

The article provides a mathematical model of steel smelting in a steel-melting arc furnace with provision for calculation of necessary quantity of oxygen for maintenance of preset temperature of steel when arcs are switched off. It shows that oxygen supply during the arcs disconnection period secures energy consumption reduction.

И. Г. БИОХ, С. А. ФОМЕНКО, С. М. КОЗЛОВ,
О. Г. ХОПОВА, БГПА, М. П. ГУЛЯЕВ, РУП "БМЗ",
М. Г. ПШОНИК, БГПА

РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА КИСЛОРОДА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАЛИ В ПЕРИОД ЕЕ КИПА В ДСП*

УДК 669.046

Современные конструкции электродуговых печей преследуют две цели: увеличение производительности печей и снижение производственных затрат. Во многих странах электроэнергия является основным источником потребления металлургических предприятий. По этой причине оптимизация процесса выплавки важна с точки зрения замены части электроэнергии другими энергоносителями. В связи с этим была разработана расчетная модель выплавки кордовой стали с учетом расчета потребного количества кислорода для поддержания заданной температуры стали в период ее кипа при отключенных дугах.

Расчетная модель включает в себя:

- 1) определение продолжительности расплавления шихты "под током" (с учетом подвалки) [1];
- 2) определение максимального времени поддержания заданной температуры стали в период ее кипа за счет кислорода;
- 3) определение содержания углерода, кремния и марганца на конечном этапе;
- 4) определение общего расхода кислорода и расхода кислорода на поддержание заданной температуры стали в период ее кипа;
- 5) уточненный тепловой баланс периода расплавления стали в дуговой сталеплавильной печи.

Максимальное время поддержания заданной температуры стали в период ее кипа за счет кислорода можно найти по формуле:

$$\Delta\tau = (\tau_1 - \tau_2) - \frac{\left[W_{эл} - \left(\frac{0,3 \cdot 34,09 (C_{ср.с} - C_{мин})}{\% (C \rightarrow CO_2)} \times 100 - Q_{эжк} \right) \right] (\tau_1 - \tau_2)}{W_{эл}}, \quad (1)$$

где τ_1 — средняя продолжительность периода расплавления, ч; τ_2 — продолжительность подвалки шихты, ч; $W_{эл}$ — энергия, вносимая дугами, ГДж; $C_{ср.с}$ — содержание углерода в шихте, %; $C_{мин}$ — минимальное содержание углерода в конце периода расплавления, %; $Q_{эжк}$ — тепло экзотермических реакций, ГДж; $(C \rightarrow CO_2)$ — тепловой эффект реакции, %.

Анализ расчетных данных, полученных с использованием предложенной расчетной модели, показал, что нецелесообразно отключать дуги на время выше максимального (полученного на основании расчетов по уточненной энергетической модели), так как не достигается требуемый химический состав.

Энергия, вносимая дугами, по технологии с использованием кислородной фурмы уточняется по формуле:

$$W'_{эл} = \frac{W_{эл} [(\tau_1 - \tau_2) - \Delta\tau]}{(\tau_1 - \tau_2)}, \quad \text{ГДж.} \quad (2)$$

Эффективность использования кислорода во время плавания была оценена расчетным путем (исходя из предположения, что основным источником дополнительной энергии является окисление углерода) по изменению расхода энергии на процесс плавания в соответствии с реакцией: $C + 1/2O_2 \rightarrow CO + \text{выделяемое тепло}$. При этом вдуваемый кислород реагирует с углеродом и другими элементами в стали. В результате чего выделяется тепло, достаточное для повышения температуры стали, и улучшается его перенос к шихте. Так как энергия, выделяемая химическими реакциями в рабочем пространстве печи ($W_{х.р.}$) при этом увеличивается, соответственно уменьшается расход электроэнергии на процесс плавания и продолжительность периода плавки. Вне зависимости от того, растворяется ли предварительно углерод в металле или просто сгорает в

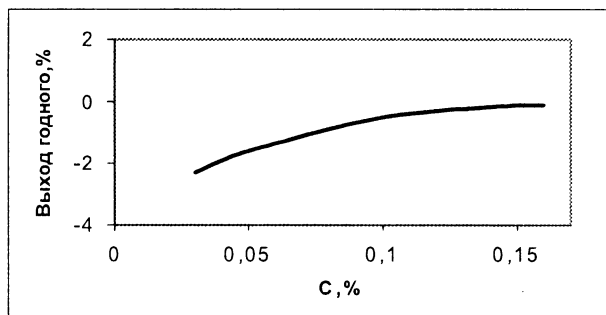
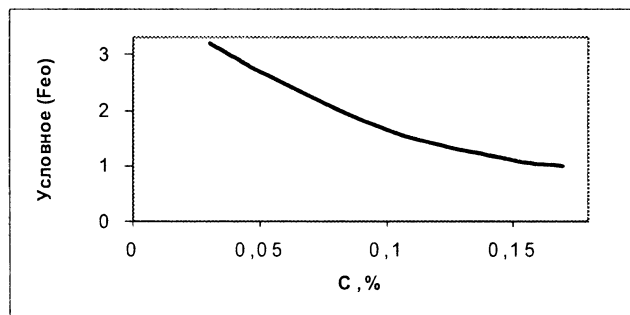
* Под руководством д-р техн. наук, профессора В. И. Тимошпольского, канд. техн. наук, доцента И. А. Трусовой.

атмосфере печи, выделяемая при этом энергия зависит от соотношения CO и CO₂ в продуктах горения, покидающих печь. При соотношении CO/CO₂ = 1 и за вычетом их энтальпии при температуре уходящих из печи газов на 1 м³ кислорода выделяется 12,1 МДж (3,36 кВт·ч) энергии. Расход энергии на процесс на 1 т металлошихты уменьшается на величину $\eta_{ит} \cdot 3,36 = 2,8$ кВт·ч/м³, а фактический удельный расход электроэнергии — на $3,36/\eta_2 = 3,6$ кВт·ч/т, что совпадает с фактическими производственными данными.

Отметим, что интенсивное выделение CO и высокое отношение CO к CO₂ в составе удаляющихся из печей газов обычно наблюдаются к концу плавления. В связи с этим можно предположить, что большая часть кислорода, подаваемого в рабочее пространство, первоначально расходуется на окисление железа и только потом его оксиды реагируют с углеродом. При достаточном содержании углерода в шихте первоначально окислившееся железо почти полностью восстанавливается к концу плавления, и окисление железа мало сказывается на тепловом балансе рабочего пространства печи и выходе годного. В противном случае экономия электроэнергии была бы значительно больше, так как при окислении железа выделяется 7,0 кВт·ч/м³, а выход годного существенно уменьшается.

На рисунке показано изменение выхода жидкой стали в зависимости от содержания углерода в металле по расплавлению и соответственно концентрации оксидов железа в шлаке [2].

Очевидно, что при содержании углерода в металле, превышающем 0,15%, выход годного при окислительном плавлении практически не изменяется, а при меньшей его концентрации и резком увеличении



Зависимость выхода годного от содержания углерода по расплавлению и соответствующее содержание оксидов железа в шлаке оксидов железа в шлаке падает на несколько процентов. Эти зависимости свидетельствуют о том, что окисляющееся первоначально железо при достаточном количестве углерода в шихте в значительной степени восстанавливается.

Рассмотрим использование расчетной модели на конкретном примере расчета энергетического баланса периода расплавления кордовой стали 70К по данным Белорусского металлургического завода.

В табл. 1 приведены данные расчета без введения кислорода для поддержания температуры стали при отключенных дугах, а в табл. 2 — данные уточненного теплового баланса при отключении дуг в течение 1,8 мин.

Расход кислорода на поддержание заданной температуры стали в период ее кипа составляет 283,81 м³.

Анализ данных табл. 1, 2 показывает, что экзотермическая реакция окисления углерода, растворенного в металле, обеспечивает уменьшение затрат электроэнергии за счет подачи кислорода при отключенных дугах на 2%.

Таблица 1. Тепловой баланс периода расплавления дуговой сталеплавильной печи

Статья прихода	ГДж	%	Статья расхода	ГДж	%
Тепло, вносимое шихтой	0,9192	0,3602	Физическое тепло:		
			стали	137,56	53,567
Энергия, вносимая дугами	181,79	71,227	стали, теряемое со шлаком	0,7448	0,29
			шлака	33,628	13,095
Тепло сжигания CH ₄	15,808	6,1937	Тепло, уносимое:		
			газами	38,009	14,801
Тепло экзотермических реакций	52,817	20,695	частицами Fe ₂ O ₃	8,8043	3,4284
			Потери тепла теплопроводностью	5,0447	1,9644
Тепло шлакообразования	3,8908	1,5245	Потери тепла с водой	7,49	2,9166
			Потери тепла в период межшлакового простоя	0	0
Итого	255,22	100	Потери тепла через водоохлаждаемые элементы стен и свода печи	25,522	9,9383
			Итого	256,81	100

Таблица 2. Уточненный тепловой баланс периода расплавления дуговой сталеплавильной печи

Статья прихода	ГДж	%	Статья расхода	ГДж	%
Тепло, вносимое шихтой	0,9192	0,3602	Физическое тепло: стали	137,56	53,567
			стали, теряемое со шлаком	0,7448	0,29
			шлака	33,628	13,095
Энергия, вносимая дугами	176,8	69,274	Тепло, уносимое: газами	38,009	14,801
			частицами Fe_2O_3	8,8043	3,4284
Тепло сжигания CH_4	15,808	6,1937	Потери тепла теплопроводностью	5,0447	1,9644
Тепло экзотермических реакций	57,807	22,650	Потери тепла с водой	7,49	2,9166
Тепло шлакообразования	3,8908	1,5245	Потери тепла в период межплавочного простоя	0	0
			Потери тепла через водоохлаждаемые элементы стен и свода печи	25,522	9,9383
Итого	255,22	100	Итого	256,81	100

Исходя из приведенного выше, следует отметить, что разработанная расчетная модель выплавки стали может быть использована для оптимизации процессов при замене части электроэнергии альтернативными энергоносителями.

Литература

1. Тимошпольский В.И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня. Мн: Навука і тэхніка, 1995.
2. Морозов А. Н. Современное производство стали в дуговых печах. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1987.

Знаменательное событие произошло
15 сентября 2000 г.
на Республиканском унитарном предприятии
“Белорусский металлургический завод” —
пуск нового прокатного стана 320/150.

Это стало кульминацией усилий белорусских металлургов
и их зарубежных партнеров по реконструкции
флагмана нашей индустрии.

Такие станы не вводились ни на одном заводе СНГ.

Так держать, БМЗ!