой трубой и внутренним диаметром 60 и 34 мм футеровалась стандартными шамотными

кольцами и имела керамическое цилиндрическое сопло диаметром 33 и 58мм. Длина фурмы (4,6м) позволяла опускать ее до днища ковша. Эта фурма без замены использовалась для продувки стали кислородом и порошкообразным силикокальцием в струе аргона.

Примеры №1 - 4 (таблица) относятся к плавкам, проведенным в пределах формулы предполагаемого изобретения, а примеры №5 - 6 вне заявляемых пределов. Для сравнения в примере №7 воспроизведен способ обработки стали смесью кислорода и аргона по выбранному прототипу.

Пример 1 с нижними пределами расходов кислорода при усреднительной продувке ($0,01\text{нм}^3/\text{т мин}$) и химподогреве ($0,1\text{нм}^3/\text{т мин}$) при скорости истечения O_2 из сопла $200\text{нм}/\text{с}$. Скорость истечения рассчитывалась делением секундного расхода O_2 при подогреве на площадь сечения сопла фурмы. Фурма при продувке заглублялась на 80% высоты ковша.

Плавка выпущена из конвертера с температурой 1640°C и после внепечной обработки удовлетворительно разлита на МНЛЗ. Ковш после разливки из-за высокого расположения фурмы имел несущестственные настывы в виде скрапины (массой 0,5т) по периферии днища. Из-за слабого перемешивания металла при усреднительной продувке O_2 феррониобий, введенный в ковш в этот период, не успел полностью раствориться в стали и частично осел на дно, о чем свидетельствует некоторая неравномерность содержания ниобия по ходу разливки (0,025% в начале и 0,040% в конце). В целом, плавка по химсоставу удовлетворяла требованиям технических условий на сталь 09Г2ФБ. Листы не имели отсортировки по уровню механических, технологических свойств и дефектам ультразвукового контроля (раскатанные грубые алюмосиликатные включения) при содержании общего кислорода, определяемого методом вакуумплавления на приборе "Бальцерс" - 0,003%, что не превышает обычный уровень в листах стали 09Г2ФБ, выплавленной без обработки кислородом в ковше.

Пример 2. Плавка с верхними пределами расходов кислорода при усреднительной продувке ($0,05\text{нм}^3/\text{т мин}$) и подогреве ($0,3\text{нм}^3/\text{т мин}$) при скорости истечения O_2 из сопла $1200\text{нм}/\text{с}$. Плавка выпущена из конвертера с температурой 1635°C , не имела замечаний по разливке и качеству листов. Повышенный расход O_2 при усреднительной продувке привел к увеличению температуры металла в ковше за 4мин с 1525 до 1535°C , т.е. на 10°C . Такое повышение температуры может быть нежелательно для плавков, не требующих подогрева. Большие заглубления фурмы (95%) и скорость истечения O_2 из сопла фурмы, привели к несущественному размыванию кирпичной футеровки днища ковша под фурмой.

Пример 3. Плавка проведена внутри заявленных пределов расходов кислорода на усреднительную продувку и подогрев при скорости истечения струи из сопла $400\text{нм}/\text{с}$. Ковш после разливки имел удовлетворительное состояние, днище без настывов и размываний. Листы не имели сортировки по механическим свойствам и УЗК и отличались низким содержанием общего кислорода 0,0015%.

Пример 4. Плавка из-за высокого содержания серы в пробе после усреднительной, с присадкой феррониобия и феррованадия, продувки переведена, в марку 09Г2С, которая не обрабатывается порошкообразным силикокальцием. Плавка не требовала дополнительного подогрева и разливалась непосредственно после усреднительной продувки кислородом внутри заявленных пределов ($0,04\text{нм}^3/\text{т мин}$). Удовлетворительный уровень механических свойств, отсутствие отсортировки листов при УЗК и низкое содержание общего кислорода подтвердили возможность полной замены аргона при усреднительной продувке и корректировки химсостава на кислород.

Пример 5. Плавка проведена за нижними пределами расходов кислорода при усреднительной продувке ($0,005\text{нм}^3/\text{т мин}$) и подогреве ($0,08\text{нм}^3/\text{т мин}$) и заглублением фурмы на 75% высоты ковша при скорости истечения O_2 из сопла при подогреве $150\text{нм}/\text{с}$. Из-за практически полного отсутствия перемешивания металла в ковше при усреднительной продувке присаженный феррониобий в значительной части осел на дно и остался нерастворенным даже после 15мин подогрева, что недопустимо в производстве. Малое заглубление фурмы и низкие скорости истечения кислорода при подогреве привели к образованию "козла" ~8т на днище ковша при практически нормальной температуре металла после внепечной обработки. Листы, из последних по ходу разливки слябов, были отсортированы при контроле УЗК. Таким образом, снижение заглубления фурмы, расходов кислорода и скорости истечения струи кислорода из сопла ниже заявленных пределов недопустимо из-за "закозления" ковша и ухудшения качества макроструктуры листов.

Пример 6. Плавка проведена вне верхних пределов расходов кислорода на усреднительную продувку и подогрев при скорости истечения O_2 при подогреве $130\text{нм}/\text{с}$ и глубине погружения фурмы 97%. Недостатками такой обработки явились существенный подогрев стали при усреднительной продувке, что недопустимо для плавков не требующих подогрева, размывание футеровки днища ковша под фурмой, требующее проведение холодного ремонта.

Пример 7. Воспроизведена сравнительная плавка, проведенная нами по способу внепечной обработки, принятого за прототип. В данном случае футерованная фурма для подогрева имела на конце закрепленную на стержне фурмы футерованную цилиндрическую отливку диаметром 400мм, высотой 1200мм, массой 300кг с отверстием $\varnothing 90\text{мм}$ для прохождения кислорода. Такая конструкция фурмы не позволяла использовать ее для усреднительной продувки. Поэтому, усреднительная продувка проводилась аргоном через обычную фурму. Через эту же фурму после подогрева проводилась обработка стали порошкообразным силикокальцием в струе аргона. Подогрев металла через кислородную фурму проводился кислородо-аргонной смесью (95% и 5%, соответственно) при начальном ее заглублении в ковше на 80%, расходах смеси $0,35\text{нм}^3/\text{т мин}$, и скорости истечения $150\text{нм}/\text{с}$. Из-за быстрого расплавления алюминиевого блока продолжительность подогрева составила 2,5мин, после чего резко увеличилось бурление металла в ковше и продувка была прекращена. В результате расплавления блока заглубление фурмы снизилось с 80% до 50%. Малое заглубление фурмы и низкие скорости истечения газовой смеси не позволили омывать днище горячим металлом и избежать, тем самым его "закозления". После разливки в ковше остался "козел" массой 5т, что не позволило использовать этот ковш для повторного выпуска в него металла из конвертера с пониженной температурой. Поэтому подогрев

металла по способу-прототипу, также как и при использовании других известных способов-аналогов, может применяться только при снижении температуры металла в конвертере на 10 - 15°C с исправлением подогревом единичных плавок, вместо снижения температуры металла в конвертере на 30 - 40°C с подогревом 35 - 40% плавок при обработке стали предложенным нами способом в заявленных пределах. В этом заключается принципиальное отличие заявленного способа, которое может быть характеризовано как существенная новизна.

Другими преимуществами предлагаемого способа являются:

- простота его реализации без существенных капитальных затрат, в том числе на действующих в сталеплавильных цехах аргонных установках с одной фурмой;
- технологичность, связанная с возможностью последовательной обработки металла кислородом, аргоном и порошкообразными реагентами без замены фурмы, умеренное бурление металла в ковше при подогреве, не требующее снижения массы плавки и накрывания ковшей специальными крышками;
- малое дымовыделение (5 - 8 кг за продувку, в основном FeO) не требующее переоборудования аспирационных систем аргонных установок.

В процессе усреднительной продувки стали и ее подогреве O₂ содержание C, Mn, Al, V, S, P, N практически не изменяются, содержание кремния снижается на 0,01 - 0,03%. Дополнительный расход алюминия на подогрев увеличивается на 0,04 кг/°C т, что близко к данным получаемым при использовании известных способов химического подогрева стали в ковше.

Поплавочные затраты алюминия при использовании предлагаемого нами способа в технологии составляют 0 - 1,5 кг/т.

В результате сокращения окисленности металла выпускаемого из конвертера за счет снижения в среднем до 30°C его температуры, резкого снижения количества плавок с додувками, исключения перелива холодных плавок в конвертер и подогреве в ковше до 40% плавок, среднее увеличение расхода алюминия составляет около 0,2 кг/т.

Эти дополнительные затраты перекрываются экономией от снижения расхода чугуна, увеличения стойкости футеровки конвертера, практического исключения охлаждения металла в ковше слябами, стабилизацией разливки и повышения качества поверхности и макроструктуры слябов.

Источники информации

1. Авторское свидетельство СССР №1544811, кл. C21C7/00 (прототип).

Таблица

Примеры проведения опытных плавов

Характеристика примеров	Примеры №						
	1	2	3	4	5	6	7
	в заявленных пределах				вне пределов		прототип
Марка стали	09Г2ФБ	09Г2ФБ	09Г2ФБ	09Г2С	09Г2ФБ	09Г2ФБ	09Г2ФБ
Заглубление фурмы, % вы- соты ковша	83	95	90	90	75	97	80/50
Диаметр сопла фурмы, мм	58	33	58	58	60	33	95
Расход газа, нм ³ /тмин при усредне- нии	0.01O ₂	0.05 O ₂	0.04 O ₂	0.04 O ₂	0.005 O ₂	0.06 O ₂	0.003A
при подогреве	0.1 O ₂	0.3 O ₂	0.2 O ₂	нет	0.08 O ₂	0.35 O ₂	0.35 (смесь 95% O ₂ A)
рафинировоч- ная продувка	SiCa+Ar	SiCa+Ar	SiCa+Ar	нет	SiCa+Ar	SiCa+Ar	SiCa+Ar
Время продувки, мин при усредне- нии	4	4	4	6	4	4	4
при подогреве	11.0	4.7	4.7	нет	15.0	7.3	2.5
при рафиниро- вании	5	5	5	нет	5	5	5
Скорость исте- чения O ₂ при подогреве, нм/с	200	1200	400	нет	150	1300	150
Температура стали, °C в конвертере на установке доводки:	1640	1635	1645	1640	1650	1630	1660
до усреднения	1530	1525	1535	1560	1540	1515	1550
после усреднения	1530	1535	1542	1570	1525	1532	1545

после подогре- ва	1568	1570	1570	–	1560	1575	1560
после рафини- рования	1560	1565	1560	–	1552	1570	1550
При разливке в промежуточ- ном ковше, на- чале/конце	1535 1525	1535 1530	1535 1530	1540 1535	1530 1525	1545 1540	1530 1520
Состояние дни- ща после раз- ливки	скрапина, ~0,5 т	удов., слабое размыв. футеров- ки под фурмой	удов.	удов.	"козел" ~ 8 т	размыв. под фур- мой	"козел" ~ 5 т
Содержание Al при разлив- ке (% мас.)							
в начале	0,075	0,035	0,030	0,040	0,015	0,040	0,025
в конце	0,040	0,035	0,030	0,035	0,025	0,040	0,035
Отсортирова листов при уль- тразвуковом контроле, %	0	0	0	0	15	0	10
Содержание общего кисло- рода в прока- те, % (мас.)	0,003	0,0020	0,0015	0,002	0,0035	0,0020	0,002
Расход алюми- ния, кг/т	1,27	1,20	0,93	0	1,75	1,43	0,5