

УДК: 669.162.275.4:681.3:549.003.12

Д.А.Степаненко, Д.Н. Тогобицкая,
А.Ф. Хамхотъко, Т.А. Калашникова

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ И ЕГО СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. На основе экспериментальных данных базы данных «Шлак» произведена оценка связи минералогического состава доменных шлаков с их свойствами. Разработана компьютерная система расчета нормативного минералогического состава доменных шлаков. Для реальных условий доменной плавки произведен анализ нормативного минералогического состава натуральных доменных шлаков и установлена связь качества чугуна и технологических свойств шлака с содержанием в нем наиболее тугоплавкого минерала – ларнита. Установлено оптимальное содержание ларнита, обеспечивающее постоянство оптимальных значений свойств шлака и качество чугуна.

Ключевые слова. База данных «Шлак», нормативный минералогический состав, свойства шлака, шлаковый режим.

Современное состояние вопроса

В настоящее время шлак является наименее изученным и менее прогнозируемым объектом процесса доменной плавки, что объясняется сложностью физико-химического процесса взаимодействия компонентов шлакового расплава. Экспериментальные определения физико-химического взаимодействия компонентов шлаковых расплавов существенно затруднены, а теоретические представления о его строении и поведении несовершенны.

Современные взгляды на структуру жидких шлаков в значительной степени основаны на принятой аналогии между строением кристаллических силикатов и их расплавов, подтвержденной рентгенографическими исследованиями [1, 2].

Проведенными исследованиями [3, 4], показано, что технологические свойства шлаковых расплавов в значительной степени определяются структурой и размером ионов. В то же время о

сложности алюмосиликатов, входящих в шлаковые системы, можно судить, исходя из их минералогического состава [5, 1, 2]. Следовательно, изучение минералогического состава твердых доменных шлаков может в значительной мере способствовать уяснению поведения шлаков в жидком состоянии, а также позволит расширить область дальнейшего их внедоменного использования.

Цель исследования

Оценка связи минералогического состава доменных шлаков с их вязкостью, температурой ликвидус и качеством выплавляемого чугуна и разработка информационно-аналитической системы расчета минералогического состава натуральных доменных шлаков.

Основная часть

Информационной основой при оценке минералогического состава доменных шлаков и их связи с технологическими свойствами шлака в данной работе служит, созданная в Институте черной металлургии НАН Украины, база экспериментальных данных «Шлак» [6, 7]. Помимо экспериментальной информации о свойствах металлургических шлаков и многокомпонентных оксидных систем, база «Шлак» содержит данные о минералогическом составе различных оксидных систем и о физико-химических свойствах оксидных соединений (минералов).

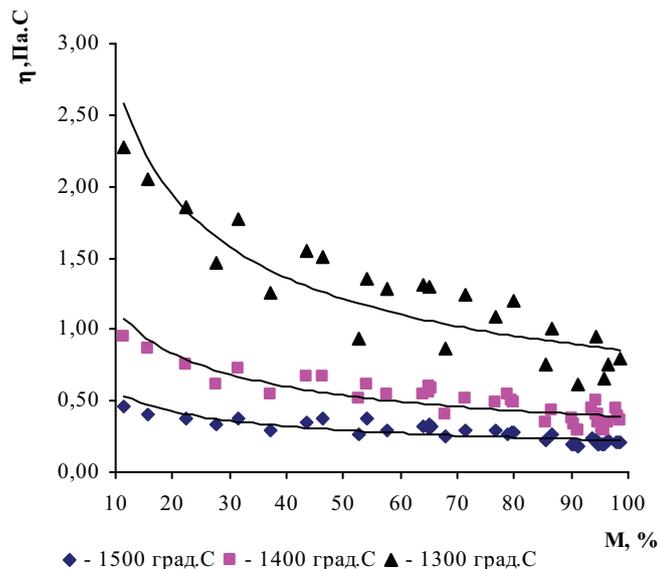


Рисунок 1 – Связь вязкости (η) доменных шлаков с их минералогическим составом

Так на основе экспериментальных данных о реальных доменных шлаках, представленных в работах Жило Н.Л. и Большаковой Л.И. [8, 9] произведена оценка связи минералогического состава шлаков с их вязкостью. В качестве основного фактора, уменьшающего вязкость шлака, принят параметр M , характеризующий суммарное, процентное содержание минералов простой структуры (геленит, окерманит, мервинит, монтичеллит), образующих в расплавах единичные $[\text{SiO}_4]$ и сдвоенные $[\text{Si}_2\text{O}_7]$, $[(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_7]$ тетраэдры, которые и обеспечивают высокую текучесть расплавов.

Для оценки связи температуры ликвидус ($T_{\text{л}}$) с минералогическим составом, представленным в качестве первичных кристаллических фаз, по экспериментальным данным [10] в системе $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ был сформирован массив из составов близких к доменным шлакам в диапазоне температур $T_{\text{л}}=1225\text{-}1610^\circ\text{C}$ и стехиометрией $\rho=0,579\text{-}0,901$ (ρ - показатель стехиометрии системы, равный отношению чисел катионов к числу анионов [11]), охватывающий все возможные шлаки от «кислых» до «основных» (рис. 2).

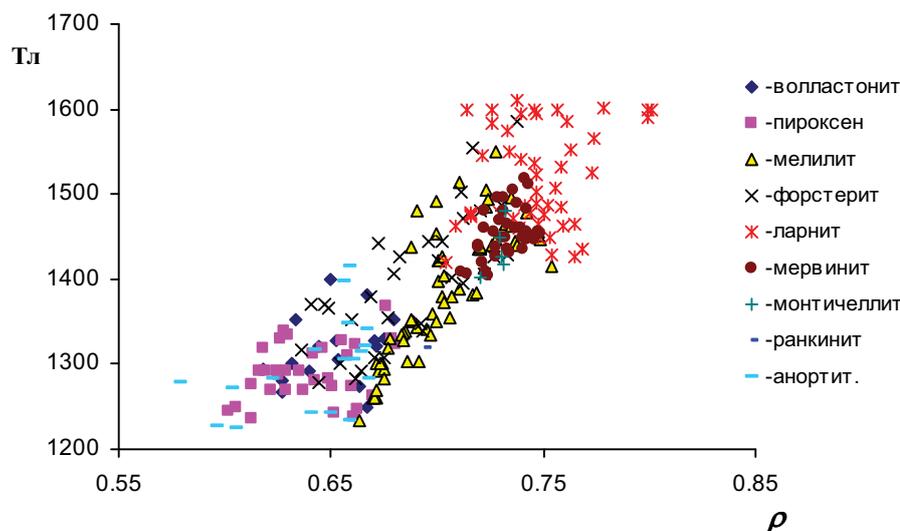


Рисунок 2 – Влияние химического состава (ρ) синтетических доменных шлаков системы $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ на их температуру ликвидус с учетом их минералогического состава

Из рисунка 2 видно, что с увеличением соотношения катионов и анионов (ρ) шлаковых расплавов их температура начала кристаллизации ($T_{\text{л}}$) возрастает, что обусловлено, по всей видимости, образованием различных по составу, структуре и свойствам гетерогенных фаз в расплаве, о чем можно судить исходя из первичных минералогических фаз.

Васильевым В.Е. и Воскобойниковым В.Г. с соавторами в работах [1, 2] рекомендованы графический и аналитический методы определения нормативного минералогического состава трех- и четырехкомпонентных доменных шлаков системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$. С использованием этих рекомендаций, в частности, авторами [12, 13] предложен алгоритм аналитического балансового метода расчета минералогического состава доменных шлаков, в системе $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Адекватность этого метода подтверждена графическим путем по правилу рычага, в отличие от метода CIPW [14], который известен для петрохимических расчетов горных пород, но не пригоден для шлаков, как показано в [13].

На основе предложенных методов расчета нормативного минералогического состава шлаков [1, 2, 12, 13] разработана компьютерная система «MINERAL» (рис. 3), позволяющая в оперативном режиме по данным химического состава шлака произвести расчет нормативного минералогического состава доменных шлаков.

Минералогический состав шлака

Новые шлаки Сохранить Печать Выход

Число шлаков: 3

Ввод

Состав, Tn (град С)	Шл.1,Мас.%	Шл.2,Мас.%	Шл.3,Мас.%
SiO ₂	38.1	38.9	42.1
CaO	48.1	45.7	46.1
Al ₂ O ₃	7.7	7.1	7.2
MgO	6.3	8.3	6.6
FeO	0.31	0.45	0.45
MnO	0.41	0.87	0.47
S	1	2	1
Ольдгамит, CaS, 2400	1.83	3.24	1.73
Троилит, FeS, 1190	0.10	0.27	0.14
Альбандин, MnS, 1610	0.13	0.53	0.15
Альбандин, MgS, 2500	0.16	0.38	0.16
Фаялит, 2FeOSiO ₂ , 1208	0.32	0.31	0.45
Тефроит, 2MnOSiO ₂ , 1345	0.42	0.59	0.47
Волластонит, CaOSiO ₂ , 1544	14.00	13.57	30.72
Ларнит, CaOSiO ₂ , 2130	21.44	9.51	5.13
Геленит, 2CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂ , 1590	20.39	18.64	18.70
Оккерманит, 2CaOMgO ₂ SiO ₂ , 1454	41.22	52.95	42.34
Мелилит, 1403	61.61	71.59	61.04

Расчет

Рисунок 3 – Видеокادر работы компьютерной программы «MINERAL»

С помощью программы «MINERAL» был выполнен расчет нормативного¹ минералогического состава доменных шлаков ДП №9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и проанализирован шлаковый режим доменной печи в изменяющихся шихтовых условиях за январь – февраль 2005 г. [15]. Из результатов анализа следует, что

¹ Минералогический состав шлака, который образуется в равновесных условиях процесса кристаллизации.

основным минералом, по содержанию которого в шлаке можно судить о кристаллизационной способности шлакового расплава является наиболее тугоплавкий минерал – ларнит ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), температура плавления которого $T_{\text{п}}=2130^\circ\text{C}$.

Для обеспечения постоянства оптимальных значений вязкости шлакового расплава (0,3-0,31 Па·с), энтальпии (1839-1844 кДж/кг) и температуры ликвидус (1415-1418°C) содержание ларнита в минералогическом составе доменных шлаков должно находиться в пределах 14-16%, что обеспечивает энергетически оптимальный режим доменной плавки и выплавку кондиционного по сере и кремнию ($[\text{S}]=0,023-0,025\%$; $[\text{Si}]=0,77-0,84\%$) чугуна (рис. 4).

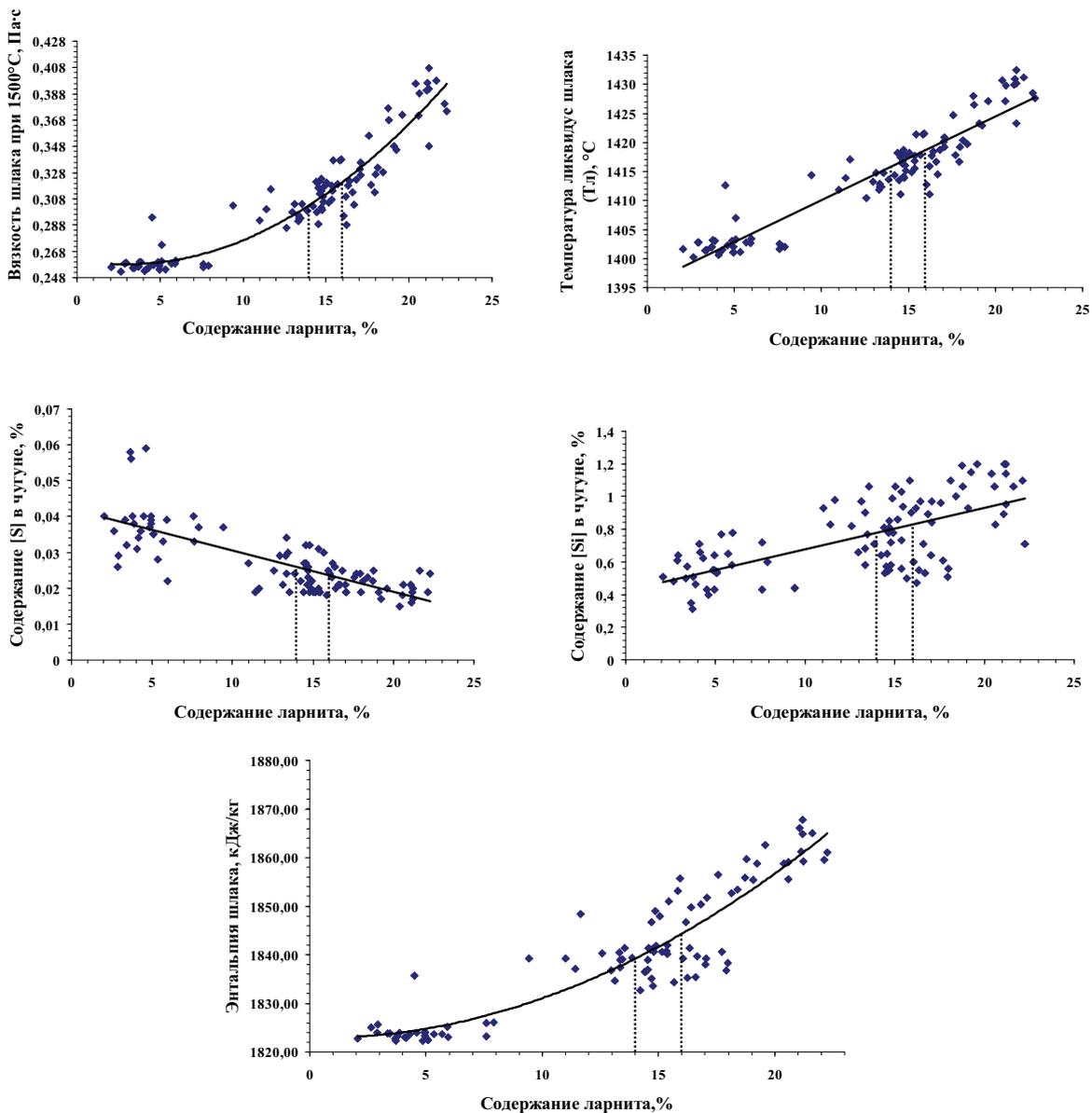


Рисунок 4 – Связь технологических свойств шлака и качества чугуна с содержанием ларнита в конечном доменном шлаке

Выводы

1. На основе экспериментальных данных базы данных «Шлак» показана связь минералогического состава синтетических и натуральных доменных шлаков с их вязкостью и температурой ликвидус, что дает основание утверждать об использовании минералогического состава как критерия оценки технологических свойств шлаковых расплавов.

2. Разработана компьютерная система «MINERAL», позволяющая в оперативном режиме произвести расчет нормативного минералогического состава натуральных доменных шлаков.

3. На основе анализа нормативного минералогического состава натуральных доменных шлаков установлена связь содержания ларнита, как наиболее тугоплавкого минерала доменных шлаков с основными технологическими свойствами шлака и качеством чугуна.

4. Установлено оптимальное содержание ларнита в минералогическом составе доменных шлаков равное 14-15%, которое обеспечивает постоянство оптимальных значений вязкости шлакового расплава (0,3-0,31 Па·с), энтальпии (1839-1844 кДж/кг), температуры ликвидус (1415-1418°C) и выплавку кондиционного по сере и кремнию ($[S]=0,023-0,025\%$; $[Si]=0,77-0,84\%$) чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства жидких доменных шлаков / [Воскобойников В.Г., Дунаев Н.Е., Михалевич А.Г. и др.]. – М.: Металлургия. – 1975. – 184 с.
2. Васильев В.Е. Доменная плавка на устойчивых шлаках / Васильев В.Е. – К.: Государственное издательство технической литературы УССР. – 1956. – 260 с.
3. Есин О.А. Электролитическая природа жидких шлаков / Есин О.А. – Свердловск. – 1946. – 41 с.
4. Есин О.А. Расплавленные силикаты как микрогетерогенные электролиты // Изв. АН СССР, ОТН. – 1948. – №6. – С.561-567.
5. Лапин В.В. Петрография металлургических и топливных шлаков / Лапин В.В. – М.: Академия наук СССР. – 1956. – Вып. 2. – 354 с.
6. Приходько Э.В. Базы физико-химических и технологических данных для создания информационных технологий в металлургии / Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – №3. – С. 17-21.
7. Д.М. Тогобицька, Д.О. Степаненко, А.Ф. Хамхотько, Ліхачов Ю.М. Інформаційно-аналітична система для дослідження кристалізаційної здатності металургійних шлаків // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць // Випуск 2 (67). - Дніпропетровськ 2010. – с. 74-80.

8. Жило Н.Л., Большакова Л.И. Влияние минералогического состава доменных шлаков на их физические свойства // Изв. АН СССР. Metallургия и гонное дело. -1964. -№4. -С.40-46.
9. Жило Н.Л., Большакова Л.И. Связь структуры закристаллизованных доменных шлаков с физическими свойствами их расплавов // Изв. АН СССР. Металлы. -1966. -№3. -С.67-72.
10. Osborn E.F., Devries R.C., Gee K.H. and Kraner H.M. -J.Metals. -1954. - V.6. -№1. -P.33-45.
11. Приходько Э.В. Металлохимия многокомпонентных систем. - М.: Metallургия. -1995. -320 с.
12. Чижикова В.М. Кристаллизация двухкальциевого силиката в доменных шлаках системы CaO-SiO₂-Al₂O₃ / В.М. Чижикова, Д.В. Лопатин //Изв. ВУЗов. Черная металлургия. -2006. -№9. -С. 12-15.
13. Чижикова В.М. Варианты кристаллизации доменных шлаков в системе CaO-SiO₂-Al₂O₃ / В.М. Чижикова, Д.В. Лопатин //Изв. ВУЗов. Черная металлургия. -2006. -№11. -С. 17-20.
14. Соболев К.Н. Применение ЭВМ при петрохимических пересчетах. Справочник / [К.Н. Соболев, П.Я. Грозман, С.Б. Коган и др.] -М.: Недра. - 1992. -224 с.
15. Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Д.А. Степаненко, П.И. Оторвин, С.В. Нынь, В.Н. Слипченко. Влияние микро- и макрогетерогенности на свойства доменных шлаков. // Metallургическая и горнорудная промышленность, №5, 2009. - с. 12-15.