

ISSN 1811-1858

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ



С. ТОРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ
ПАВЛОДАР МЕМЛЕКЕТТІК
УНИВЕРСИТЕТІ

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СЕРИЯ



1'2013

ПМУ ХАБАРШЫСЫ
ВЕСТНИК ПГУ

А. К. Жунусов*, Н. С. Сембаев**, А. К. Жунусова***

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ

В данной статье приводится совершенствование технологии раскисления стали. Для предотвращения азотации расплава в процессе выпуска стали предлагается выпуск плавки производить компактной струей, ферросилиций, известь и плавиковый шпат вводить вначале выпуска плавки в ковш, присадку алюминия и ферросплавов производить после выпуска металла или на агрегатах внепечной обработки стали.

В процессе выпуска стали из дуговой сталеплавильной печи происходит насыщение металла азотом в пределах 0,001 - 0,002 %. Азотация расплава в процессе выпуска связана с одной стороны, с сравнительно большой продолжительностью выпуска, при котором происходит контакт струи металла с атмосферой и с другой стороны, существующей в электрометаллургическом цехе технологии раскисления металла в ковше, когда ферросплавы и алюминий вводят в ковш в начале выпуска плавки (после схода 10 - 15 т металла). При раннем вводе ферросплавов в ковше образуется высоко раскисленный легированный расплав, который легко насыщается азотом, эжектируемым из атмосферы струей металла [1].

Для снижения степени азотации металла в процессе выпуска плавки нами предлагается изменить технологию отдачи ферросплавов в ковш. С этой целью приводится сравнительный расчет для применяемой и предлагаемой технологии выпуска плавки на примере стали марки 13ХФА.

Расчет растворимости азота в стали марки 13ХФА производится при средней температуре металла в ковше во время выпуска $t = 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$

($T = 1873\text{ K}$) и давлении $p = 1\text{ атм}$. Химический состав стали марки 13ХФА представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 13ХФА

Содержание элемента в стали, %.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	V	Nb
0,13- 0,17	0,17- 0,37	0,45- 0,65	менее 0,015	менее 0,010	0,50- 0,70	0,020- 0,050	менее 0,008	0,05- 0,09	0,01- 0,03

Таблица 2 – Химический состав стали 13ХФА в ковше после выпуска плавки

Содержание элемента в стали, %.								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	Nb
0.13	0.17	0.45	0.08	0.015	0.50	0.020	0.05	0.01

Согласно технологической инструкции по выплавке стали в ЭСПЦ присадки раскислителей и легирующих добавок производят в ковш во время выпуска из расчета получения нижнемарочного значения для заданного химического состава. В таблице 2 представлен предположительный состав стали 13ХФА полученный в ковше после выпуска плавки.

Параметры взаимодействия первого и второго порядка определяются по данным таблицы 3 и 4.

Таблица 3 – Параметры взаимодействия первого порядка $e_i^j \cdot 100$ в железе при 1873 К

Элемент i	Элемент j								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	Nb
N	13	4,7	-2	4,5	0,7	-4,7	-2,8	-9,3	-6

Таблица 4 – Параметры взаимодействия второго порядка $r_i^j \cdot 100$ в железе при 1873 К

Элемент i	Элемент j								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	Nb
N	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0

Равновесная концентрация азота в железе составляет 0,044 %, т. е. в стали марки 13ХФА выпущенной в соответствии с технологией принятой в ЭСПЦ равновесная концентрация азота в сплаве выше.

Произведя расчеты в таблице «Excel» получены результаты, которые описывают зависимость $\lg [N]$ от содержания в железе каждого элемента в отдельности. Результаты расчетов выведены на диаграмму (рисунок 1 и 2) для элементов имеющих низкое содержание в железе (до 0,1 %) и элементов с большей концентрацией (более 0,1 %).

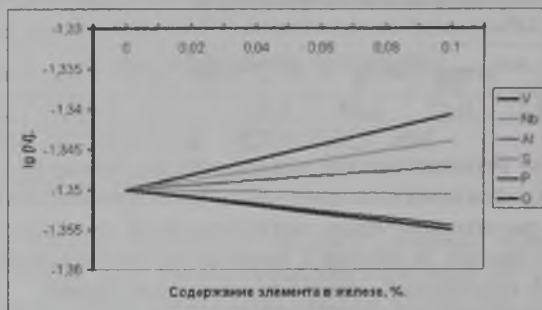


Рисунок 1 – Зависимость $\lg [N]$ от элементов содержащихся в стали 13ХФА в концентрациях менее 0,10 %.

Как видно из диаграммы (рисунок 1) ванадий, ниобий и алюминий в разной степени способствуют растворению азота в железе, поэтому необходимо исключить их введение в ковш во время выпуска плавки. Сера занимает позицию ближе к нейтральной и поэтому практически никак не влияет на растворимость азота. Фосфор и кислород практически в равной степени снижают растворимость азота в железе, но в свою очередь они являются вредными примесями, поэтому их содержание в железе должно быть минимальным.

На следующей диаграмме (рисунок 2) описана зависимость $\lg [N]$ от элементов содержащихся в железе в концентрациях более 0,10% и имеющих возможность в более значительной степени повлиять на растворимость азота.

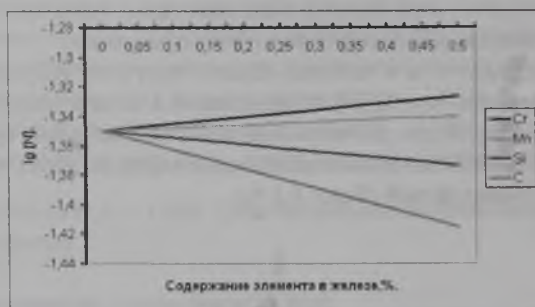


Рисунок 2 – Зависимость $\lg [N]$ от элементов содержащихся в железе в концентрациях более 0,10 %

Растворимости азота в значительной степени способствуют хром и марганец, соответственно необходимо исключить их введение в ковш во

время выпуска плавки. Углерод и кремний (особенно углерод) способны своим присутствием снизить азотирование металла. Но на стали 13ХФА содержание углерода не высокое и выпуск плавки из печи производится при содержании углерода ($0,10 \pm 0,02$) % (с учетом последующего науглероживания ферросплавами). Поэтому значительно повлиять на растворимость азота в железе углерод не может.

Единственным элементом способным снизить растворимость азота в данной марке стали является кремний. Введение ферросилиция в ковш в начале слива металла (после налива первых 5 – 10 т металла лотком или по тракту подачи ферросплавов порциями под струю) позволит резко снизить растворимость азота. Количество ферросилиция должно обеспечить получение среднемарочного содержания кремния для стали 13ХФА ($\sim 0,27$ %). Для плавки массой 100 т это количество будет соответствовать 500 кг ФС65 при 80 % усвоения кремния.

На рисунке 3 показана диаграмма которая описывает изменение $\lg [N]$ от количества металла в ковше во время выпуска плавки. После отлива от 5 до 10 т металла (или во время отлива), в ковш производится присадка шлакообразующих и ферросилиция в количестве 500 кг. Это резко повышает концентрацию кремния из-за малого количества металла. В дальнейшем по мере наполнения ковша концентрация кремния снижается до среднемарочного значения. $\lg [N]$ изменяется пропорционально концентрации кремния, возрастая к концу выпуска.

Состав шлакообразующих должен обеспечивать их легкоплавкость и высокую жидкоподвижность. Это связано с тем, что жидкоподвижный шлак легко растекается по поверхности металла, не позволяя ему оголяться, а также с тем, что жидкоподвижный шлак имея высокую газопроницаемость, легко пропускает сквозь себя наружу воздух эжектируемый струей металла.

Присадка остальных материалов производится в ковш с последними порциями металла или на агрегатах внепечной обработки стали, когда в ковше металл прикрыт слоем шлака и контакт с атмосферным азотом снижен до минимума.

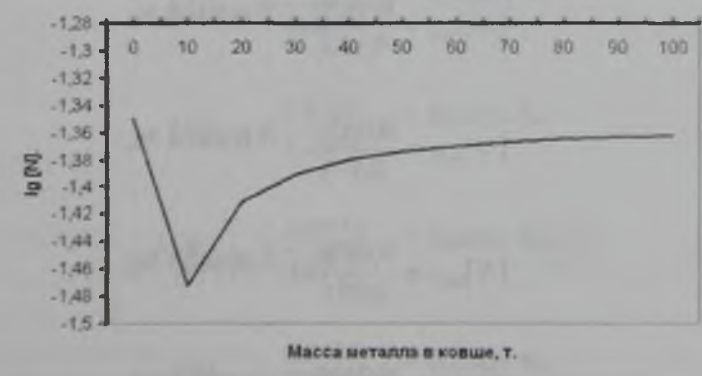


Рисунок 3 – Зависимость $\lg [N]$ от массы металла в ковше

Среднее значение $\lg [N]$ за время выпуска плавки составило

$$\lg [N]_{\text{cp}} = -1,38258.$$

Это соответствует равновесной концентрации $[N]_{\text{cp}} = 0,041 \%$. Это значение на много ниже, чем в случае рассматриваемом выше.

Температурная зависимость растворимости азота для стали 13ХФА производится по формуле

$$[N]_r = \frac{K_N}{f_N} \cdot p \quad (1)$$

Коэффициент активности f_N определяется из $\lg f_N$ для стали 13ХФА определенного выше в уравнение (1)

$$\lg f_N = -0,013$$

$$f_N = 0,933.$$

Тогда

$$\ln K_N = -\frac{1263}{T} - 2,45.$$

Определение изменения в диапазоне температур от 1520°C (1793 K) до 1620°C (1893 K), с интервалом в 20°C

$$[N]_{1793} = \frac{0,0427}{0,933} \cdot 1 = 0,0458 \%;$$

$$[N]_{1813} = \frac{0,0430}{0,933} \cdot 1 = 0,0460 \%;$$

$$[N]_{1833} = \frac{0,0433}{0,933} \cdot 1 = 0,0464 \%;$$

$$[N]_{1853} = \frac{0,0436}{0,933} \cdot 1 = 0,0467 \%;$$

$$[N]_{1873} = \frac{0,0440}{0,933} \cdot 1 = 0,0472 \%;$$

$$[N]_{1201} = \frac{0,0443}{0,933} \cdot 1 = 0,0475 \%$$

На основе этих данных построена диаграмма представленная на рисунке 4.



Рисунок 4 – Зависимость равновесной концентрации азота от температуры

Как видно из расчетов и диаграммы на рисунке 4 для стали марки 13ХФА растворимость азота возрастает с повышением температуры металла. Для данной марки стали целесообразно иметь температуру металла $(1560 \pm 10)^\circ\text{C}$. При этой температуре равновесная концентрация азота составит около 0,0465 %.

Теперь производится сравнительный расчет для плавки выпущенной по предлагаемой технологии на основе значения $\lg [N]_{\text{сп}} = -1,38258$.

Подставив в уравнение (1) значение $\lg [N]_{\text{сп}} = -1,38258$ получится $\lg f_N = 1,0777$.

$$[N]_{1793} = \frac{0,0427}{1,0777} \cdot 1 = 0,0396 \%$$

$$[N]_{1813} = \frac{0,0430}{1,0777} \cdot 1 = 0,0399 \%$$

$$[N]_{1833} = \frac{0,0433}{1,0777} \cdot 1 = 0,0402 \%$$

$$[N]_{1853} = \frac{0,0436}{1,0777} \cdot 1 = 0,0405 \%$$

$$[N]_{1473} = \frac{0,0440}{1,0777} \cdot 1 = 0,0408 \%;$$

$$[N]_{1893} = \frac{0,0443}{1,0777} \cdot 1 = 0,0411 \%.$$

Диаграмма зависимости равновесной концентрации азота от температуры (рисунок 5) для предлагаемой технологии выпуска плавки, подчиняется тем же законам что и в предыдущем варианте, но лежит намного ниже. Это значит, что при тех же рекомендуемых температурах металла (1560 ± 10) °С, равновесная концентрация азота будет составлять 0,0402 %.

Разница между первым и вторым вариантом составит

$$\Delta[N]_p = 0,0465 - 0,0402 = 0,0063 \%.$$

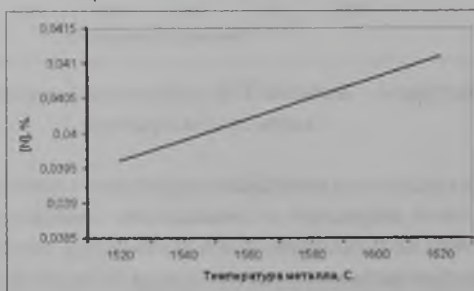


Рисунок 5 – Зависимость равновесной концентрации азота от температуры для стали 13ХФА

Таким образом, для предотвращения азотации расплава в процессе выпуска стали необходимо выполнение следующих условий:

- выпуск плавки производить компактной струей;
- в начале выпуска плавки после схода (или во время схода) от 5 до 10 т металла в ковш вводится ФС65, в количестве обеспечивающем получение среднемарочного значения кремния в стали;
- в начале выпуска плавки (после схода от 5 до 10 т металла) в ковш вводить от 800 до 1000 кг извести и от 250 до 350 кг плавикового шпата;
- присадку алюминия и ферросплавов производить после выпуска около 90 т металла или на агрегатах внепечной обработки стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кочетов, А. И. Рафинирование расплавов от азота при внепечной обработке в условиях ОЭМК / А. И. Кочетов, Л. Н. Кац, Р. А. Алев // Электromеталлургия. 1998. – № 1. – С. 32-38.

*Иновационный Евразийский университет;

** Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова;

***Павлодарский машиностроительный колледж, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 22.04.13.

*А. К. Жунусов**, *Н. С. Сембаев***, *А. К. Жунусова****

Болаттың қышқылсыздандыру технологиясын жетілдіру

*Иновациялық Еуразиялық университеті;

** С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті;

***Павлодар машинажасау колледжі, Павлодар қ.
Материал 22.04.13 редакцияға түсті.

*A. K. Junusov**, *N. S. Sembaev***, *A. K. Junusova****

Optimization of steel making technology

*Innovative university of Eurasia;

** Pavlodar State University named after S. Toraigyrov;

***Pavlodar machine-building college, Pavlodar.

Material received on 22.04.13.

Бұл мақалада болаттың қышқылсыздандыру технологиясын жетілдіру келтірілген. Пештен балқыманы шығару процесінде азоттан сақтап қалу үшін балқыманы тұтас ағысқылып шығару керек, ферросилицийді, әктасты және дала шпатты шөмішке балқыманы шығару басында енгізу керек, алюминийді және ферроқорытпаларды металды шығарудың аяғына аудару немесе балқымаларды пештен тыс өңдеу агрегаттарында жасау керектігі қарастырылған.

Optimization of steel making technology is considered in the paper. To prevent the steel nitriding during tapping it is proposed to decrease the duration of the latter. Ferrosilicon, lime and fluorite are to be introduced into the ladle before the tapping. Aluminum and ferroalloys are to be added after tapping or during the out-of-furnace treatment.