

**Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, И. Л. Бродецкий,
Ф. С. Крейденко**

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКОВ ПРИ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

В рамках феноменологической теории строения металлургических фаз по модели гармонических структур вещества проведен анализ структурно-химического состояния алюмосиликатных шлаковых расплавов и механизма рафинирования при ковшевой обработке стали. Определены оптимальные составы ковшевых рафинировочных шлаков, отвечающие низкоглиноземистой эвтектике на базе алюмосиликата кальция $6\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$ с основностью $B^0 = 1,87$ и $T_{пл} \sim 1250^\circ\text{C}$, обладающие высокой адсорбционной емкостью по сере ($A_s \sim 4,0\%$). Предложены твердые шлакометаллические смеси для замены ТШС, обеспечивающие исключение применения экологически вредного CaF_2 при сокращении расхода CaO .

Ключевые слова: шлак, металлургические фазы, расплав, алюмосиликаты, структурный анализ, эвтектика, сталь, рафинирование.

В рамках феноменологічної теорії будови металургійних фаз по моделі гармонійних структур речовини проведено аналіз структурно-хімічного стану алюмосилікатних шлакових розплавів і механізму рафінування при ковшовій обробці сталі. Визначено оптимальний склад ковшових рафінувальних шлаків, що відповідає низькоглиноземистій евтектиці на базі алюмосилікату кальцію $6\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$ з основністю $B^0 = 1,87$ і $T_{пл} \sim 1250^\circ\text{C}$, які мають високу адсорбційну ємність по сірці $A_s \sim 4,0\%$. Запропоновано тверді шлакометалеві суміші для заміни ТШС, що забезпечують виключення застосування екологічно шкідливого CaF_2 при скороченні витрат CaO .

Ключові слова: шлак, металургійні фази, розплав, алюмосилікати, структурний аналіз, евтектика, сталь, рафінування.

By means of the phenomenological theory of a construction metallurgical phases on model of harmonious structures of substance the analysis of a structurally-chemical condition alumina-silicate slag melts and the mechanism of refining at ladle steel treatment is carried. Optimum compositions of the dipper refiner slags, answering low- aluminous eutectic on the basis of calcium aluminum silicate $6\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$ with basicity $B^0 = 1,87$ and melting temperature $\sim 1250^\circ\text{C}$, possessing high adsorptive capacity on sulphur ($A_s \sim 4,0\%$) are defined. The firm slag-metal mixes for replacement solid slag alloys, providing exclusion application of the ecologically harmful CaF_2 at the charge abbreviation of CaO are offered.

Keywords: slag, metallurgical phases, melt, aluminum silicates, structural analysis, eutectic, steel, refining

В концепции создания современных металлургических технологий актуальной задачей является исследование процессов шлакообразования и структурно-химического взаимодействия в гетерогенной системе металл-шлак-газ, для решения которой необходимо проведение классификации и структуризации ковшевых шлаков, что позволяет определять оптимальные составы шлаковых систем с высокой жидкотекучестью и адсорбционной емкостью, а также механизм рафинирования жидкого металла.

Цель настоящей работы – анализ структурно-химического состояния шлаковых расплавов и механизма рафинирования в рамках феноменологической теории строения металлургических фаз по модели гармонических структур вещества (теория МГС-фаз) для повышения эффективности ковшевой обработки стали.

Основные положения и методические разработки теории МГС-фаз [1,2] включают:

- определение длины и энергии химической связи элементов по квантово-механическим параметрам, рассчитанным согласно радиально-орбитальной модели электронного строения атомов (модель РОМ-атом) [3];

- построение новым графо-аналитическим методом (ПДС-метод) информационно емких полигональных диаграмм состояния (ПДС) двойных и тройных металлургических систем для жидких и твердых компонентов во всем интервале концентраций [4-5];

- структурно-химический анализ исходных компонентов и промежуточных фаз металлургических систем, определяющий их стехиометрический и химический состав, температуры образования и плавления, области гомогенности и структурное состояние твердых и жидких растворов (СХС-анализ) [6];

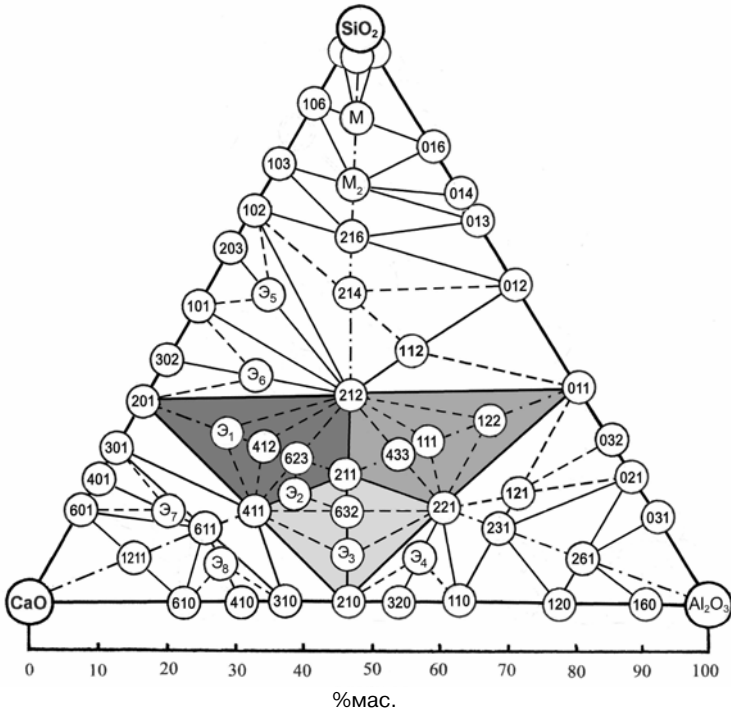
- анализ стохастических металлургических систем с помощью балансовых уравнений суммарных структурно-химических реакций, позволяющий рассчитать оптимальные расходные коэффициенты присадочных материалов, адсорбционную емкость шлака и степень рафинирования металла в процессах шлакообразования и рафинирования стали (СМС-анализ) [7].

Классификация и структуризация ковшевых шлаков

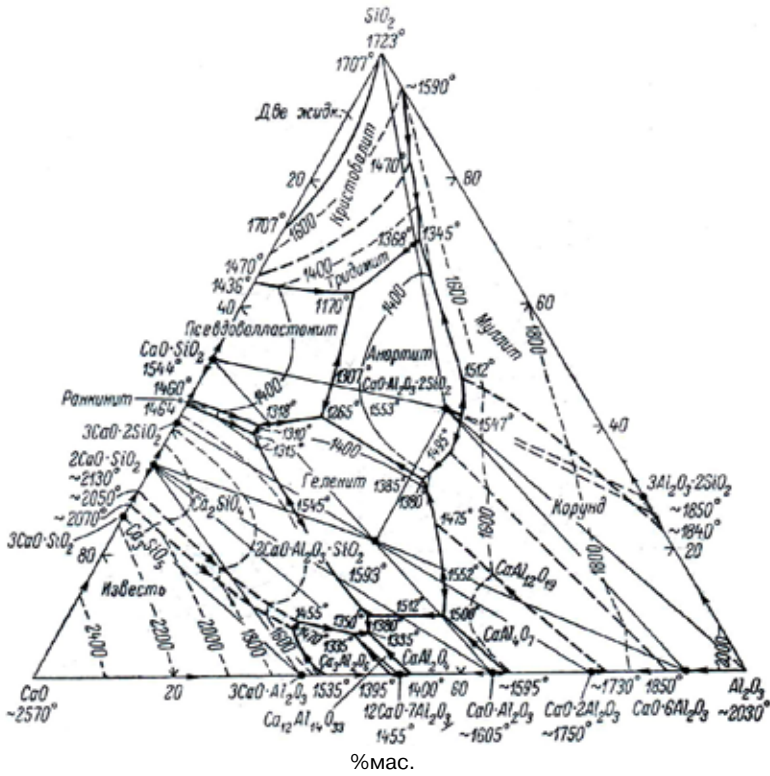
Системным классификатором для определения стехиометрического, химического и фазового составов ковшевых шлаков при производстве спокойных и полуспокойных сталей является полигональная диаграмма состояния $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, построенная ПДС-методом на базе бинарных систем $\text{SiO}_2\text{-CaO}$, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Разработка расчетных методик построения диаграмм состояния, как теоретической базы физико-химического анализа металлургических систем (металлических и шлаковых), является важной задачей современной теории металлургических процессов. Сложность ее решения состоит в отсутствии общей (феноменологической) теории диаграмм состояния, позволяющей прогнозировать процессы взаимодействия и структурообразования металлургических фаз в твердом и жидком состояниях по физико-химическим параметрам исходных компонентов при заданных температурах.

Суть предлагаемого нами ПДС-метода [4-6] в том, что структурно-химические реакции образования промежуточных фаз изображаются на плоскости чертежа прямыми линиями (квазибинарные системы) между фигуративными точками исходных компонентов или сингулярными точками промежуточных фаз. В точках пересечений прямых линий образуются узловые (УПФ), на плоскостях между ними – триангуляционные (ТПФ) промежуточные фазы. В качестве фигуративных выступают критические точки изоструктурных состояний исходных компонентов (мезоморфные системы). Двойные диаграммы состояния строят на плоскости прямоугольника в координатах температура - концентрация. На ординатах чистых компонентов обозначаются все известные критические точки структурных превращений в твердом и жидком состояниях. Концентрационное поле бинарной диаграммы между фигуративными точками исходных компонентов разделяется на три зоны – газообразная, жидкая, твердая.

Принципиальным отличием ПДС-метода от известных теоретических методов расчета диаграмм состояния [8] является определение условий образования первичной промежуточной фазы. Первичная промежуточная фаза (ППФ) образуется в твердом или жидком состоянии, плавится конгруэнтно, состоит из минимального числа частиц, максимально плотно упакованных. Для бинарных систем ППФ условно разделяет диаграмму на две квазибинарные системы с исходными компонентами, в которых образуются вторичные фазы на базе одного и другого исходного компонента. На рисунке, а показана полигональная диаграмма тройной системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$,



а



б

Система $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$: а – полигональная диаграмма состояний; б – классическая диаграмма

построенная новым графо-аналитическим методом во всем интервале концентраций [5]. Полигональная диаграмма системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ представлена в виде равнобедренного треугольника, в вершинах которого находятся исходные компоненты, на ребрах – промежуточные фазы бинарных систем $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, CaO-SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Трехзначные числа для условного обозначения промежуточных фаз, из которых первые цифры отвечают стехиометрическим коэффициентам для CaO , вторые – Al_2O_3 , третьи – SiO_2 . Область первичных промежуточных фаз в центральном треугольнике 201-210-011, образовавшемся на базе линейных систем первичных промежуточных фаз бинарных систем разделяет концентрационное поле на три зоны у вершин общего треугольника: 201- CaO -210, 210- Al_2O_3 -011, 011- SiO_2 -201. Всего в системе существует 30 промежуточных фаз, в том числе 8 эвтектик, в то время как на классической диаграмме [9] (рисунок, б) наблюдаются только две промежуточные фазы – геленит ($2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$) и анортит ($\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{2SiO}_2$), причем состав и температуры эвтектик не определены.

В таблице 1 представлена, полученная на основе анализа полигональной диаграммы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, классификация алюмосиликатов кальция, включающая: стехиометрический и химический составы, основность и модуль, условные обозначения, температуры образования и плавления промежуточных фаз во всех зонах концентрационного поля диаграммы. Следует отметить, что на классической (рисунок, б) диаграмме обнаружено 18 промежуточных фаз, из которых идентифицированы лишь геленит и анортит, тогда как на ПДС (рисунок, а) для всех промежуточных фаз определены их составы. Промежуточная фаза (121-ГЛ), обнаруженная в точке пересечения линейных систем 110-011 и 010-101, получила название глинозит, которая с геленитом и аносовитом образуют триангуляционную фазу – пироксен (111-ПР), входящий в состав сталеплавильных шлаков.

Алюмосиликатные сталеплавильные шлаки являются полимерными образованиями, состоящие из сеткообразующих (Al, Si) и сеткоразрушающих (Ca) катионов, объединенных с кислородом в ионно-молекулярный комплекс [10]. Структурный ионно-молекулярный комплекс (СИМ-комплекс) существует в двух модификациях: полигональные ячейки (ПГЯ) в виде двухмерных полимерных сеток или трехмерных полиэдрических ячеек (ПДЯ) конечного размера и заданного стехиометрического состава.

Стехиометрический состав, структурные формулы и геометрические параметры СИМ-комплексов исходных компонентов и первичных промежуточных фаз представлены в таблице 2. Исходные компоненты CaO образуют электронейтральные, а SiO_2 и Al_2O_3 электроотрицательные ячейки с максимально плотной упаковкой. Плотность упаковки S_0 определяют из отношения площади к числу частиц N полигональной ячейки.

Геометрические размеры СИМ-комплексов рассчитаны по квантово-механическим и химическим параметрам элементов по данным работы [3]. Первичные промежуточные фазы бинарных и тройных систем существуют в электронейтральном состоянии, кроме силлиманита с четырьмя отрицательными зарядами $(\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{12})^{4-}$. Полигональные ячейки являются отдельными звеньями полимерной сетки конечного размера, из которых образуются кольцевые или трехмерные структуры (полиэдрические ячейки), определяющие тип структурно-химических реакций взаимодействия шлака и металла.

Механизм рафинирования при ковшевой обработке стали

В сталеразливочном ковше формируют покровный шлак, рафинировочная способность которого определяется двумя физико-химическими критериями: легкоплавкость и адсорбционная емкость. Легкоплавкость шлака зависит от степени его эвтектичности, когда достигается максимальная жидкотекучесть при температурах металлического расплава. Адсорбционная емкость шлака зависит от степени его активированного состояния. Степень активированного состояния шлака определяется числом свободных химических связей, вступающих в реакции с примесными

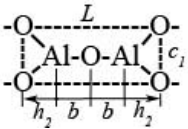
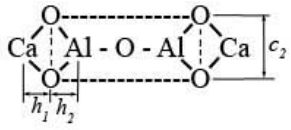
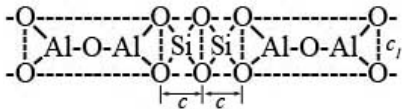
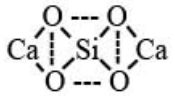
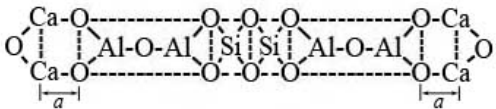
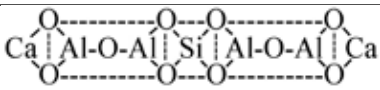
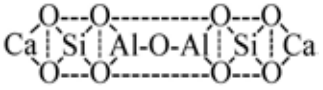
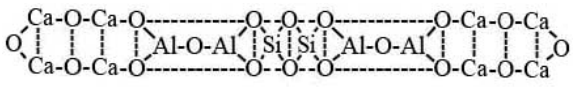
Получение и обработка расплавов

Таблица 1. Классификация тройных фаз системы CaO-Al₂O₃-SiO₂*

Стехиометрический состав	Химический состав, %мас.			Условные обозначения	В	М	Температура, °С	
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂				образования	плавления
Область ППФ (2CaOAl ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -2CaOSiO ₂)								
2CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂	40,9	37,2	21,9	2.1.1(ГН)	1,87	0,69	900	1600
2CaO2Al ₂ O ₃ SiO ₂	29,8	54,2	16,0	2.2.1	1,87	0,42	1100	1500
2CaOAl ₂ O ₃ 2SiO ₂	33,5	30,5	36,0	2.1.2	0,93	0,50	1000	1400
4CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂	58,0	26,4	15,6	4.1.1	3,73	1,38	1200	1500
6CaO3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	44,1	40,2	15,7	6.3.2	2,8	0,79	1200	1500
4CaO3Al ₂ O ₃ 3SiO ₂	31,5	43,1	25,4	4.3.3	1,24	0,46	н.д.	1450
6CaO2Al ₂ O ₃ 3SiO ₂	46,7	28,3	25,0	6.2.3	1,87	0,88	1250	1250
4CaOAl ₂ O ₃ 2SiO ₂	50,2	22,9	26,9	4.1.2	1,87	1,00	1050	1350
6CaOAl ₂ O ₃ 3SiO ₂	54,4	16,5	29,1	6.1.3(Э ₁)	1,87	1,20	1200	1300
3CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂	50,9	30,9	18,2	3.1.1(Э ₂)	2,8	1,04	1300	1350
CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂	25,7	46,8	27,5	1.1.1(ПП)	0,93	0,35	1100	1500
CaO2Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	14,7	53,7	31,6	1.2.2	0,47	0,17	1400	1400
6CaO3Al ₂ O ₃ SiO ₂	47,9	43,6	8,5	6.3.1(Э ₃)	5,6	0,92	1400	1400
Область Al ₂ O ₃ (2CaOAl ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃ SiO ₂)								
2CaO6Al ₂ O ₃ SiO ₂	14,3	78,1	7,6	2.6.1	1,87	0,17	1500	1800
2CaO3Al ₂ O ₃ SiO ₂	23,4	64,0	12,6	2.3.1	1,87	0,30	1400	1600
CaO2Al ₂ O ₃ SiO ₂	17,5	63,8	18,7	1.2.1 (ГЛ)	0,93	0,21	н.д.	1550
5CaO4Al ₂ O ₃ SiO ₂	37,5	54,5	8,0	5.4.1(Э ₄)	4,67	0,60	1500	1500
Область SiO ₂ (Al ₂ O ₃ SiO ₂ -SiO ₂ -2CaOSiO ₂)								
2CaOAl ₂ O ₃ 48SiO ₂	3,6	3,4	93,0	2.1.48 (М ₁)	0,038	0,030	1700	1700
2CaOAl ₂ O ₃ 18SiO ₂	8,7	7,9	83,4	2.1.18 (М/ М ⁰)	0,10	0,09	1600	1700/ 2100
2CaOAl ₂ O ₃ 9SiO ₂	14,9	13,5	71,6	2.1.9 (М ₂)	0,21	0,17	1700	1700
2CaOAl ₂ O ₃ 6SiO ₂	19,5	17,8	62,7	2.1.6	0,31	0,24	1475	1475
2CaOAl ₂ O ₃ 4SiO ₂	24,7	22,5	52,8	2.1.4	0,47	0,33	н.д.	1400
CaOAl ₂ O ₃ 2SiO ₂	20,1	36,7	43,2	1.1.2 (АН)	0,47	0,25	н.д.	1500
4CaOAl ₂ O ₃ 5SiO ₂	35,8	16,3	47,9	4.1.5 (Э ₅)	0,75	0,55	1300	1300
5CaOAl ₂ O ₃ 4SiO ₂	45,0	16,4	38,6	5.1.4(Э ₆)	1,17	0,82	1350	1350
Область CaO (2CaOSiO ₂ -CaO-2CaOAl ₂ O ₃)								
3CaOAl ₂ O ₃ 3SiO ₂	37,3	22,7	40,0	3.1.3 (ГР)	0,93	0,60	1450	1450
12CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂	80,6	12,2	7,2	12.1.1	11,2	4,1	1700	2200
10CaO2Al ₂ O ₃ SiO ₂	68,0	24,8	7,2	10.2.1 (Э ₈)	9,3	2,1	1800	1900
6CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂	67,5	20,5	12,0	6.1.1	5,6	2,1	1400	1800
10CaOAl ₂ O ₃ 2SiO ₂	71,6	13,0	15,4	10.1.2 (Э ₇)	4,67	2,52	1900	1800

* условные обозначения: Э – эвтектика; ППФ – первичная промежуточная фаза; ГН – геленит, ГЛ – глинозит, АН – анортит; ПР – пироксен, ГР – гроссуляр; В = CaO/SiO₂; М = CaO/SiO₂+Al₂O₃ – основность и модуль шлака, соответственно

Таблица 2. Структуризация шлаковых расплавов системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2^*$

Формульный состав		СИМ - комплексы
стехиометрический	структурный	Геометрические параметры полигональных ячеек, нм; $a = 0,153, b = 0,145, c = 0,200, c_1 = 0,205,$ $d = 0,108, h_1 = 0,108, h_2 = 0,105$
Al_2O_3	$(\text{Al}_2\text{O}_5)^{4-}$ $N=7,$ $S_0=0,009$ $L=0,481$	
$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	$(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5)^0$ $N=9,$ $S_0=0,0144$ $L=0,500$	
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	$(\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{12})^{4-}$ $N=18,$ $S_0=0,0179$ $L=1,40$	
2CaOSiO_2	$(\text{Ca}_2\text{SiO}_4)^0$ $N=7,$ $S_0=0,009$ $L=0,20$	
$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ (ГН)	$(\text{Ca}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{14})^0$ $N=24,$ $S_0=0,0155$ $L=1,71$	
$2\text{CaO}2\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	$(\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{SiO}_{10})^0$ $N=17,$ $S_0=0,0157$ $L=1,20$	
$2\text{CaOAl}_2\text{O}_32\text{SiO}_2$	$(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9)^0$ $N=15,$ $S_0=0,013$ $L=0,90$	
$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	$(\text{Ca}_8\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{18})^0$ $N=32, S_0=0,0155$ $L=2,32$	

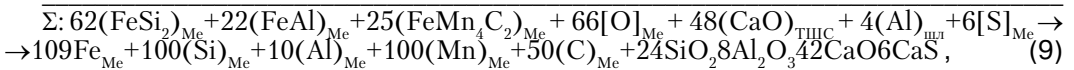
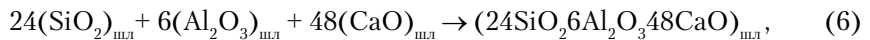
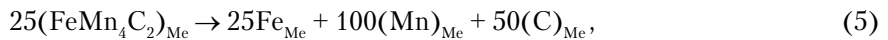
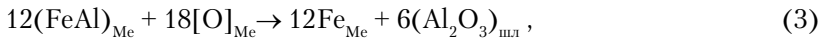
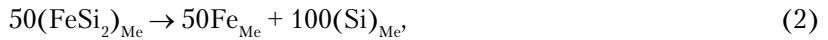
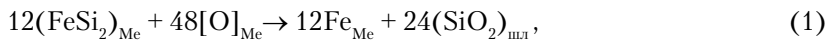
* N – число частиц; L – длина (нм); So – относительная плотность упаковки ячейки (нм²)

элементами жидкого металла с образованием химических соединений (оксиды, сульфиды и др.), растворимых в гомогенном шлаковом расплаве. Активированное состояние достигается термическим или химическим способом, когда при высоких перегревах разрываются связи, либо освобождаются за счет реакций окисления – восстановления химически активных элементов. Сталеплавильные шлаки относятся к окисным системам с ионным типом химических связей катионов

Получение и обработка расплавов

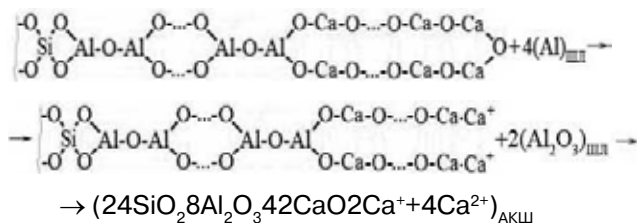
(Si, Al, Ca) с кислородом, которые освобождаются за счет реакций раскисления при взаимодействии с элементами, обладающими большим химическим сродством к кислороду. Термические воздействия существуют только при высоких температурах, причем с понижением температуры старые связи возобновляются.

Для ковшевой обработки конверторной стали, раскисленной кремнием и алюминием, в соответствии с полигональной диаграммой системы CaO-Al₂O₃-SiO₂ (рисунке 1, а) рафинировочными шлаками являются эвтектические составы: Э₁ (6CaOAl₂O₃3SiO₂) – низкоглиноземистые при 16,5 % Al₂O₃ с основностью В⁰ = 1,87 и температурой плавления 1250 °С; Э₂ (3CaOAl₂O₃SiO₂) – среднеглиноземистые при 30,9 % Al₂O₃, В⁰ = 2,8, T_{пл} = 1300 °С; Э₃ (6CaO3Al₂O₃SiO₂) – высокоглиноземистые при 43,6 % Al₂O₃, В⁰ = 5,6, T_{пл} = 1450 °С. Оптимальные составы рафинировочных шлаков с максимальной жидкотекучестью и адсорбционной емкостью отвечают тройной низкоглиноземистой эвтектике 6CaOAl₂O₃3SiO₂. Механизм шлакообразования и рафинирования (раскисление и десульфурация) при ковшевой обработке спокойных марок сталей описывается последовательным рядом структурно-химических реакций:



где FeSi₂ – ФС45, FeAl – ФА30; FeMn₄C₂ – ФМн70; Al – АВ-87; реакции (1-5) – раскисления и легирования стали кремнием (ФС45), алюминием (ФА30) и ферромарганцем (ФМн70); реакция (6) – шлакообразование, реакция (7) – активирование шлака, реакция (8) – адсорбция серы из металла, реакция (9) – балансовая.

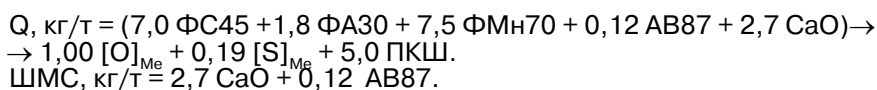
Ковшевой шлак, полученный по реакции (6) отвечает эвтектическому составу (Э₁) с высокой жидкотекучестью, но не обладает реакционной (адсорбционной) активностью вследствие наличия насыщенных ионных связей химических элементов. Реакционная способность ковшевого шлака появляется в результате его активирования посредством раскисления алюминием при сохранении центрально-симметричной структуры полигональной ячейки, сокращенная форма записи которой приведена ниже:



Химический состав покровного ковшевого шлака (ПКШ) в соответствии с уравнением реакции (9) содержит (%мас.): 28,6 SiO₂ + 16,2 Al₂O₃ + 46,7 CaO + 8,5 CaS

Получение и обработка расплавов

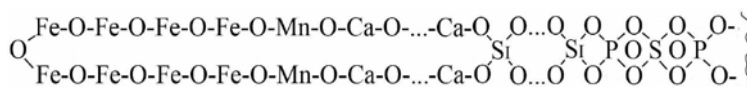
при основности $V^0 = 1,63$, $M = 1,23$ и адсорбционной емкости по сере $A_s = 3,8\%$, что в 3-4 раза превышает адсорбционную емкость ($A_s = 0,5-1,0$) обычного ковшевого шлака на основе ТШС, содержащего $80\% \text{CaO} + 20\% \text{CaF}_2$ при расходе $5,0-10,0$ кг/т жидкого металла. Балансовая реакция (9) позволяет определить удельные расходы присадочных материалов – ферросплавов (Q) и шлакообразующих (ШМС), степень раскисления и десульфурации, химический состав стали:



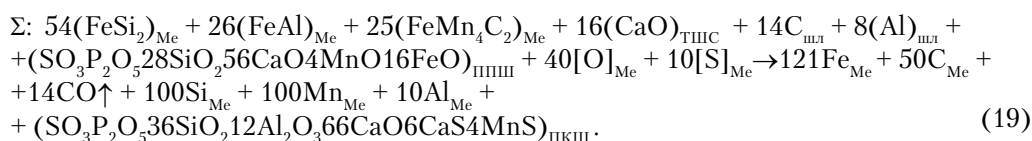
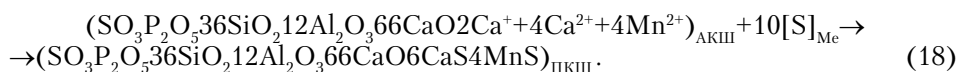
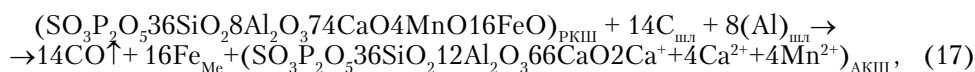
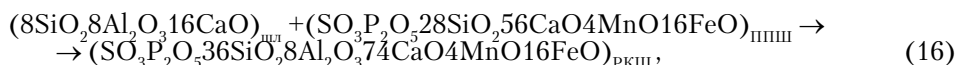
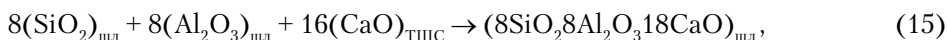
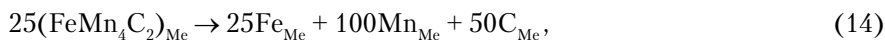
Химический состав полупродукта на выпуске содержит (%мас.):
 $0,03\text{C} + 0,02\text{Si} + 0,08\text{Mn} + 0,01\text{P} + 0,025\text{S}$.

Химический состав стали с учетом полупродукта на выпуске содержит (%мас.):
 $0,009\text{C} + 0,30\text{Si} + 0,63\text{Mn} + 0,027\text{Al} + 0,006\text{S} + 0,01\text{P}$.

Полученные результаты относятся к случаю полной отсечки плавильного шлака при выпуске металла в стальковш. При выпуске плавки из конвертера в стальковш попадает не менее $5,0$ кг/т плавильного шлака с высокой окисленностью [11], раскисление которого требует дополнительных присадочных материалов (коксик, алюминий вторичный и др.), а для раскисления и легирования металла: ФС45, ФА30, ФМн70. Плавильные шлаки образуются на базе белита и алита [12] с высокой основностью $V^0 \geq 2$ и температурой ликвидуса $1400-1600$ °С. Для шлака на базе белита, содержащего (%мас.): $0,10 \text{SO}_3 + 0,70 \text{P}_2\text{O}_5 + 26,6 \text{SiO}_2 + 49,8 \text{CaO} + 4,5 \text{MnO} + 18,3 \text{FeO}$ при основности $V^0 \sim 2,0$, стехиометрический состав отвечает формуле: $\text{SO}_3\text{P}_2\text{O}_5\text{28SiO}_2\text{56CaO4MnO16FeO}$; его структурная формула $\text{Si}_{28}\text{Ca}_{56}\text{Mn}_4\text{Fe}_{16}\text{O}_{140}\text{P}_2\text{S}$ в виде полигональной ячейки СИМ-комплекса, определяющего механизм образования рафинировочного шлака в стальковше, представлена ниже:



Структурно-химические реакции рафинирования полупродукта в стальковше:



Количество присадочных материалов в соответствии с балансовой реакцией (19) составляет в кг/т: (6,0 ФС45 + 2,2 ФА30 + 7,5 ФМн70 + 0,20 УГМ + 0,23 АВ87 + 0,9 СаО (ТШС) + 6,5 ППШ), которые удаляют из полупродукта 0,64 кг/т $[O]_{Me}$ + 0,32 кг/т $[S]_{Me}$ с образованием 8,0 кг/т ПКШ. Химический состав ПКШ (%мас.): 1,0 SO_3 + 1,8 P_2O_5 + 26,7 SiO_2 + 15,1 Al_2O_3 + 45,7СаО + 5,4СаS + 4,3МnS при основности $B^0 = 1,71$ и $A_s = 3,9$ %.

Химический состав стали (с учетом полупродукта, содержащего 0,040 % S) включает (%мас.): 0,09C + 0,30Si + 0,63 Mn + 0,027 Al + 0,015 P + 0,008 S.

ШМС, кг/т = 0,20 УГМ + 0,25 АВ87 + 0,9СаО → 1,35.

Образование сульфидов марганца повышает адсорбционную емкость рафинировочного шлака, что позволяет обрабатывать в сталковше высокосернистый металл, содержащий до 0,040 % серы.

Таким образом, формирование адсорбционноемких алюмосиликатных рафинировочных шлаков эвтектического состава путем присадочных материалов, в том числе шлакометаллических смесей, дает возможность исключить применение плавикового шпата, как при полной отсечки плавильного шлака, так и при его наличии (до 6,5 кг/т) в сталковше.

Выводы

- Структурно-химическим анализом состояния исходных компонентов и промежуточных фаз на основе построенной полигональной диаграммы тройной системы СаО- Al_2O_3 - SiO_2 проведена классификация и структуризация ковшевых рафинировочных шлаков. Исследован механизм рафинирования стали при ковшевой обработке расплава присадочными материалами, в том числе с использованием попутного плавильного шлака.

- Определены составы ковшевых рафинировочных шлаков, отвечающие низкоглиноземистой эвтектике на базе алюмосиликата кальция $6CaOAl_2O_3 \cdot 3SiO_2$ с основностью $B^0 = 1,87$ и $T_{пл} \sim 1250$ °С, обладающие высокой адсорбционной емкостью по сере ($A_s \sim 4,0$ %). Предложены твердые шлако-металлические смеси для замены ТШС, обеспечивающие исключение применения экологически вредного СаF₂ при сокращении расхода СаО.



Список литературы

1. Белов Б. Ф., Троцан А. И., Харлашин П. С. / Структуризация металлургических фаз в жидком и твердом состояниях // Изв. ВУЗов. ЧМ. – 2002. – № 4. – С. 70-75.
2. Теория МГС-фаз и ее применение для разработки рафинировочных шлаков / Белов Б. Ф., Троцан А. И., И. Л. Бродецкий и др. // Черная металлургия. – 2014. – № 4. – С. 34-41.
3. Троцан А. И., Харлашин П. С., Белов Б. Ф. О природе химической связи элементов в металлургических фазах // Изв. ВУЗов. ЧМ. – 2002. – № 4. – С.60-63.
4. Методика построения полигональных диаграмм состояния бинарных металлургических систем / Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, П. С. Харлашин, Ф. С. Крейденко // Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір. – ПА № 2825 від 29.02.2000 р.
5. Метод побудови полігональних діаграм стану потрійних металургійних систем / [Б. Ф. Белов, А. І. Троцан, І. Л. Бродецкий и др. // Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір. – № 48344 від 18.03.2013.
6. Белов Б. Ф., Троцан А. И. Бродецкий И. Л. Наноструктурные элементы базовых компонентов неметаллических включений в стали // Сборник материалов Харьковской нанотехнологической Ассамблеи. – Х.: ННЦ ХФТИ, 2008. – Т. 2. – С.173-177.
7. Аналіз стохастичних металургійних систем за допомогою балансових рівнянь сумарних структурно-хімічних реакцій / Б. Ф. Белов, А. І. Троцан, І. Л. Бродецкий, Ф. С. Крейденко // Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір. – № 54359 від 02.04.2014.
8. Воздвиженский В. М. Прогноз двойных диаграмм состояния. – М.: Металлургия, 1975. – 224 с.

Получение и обработка расплавов

9. Атлас шлаков. – М.: Metallurgy, 1985. – 208 с.
10. Казачков Е. А. Современные представления о структуре расплавленных шлаков // Современные проблемы производства стали : материалы научн.-мет. конф.- Мариуполь: ПГТУ, 2002. – С. 69-76.
11. Анализ рафинировочных процессов ковшевой обработки стали / И. Д. Буга, А. И. Троцан, Б. Ф. Белов и др. // Metallurg. и горнорудн. пром-сть.– 2010.– № 3. – С.16-20.
12. Физико-химические основы процессов шлакообразования при рафинировании конвертерных сталей / [Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, В. Д. Александров, и др. // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XII Всеукр. конф. – К.: НТУУ «КПІ», 2014.– С.36-54.

Поступила 08.12.2014

ВНИМАНИЕ!

Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу Вашей продукции или рекламный материал о Вашем предприятии. Редакция также может подготовить заказной номер журнала.

Стоимость заказного номера - от 4000 грн

Расценки на размещение рекламы (цены приведены в гривнах)

Размещение	Рекламная площадь	Стоимость, грн.
Рекламные блоки в текстовой части журнала		
Цветные	1/2 страницы	900
	1/3 страницы	600
	1/4 страницы	300
Черно-белые	1/2 страницы	550
	1/3 страницы	380
	1/4 страницы	200
Цветная реклама на обложке		
Третья страница обложки	1 страница	2800
	1/2 страницы	1400
	1/4 страницы	700
Четвертая страница обложки	1 страница	3100
	1/2 страницы	1550
	1/3 страницы	1000

При повторном размещении рекламы - скидка 15 %

Наш адрес: **Украина, 03680, г. Киев- ГСП. Вернадского, 34/1**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

телефоны: (044) 424-04-10, 424-34-50

факс: (044) 424-35-15; E-mail: proclit@ptima.kiev.ua