

УДК: 669.184.244.66:669.184.235.8:669.74

Д.Н.Тогобицкая, В.П.Пиптюк, А.Ф.Петров, С.В.Греков, А.А.Аносова

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ

Целью работы является разработка структуры и идентификация параметров модели для прогнозирования вязкости марганецсодержащих шлаков ферросплавного производства в зависимости от их химического состава. Приведены результаты прогнозирования с использованием разработанной физико–химической модели, трактующей шлаковый расплав как химически единую систему с учетом температурного фактора. Представлены параметры вязкости марганецсодержащих шлаков ферросплавного производства в зависимости от их химического состава и температуры.

марганецсодержащие шлаки, химический состав, модель, структура, температурный фактор

Современное состояние проблемы. Количественный уровень использования марганца в сталеплавильном производстве разных стран мира зависит от марочного сортамента выплавляемых сталей, способа производства металла, технического уровня используемых технологических приемов и ряда др. факторов. В Украине и странах СНГ использование марганца в виде ферромарганца, ферросиликомарганца и марганца металлического является сравнительно высоким и колеблется в широких пределах от 0,1 до 20 кг/т стали и более.

В числе главных задач процессов получения марганецсодержащих ферросплавов – разработка условий, обеспечивающих достижение максимально возможного и экономически эффективного извлечения марганца в слав, уменьшение потерь его со шлаком, сокращение расхода электроэнергии на производство ферросплава, высокая продуктивность печей и низкая себестоимость продукции.

Производство одного из наиболее массовых – ферромарганца на ферросплавных заводах осуществляется в закрытых и в открытых электропечах. При этом, в качестве попутного продукта выплавки, получают обогащенный марганцем шлак с небольшим содержанием фосфора. Такой шлак используется для получения металлического марганца и силикомарганца. Однако технологии, обеспечивающие высокие технико-экономические показатели получения таких ферросплавов, не всегда решают задачу максимально возможного извлечения марганца из рудо-шлаковых печных расплавов. Поэтому, содержание оксидных соединений марганца в шлаках может достигать в перерасчете на марганец 14–16%. По мере снижения концентрации оксида марганца в шлаке процесс восстановления марганца усложняется: восстановление проходит до некоторого конечного содержания оксида марганца и потом останавливается.

Необходимым условием перехода марганца в металл является работа печей на высокоосновных шлаках.

На сегодняшний день шлак является малоизученным и плохо прогнозируемым продуктом металлургических технологий. Это объясняется химической природой компонентов шлака и сложным характером межчастичного взаимодействия. Экспериментальные методы изучения физико-химических шлаковых расплавов существенно затруднены, а теоретические представления о их строении и поведении несовершенны. Важное значение в познании роли и влияния шлаков играют такие физико-химические свойства оксидных расплавов, как поверхностное натяжение, электропроводность, температура конца кристаллизации, вязкость и др. Так, например, снижение температуры кристаллизации шлака при увеличении содержания MnO объясняется уменьшением общей прочности кристаллической массы шлака, появлением в кристаллической решетке более слабых соединений катионов Mn^{+2} с кремнекислородными группами.

Целью работы является разработка структуры и идентификация параметров модели для прогнозирования вязкости марганецсодержащих шлаков ферросплавного производства в зависимости от их химического состава.

Методика исследования. Настоящие исследования с использованием состава шлака проводили с позиции теории физико-химического моделирования электронной структуры расплавов Э.В.Приходько [1–3]. Для осуществления прогнозирования использовали данные о свойствах марганецсодержащих шлаков, полученные по экспериментальным материалам Ш.М.Микишвили, Л.Н.Самарина, А.М.Цылева [4], Т. Мысливека [5], об их вязкости, поверхностном натяжении, электропроводности, плавкости. Осуществили выбор критериев для оценки влияния химического состава на свойства марганецсодержащих шлаков. Рассмотрели возможность физико-химического прогноза вязкости марганецсодержащих шлаков на основе параметров межатомного взаимодействия.

С позиции методологии, трактующей шлаковый расплав разного состава как химический единую систему, с учетом температурного фактора, осуществлялась разработка модели для прогнозирования вязкости марганецсодержащих шлаков. На основании разработанного в ИЧМ НАН Украины программного комплекса «Шлак» анализировались данные Микишвили Ш.М., Самарина Л.Н., Цылева А.М [4] для трехкомпонентной системы $MnO-SiO_2-Al_2O_3$ (табл.1) В качестве критериев, характеризующих структуру и зарядовое состояние шлакового расплава, использовали: Δe – химический эквивалент состава, который характеризует взаимодействие в соединении катион-анион; d – структурный параметр, определяемый как среднестатистическое межъядерное расстояние; ρ – показатель стехиометрии, равный отношению числа катионов (K) к числу анионов

(А) в 100г расплава; $tg\alpha$ - электрохимический эквивалент, характеризующий химическую индивидуальность элементов в расплаве.

Таблица 1. Химический состав и модельные параметры трехкомпонентной оксидной системы $MnO-SiO_2-Al_2O_3$ при температуре $1673^{\circ}K$

№	Хим.состав, % вес			Модельные параметры				
	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	d	Δe	Tg (a)	p	η
1	75	15	10	3,7921	-5,2033	0,0931	0,8122	4
3	65	20	15	3,7094	-5,0169	0,098	0,7629	2
4	60	25	15	3,6655	-4,9974	0,0984	0,7343	1,2
5	55	39	15	3,5762	-4,9813	0,0981	0,6835	1,5
6	50	35	15	3,5709	-4,9385	0,0991	0,6844	2,5
7	45	40	15	3,5198	-4,898	0,0994	0,6624	8
8	40	45	15	3,4661	-4,8497	0,0997	0,6421	19
9	35	50	15	3,4097	-4,7929	0,1001	0,6233	22,5
10	30	45	25	3,3354	-4,4126	0,1079	0,6258	29,5
11	25	50	20	3,2945	-4,4797	0,1052	0,6053	72
12	20	55	20	3,224	-4,3892	0,1054	0,5885	80

Результаты исследования и их обсуждение. Для изучения влияния межатомного взаимодействия на вязкость шлака и выбора наиболее информативных модельных параметров, рассмотрели парные зависимости вязкости и физико-химических критериев (рис.1).

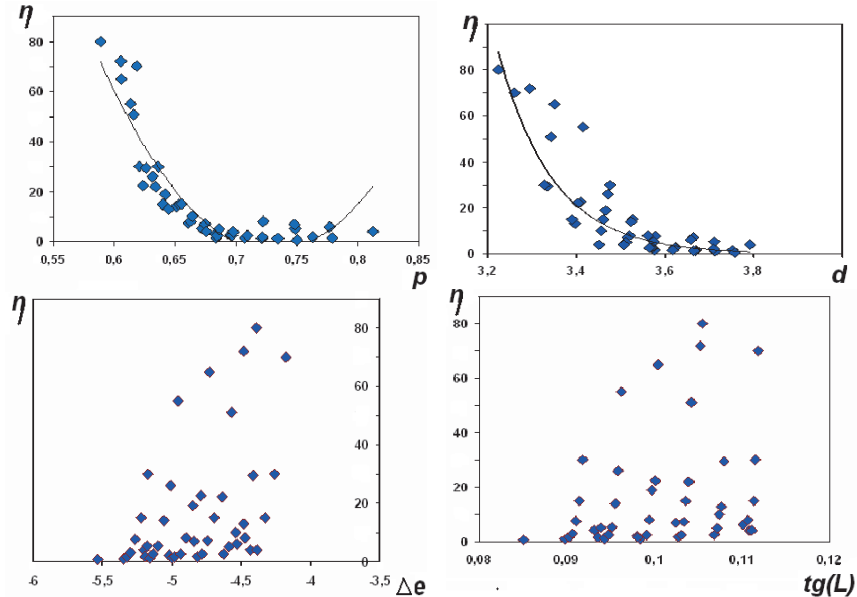


Рис.1. Зависимость вязкости трехкомпонентной системы $MnO-SiO_2-Al_2O_3$ от интегральных параметров p , d , Δe , $tg(L)$

Учитывая характер зависимостей на рис.1, в качестве модельного параметра, нами был выбран показатель ρ и получено уравнение для прогнозирования вязкости при температуре 1673 °К с высоким уровнем точности:

$$\eta = 3794,4\rho^2 - 5538,4\rho + 2017,3 \quad R^2=0,87 \quad (1)$$

С целью апробации полученной модели рассмотрели данные Мысливека Т. [5], (табл.2) для трехкомпонентной системы FeO-MnO-SiO₂.

Таблица 2. Химический состав и модельные параметры трехкомпонентной оксидной системы FeO-MnO-SiO₂ при температуре 1673 °К

№	Хим.состав, % вес			Модельные параметры				
	FeO	MnO	SiO ₂	d	Δe	Tg (a)	ρ	η
1	5	70	25	3,7796	-5,5142	0,0848	0,7798	2
2	10	65	25	3,7647	-5,4832	0,0851	0,7797	2,23
3	15	60	25	3,7495	-5,4515	0,0854	0,7795	2,46
4	20	55	25	3,7338	-5,4188	0,0857	0,7794	2,23
5	30	45	25	3,7011	-5,3505	0,0863	0,7792	0,42
6	30	40	30	3,6565	-5,3264	0,0867	0,7479	0,1
7	30	35	35	3,6097	-5,2956	0,0872	0,7194	0,51
8	30	30	40	3,5607	-5,2578	0,0876	0,6935	1,6
9	30	25	45	3,5092	-5,2122	0,0881	0,6698	3,2

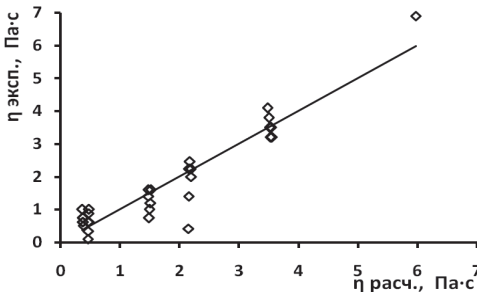


Рис.2. Соотношение расчетных по формуле (1) и экспериментальных данных по вязкости для трехкомпонентной системы FeO-MnO-SiO₂ при температуре 1673⁰К

Как следует из рис.2 модель (1), обеспечивает высокую согласованность экспериментальных и расчетных данных с высоким уровнем точности: $R^2=0,88$. С целью учета температурного фактора выполнен регрессионный анализ данных Микишвилли Ш.М., Самарина Л.Н., Цылева А.М., и Мысливека Т. [4, 5] в диапазоне температур 1523-1863°К (табл.3) и получена обобщающая модель:

$$\eta = 94,19561\rho^2 - 140,054\rho + 4,864003(1000/T) + 49,35135 \quad R^2=0.70 \quad (2)$$

Таблица 3. Химический состав и вязкость шлака

Данные [4]											
№	Хим.состав, % вес			n · 10 Па·с, при T, К							
	Mn	SiO ₂	Al ₂ O	152	157	162	167	172	177	182	186
1	60	35	5	9	3,5	2	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2
2	55	40	5	12,8	6	3,8	3	2,8	2,5	2,3	2,2
3	60	30	10	4,5	1,6	1,3	1,2	1,1	0,9	0,6	0,6
4	60	20	20	26	14	9,8	7	5,5	4,8	4	4
5	55	25	20	3	1,9	1,8	1,7	1,5	1,5	1,2	1,2
6	50	30	20	13,5	6,5	3,5	2,5	2,2	2	1,9	1,9
7	45	30	25	36	15,5	7,5	5	4,2	3,8	3,5	3,3
8	40	35	25	27	22,5	14	10	8,5	7	7,5	10
9	35	40	25	42	31,5	24	13	14	12	11,2	14,5

Данные [5]							
№	Хим.состав, % вес			n · 10 Па·с, при T, К.			
	FeO	Mn	SiO ₂	1573	1723	1673	1723
1	5	65	30	1,4	1,2	0,62	0,51
2	5	60	35	2,46	1,4	1	1
3	5	55	40	3	1,8	1,6	1,4
4	10	65	25	11	4,1	2,23	2
5	10	60	30	3,8	1,6	1	0,62
6	10	55	35	2,7	1,2	0,74	1
7	10	50	40	2,7	1,8	1,4	1,2
8	15	60	25	8,3	4,5	2,46	2,23
9	15	55	30	2	1,4	0,88	0,62

На рис.3 приведены обобщенные результаты зависимости вязкости от показателя стехиометрии шлаковых систем при разных температурах. Полученные зависимости $\log \eta_{\text{раст}}$ от p имеют минимальные значения при $p \approx 0,74$, которое уменьшается с ростом температуры.

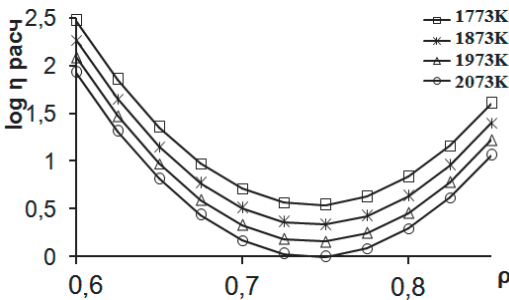


Рис.3. Обобщающая зависимость вязкости от показателя p шлаковых систем при температурах от 1773⁰К до 2073⁰К

По мере накопления экспериментальных данных полученные модели будут уточняться для более широких диапазонов составов и температур.

Выводы. Показатель стехиометрии ρ характеризует шлаковый расплав как химически единую систему, его физико-химическую активность при разных соотношениях компонентов, что позволяет его использовать в качестве модельного параметра для расчета вязкости марганецсодержащих шлаков. В результате анализа экспериментальных данных марганецсодержащих шлаков в диапазоне содержаний оксида марганца в пределах 20–70% получена физико-химическая модель для прогнозирования их вязкости в интервале температур 1773–2073⁰К. Это позволяет рекомендовать модель для расчета вязкости марганецсодержащих шлаковых расплавов с целью учета этого параметра в управлении процессами производства стали и ферросплавов марганца при содержании MnO в шлаковой фазе в широком интервале концентраций и реальных температурных условий.

1. Приходько, Э.В. Моделирование структуры при исследовании связи между составом и свойствами оксидных расплавов // Неорганические материалы. – 1980. – Т.16. – №5. – С.900.
2. Приходько, Э.В. Физико-химическая модель структуры шлаковых расплавов // Сталь. – 1990. – №10. – С.14–15.
3. Приходько, Э.В. Металлохимия многокомпонентных систем. – М.: Металлургия, 1995. – 320 с.
4. Микишвили Ш.М., Самарин А.М., Цылев Л.М. Межфазное натяжение на границе шлак - железо и поверхностное натяжение расплавов системы MnO-SiO₂-Al₂O₃ // Изв. АН СССР ОТН. – 1957. – №4. – С.54-62.
5. Adolfs, Myslivec T. // Kovove materiali. – 1978. – V.16. – № 3 – S.319–321.

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

**Д.М.Тогобицька, В.П.Пінтюк, О.П.Петров, С.В.Греков,
А.О.Аносова**

Вибір критеріїв і розробка моделі для прогнозування в'язкості марганецьвмісних шлаків

Метою роботи є розробка структури та ідентифікація параметрів моделі для прогнозування в'язкості марганецьвмісних шлаків феросплавного виробництва в залежності від їх хімічного складу. Наведено результати прогнозування з використанням розробленої фізико-хімічної моделі, що трактує шлаковий розплав як хімічно єдину систему з урахуванням температурного фактору. Наведено параметри в'язкості марганецьвмісних шлаків феросплавного виробництва в залежності від їх хімічного складу і температури.