

**В.П.Корченко, Л.Г.Тубольцев, В.Ф.Поляков, Н.И.Падун,
А.М.Шевченко**

ДИНАМИКА УДАЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЧУГУНА И ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ПО ХОДУ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

Целью работы является определение механизма окисления железа и основных примесей чугуна (углерода, кремния, марганца) по периодам кислородно-конвертерной плавки. В работе сделана попытка представить механизм и реальное прохождение процесса с использованием формул наиболее вероятных структурных группировок (Fe_3C , FeC ; FeSi ; FeMn), формальных соединений и комплексов реакций. Показано, что в первый период в основном окисляется железо, кремний, марганец и в некоторой степени углерод. Второй период характеризуется интенсивным окислением углерода. В третьем периоде отмечается замедление окисления углерода и начало интенсивного окисления железа.

кислородно-конвертерная плавка, дутьевой кислород, железо, углерод, кремний, марганец, структурные группировки, химические реакции

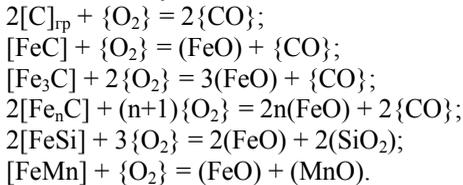
Состояние вопроса. При разработке моделей кислородно-конвертерной плавки в системах балансовых уравнений величины некоторых параметров устанавливаются с определенными допущениями из-за невозможности их теоретической оценки. К одному из таких параметров относятся потери железа при окислении примесей чугуна по ходу продувки. При обобщении многочисленных экспериментальных данных изменения состава металла и шлака во время продувки чугуна достаточно четко просматриваются три периода продувки, отличительным признаком которых является количество дутьевого кислорода, израсходованного на окисление железа и основных примесей чугуна (углерод, кремний, марганец). В первом периоде в основном окисляется железо, кремний, марганец и в некоторой степени углерод. Второй период характеризуется интенсивным окислением углерода. В третьем периоде отмечается замедление окисления углерода и начало интенсивного окисления железа. Первый период составляет примерно 0-20% длительности продувки, второй – 20-80%, третий – 80-100% [1, с.111]. В окислительных процессах участвует кислород газовой фазы $\{\text{O}_2\}$, кислород окислов железа (FeO), марганца (MnO), кислород, растворённый в металле $[\text{O}]$.

Целью работы является определение механизма окисления железа и основных примесей чугуна (углерода, кремния, марганца) по периодам кислородно-конвертерной плавки.

Изложение основных материалов исследования. Основным отличием предлагаемого метода анализа является учёт в поэтапном комплексе химических реакций особенностей вероятной структуры устойчивых группировок железа с углеродом, кремнием и марганцем. По результатам исследований, представленных в монографиях [2–5], к наиболее вероят-

ным группировкам в виде молекул химических соединений относятся: Fe_3C , FeC ; FeSi ; FeMn . В работах [6–7] определена вероятность группировок Fe_nC , в которых n по мере выгорания углерода чугуна может изменяться от 3 до 14, а также наличие углерода в металле в виде графита $[\text{C}]_{\text{гр}}$. Формулы наиболее вероятных структурных группировок были использованы при анализе процессов рафинирования металла и окисления железа, и таким образом сделана попытка представить механизм и реальное прохождение процесса с использованием формальных соединений и реакций.

Исходя из формул молекул вероятных группировок, комплекс химических реакций в первом периоде кислородно-конвертерной плавки можно представить в следующем виде:

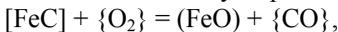


Наиболее вероятными реакциями восстановления (FeO) можно считать:

$$\begin{aligned} 2(\text{FeO}) + [\text{FeSi}] &= 3[\text{Fe}] + (\text{SiO}_2); \\ (\text{FeO}) + [\text{FeMn}] &= 2[\text{Fe}] + (\text{MnO}). \end{aligned}$$

Профилирующими реакциями в первом периоде являются реакции окисления кремния, марганца и железа. Структура группировок железа с кремнием и марганцем постоянна, и расход дутьевого кислорода на окисление этих группировок зависит от концентрации кремния и марганца в чугуне. Структуры вероятных группировок железа с углеродом могут быть разными в зависимости от содержания углерода в чугуне и температуры. Чем сложнее структурная группировка, тем больше выгорает железа при окислении углерода.

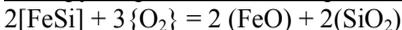
Если предположить группировку железа с углеродом в форме $[\text{FeC}]$, то окисление железа и углерода будет осуществляться по реакции:



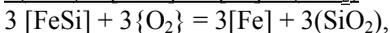
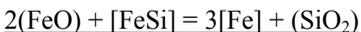
т.е. железо в таких условиях будет окисляться в меньших количествах, чем в вероятном варианте окисления Fe_3C .

Одновременное прохождение окислительно-восстановительных процессов группировок с железом, кремнием и марганцем можно представить следующими комплексами химических реакций:

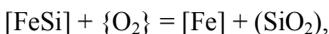
Для группировки железа с кремнием

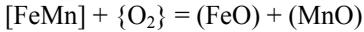


+

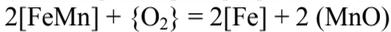
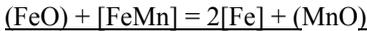


или



Для группировки железа с марганцем

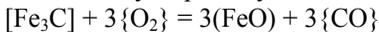
+



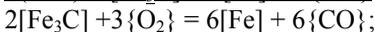
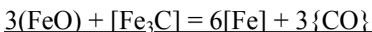
Исходя из результатов суммирующих реакций теоретически все окисленное железо группировок может восстановиться составляющими этих группировок. Однако не все окислившееся железо группировок восстанавливается их более активными к кислороду составляющими. Результаты предварительных балансовых расчетов по данным экспериментов показали, что вероятнее всего это касается группировок $[\text{FeMn}]$.

На втором этапе идет интенсивное удаление углерода. На окисление углерода расходуется не только газообразный кислород дутья $\{\text{O}_2\}$, но и кислород, содержащийся в шлаковой фазе в виде закиси железа (FeO) и марганца (MnO). Объясняется это величинами значений свободной энергии образования окиси углерода (CO), закиси железа (FeO) и марганца (MnO), разницей в химическом сродстве элементов к кислороду при температуре выше 1400°C и интенсивным перемешиванием металлической фазы и шлакометаллической ванны. Исходя из формул вероятных группировок углерода, кремния и марганца с железом, комплекс химических реакций во втором периоде продувки кислородно-конвертерной плавки можно представить в следующем виде.

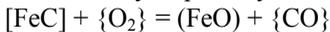
Окисление углерода дутьевым кислородом $\{\text{O}_2\}$ (первый вариант):



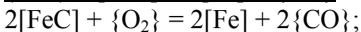
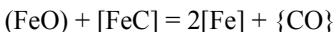
+



Окисление углерода дутьевым кислородом $\{\text{O}_2\}$ (второй вариант):

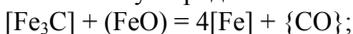


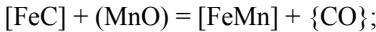
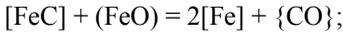
+



Как видно из сопоставления двух результирующих реакций, участие дутьевого кислорода проявляется в том, что, с одной стороны, он окисляет входящий в состав группировок углерод, а, с другой стороны, образующийся в результате первых реакций FeO взаимодействует с углеродом таких же группировок. Поэтому на этом этапе плавки участие кислорода в окислении железа на втором этапе плавки формально можно не рассматривать.

Поскольку окисление железа кислородом закиси железа и марганца шлаковой фазы невозможно, то восстановление железа и марганца из (FeO) и (MnO) во втором периоде продувки с учётом структуры группировок железа с углеродом можно представить следующими реакциями:





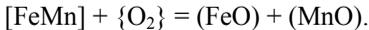
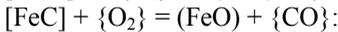
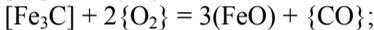
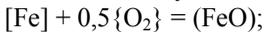
Следует отметить, что во втором периоде продувки происходит активное перемешивание шлакометаллической ванны объёмами выделяющейся окиси углерода и струями вдуваемого кислорода, в результате чего закись железа и марганца шлаковой фазы контактирует с углеродом в составе вероятных группировок и принимает активное участие в его удалении.

На втором этапе плавки практически весь дутьевой кислород расходуется на окисление углерода и частично (незначительная часть) на дожигание отходящего $\{\text{CO}\}$ до $\{\text{CO}_2\}$. Окисление углерода происходит также за счет кислорода шлаковой фазы в составе (FeO) и (MnO) , определение количества которого требует определения количества и окисленности шлака, что представляет определенные трудности в процессе ведения плавки.

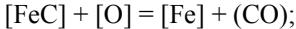
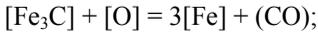
Следует отметить, что на втором этапе плавки скорость окисления углерода остается постоянной даже при уменьшении концентрации углерода до критической величины (около 0,25%), что подтверждается как авторами, так и другими исследователями [8,9].

На третьем этапе плавки скорость удаления углерода убывает вместе с его концентрацией и возрастает скорость выгорания железа. В связи с сокращением объёмов выделяющейся окиси углерода, интенсивность контакта углерода вероятных группировок с кислородом дутья и шлаковой фазы снижается и начинается период активного окисления железа.

Комплекс химических реакций в третьем периоде продувки можно представить в следующем виде:



Этот период продувки характеризуется интенсивным окислением железа, особенно при выплавке металла с низким и сверхнизким содержанием углерода. В конце периода при снижении содержания углерода увеличивается концентрация кислорода, растворённого в металле [2-4]. В результате, могут активно реализовываться следующие реакции:



Взаимосвязь дутьевого кислорода с железом металлической ванны на третьем этапе имеет важное значение, т.к. определяет потери железа, снижение выхода годного. В этот период продолжается окисление углерода и марганца. Количество кислорода, затрачиваемого на окисление железа, зависит не только от требуемого содержания углерода в металле, но и от структуры группировок железа с углеродом в исходном чугуна.

При использовании поэтапных комплексов химических реакций с целью определения взаимосвязей между вдуваемым кислородом и окисляемыми элементами по этапам конвертерной плавки установлены следующие положения, которые могут быть учтены при расчетах баланса дутьевого кислорода на окисление примесей и железа чугуна:

в первом периоде продувки отмечается взаимосвязь дутьевого кислорода со всеми параметрами, представленными в таблице. На количество окисляемого железа существенное влияние может оказать структура вероятных группировок железа с углеродом $[C_{гр}]$, $[Fe_nC]$, которые зависят от содержания углерода и температуры чугуна. Вероятные группировки железа с кремнием и марганцем постоянные и количество окисляемого железа зависит от содержания кремния и марганца;

на втором этапе плавки практически весь дутьевой кислород расходуется на окисление углерода и частично (незначительная часть) на дожигание отходящего $\{CO\}$ до $\{CO_2\}$. На окисление углерода расходуется кислород шлаковой фазы (FeO) и (MnO), определение количества которого осложняется изменением количества шлака. Взаимосвязи дутьевого кислорода с (FeO) и (MnO), а также с [Fe] и [Mn] отсутствуют. На втором и третьем этапе отсутствует взаимосвязь дутьевого кислорода с [Si];

на третьем этапе взаимосвязь дутьевого кислорода с железом металлической ванны определяет потери железа и снижение выхода годного. В этот период продолжается окисление углерода и марганца. Количество кислорода, затрачиваемого на окисление железа, зависит не только от требуемого содержания углерода в металле, но и от структуры группировок железа с углеродом в исходном чугуне.

Для возможности использования изложенных выше положений при создании статических и динамических моделей кислородно-конвертерной плавки был разработан алгоритм расчета баланса дутьевого кислорода, который может быть использован для каждого из 3-х этапов плавки и всей плавки в целом. Предварительно были сопоставлены величины расходов кислорода на окисление элементов жидкой ванны конвертера по отношению к железу (табл.1) Расчеты показывают, что на окисление 1 кг [Si] расходуется в 4 раза больше кислорода, чем на окисление 1 кг [Fe], а на окисление 1 кг [C] – в 4,5 раза больше, т.е. расход кислорода на окисление железа сравнительно небольшой..

Таблица 1. Расход дутьевого кислорода на окисление примесей чугуна

Элемент металла, [Эл]	Формула продукта реакции	Расход кислорода на окисление элемента, м ³ / кг [Эл]
[C]	{CO}	0,93
[Si]	(SiO ₂)	0,80
[Mn]	(MnO)	0,235
[Fe]	(FeO)	0,200

Для возможности составления материального баланса кислородно-конвертерной плавки выполнен также расчет количества железа на единицу элемента в вероятной группировке (табл.2).

Таблица 2. Расчет количества железа в группировке

Формула вероятной группировки	Молекулярный вес группировки, кг/Моль	Количество железа в группировке, кг	Количество [Эл] в группировке, кг	Количество железа на единицу [Эл] в группировке, кг[Fe]/кг[Эл]
Fe ₉ C	516	504	12	42
Fe ₃ C	180	168	12	14,0
FeC	68	56	12	4,66
FeSi	84	56	28	2,0
FeMn	111	56	55	1,02

Представленные результаты расчетов показывают, что меньше всего железа окисляется с группировкой [FeMn]. При переделе низкомарганцовистых чугунов больше железа будет окисляться с группировкой [FeSi]. Железо с группировками Fe_nC, вероятнее всего, будет окисляться в третьем периоде плавки.

С использованием разработанного алгоритма выполнен расчет баланса дутьевого кислорода для трех этапов экспериментальной кислородно-конвертерной плавки с верхней продувкой с отбором проб металла и шлака по ходу процесса. Металлошихта включала 110 т жидкого чугуна, 33 т металлолома, расход кислорода составлял 310 нм³/мин.

Расчет баланса кислорода по ходу кислородно-конвертерной плавки представлен в табл.3–6.

В таблицах 3–6 использованы следующие обозначения:

[Эл] – элемент металла жидкой ванны;

$\Delta[\text{Эл}]$ – изменение количества элемента [Эл] от исходного содержания элемента $[\text{Эл}]_н$ до конечного на этапе плавки $[\text{Эл}]_к$ ($\Delta[\text{Эл}] = ([\text{Эл}]_н - [\text{Эл}]_к)$);

$\Delta G_{эл}^{O_2}$ – расход кислорода на окисление элемента

$\Sigma G_{эл}^{O_2}$ – суммарный расход кислорода на окисление всех элементов;

Доля $\Sigma G_{эл}^{O_2}$ – доля расхода кислорода от суммарного $\Sigma G_{эл}^{кислород}$ на окисление [Эл],

ΣG^{O_2} – расход дутьевого кислорода по прибору;

$\Sigma пр G^{O_2}$ – приход кислорода в результате восстановительных химических реакций;

Доля $\Sigma пр G^{O_2}$ – доля прихода кислорода от восстановительных реакций к дутьевому.

Расчет баланса расхода кислорода для первого этапа плавки (первые 5 мин 20 с продувки) представлен в табл.3. Исходя из термодинамических параметров (температура, сродство элемента к кислороду), наиболее вероятным процессом поступления железа в шлак является окисление группировки [FeMn]. Стехиометрически при окислении 770 кг [Mn] из состава [FeMn] должно окислиться 785 кг [Fe]. По расчету, исходя из количества шлака, содержание железа металлического в шлаке ($Fe_{\text{общ}}$) составляет 823 кг. Скорее всего, небольшая доля железа поступает в шлак при окислении группировки [FeSi]. Окисление группировок углерода с железом маловероятно, т.к. в этом случае должно окисляться значительно большее количество железа (табл.2). Можно предположить, что снижение содержания углерода на первом этапе плавки связано с окислением графита ($[C]_{\text{гр}}$). Реально, что часть $[C]_{\text{гр}}$ выдувается пузырьками $\{CO\}$. Подтверждением этому может служить факт теоретически невозможной сходимости расхода кислорода на окисление примесей и дутьевого. При учете выдуваемого $[C]_{\text{гр}}$ расход кислорода на окисление элементов будет ниже за счет меньшего расхода на окисление $[C]_{\text{гр}}$.

Таблица 3. Баланс расхода дутьевого расхода кислорода на первом этапе плавки.

[Эл]	$\Delta[\text{Эл}]$, кг	$\Delta G_{\text{эл}}^{O_2}$, м ³	$\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$, нм ³	Доля $\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$, %	$\Sigma G^{\text{кислород}}$, нм ³
[C]	880	820		49,7	
[Si]	605	484		29,3	
[Mn]	770	180,6		11,2	
[Fe]*	823	164		10,0	
			1648,6		1650

* – количество окислившегося железа определялось из расчета количества шлака и содержания ($Fe_{\text{общ}}$) в шлаке.

Расчет баланса расхода кислорода для второго этапа плавки (5-15 мин продувки) представлен в табл.4.

Таблица 4. Баланс расхода кислорода второго этапа плавки.

[Эл]	$\Delta[\text{Эл}]$, кг	$\Delta G_{\text{эл}}^{O_2}$, м ³	$\Sigma \text{пр} G^{O_2}$	$\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$, нм ³ , м ³	ΣG^{O_2} , нм ³	Доля $\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$, %	Доля $\Sigma \text{пр} G^{O_2}$, %
[C]	3100	2880					
[Si]	110	88					
[Mn]	-305		71,5				
[Fe]	-61		12,2				
				3051,7	3100	96	2,7

Восстановление (FeO) и (MnO) жидкой шлаковой фазы может происходить при контакте металла с группировками Fe_nC и FeSi. Для второго этапа плавки величина n в группировке Fe_nC не имеет значения. Вероятнее всего окисляется углерод группировок Fe_nC с минимальными значениями n . Следует отметить, что величина прихода кислорода из шлаковой фазы по отношению к расходу дутьевого кислорода незначительная, менее 3%.

Расчет баланса кислорода для третьего этапа плавки (15-20 мин) продувки представлен в табл.5.

Таблица 5. Баланс расхода кислорода третьего этапа плавки

[Эл]	$\Delta[\text{Эл}]$, кг	$\Delta G_{\text{эл}}^{O_2}$, м ³	$\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$, нм ³ , м ³	Доля $\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$, %	ΣG^{O_2} , нм ³	Доля $\Sigma G_{\text{эл}}^{O_2}$
[C]	1225	1135		86		
[Si]	0	0		0		
[Mn]	206	48,4		3,7		
[Fe]*	683	136,6		10,3		
			1320		1550	85,2

* – количество окислившегося железа определялось из расчета количества шлака и содержания ($Fe_{\text{общ}}$) в шлаке.

Если предположить процесс окисления железа совместно с марганцем, т.е. окисление $[FeMn]$, то на третьем этапе плавки за счет этого процесса должно окислиться 210 кг железа. Таким образом, остальная часть железа (473 кг) окислилась при участии группировок $[Fe_nC]$. Не исключено, что вначале и в течение какого-то периода третьего этапа сохраняется такой же механизм окисления углерода, как и во втором этапе. Но по мере снижения содержания углерода в металле и уменьшения интенсивности перемешивания металлической ванны окисление железа происходит при окислении группировок $[Fe_nC]$.

Если исходить из того, что при окислении 1 кг углерода в группировке $[FeC]$ окисляется 4,66 кг железа (табл.2), то при окислении 473 кг железа должно окислиться 101 кг углерода из 1225 кг за весь третий этап, что составляет только 8,25% от общего. Вероятнее всего, железо сгорает одновременно с углеродом при окислении $[FeC]$ до (FeO), которое не полностью восстанавливается углеродом соединений $[Fe_nC]$ (как на втором этапе продувки), вследствие снижения интенсивности перемешивания конвертерной ванны. На экспериментальной промышленной плавке на третьем этапе содержание углерода снизилось от 1,25% до 0,30%. При более низких содержаниях доля углерода, окислившегося с $[Fe_nC]$, будет возрастать при соответственном увеличении количества окисляющегося железа.

Для исследования особенностей баланса дутьевого кислорода при выплавке металла с низким и сверхнизким содержанием углерода использо-

вали данные экспериментальной плавки, проведенной в лабораторном 1,5 тонном конвертере. Содержание углерода в металле на конечном этапе плавки («передув» после полного падения факела) снижалось от 0,041% до 0,019%. Расчет баланса кислорода на конечном этапе конвертерной плавки в 1,5 тонном конвертере при выплавке металла со сверхнизким содержанием углерода представлен в табл.6.

Таблица 6. Баланс расхода кислорода на этапе передова конвертерной плавки в 1,5 тонном конвертере

[Эл]	$\Delta[\text{Эл}]$, кг	$\Delta G_{\text{эл}}^{\text{O}_2}$, м ³	$\Sigma G_{\text{эл}}^{\text{O}_2}$, нм ³ , м ³	Доля $\frac{\Sigma G_{\text{эл}}^{\text{O}_2}}{\Sigma G_{\text{эл}}^{\text{O}_2}}$, %	ΣG^{O_2} , нм ³	Доля $\frac{\Sigma G_{\text{эл}}^{\text{O}_2}}{\Sigma G^{\text{O}_2}}$
[C]	0,297	0,287		9,0		
[Si]	0	0		0		
[Mn]	0,094	0,022		0,7		
[Fe]**	14,9	2,98		90,3		
			3,289		16,5	19,9

** – количество окислившегося железа определялось по разнице ($\text{Fe}_{\text{обш}}$) в конечном и исходном шлаке.

На этапе передова на окисление железа расходуется 90,3% кислорода от суммарного на окисление элементов. Окисление углерода на этом этапе плавки происходит при окислении группировок $[\text{Fe}_n\text{C}]$. Расчетная величина n в группировке составляет 10,7, что близко к вероятной группировке Fe_9C . По мере снижения содержания углерода структура группировок $[\text{Fe}_n\text{C}]$ усложняется. Выплавка металла со сверхнизким содержанием углерода за счет передова связана с большими потерями железа. Отмечается еще один факт: на окисление элементов металла (в данном эксперименте) затрачивается порядка 20% вдуваемого кислорода. Остальной кислород, естественно, поступает в газовую фазу, что в принципе, должно отрицательно влиять на стойкость газоотводящего тракта.

Заключение.

Динамика рафинирования металла по ходу кислородно-конвертерной плавки характеризуется тремя периодами: в первом периоде в основном окисляется железо, кремний, марганец и в некоторой степени углерод; второй период характеризуется интенсивным окислением углерода; в третьем периоде отмечается замедление окисления углерода и начало интенсивного окисления железа. На всех этапах рафинирования существенное влияние оказывает структура вероятных группировок железа с углеродом ($\text{C}_{\text{графит}}$, $[\text{Fe}_n\text{C}]$), что определяет количество окисляемого железа и содержание углерода в металле.

На втором этапе плавки практически весь дутьевой кислород расходуется на окисление углерода и частично (незначительная часть) на дожигание отходящего $\{\text{CO}\}$ до $\{\text{CO}_2\}$. Окисление углерода происходит также за

счет кислорода шлаковой фазы в составе (FeO) и (MnO), определение количества которого требует определения количества и окисленности шлака, что представляет определенные трудности в процессе ведения плавки.

Взаимосвязь дутьевого кислорода с железом металлической ванны на третьем этапе имеет важное значение, т.к. определяет потери железа, снижение выхода годного. В этот период продолжается окисление углерода и марганца. Количество кислорода, затрачиваемого на окисление железа, зависит не только от требуемого содержания углерода в металле, но и от структуры группировок железа с углеродом в исходном чугуна.

Таким образом, разработанный алгоритм расчета расхода дутьевого кислорода по ходу кислородно-конвертерной плавки отличается научной новизной, поскольку учитывает современные представления о характере и структуре жидкого металла конвертерной ванны, а также уточненный баланс распределения кислорода между окисляющимися элементами жидкой ванны. Полученные материалы являются основой для разработки новой статической модели кислородно-конвертерной плавки, разработка которой является необходимым этапом создания динамической модели процесса. Полученные результаты можно использовать для теоретического обоснования и изучения механизма поведения элементов в ходе кислородно-конвертерной плавки, а также для последующего внедрения результатов исследования с целью управления процессом плавки на промышленных конвертерах.

1. *Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С.* Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкция агрегатов, рециркуляция материалов и экология. Учебник. – Днепропетровск. –РВА «ДніпроВАЛ», 2006. – 454 с. (С.111).
2. *Явойский В.И.* Теория процессов производства стали. – М.:Металлургия, 1963. – 819 с. (С.340)
3. *Явойский В.И.* Теория процессов производства стали. – М.:«Металлургия», 1967. – 792с. (С.329)
4. *Металлургия* стали /под ред. В.И.Явойского, Г.Н.Ойкса – М.:«Металлургия», 1973 – 816с. (С.82).
5. *Есин О.А., Гельд П.В.* Физическая химия пирометаллургических процессов. – Ч.2, – М.:Металлургиздат, 1966. – 703 с.
6. *Лучкин В.С., Тубольцев Л.Г., Падун Н.И., Шевченко А.М.* Диаграмма состояния и структура жидких Fe-C сплавов //Сб. тр. ИЧМ. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Вып.19. – 2009. – С.265–282.
7. *Спадковість* структурних змін при переплавах литих сталей / С.С.Кондратюк, О.М.Стоянова, І.Н.Приймак, В.М.Щеглов // МОМ.– 2007. – №3. – С.3-10.
8. *Корченко В.П., Тубольцев Л.Г., Поляков В.Ф., Падун Н.И., Шевченко А.М.* Исследование особенностей технологий выплавки в конвертерах с комбинированной продувкой низкоуглеродистой стали //Сб. тр. ИЧМ. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Вып.17. – 2008. – С.147–152.

9. *Филиппов С.И., Крашенинников М.Г., Бородин А.Н.* Динамика газообразования и кипения при обезуглероживании Fe–C расплавов // Известия вузов. Черная металлургия. – №5. – 1977. – С 8–12.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько

В.П.Корченко, Л.Г.Тубольцев, В.Ф.Поляков, Н.І.Падун, А.М.Шевченко

Динаміка видалення домішок чавуну і окислення заліза по ходу киснево-конвертерної плавки

Метою роботи є визначення механізму окислення заліза і основних домішок чавуну (вуглецю, кремнію, марганцю) протягом періодів киснево-конвертерної плавки. У роботі представлено ймовірний механізм та реальне проходження процесу з використанням формул найвірогідніших структурних угруповань (Fe₃C, FeC; FeSi; FeMn), формальних з'єднань і комплексів реакцій. Показано, що у першому періоді в основному окислюється залізо, кремній, марганець і в деякій мірі вуглець. Другий період характеризується інтенсивним окисленням вуглецю. У третьому періоді спостерігається уповільнення окислення вуглецю та інтенсивне окислення заліза.