

УДК 669.187.28.539.55

*А.А. Бабенко¹, С.А. Истомин¹, Е.В. Протопопов², А.В. Сычев¹, В.В. Рябов¹*¹ Институт металлургии УрО РАН² Сибирский государственный индустриальный университет**ВЯЗКОСТЬ ШЛАКОВ СИСТЕМЫ $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{B}_2\text{O}_3$ ***

Аннотация. С использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента исследована вязкость шлаков системы $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - 8\% \text{MgO} - 4\% \text{B}_2\text{O}_3$ в широком диапазоне химического состава. Показано, что шлаки основностью 6 – 8, находящиеся в верхней левой области локального симплекса и содержащие 15 – 25 % Al_2O_3 , 8 % MgO и 4 % B_2O_3 , характеризуются высокой (в пределах 9,4 – 26,4 П) вязкостью, изменяющейся в диапазоне температур 1500 – 1530 °С. Смещение шлаков основностью 5 – 8 в правую нижнюю область локального симплекса обеспечивает в рассматриваемом диапазоне концентрации Al_2O_3 достаточно высокую жидкоподвижность; вязкость таких шлаков в диапазоне температур 1500 – 1530 °С изменяется в пределах 1,5 – 6,1 П.

Ключевые слова: вязкость, планирование эксперимента, локальный симплекс, синтетические шлаки, основность, оксидная борсодержащая система.

*A.A. Babenko, S.A. Istomin, E.V. Protopopov, A.V. Sychev, V.V. Ryabov*¹ Institute of Metallurgy Ural branch of RAS² Siberian State Industrial University**VISCOSITY OF $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{B}_2\text{O}_3$ SLAG SYSTEM**

Abstract. Viscosity of $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - 8\% \text{MgO} - 4\% \text{B}_2\text{O}_3$ slag system has been studied in a wide range of chemical compositions. The simplex-lattice method has been used to plan the experiment. It is shown the slag containing 15 – 25 mass % Al_2O_3 , 8 mass % MgO and 4 mass % B_2O_3 have 6 – 8 units basicity and they are characterized by high values of viscosity changing within the limits of 9,4 – 26,4 P in the temperature range of 1500 – 1530 °C. The high enough liquid mobility is provided by the shift of slag with 5 – 8 units basicity in the right region of local simplex, i.e. it depends on Al_2O_3 concentration. In the temperature range the viscosity of the slag is changed within the limits of 1,5 – 6,1 P.

Keywords: viscosity; experimental design; local simplex; synthetic slag; basicity; oxide boron-containing system.

E-MAIL: babenko@gmail.com

Эффективность реализации термодинамической возможности глубокой десульфурации стали под высокоосновными шлаками определяется не только высокой химической активностью компонентов оксидной системы, но и обеспечением благоприятных кинетических условий перехода серы из металла в объем шлака. Кинетика процесса во многом зависит от вязкости рафинировочных шлаков, так как скорость диффузии компонентов шлака в первом приближении обратно пропорциональна его вязкости [1, 2].

В настоящей работе исследована оксидная система $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$, являющаяся базовой при формировании на установке комплексной внепечной обработки ковша – печи рафинировочных шлаков, с присадкой около 4 % B_2O_3 , которая часто используется в качестве разжижающей добавки взамен плавикового шпата [3, 4].

Исследование влияния химического состава шлака на его вязкость проводили с использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента

[5]. При построении матрицы эксперимента для системы $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{B}_2\text{O}_3$ на переменные составляющие системы были наложены ограничения: $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 5 \div 8$; 15 – 30 % Al_2O_3 ; 8 % MgO ; 4 % B_2O_3 .

Область варьирования составом шлака в пятикомпонентной системе $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - 8\% \text{MgO} - 4\% \text{B}_2\text{O}_3$ в виде симплекса представлена двумя концентрационными треугольниками $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, вершинами которого являются псевдокомпоненты Y_1 , Y_2 , Y_3 и Y_4 (рис. 1).

Исходя из сохранения нормировки сумма $Y_i = 1$ или 100 %; в пересчете на массовые проценты рассчитали химический состав шлаков в вершинах симплекса. Процентное содержание компонентов в вершинах симплекса $Y_1 - Y_4$ приведено ниже:

Индекс шлака	Содержание, %, компонентов				
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	B ₂ O ₃
Y_1	60,9	12,1	15	8	4
Y_2	64,9	8,1	15	8	4
Y_3	51,6	6,4	30	8	4
Y_4	48,4	9,6	30	8	4

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 13-08-12167 и № 13-08-00146.

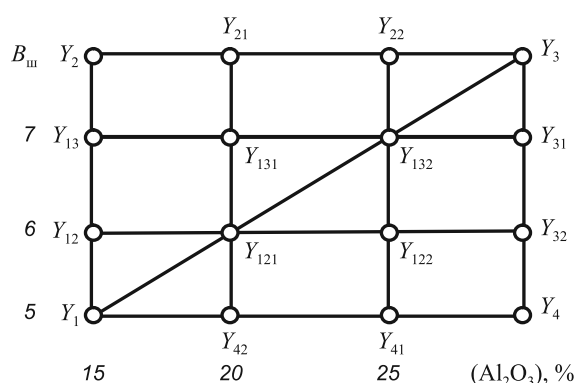


Рис. 1. Область варьирования составом шлака локального симплекса

Синтетические шлаки, соответствующие по составу вершинам $Y_1 - Y_4$ изучаемого симплекса, выплавляли в графитовых тиглях из предварительно прокаленных в

течение двух – трех часов при температуре 900 °С (B_2O_3 при температуре 150 °С) оксидов марки ч.д.а. Компоненты шлака перед загрузкой в тигель тщательно измельчали и перемешивали. После расплавления шлак перемешивали в течение 0,5 ч с целью гомогенизации расплава.

Экспериментальные составы шлаков, соответствующие остальным точкам плана локального симплекса ($Y_{12} \dots Y_{132}$), получали встречной шихтовкой шлаков вершин симплексов.

Вязкость шлаков измеряли в графитовых тиглях с помощью электровибрационного вискозиметра в токе аргона при непрерывном охлаждении расплава от гомогенно-жидкого до твердого состояния. Температуру T шлака фиксировали с помощью термопары ПР 30/6, горячий спай которой подводили ко дну тигля через специальное углубление.

Результаты эксперимента приведены в таблице и на рис. 2, 3. Вязкость шлаков, содержащих 4 % B_2O_3

Химический состав и вязкость опытных образцов шлака изучаемого симплекса

Смесь	Индекс шлака	Содержание, %, компонента в шлаке					Вязкость, П, при T , °С		
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	B ₂ O ₃	1470	1500	1530
1	Y_1	60,9	12,1	15,0	8,0	4,0	1,6	1,50	Н.д.
2	Y_2	64,9	8,1	15,0	8,0	4,0	26,4	16,90	12,10
3	Y_3	51,6	6,4	30,0	8,0	4,0	6,9	6,60	6,10
4	Y_4	48,4	9,6	30,0	8,0	4,0	1,7	1,53	1,51
5	Y_{12}	62,6	10,4	15,0	8,0	4,0	9,5	8,90	8,70
6	Y_{13}	63,9	9,1	15,0	8,0	4,0	17,9	15,60	13,30
7	Y_{21}	60,5	7,5	20,0	8,0	4,0	20,0	16,40	12,10
8	Y_{22}	56,0	7,0	25,0	8,0	4,0	Н.д.	Н.д.	Н.д.
9	Y_{31}	50,8	7,2	30,0	8,0	4,0	2,6	2,30	2,20
10	Y_{32}	49,7	8,3	20,0	8,0	4,0	2,4	2,30	2,20
11	Y_{41}	52,5	10,5	25,0	8,0	4,0	Н.д.	Н.д.	Н.д.
12	Y_{42}	56,7	11,3	20,0	8,0	4,0	Н.д.	Н.д.	Н.д.
13	Y_{121}	58,2	9,8	20,0	8,0	4,0	6,9	6,60	6,10
14	Y_{122}	53,9	9,1	25,0	8,0	4,0	3,4	3,00	2,80
15	Y_{131}	59,5	8,5	20,0	8,0	4,0	17,3	12,60	12,00
16	Y_{132}	55,1	7,9	25,0	8,0	4,0	12,1	9,70	9,00

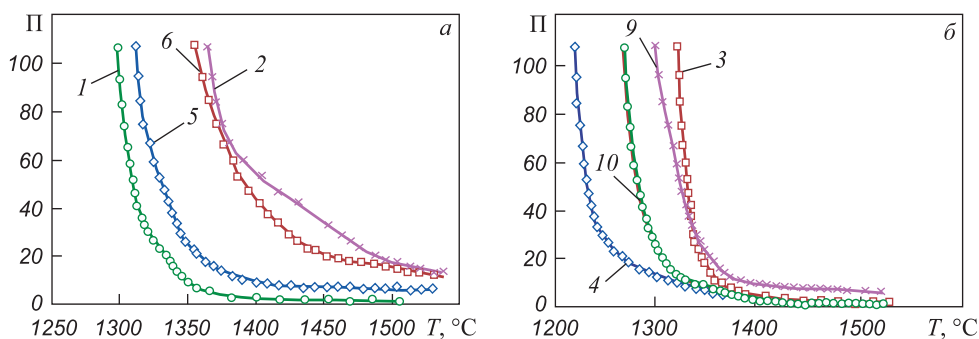


Рис. 2. Вязкость шлака при содержании в нем 15 % Al_2O_3 (а) и 30 % Al_2O_3 (б) при основности 5 (1, 4), 8 (2, 3), 6 (5, 10), 7 (6, 9)

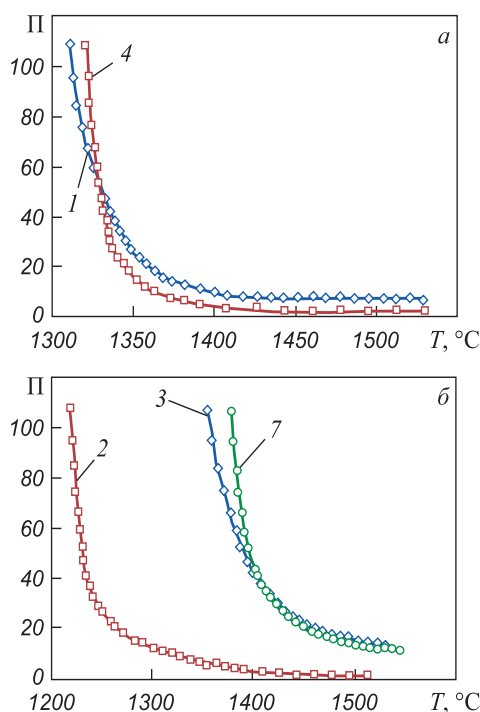


Рис. 3. Изменение вязкости шлака при основности 5 (а) и 8 (б) при содержании 15 % Al_2O_3 (1, 2), 30 % Al_2O_3 (3, 4), 20 % Al_2O_3 (7)

и 8 % MgO , существенно зависит от основности шлака и концентрации Al_2O_3 . Например, шлаки 5 и 13 основностью 6,0, содержащие 15–20 % Al_2O_3 , шлаки 6, 15 и 16 основностью 7,0, содержащие 15–25 % Al_2O_3 , и шлаки 2 и 7 основностью 8,0, содержащие 15–20 % Al_2O_3 , практически не пригодны для внепечной обработки. Эти шлаки в диапазоне температур 1500–1530 °C характеризуются достаточно высокой (9,4–26,4 П) вязкостью.

Удовлетворительную вязкость имеют шлаки, находящиеся в правой области составов локального симплекса (рис. 1). Вязкость таких шлаков в зависимости от

основности и концентрации Al_2O_3 изменяется в диапазоне температур 1500–1530 °C в пределах 1,5–6,1 П (шлаки 1, 3, 4, 9, 10, 13 и 14).

Высокоосновные борсодержащие шлаки рассмотренного состава с низкой вязкостью обладают высокой жидкоподвижностью, характеризуются, как правило, высокой десульфурующей способностью [3].

Выводы. С использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента исследовали вязкость шлаков системы $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-8\% \text{MgO}-4\% \text{B}_2\text{O}_3$ в широком диапазоне химического состава. Шлаки основностью 6–8, содержащие 15–25 % Al_2O_3 , 8 % MgO и 4 % B_2O_3 , характеризуются высокой вязкостью, изменяющейся в диапазоне температур 1500–1530 °C в пределах 9,4–26,4 П. Смещение шлаков основностью 5–8 в правую область локального симплекса обеспечивает, в зависимости от концентрации Al_2O_3 , достаточно высокую (1,5–6,1 П) жидкоподвижность в диапазоне температур 1500–1530 °C.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. Теория металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1986. – 463 с.
2. Соколов Г.А. Внепечное рафинирование стали. – М.: Металлургия, 1977. – 208 с.
3. Hongming W., Tingwang Z., Hua Z. et al. Effect of B_2O_3 on Melting Temperature, Viscosity and Desulfurization Capacity of CaO -based Refining Flux // ISIJ International. 2011. Vol. 51. № 5. P. 702–708.
4. Акбердин А.А., Киреева Г.М., Медведовская И.А. // Изв. АН СССР. Металлы. 1986. № 3. С. 55, 56.
5. Планирование эксперимента при исследовании физико-химических свойств металлургических шлаков. Методическое пособие / В.А. Ким, Э.И. Николай, А.А. Акбердин и др. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 116 с.

© 2014 г. А.А. Бабенко, С.А. Истомин,
Е.В. Протопопов, А.В. Сычев, В.В. Рябов
Поступила 27 ноября 2013 г.