

УДК 669.046.58: 669.184

**С.И. Семькин, В.Ф. Поляков, Е.В. Семькина, Э.В. Приходько,
Т.С. Семькина**

ВЛИЯНИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ШЛАКОВОГО И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВОВ

На основе физико–химической модели структуры металлических и шлаковых расплавов выполнен анализ влияния низковольтных электрических потенциалов на прогнозируемые свойства конвертерных шлаков. Показано, что электрические воздействия заметно изменяют уровень проводимости шлака, его вязкость, серопоглолительную способность и температуры кристаллизации и плавления.

В Институте черной металлургии продолжают исследования по разработке эффективных способов применения низковольтной электрической энергии при выплавке металла. Для выяснения природы и механизмов влияния низковольтной электрической энергии на ход и характер протекания окислительных реакций в конвертерной ванне изучено влияние различных вариантов подведения к ванне низковольтных потенциалов на зарядовое состояние компонентов шлакового и металлического расплавов и прогнозируемые физические свойства шлака при переработке чугунов в широком диапазоне содержания кремния. Исследования проводились по результатам плавов, проведенных с использованием постоянного тока с подведением к ванне потенциала положительной и отрицательной полярности, а также с ее чередованием в процессе продувки плавки. В качестве сравнительных были использованы плавки, проведенные в идентичный временной период. В связи с тем, что на конечные результаты плавки значительное влияние оказывают промежуточное скачивание шлака, вес и соотношение компонентов металлошихты для анализа были использованы плавки при выпуске одних марок стали, проведенные без операции по удалению шлака, а также с соблюдением принципа подобия начальных параметров. Сравнительные и опытные плавки (порядка пяти тысяч штук) до выполнения расчетов были дифференцированы по содержанию кремния и разделены на шесть диапазонов: 1–0,4–0,6%; 2–0,6–0,7%; 3–0,7–0,8%; 4–0,8–0,9%; 5–0,9–1,0%; 6–1,0–1,2%.

Физико–химическая природа формирования шлакового и металлического расплавов и их взаимодействие друг с другом предопределили возможность и целесообразность использования программного комплекса «Металл», разработанного сотрудниками ОФХП ИЧМ под руководством д.т.н. Д.Н.Тогобицкой на основе статистического анализа обширной базы данных известных химических соединений, составов металла и свойств

шлаковых расплавов ряда металлургических предприятий для прогнозирования физических и физико–химических свойств исследуемых расплавов, исходя из их химического состава.

С помощью методики физико–химического моделирования структуры многокомпонентных систем [1–3] по химическому составу: чугуна, стали и шлакового расплава рассчитаны их интегральные показатели (для чугуна и стали структурный параметр – D , электрохимический эквивалент – $tg(A)$, эффективные заряды компонентов Z_i и всей системы в целом Z^Y ; для шлакового расплава: структурный параметр – D , химический эквивалент состава – De , электрохимический эквивалент – $tg(A)$ и показатель стехиометрии $-R_0$), характеризующие электронную структуру металлургического расплава как химически единой системы и зарядовое состояние катионной и анионной подрешетки: $Z(K-A)$ и $Z(A-K)$.

Кроме этого по статистическим регрессионным зависимостям определены прогнозируемые физические свойства шлака: плотность, вязкость, поверхностное натяжение, его серо–поглощительная способность, температуры плавления и кристаллизации.

С точки зрения формального математического подхода к исследованию влияния состава на свойства веществ рассматриваемые параметры являются унифицированными параметрами «свертки» (кодировки) информации о составе многокомпонентных систем, что существенно повышает эффективность использования современных математических методов обработки информации.

Результаты расчетов по изученным вариантам в целом по группам опытных и сравнительных плавов сведены в табл.1–2. Как видно из табл.1 интегральные показатели чугуна D , $tg(A)$ и Z^Y , а также средние заряды компонентов чугуна на опытных и сравнительных плавках имеют близкие значения, подтверждая схожесть начальных условий проведенных плавов. В то же время интегральные показатели выплавляемой стали и средние заряды элементов, входящих в ее состав, несколько различаются по изученным вариантам подведения электрического потенциала.

Если показатель $tg(A)$ стали, характеризующий химическую индивидуальность рассматриваемого сочетания элементов, одинаков для всех вариантов, то структурный показатель D имел меньший уровень значений при отрицательной и чередующейся полярностях подводимого потенциала, а зарядовый показатель Z^Y для всей системы увеличивался при подведении потенциала, наиболее заметно при положительной полярности. Вероятно, это поясняется тем, что металлический расплав обладает электронной проводимостью, поэтому при использовании положительной полярности потенциала электронная плотность системы изменяется путем уменьшения в ней числа носителей электричества.

Таблица 1. Интегральные показатели металла и средние заряды его компонентов

№пп	Показатели	Плавки без воздействий	Плавки с электрическими воздействиями при полярности:		
			отрицательной	положительной	чередованием
1	Интегральные показатели чугуна:				
	D	2,36	2,36	2,34	2,35
	$tg(A)$	0,093	0,093	0,093	0,093
	Z^Y	1,40	1,40	1,40	1,40
2	Средние заряды компонентов чугуна				
	C	-2,77	-2,77	-2,75	-2,77
	Si	-1,12	-1,12	-1,10	-1,11
	Mn	0,29	0,29	0,32	0,29
	S	0,14	0,14	0,17	0,15
	P	-0,47	-0,47	-0,45	-0,47
	Fe	0,26	0,26	0,28	0,26
3	Интегральные показатели стали:				
	D	2,80	2,79	2,80	2,78
	$tg(A)$	0,088	0,088	0,088	0,88
	Z^Y	1,15	1,16	1,22	1,16
4	Средние заряды компонентов стали				
	C	-3,44	-3,42	-3,45	-3,41
	Mn	-0,52	-0,50	-0,53	-0,48
	S	-0,57	-0,56	-1,00	-0,54
	P	-1,21	-1,20	-1,23	-1,18
	Fe	-0,52	-0,50	-0,53	-0,48

Таблица 2. Интегральные показатели, зарядовое состояние и прогнозируемые свойства шлака

№пп	Показатели	Плавки без воздействий	Плавки с электрическими воздействиями при полярности потенциала:		
			отрицательной	положительной	чередованием
1	Интегральные показатели шлака:				
	D	3,08	3,09	3,12	3,03
	De	-2,6	-2,7	-2,8	-2,5
	$tg(A)$	0,133	0,132	0,133	0,134
	Ro	0,82	0,83	0,81	0,82
2	Зарядовое состояние шлака:				
	Z(K-A)	-0,29	-0,30	-0,41	-0,20
	Z(K-K)	-1,48	-1,49	-1,61	-1,39
	Z(A-K)	-2,36	-2,37	-2,40	-2,32
	Z(A-A)	-3,49	-3,50	-3,53	-3,44
3	Прогнозируемые параметры шлака:				
	вязкость при $T=1500^{\circ}\text{C}$, Па·с	0,067	0,064	0,074	0,068

	вязкость при T=1400 ⁰ С, Па·с	0,085	0,082	0,095	0,087
	вязкость при T=1300 ⁰ С, Па·с	0,123	0,118	0,138	0,126
	серо-поглощительная способность	896	1091	586	802
	электропроводность, 1/ом·см	12,5	14,2	9,9	11,8
	поверхностное натя- жение, мН/м	366	365	361	371
	T плавления, ⁰ С	1282	1281	1271	1292
	Г кристаллизации, ⁰ С	1377	1375	1365	1390
	плотность, т/м ³	3,90	3,92	3,85	3,87

Для шлакового расплава характерно изменение стехиометрического показателя R_0 , отражающего соотношение основных и кислотных окислов, в сторону увеличения числа основных окислов при подведении отрицательной полярности, и в сторону увеличения кислотных окислов – при положительной, а при чередовании полярности – сохраняется на уровне обычных плавов, что объясняется нивелированием выше указанных воздействий при кратном чередовании за период плавки.

Интегральные показатели шлакового расплава – D , De , а также зарядовое состояние его катионной и анионной подрешеток $Z(K-A)$ и $Z(A-K)$ заметно увеличиваются при подведении положительной полярности потенциала. Это может быть объяснено тем, что при подведении электрического потенциала шлаковая система, стремясь к устойчивому положению, реагирует таким образом, чтобы скомпенсировать силовое электрическое поле либо за счет структурного изменения самого расплава, либо за счет изменения числа анионов и катионов. Полученные результаты показывают, что в расплавах конвертерных шлаков преобладают отрицательно заряженные ионы, и с подведением положительной полярности в силу выше изложенного происходит укрупнение комплексов с уменьшением числа носителей зарядов.

Расчет прогнозируемых физических параметров конвертерных шлаков для опытных и сравнительных плавов показал, что использование электрических воздействий оказывает заметное влияние на их электропроводность, плотность и серо-поглощительную способность (увеличивая их значения при отрицательной полярности и снижая уровень значений – при положительной в сравнении с обычными плавками). Прогнозируемая вязкость шлакового расплава, определенная при различных температурах расплава, имеет тенденцию к увеличению своих значений против сравнительных плавов в случае использования положительной полярности и к

незначительному снижению – при отрицательной. Менее всего электрические воздействия проявили свое влияние на уровень прогнозируемых значений поверхностного натяжения шлакового расплава.

Для детального анализа опытные и сравнительные плавки были дифференцированы по содержанию наиболее влиятельного компонента в чугуне – кремния, изменение которого как на опытных, так и на сравнительных плавках было существенным. На рис.1–3 показаны изменения прогнозируемых параметров шлака в зависимости от содержания кремния в чугуне по изученным вариантам воздействий. Анализ результатов расчета показал, что увеличение содержания кремния в чугуне приводит к росту содержания диоксида кремния в шлаковом расплаве. В свою очередь возрастающая доля диоксида кремния в шлаке снижает его плотность (см. рис.1А), ухудшает его электропроводность (см. рис.1Б), при этом слабо влияя на температуры плавления и кристаллизации шлакового расплава (см. рис.2А, Б).

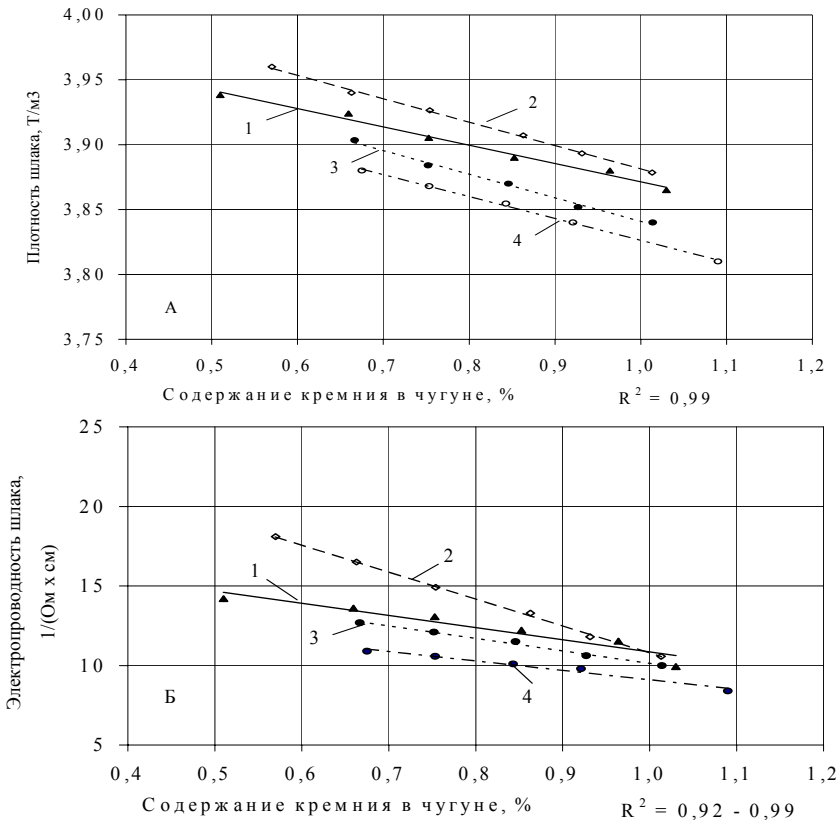


Рис.1 – Изменение значений прогнозируемых параметров шлака: плотности (А) и электропроводности (Б) при различном содержании кремния в чугуне: 1 – плавки без электрических воздействий, плавки с наложением потенциала полярности: 2 – отрицательной, 3 –чередующейся, 4 – положительной

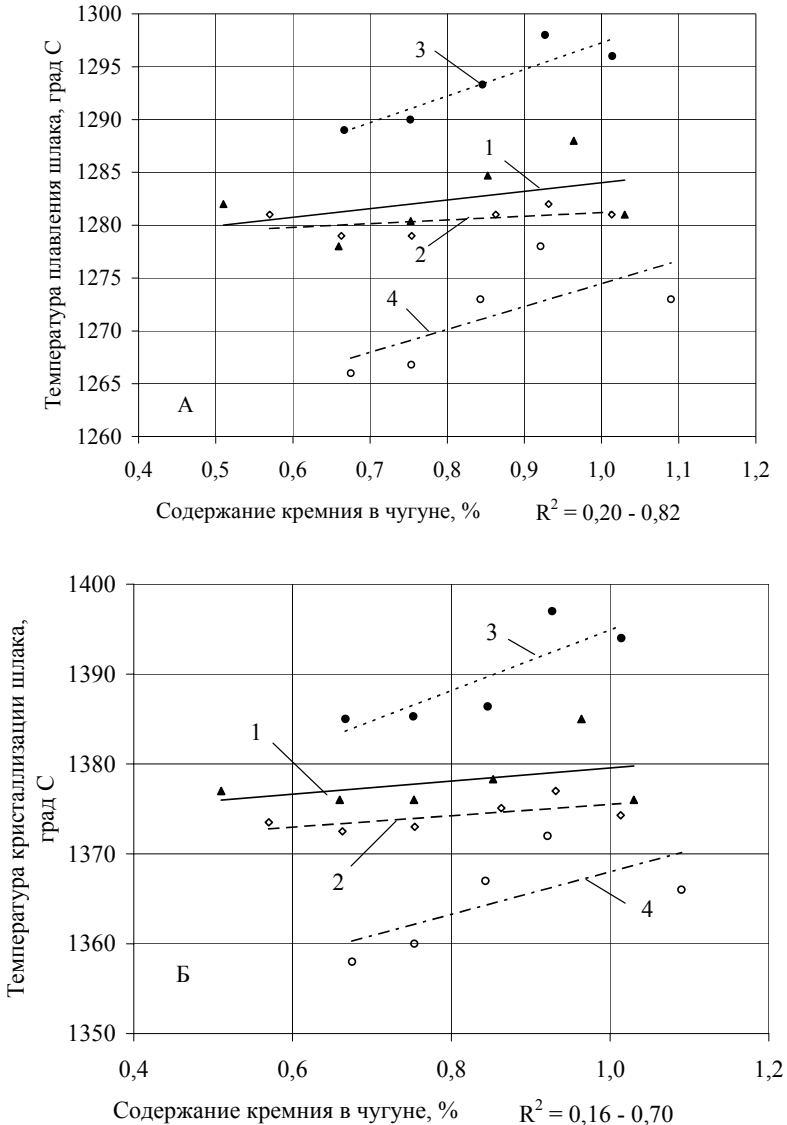


Рис. 2 – Изменение значений прогнозируемых параметров шлака: температуры плавления (А) и температуры кристаллизации (Б) при различном содержании кремния в чугуна: 1 – плавки без электрических воздействий, плавки с наложением потенциала полярности: 2 – отрицательной, 3 –чередующейся, 4 – положительной.

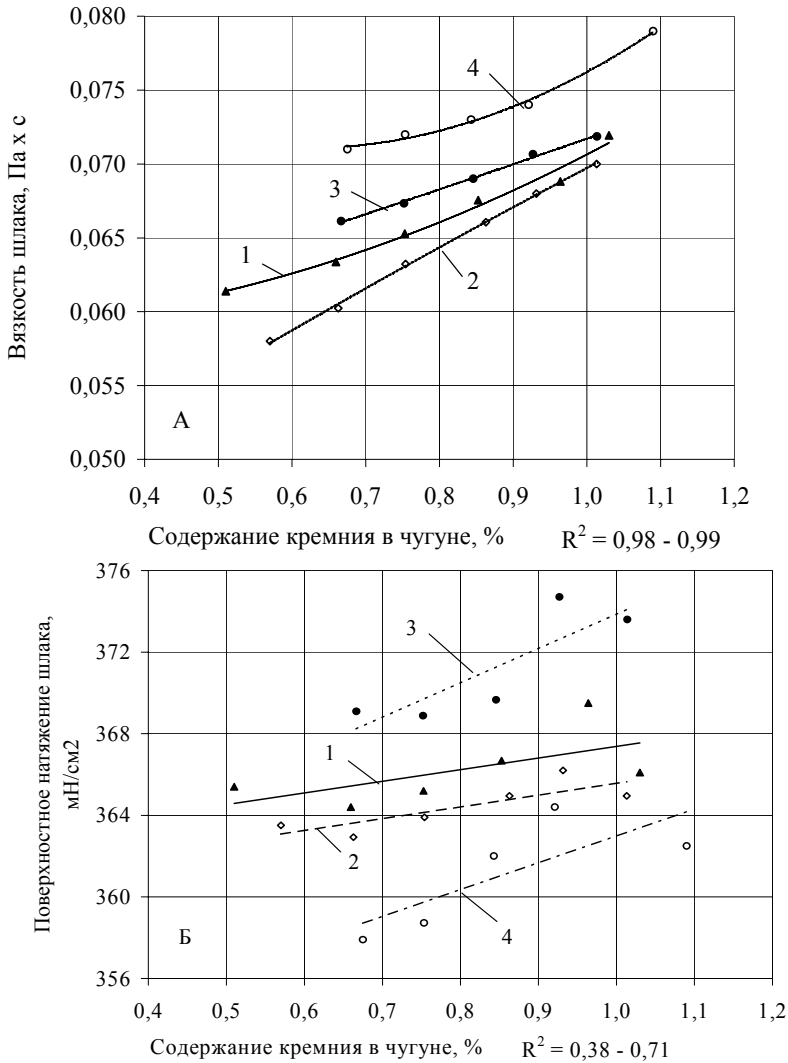


Рис. 3 – Изменение значений прогнозируемых параметров шлака: вязкости (А) и поверхностного натяжения (Б) при различном содержании кремния в чугуна: 1 – плавки без электрических воздействий, плавки с наложением потенциала полярности: 2 – отрицательной, 3 – чередующейся, 4 – положительной.

Наблюдаемое различие по вариантам исследований подчеркивает выше приведенный анализ табличных материалов по усредненным значе-

ниям. Следует отметить, что показатели температуры плавления и кристаллизации существенно зависят от варианта электрических воздействий. Наибольшее увеличение температур по сравнению с обычными плавками отмечено для варианта с чередующейся полярностью, а при положительной полярности – существенное снижение. Если для положительной полярности, вероятно, это связано с увеличением содержания диоксида кремния с низкой температурой плавления, то для плавков с чередующейся полярностью характер расположения расчетных точек, вероятно, поясняется возрастанием в шлаке количества окиси кальция, имеющей более высокую температуру плавления. На рис.3 показано изменение значений прогнозируемых вязкости (А) и поверхностного натяжения (Б). С увеличением содержания кремния в чугунах наблюдается повышение в большей мере вязкости и в значительно меньшей степени – поверхностного натяжения. Полученные результаты поясняются появлением в шлаке укрупненных комплексов на основе диоксида кремния, особенно при положительной полярности и их распадом при отрицательной (более жидкоподвижный шлак). В условиях обычной плавки поверхностное натяжение шлака слабо зависит от содержания кремния в чугунах, а при ведении плавки с электрическими воздействиями отмечено усиление этой зависимости в сторону его существенного снижения, что указывает на способность шлака к его поверхностному разрыхлению, особенно при положительной полярности. Чередование полярности приводит к существенному повышению поверхностного натяжения, что, вероятно, может приводить к усилению его однородности.

Выполненные расчеты интегральных характеристик металла и шлака, а также прогнозируемых физических свойств шлакового расплава по методике физико–химического моделирования многокомпонентных систем и анализ их результатов позволил выявить существенное различие в показателях: вязкости, поверхностного натяжения, электропроводности, серопоглотительной способности, температурах плавления и кристаллизации шлаков в случае использования электрических воздействий.

Изучено влияние различного знака потенциала, подводимого к металлургической системе, при использовании чугунов в широком диапазоне содержания кремния. Установленные различия, вероятно, поясняются влиянием электрического потенциала на условия формирования шлакового расплава, на соотношение концентраций составляющих шлаковый расплав компонентов, что в итоге приводит к различному взаимодействию его с металлическим расплавом и газовой фазой. Анализ поведения компонентов в шлаке и металле в комплексе с прогнозируемыми физическими свойствами шлакового расплава будет использован для выявления ме-

ханизмов влияния электрической энергии малой мощности на физико-химические процессы в сталеплавильной ванне.

1. *Приходько Э.В.* Физико-химическая модель структуры шлакового расплава // *Сталь*. – 1990. – №10. – С.14–22.
2. *Роль химического состава железорудных материалов и формирование их металлургических свойств / Э.В. Приходько, А.Ф. Хамхотько, Д.Н. Тогобицкая и др.* // М.: Институт «Черметинформация», 1987, вып.5. – с.1–25.
3. *Приходько Э.В.* Физико-химическая модель структуры металлических расплавов // *Изв. АН СССР, Металлы*, 1986, № 4. – с.20–26.

Статья рекомендована к печати д.т.н. Д.Н.Тогобицкой