

Таблица 1

Годовая отсортировка слябов в пониженную сортность и брак по дефектам загрязнения металла неметаллическими включениями

Год	Производство, т	Отсортировка слябов в несоответствующую продукцию				Отсортировка в брак	
		Точечная неоднородность		Шлаковое включение		Шлаковое включение	
		т	%	т	%	т	%
2005	10065467	2605	0,0259	3276	0,0325	864	0,0090
2006	10244446	2622	0,0256	1313	0,0128	594	0,0058

Таблица 2

Показатели работы промежуточных ковшей

Показатель	Группа марок сталей	Стопор-моноблок	Наборный стопор
Количество разлитого металла на 1 погружной стакан, т	Низколегированные	532,5	422,2
	Низкоуглеродистые и углеродистые	295,8	279,7
Количество разлитого металла на 1 прокатку стопора, т	Низколегированные	301,8	206,0
	Низкоуглеродистые и углеродистые	162,7	121,1

В табл. 1 приведен сравнительный анализ 2005 и 2006 годов, где представлены данные по отсортировке металла в несоответствующую продукцию и брак по дефектам, относящимся к загрязнению неметаллическими включениями.

Из табл. 1 следует, что круговое использование стаканов-дозаторов позволило снизить отсортировку металлопродукции в пониженную сортность по дефекту «точечная неоднородность» на 0,0003%, по шлаковым включениям на 0,020%, выход брака по грубым шлаковым включениям снизился на 0,0032%.

Использование стопоров-моноблоков с продувкой металла аргоном

Стопора-моноблоки на МНЛЗ ККЦ начали применять с конца 2006 года совместно со стаканами-дозаторами с газопроницаемой вставкой, и на данный момент уже можно сделать заключение по их использованию.

В табл. 2 показано преимущество использования стопоров-моноблоков по сравнению с наборными стопорами.

Из данных табл. 2 следует, что вдувание аргона через полый стопор дополнительно увеличивает количество разлитого металла через один погружной стакан на 6–26% в зависимости от марки разливаемой стали. Снижение количества прокаток стопоров при разливке разных марок сталей составляет 34–47%.

По итогам 2006 года в ККЦ ОАО «ММК» в результате использования продувочных уст-

ройств различных конструкций в промежуточных ковшах во время непрерывной разливки стали было достигнуто снижение отсортировки слябов по дефекту «точечная неоднородность» на 0,003%, по шлаковым включениям на 0,020%, выход брака слябов по грубым шлаковым включениям снизился на 0,0042%. Произошло увеличение выхода годного металла за счет снижения технологической обрезки от «поясов» на 4 кг/т. Общий экономический эффект превысил 90 млн рублей.

УДК 669.14.018.298.8:669–155.3

С.С. Быков, А.М. Столяров

ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕНИЯ АЗОТОМ ПОЛУПРОДУКТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ АЗОТИСТОЙ СТАЛИ

Нержавеющая азотистая сталь марки 55X20Г9АН4 используется для изготовления клапанов автомобильных двигателей. Эта сталь является высокопрочной, жаростойкой и содержит 0,30...0,60% азота. В ОАО «Ижсталь» основное легирование такой стали азотом производится в процессе плазменно-дугового переплава (ПДП). Переплаву подвергаются металлические электроды диаметром 370 мм, предварительно отливается на машине полунепрерывного литья заготовок (МПНЛЗ). Для получения требуемого в гото-

вой стали количества азота его доля в полупродукте для отливки расходуемых электродов должно составлять 0,17...0,30% при относительно низком содержании кремния – не более 0,45%. По существовавшей ранее технологии весь азот в полупродукт для получения электродов вводился в процессе его выплавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) вместимостью 25 т. При этом использовался метод переплава высоколегированных отходов с продувкой или без продувки металла кислородом. Металлической шихтой электроплавки

являлись собственные азотсодержащие отходы и азотированные ферросплавы. Для увеличения содержания азота в выплавляемом металле применялось также введение азотированных ферросплавов в печь в восстановительный период плавки. В качестве таких ферросплавов в основном использовался азотированный феррохром, производящийся методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). После введения в эксплуатацию агрегата «печь-ковш» (АПК) появилась возможность введения части азота в процессе ковшевой обработки полупродукта, что позволило бы уменьшить расход дорогостоящих азотированных ферросплавов. В данной работе изучается степень насыщения азотом полупродукта при его обработке на АПК.

По опытной технологии был обработан металл 23 плавов. Азотирование металла производилось в 30-т сталеразливочном ковше при продувке газобразным азотом через донную пробку ковша в течение всего технологического процесса на АПК.

Интервал изменения и средние значения основных параметров ковшевой обработки металла были следующими:

Параметр	Интервал изменения	Среднее значение
Масса металла, т	28,6–33,1	31,2
Объём дувяемого газа, м ³	7–38	17,7
Продолжительность продувки, мин	42–112	72

Химический состав и температура металла до и после ковшевой обработки представлены в таблице.

Содержание азота в полупродукте при ковшевой обработке на АПК в результате вдувания газа увеличилось на 0,02–0,08% или в среднем на 0,05%.

Степень насыщения азотом металла, называемая также в работах [1, 2] относительной концентрацией азота, определялась как отношение фактического содержания азота в металле к его равновесному содержанию.

Химический состав и температура полупродукта до и после ковшевой обработки на АПК

Параметр	Значение параметра	
	до обработки	после обработки
Содержание элемента, %:		
углерода	0,43–0,54	0,52–0,56
кремния	0,13–0,36	0,20–0,40
марганца	6,87–8,96	8,10–9,00
серы	0,010–0,030	0,010–0,020
фосфора	0,022–0,036	0,026–0,041
хрома	19,2–21,5	20,0–21,5
никеля	3,51–4,21	3,62–4,10
азота	0,13–0,20	0,16–0,26
Температура металла, °С	1466–1594	1483–1503

Для расчёта равновесного содержания азота при атмосферном давлении использовалась формула

$$[N]_p = \frac{10^{-\frac{850}{T}-0,905}}{10^{\sum_{i=1}^n e_N^E}}, \quad (1)$$

где $[N]_p$ – равновесное содержание азота в металле, %; T – температура металла, К; i – условный номер элемента-примеси в расплаве; n – количество элементов-примесей в расплаве; e_N^E – параметр взаимодействия азота с элементом E в расплаве; $[E]$ – содержание элемента E в расплаве, %.

Рассчитанное по формуле (1) равновесное содержание азота в металле перед ковшевой обработкой изменялось в интервале от 0,45 до 0,61%, в среднем – 0,51%. После обработки этот параметр имел значения в диапазоне 0,55–0,67%, в среднем – 0,58%. Растворимость азота в полупродукте для рассмотренного диапазона химического состава и температуры при условии равновесия системы оказалась более чем на порядок выше максимальной растворимости азота в жидком железе (0,044%) при температуре 1600°С и атмосферном давлении 0,1 МПа [3]. Существенному увеличению растворимости азота способствовало высокое содержание в металле в первую очередь хрома, а также марганца.

Степень насыщения азотом полупродукта перед ковшевой обработкой на АПК имела значения от 0,25 до 0,40, а после обработки – от 0,27 до 0,47.

Корреляционный анализ массива опытных данных показал наличие тесной взаимосвязи ме-

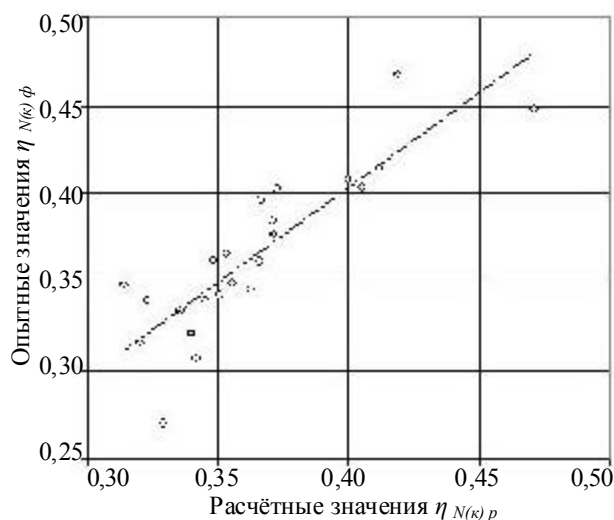


Рис. 1. Сравнительная оценка фактических и расчётных значений степени насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки полупродукта на АПК

жду степенью насыщения металла азотом после ковшевой обработки и такими факторами, как удельный расход газа на тонну металла, степень насыщения азотом металла перед обработкой и содержание серы в металле в конце обработки. Кроме этих факторов рассматривались также начальное содержание азота в металле, начальное и среднее содержание серы в металле, температура металла и удельная интенсивность дугтя (расход газ на одну тонну металла в единицу времени).

При помощи регрессионного анализа была установлена следующая зависимость:

$$\eta_{N(\kappa)} = 0,255 + 0,12 \cdot V_2 + 0,30 \cdot \eta_{N(\eta)} - 4,44 \cdot [S]_{\kappa}, \quad (2)$$

где $\eta_{N(\eta)}$, $\eta_{N(\kappa)}$ – начальная и конечная степень насыщения азотом металла; V_2 – удельный расход вдуваемого газа, м³/т; $[S]_{\kappa}$ – конечное содержание серы в металле, %.

Коэффициент множественной корреляции получился равным 0,8054 и был больше его нормированного значения (0,7702).

На рис. 1 сравниваются опытные и рассчитанные по зависимости (2) значения степени насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки полупродукта на АПК.

Зависимость фактических значений степени насыщения азотом металла $\eta_{N(\kappa)\phi}$ от её расчётных значений $\eta_{N(\kappa)p}$ выражается в виде уравнения

$$\eta_{N(\kappa)\phi} = 1,071 \cdot \eta_{N(\kappa)p} - 0,0247, \\ r = 0,8613, r_{\alpha=0,001} = 0,6414.$$

С использованием зависимости (2) была рассчитана степень насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки полупродукта на АПК при различных значениях трёх факторов, значения двух из которых варьировались в диапазонах, соответствующих реальному изменению этих параметров (см. таблицу), а значение третьего фактора принималось постоянным и равным его средней реальной величине. Результаты расчётов представлены на рис. 2–3.

Анализ полученных данных показывает, что в рассмотренном диапазоне значений таких факторов, как степень насыщения металла азотом перед обработкой и конечное содержание серы в металле, изменение степени насыщения металла азотом после окончания обработки происходит на одинаковую по модулю величину. Однако, если с увеличением значений первого фактора значения функции отклика возрастают, то с ростом значе-

ний второго фактора они уменьшаются. Это объясняется замедлением процесса азотирования металла серой, являющейся поверхностно-активным элементом. Более сильное (примерно в 2,7 раза) влияние оказывает третий фактор – удельный расход газа на продувку металла в ковше.

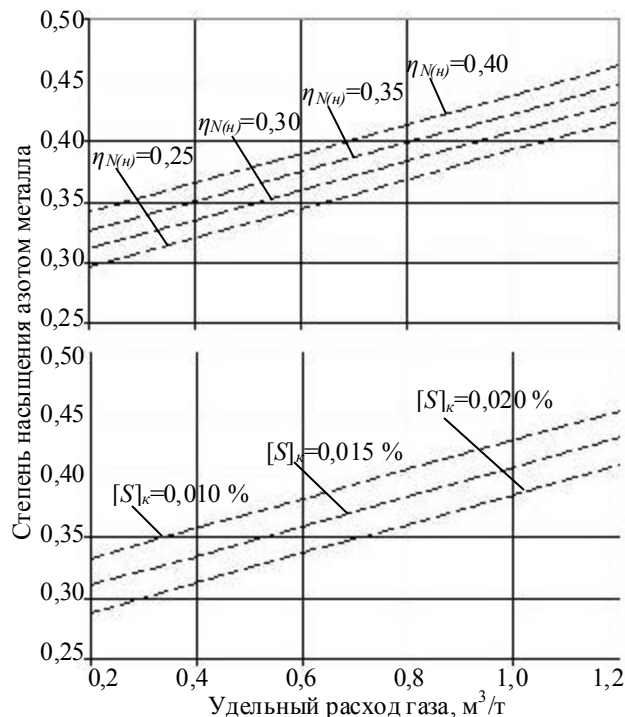


Рис. 2. Расчётные зависимости степени насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки полупродукта на АПК от удельного расхода газа и степени насыщения азотом металла перед обработкой $\eta_{N(\eta)}$ (вверху при $[S]_{\kappa}=0,013\%$), конечного содержания серы в металле (внизу при $\eta_{N(\eta)}=0,33$)

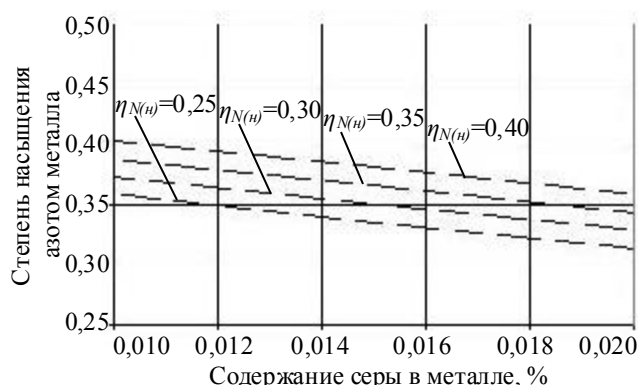


Рис. 3. Расчётная зависимость степени насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки полупродукта на АПК от конечного содержания серы в металле и степени насыщения азотом металла перед обработкой $\eta_{N(\eta)}$ при удельном расходе газа 0,6 м³/т

Таким образом, степень насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки на агрегате «печь-ковш» полупродукта для получения нержавеющей азотистой стали марки 55X20Г9АН4 изменяется от 0,27 до 0,47. Её величина статистически значимо зависит от трёх факторов: удельного расхода газообразного азота

на продувку в ковше, начальной степени насыщения металла азотом и конечного содержания серы в металле. Наиболее существенное влияние на степень насыщения азотом металла после обработки полупродукта оказывает удельный расход газа на продувку в ковше.

Библиографический список

1. Свяжин А.Г., Капуткина Л.М. Стали, легированные азотом // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2005. № 10. С. 36–46.
2. Свяжин А.Г. Высокоазотистые стали // Труды восьмого конгресса сталеплавильщиков / АО «Черметинформация». Ассоциация сталеплавильщиков. М., 2005. С. 319–323.
3. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали. М.: Мир. 2003. 528 с.

УДК 666.76

Ю.Н. Кочубеев, Н.А. Босякова, Ю.В. Неклюдова

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ШИХТЫ ДЛЯ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТОЙ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ЭСПЦ

Изучение механизма разрушения периклазоуглеродистых огнеупоров (ПУ) при контакте со шлакометаллическим расплавом показывает, что одним из значительных факторов износа является обезуглероживание рабочей зоны огнеупора. При температурах выше 500°C начинается окисление (выгорание) углеродистой составляющей (графита и углеродистой связки) и продолжается до максимальной температуры их службы [1]. Это приводит к разупрочнению изделий в интервале температур от 500 до 900°C, увеличению их пористости. После окисления всего углерода в поверхностном слое огнеупора происходит его ошлаковывание с последующим растворением периклазового порошка и вымыванием продуктов контакта.

Для защиты углерода от окисления в состав огнеупора вводят антиоксиданты в виде дисперсного порошка, количество которого оптимизируется для каждого вида изделий и, как правило, их содержание не превышает 5% [2]. Эти добавки быстрее окисляются кислородом и оксидами железа шлака, что снижает скорость окисления углерода. Несмотря на ограниченную долю в шихте, антиоксидантные добавки оказывают существенное влияние на различные свойства огнеупора: окислительные, термомеханические, коррозионные, фазовый состав огнеупора и др.

В цехе магнезиально-доломитовых огнеупоров (ЦМДО) ЗАО «Огнеупор» при изготовлении огнеупоров для футеровки шлакового пояса сталеразливочных ковшей в качестве антиоксиданта применяют алюминий металлический. С целью

совершенствования периклазоуглеродистых изделий проводятся работы по поиску более эффективных добавок, позволяющих повысить устойчивость к окислению и достичь более высокой стойкости футеровки в шлаковой зоне.

Анализ литературных данных свидетельствует, что борсодержащие соединения обладают еще большей по сравнению с алюминием активностью при нагревании в воздушной среде [3]. Такими соединениями являются диборид титана, карбид бора, диборид магния, нитрид бора и др.

Антиокислительное действие этих добавок объясняется двумя механизмами: окислением при температуре >1300°C с образованием расплава бората магния ($3\text{MgO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$) и газообразных продуктов реакции окисления боратов (B_2O_3 , Mg газообразный и др.). Образование жидкой фазы способствует снижению открытой пористости и тем самым предотвращает диффузию кислорода в огнеупор. Образующие газы снижают давление кислорода в порах кирпича, предотвращая окисление графита, диффундируют в направлении горячей поверхности футеровки и повторно окисляются, вследствие чего образуется вторичный оксид магния, уплотняющий структуру.

В качестве опытного антиоксиданта был исследован диборид титана, представляющий собой сплав титана с бором. Массовая доля титана в сплаве была в пределах от 71,16 до 72,86%, массовая доля бора – от 17,05 до 18,59%.

Окислительную активность опытного и серийно применяемого антиоксидантов оценивали