

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.184.046.546.2

Ушаков С.Н.

ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ ТРУБНОЙ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ»

Аннотация. В работе рассмотрена обработка трубного металла на агрегате «ковш-печь» для условий ККЦ ПАО «ММК». Установлено, что в первый период времени обработки до вдувания флюидизированной извести необходимо снизить содержание серы в металле примерно до 0,005 %, при этом удаляется чуть меньше половины (около 47 %) всей выводимой серы. В результате вдувания флюидизированной извести удаляется примерно 37 % серы и остальные 16 % – в процессе дальнейшего нахождения металла под «белым» шлаком. Средняя степень десульфурации металла составляет 80 %. Выявлена убывающая линейная зависимость содержания серы в разливаемом металле от удельного расхода флюидизированной извести. Для получения содержания серы в стали марки DNV SAWL 485 FD не более 0,0015 % удельный расход флюидизированной извести должен быть в основном не менее 2,2 кг/т, или около 800 кг на ковш. В результате вдувания флюидизированной извести и дораскисления шлака до требуемой окисленности среднее значение коэффициента распределения серы возрастает втрое – с 43 до 123, а с учетом времени до разливки металла – уже до 198 (примерно в пять раз). Установлены зависимости итогового коэффициента распределения серы от содержания оксида алюминия в шлаке первого периода времени (до вдувания извести) и от удельного расхода флюидизированной извести. Итоговый коэффициент распределения серы между шлаком и металлом изменялся в очень широком интервале: от 100 до 400. Для повышения эффективности ковшевой десульфурации трубной стали необходимо увеличивать содержание оксида алюминия в шлаке перед вдуванием флюидизированной извести, что благоприятно сказывается на снижении окисленности и вязкости шлака первого периода обработки, а также вдувать флюидизированную известь в количестве 2,2–2,8 кг/т.

Ключевые слова: трубная сталь, агрегат «ковш-печь», шлак, флюидизированная известь, десульфурация.

Для получения высококачественных труб в стали должно быть очень низкое содержание серы [1–5]. В современных сталеплавильных цехах десульфурация металла проводится в несколько этапов, начиная с обработки жидкого чугуна, продолжая введением твердой шлакообразующей смеси в металл при выпуске его из кислородного конвертера, и заканчивая обработкой на агрегате «ковш-печь». В работе рассмотрена обработка трубного металла на агрегате «ковш-печь» для условий ККЦ ПАО «ММК».

В кислородно-конвертерном цехе данного предприятия эксплуатируется агрегат «ковш-печь» [6–10], оборудованный трансформатором мощностью 56 МВА, электродами диаметром 508 мм, обеспечивающий нагрев металл со скоростью до 5 °С/мин.

В работе исследован массив производственных данных объемом 27 плавов. Сталь класса прочности К60 и марки DNV SAWL 485 FD имела средний химический состав (% по массе):

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0,055	0,146	1,69	0,0016	0,009	0,034	0,275
Cu	Al	N	Mo	Nb	Ti	
0,169	0,035	0,005	0,10	0,047	0,027	

Информация об изменении содержания серы в металле при обработке на агрегате «ковш-печь» (АКП) и на МНЛЗ представлена на рис. 1.

Весь процесс десульфурации металла условно делится на три временных периода: первый – от начала обработки на АКП до начала вдувания флюидизированной извести, второй – вдувание извести, третий – после окончания вдувания флюидизированной извести до взятия маркировочной пробы на МНЛЗ.

В первый период производилась усреднительная продувка металла в ковше аргоном, шлак раскислялся гранулированным алюминием в количестве 0,26 кг/т, в ковш вводилась кусковая известь и плавиковый шпат в среднем количестве около 2 и 1 кг/т соответственно. Наведенный шлак характеризовался основностью 5,3 и содержанием монооксида железа 4,3 % (усредненные значения), то есть шлак еще был недостаточно раскислен, чтобы считаться «белым». В данный период содержание серы в металле снизилось в среднем с 0,0083 до 0,0052 % (см. рис. 1).

Второй период времени (в среднем 15,5 мин) – вдувание флюидизированной извести в количестве 1,11 кг/т осуществлялось при расходе аргона 2,8 м³ (средние значения параметров). В ковше был наведен «белый» шлак со средними показателями по основности – 6,6 и окисленности – 0,80 %. Содержание серы в металле уменьшилось с 0,0052 до 0,0027 % (см. рис. 1).

Третий период времени – нахождение металла после окончания вдувания флюидизированной извести под «белым» шлаком с усреднительной продувкой аргоном на АКП и до разливки металла на МНЛЗ. Из рис. 1 видно, что в этот период времени произошло снижение содержания серы в металле с 0,0027 до 0,0016 %.

Общая степень десульфурации металла (рис. 2) составила 80 %, а в первый, второй и третий периоды времени 37, 30 и 13 % (средние значения) соответственно.

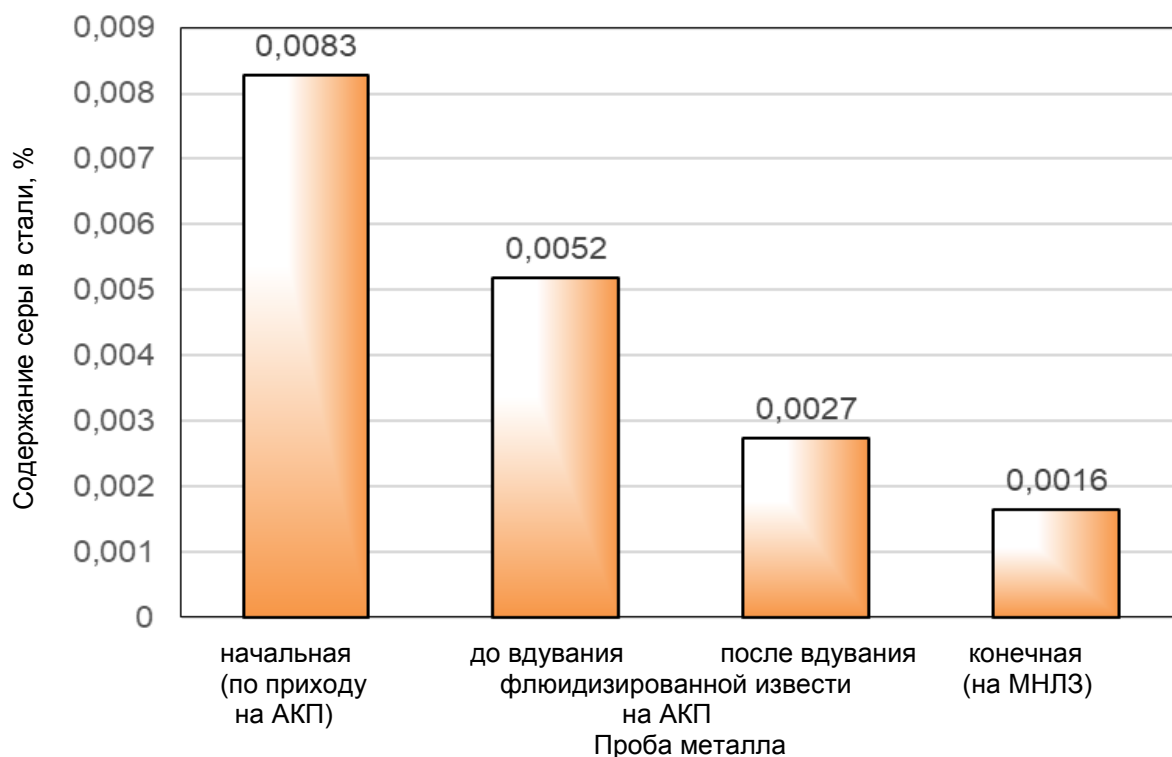


Рис. 1. Изменение содержания серы в металле



Рис. 2. Средняя степень десульфурации металла

Информация об относительном количестве удаленной из металла серы приведено на рис. 3. Из него следует, что наибольшее количество серы (46,6 %) было удалено в первый период времени до вдувания флюидизированной извести, в результате вдувания извести – 37,3 % и до начала разливки – 16,1 %.

На рис. 4 показана зависимость содержания серы

в маркировочной пробе металла ($[S]$, %) от удельного расхода флюидизированной извести ($g_{y\partial}$, кг/т) на АКП. Данная зависимость описывается уравнением

$$[S] = 0,0031 - 0,0008 \cdot g_{y\partial}, \quad r = 0,637, \quad r_{0,001} = 0,597. \quad (1)$$

Зависимость (1) является статистически значимой с вероятностью 99,9 %.

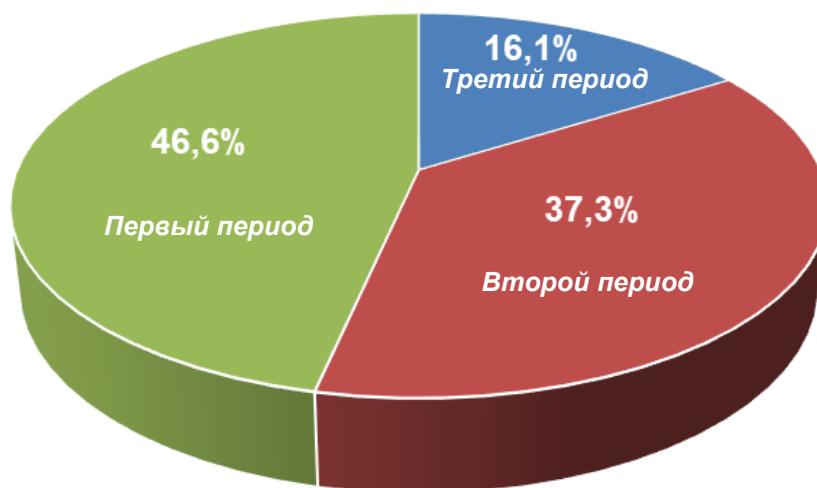


Рис. 3. Относительное количество удаленной серы в различные периоды времени

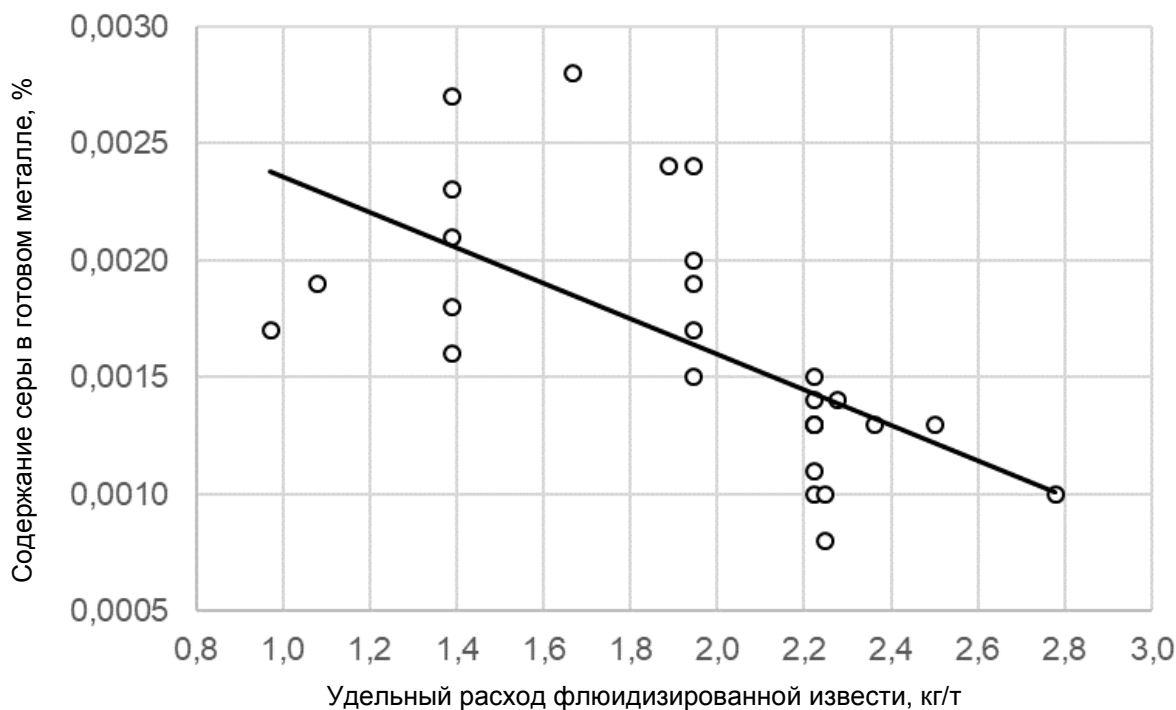


Рис. 4. Зависимость содержания серы в маркировочной пробе металла от удельного расхода флюидизированной извести на АКП

Из рис. 4 видно, что для получения содержания серы в стали марки DNV SAWL 485 FD не более 0,0015 % удельный расход флюидизированной извести должен быть в основном не менее 2,2 кг/т, или около 800 кг на ковш.

Удаленная в процессе ковшевой обработки сера из металла переходит в шлак, что приводит к изменению перераспределения ее между шлаком и металлом, а значит – к изменению значения коэффициента распределения этого элемента. Усредненные значения коэффициента распределения серы в различные периоды времени представлены на рис. 5.

В процессе исследования были отобраны всего две пробы шлака: перед вдуванием флюидизированной извести и в конце ковшевой обработки на АКП. Для периода времени, когда производилась разливка металла, значение итогового коэффициента рассчитывалось как отношение содержания серы в шлаке для конца обработки на АКП к маркировочному содержанию серы в металле. Поэтому полученное значение коэффициента получилось несколько заниженным. Из

рис. 5 видно, что в результате вдувания флюидизированной извести и дораскисления шлака до требуемой окисленности среднее значение коэффициента распределения серы возрастает втрое – с 43 до 123, а с учетом времени до разливки металла – уже до 198 (примерно в пять раз).

При анализе данных выявлены зависимости итогового коэффициента распределения серы (L_s) от содержания оксида алюминия в шлаке ((Al_2O_3) , %) первого периода времени (до вдувания извести) и от удельного расхода флюидизированной извести (g_{y0} , кг/т):

$$L_s = 12,05 \cdot (Al_2O_3) + 5,44, \quad r = 0,608; \quad (2)$$

$$L_s = 89,72 \cdot g_{y0} + 24,51, \quad r = 0,556; \quad r_{0,01} = 0,487. \quad (3)$$

Линейные зависимости (2) и (3) существуют с вероятностью 99,9 и 99,0 % соответственно. Графические изображения найденных зависимостей приведены на рис. 6 и 7.

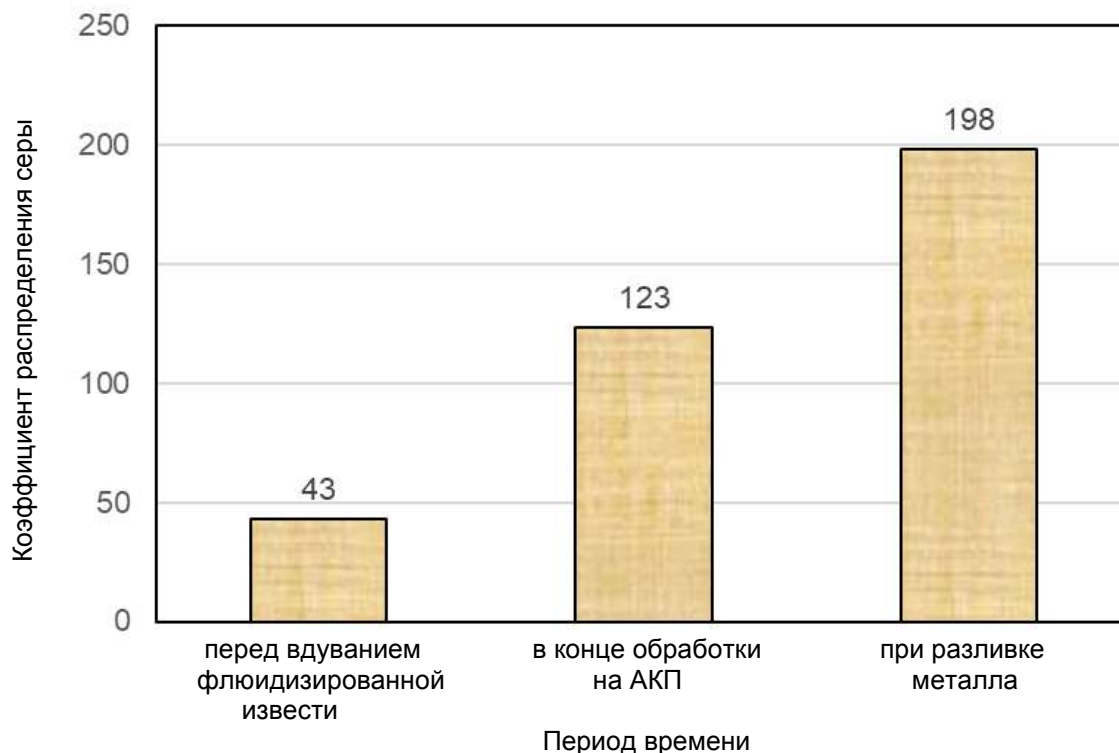


Рис. 5. Усредненные значения коэффициента распределения серы между шлаком и металлом

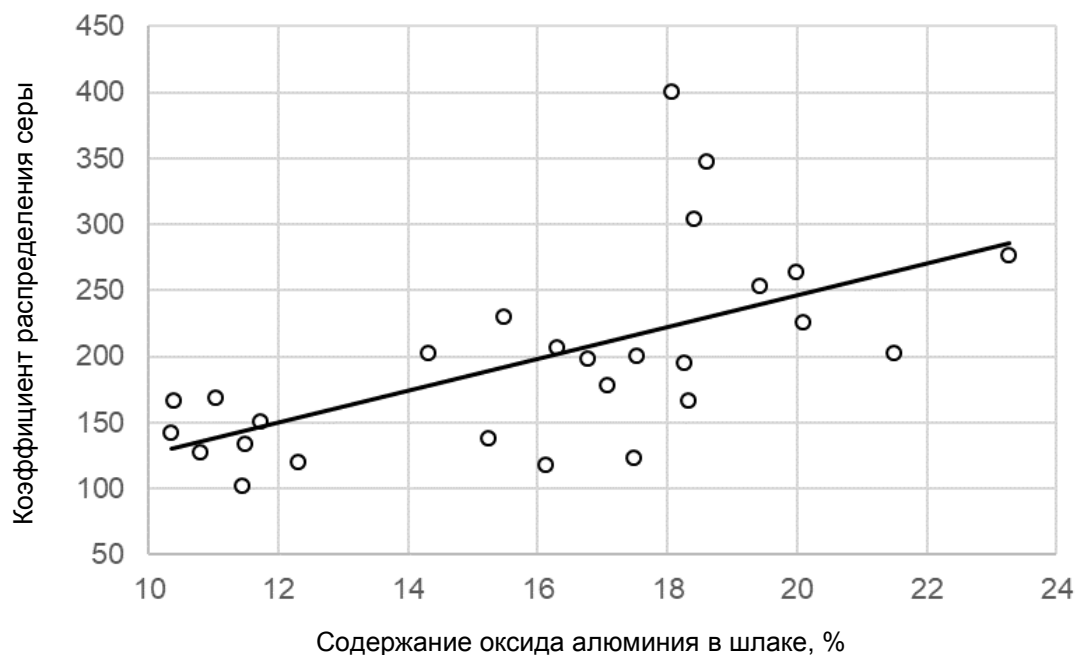


Рис. 6. Зависимость итогового коэффициента распределения серы от содержания оксида алюминия в предварительно раскисленном шлаке первого периода обработки

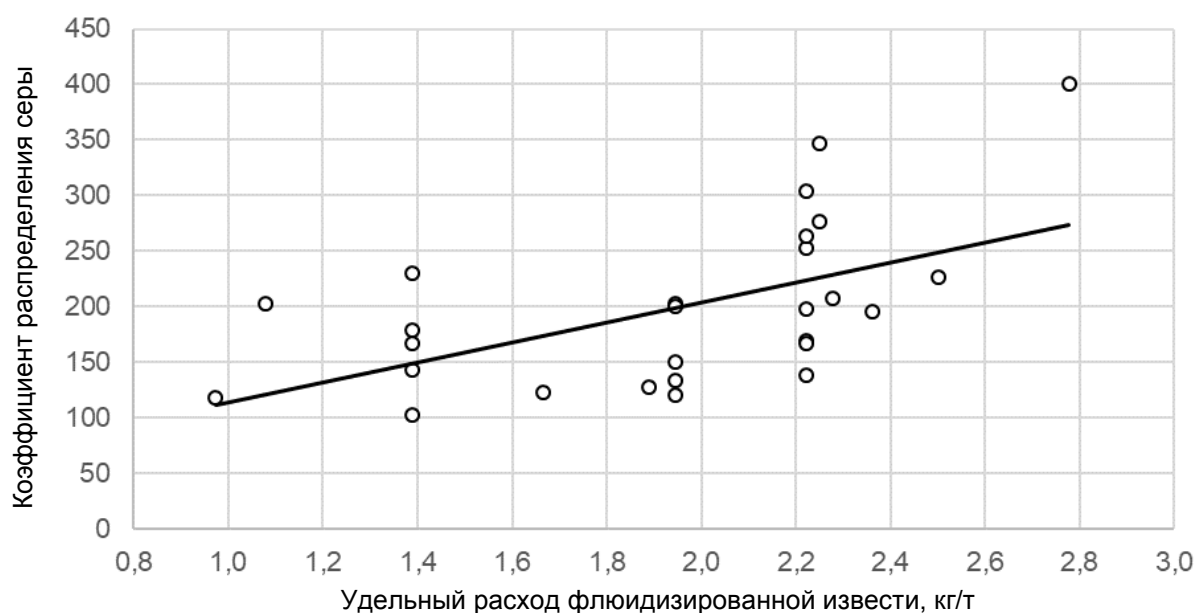


Рис. 7. Зависимость итогового коэффициента распределения серы от удельного расхода флюидизированной извести

Из рисунков следует, что итоговый коэффициент распределения серы между шлаком и металлом изменялся в очень широком интервале: от 100 до 400. Для повышения эффективности ковшевой десульфурации трубной стали необходимо увеличивать содержание оксида алюминия в шлаке перед вдуванием флюидизированной извести, что благоприятно сказывается на

снижении окисленности и вязкости шлака первого периода обработки, а также вдувать флюидизированную известь в количестве 2,2–2,8 кг/т.

В результате проведенного исследования десульфурации трубной стали на агрегате «ковш-печь» установлено, что в первый период времени обработки до вдувания флюидизированной извести необходимо

снижать содержание серы в металле примерно до 0,005 %, при этом удаляется чуть меньше половины (около 47 %) всей выводимой серы. В результате вдувания флюидизированной извести удаляется примерно 37 % серы и остальные 16 % – в процессе дальнейшего нахождения металла под «белым» шлаком. Средняя степень десульфурации металла составляет 80 %. Выявлена убывающая линейная зависимость содержания серы в разливаемом металле от удельного расхода флюидизированной извести. Для получения содержания серы в стали марки DNV SAWL 485 FD не более 0,0015% удельный расход флюидизированной извести должен быть в основном не менее 2,2 кг/т, или около 800 кг на ковш. В результате вдувания флюидизированной извести и дораскисления шлака до требуемой окисленности среднее значение коэффициента распределения серы возрастает втрое – с 43 до 123, а с учетом времени до разливки металла – уже до 198 (примерно в пять раз). Установлены зависимости итогового коэффициента распределения серы от содержания оксида алюминия в шлаке первого периода времени (до вдувания извести) и от удельного расхода флюидизированной извести. Итоговый коэффициент распределения серы между шлаком и металлом изменялся в очень широком интервале: от 100 до 400. Для повышения эффективности ковшевой десульфурации трубной стали необходимо увеличивать содержание оксида алюминия в шлаке перед вдуванием флюидизированной извести, что благоприятно сказывается на снижении окисленности и вязкости шлака первого периода обработки, а также вдувать флюидизированную известь в количестве 2,2–2,8 кг/т.

Список литературы

1. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / Колпаков С.В., Старов Р.В., Смоктий В.В. и др. М.: Машиностроение, 1991. 464 с.
2. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Современная технология производства стали. М.: Теплотехник, 2007. 528 с.
3. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Т. 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки стали. М.: Теплотехник, 2008. 528 с.
4. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Т. 3. Внепечная металлургия стали. М.: Теплотехник, 2008. 544 с.
5. Производство стали на агрегате «ковш-печь» / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг и др.; под науч. ред. Д.А. Дюдкина. Донецк: ООО «Юго-Восток», 2003. 300 с.
6. Ковшовая обработка стали с вдуванием флюидизированной извести / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, В.В. Мошкун // Теория и технология металлургического производства. 2016. №2 (19). С. 26–29.
7. Технология производства трубной ультранизкосернистой стали / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, М.В. Потапова // Черные металлы. 2019. №12 (1056). С. 26–31.
8. Ковшовая десульфурация конвертерной трубной низкосернистой стали / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, М.В. Потапова // Металлург. 2018. №7. С. 50-53.
9. Освоение комплекса внепечной обработки стали и МНЛЗ №6 ОАО «ММК» / Б.А. Сарычев, Ю.А. Чайковский, О.А. Николаев и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». 2011. №2. С. 42–45.
10. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 379 с.

Сведения об авторах

Ушаков Сергей Николаевич – заместитель генерального директора ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия. E-mail: infommk@mmk.ru

DESULFURATION OF PIPE STEEL IN THE LADLE-FURNACE UNIT

Sergey N. Ushakov – Vice-General Director of PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7(3519) 24-40-09. E-mail: infommk@mmk.ru

Abstract: The processing of pipe metal in the ladle-furnace unit for the conditions of BOF shop, PJSC MMK is presented in the paper. It was established that in the first period of processing before the injection of fluidized lime, it is necessary to reduce the sulfur content in the metal till 0.005%. As a result of the injection of fluidized lime, approximately 37% of sulfur is removed and the remaining 16% is removed during further treatment of metal with a “white” slag. The average degree of metal desulfurization is 80%. A decreasing linear dependence of the sulfur content in the cast metal on the specific consumption of fluidized lime was revealed. For obtaining a sulfur content of DNV SAWL 485 FD steel of not more than 0.0015%, the specific consumption of fluidized lime should be basically not less than 2.2 kg per tone. As a result of the fluidized lime injection and the reduction of slag, the average value of the sulfur distribution coefficient increases from 43 to 123 (taking into account the time before casting the metal - up to 198 (about five times)). The dependences of the final sulfur distribution coefficient on the content of aluminum oxide in the slag of the first period (before the injection of lime) and on the specific consumption of fluidized lime are established. The final coefficient of sulfur distribution between the slag and the metal was varied in a very wide range: from 100 to 400. To increase the efficiency of ladle desulfurization of pipe steel, it is necessary to increase the content of aluminum oxide in the slag before blowing fluidized lime/ It favorably affects the reduction of oxidation and viscosity of the slag of the first processing period, as well as injection of fluidized lime in an amount of 2.2–2.8 kg per tone.

Keywords: pipe steel, ladle-furnace unit, slag, fluidized lime, desulfurization.

Ссылка на статью:

Ушаков С.Н. Десульфурация трубной стали на агрегате «ковш-печь»// Теория и технология металлургического производства. 2020. №2(33). С. 4-10.

Ushakov S.N. Desulfuration of pipe steel in the ladle-furnace unit. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 33, no. 2, pp. 4-10.