

3. Гаврилов В. А., Гасик М. И. Силикотермия марганца. – Днепропетровск: Системные технологии, 2001. – 512 с.

4. Gee R., Rosenquist T. The Vapor Pressure of Liquid Manganese and Activities in Liquid Mn-Si and Carbon Saturated Mn-Si // Scand. Y. Met. – 1976. – № 5. – P. 56-62.

5. Зайцев А. И., Земченко М. А., Могутнов Б. М. Термодинамические свойства расплавов марганец-кремний // Расплавы. – 1984. – № 2. – С. 9-19.

6. Зайцев А. И., Земченко М. А., Могутнов Б. М. Термодинамические свойства расплавов марганец-кремний // ЖФХ. – 1996. – Т. 70. – № 4. – С. 599-606.

7. Величко А. Г., Ду Юньшен, Лысаков А. В. Силикотермический метод получения среднеуглеродистого ферромарганца в конвертере с донным дутьем // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2015. – № 3. – С. 23-25.

Поступила 27.05.2015



УДК 669.187.28

Производство

Корниевский В. Н., Панченко А. И. /к. т. н./,
Логозинский И. Н., Сальников А. С. /к. т. н./,
Касьян С. А., Мазурук С. Л., Яковицкий А. А.
ПАО Электрометаллургический завод
«Днепрспецсталь»

Гасик М. И. /д. т. н./, Горобец А. П. /к. т. н./
НМетаУ

Разработка и опытно-промышленное освоение технологии выплавки и внепечной обработки электростали с использованием щелочного алюмосиликата пегматита как альтернативы импортному плавиковому шпату

Изложено обоснование технологической возможности применения отечественного минерального сырья пегматита для замены плавикового шпата в составе твердых шлакообразующих материалов при внепечной обработке электростали. Приведены результаты опытно-промышленного освоения в условиях ПАО «Днепрспецсталь» технологии обработки сталей конструкционного и инструментального сортамента на установке печь-ковш (УПК) с заменой 50-80 % плавикового шпата пегматитом. С оценкой вязкостных свойств шлаков и качества проката по немаetalлическим включениям выполнен сравнительный анализ параметров действующей и опытной технологий и подтверждена технико-экономическая эффективность разработанной технологии с существенным сокращением расхода импортного плавикового шпата. Табл. 3. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: электропечь, внепечная обработка, печь-ковш, рафинировочные шлаки, плавиковый шпат, пегматит, десульфурация, немаetalлические включения, эффективность технологии

Reason of technological capability of application of native raw material pegmatite for replacing of calcium fluoride in the composition of hard slag-forming materials during out-of-furnace electrical steel processing is given. The results of experimental-industrial conversion in conditions of «Dneprospeetsstal» PJSC, technologies of steel processing of constructional and instrumental gauge on the installation ladle furnace (ILF) with the replacement of 50-80 % of calcium fluoride by pegmatite are given. Along with estimation of flow characteristics of slags and rolled product quality according to non-metallic inclusions there was fulfilled comparative analysis of parameters by acting technology and technical-and-economic efficiency of developed technology with substantial reduction of expenditure of imported calcium fluoride is confirmed.

Keywords: electric furnace, out-of-furnace processing, ladle furnace, refinery slag, calcium fluoride, pegmatite, desulphuration, non-metallic inclusions, technology effectiveness

Действующая на ПАО ДСС технология внепечной обработки стали на УПК в соответствии с технологическими инструкциями определя-

ет состав твердых шлакообразующих материалов (ТШМ) для формирования шлака на стадии обработки металла на УПК. Технический

регламент определяет нормативы расхода смеси 10 кг/т стали при соотношении компонентов смеси известь/плавиковый шпат равный 3/1. Компонентом шлаковой смеси, определяющим реологические свойства шлака (вязкость) и в значительной степени влияющим на кинетику массообменных процессов на границе металл/шлак, является импортируемый плавиковый шпат.

При анализе влияния фторида кальция, содержащегося в шлаках внепечной (ковшовой) обработки стали, отмечают его воздействие на снижение температуры плавления и, соответственно, вязкости ковшовых шлаков, формирующихся из твердых шлакообразующих материалов. К недостаткам относят повышенный удельный расход огнеупорных материалов, высокую цену импортируемого плавикового шпата, отрицательное влияние CaF_2 (ПДК 2 мг/м³) и фторидных летучих соединений (SiF_4 , $t_{\text{возг.}} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$; AlF_3 , $t_{\text{возг.}} = 1270 \text{ }^\circ\text{C}$) на окружающую среду.

Технико-экономические особенности использования плавикового шпата (нестабильность состава рафинировочного шлака УПК, высокая стоимость импортируемого сырья, образование летучих фторсодержащих соединений [1], определяют необходимость поиска компонента шлакообразующей смеси, альтернативного плавиковому шпату, который обеспечивал бы высокую десульфурную способность, соответствующую вязкость, снижал уровень выделения вредных соединений и являлся заменой импортируемого минерального сырья.

Перспективным направлением оптимизации составов рафинировочных шлаков представляется применение оксидов щелочных металлов Na_2O и K_2O .

Наличие в составе шлаков окислов Na_2O и K_2O обуславливает эффект разрушения цепочных кремнекислородных структур $[\text{SiO}_4]^{4-}$ в шлаковых расплавах, что приводит к снижению вязкости расплава и, как следствие, к снижению температуры ликвидус и вязкости расплава.

Природным минералогическим сырьем, имеющим в своем химическом составе указанные окислы, являются пегматиты.

По Ферсману А. Е. [2] пегматит представляет собой продукт поздней (600-625 °С) магматогенной кристаллизации гранитного расплава, обогащенного кремне- и алюмокислородными комплексами ($[\text{SiO}_4]^{4-}$, $[\text{AlO}_4]^{4-}$), сопровождающейся ионно-обменными процессами вхождения окислов щелочных металлов (Na_2O , K_2O) в структуру кристаллической фазы. Это дает основание классифицировать кристаллохими-

ческую структуру пегматитов как высокощелочные алюмосиликаты.

Пионерными исследованиями в этом направлении явились разработки авторов [3], применивших пегматит при производстве малофосфористого шлака в технологии металлического марганца. Отмечены эффекты снижения вязкости высококремнеземистого расплава (28-30 % SiO_2) и температуры выпуска шлака на 60-80 °С в сравнении с базовой технологией.

В условиях СПЦ 3 ПАО «ДСС» проведена серия плавов сталей конструкционного и инструментального сортамента с использованием минеральной породы пегматита для формирования шлака на УПК.

Пегматит Елисеевского месторождения (Запорожская обл.) фракцией 20-90 мм поставлялся на ПАО «ДСС» по технологическим условиям ТУ У 14.5-22141286-001-2002 со следующим химическим составом, % масс.:

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	свободный кварц	п.п.п.
75,9	13,7	0,73	0,8	0,7	3,5	4,1	34,71	0,34

Опытные плавки выполнялись по технологическому маршруту «ДСП60-УПК-Вакуумирование» по действующей технологии выплавки с корректировкой шлакового режима с применением пегматита на стадии внепечной обработки на УПК.

Действующая технология внепечной обработки стали предусматривает наведение рафинировочного шлака во время выпуска металлопродукта из печи (I шлак), удаление шлака перед началом внепечной обработки и формирования на УПК шлака присадками извести и плавикового шпата (II шлак). При проведении опытных плавов замена пегматитом 50-80 % плавикового шпата в составе шлакообразующей смеси осуществлялась на стадии формирования II шлака.

В табл. 1 приведены показатели формирования шлака для обработки на УПК по действующей и опытной технологиям. Во время проведения опытных плавов визуально отмечалась повышенная жидкоподвижность шлакового расплава, в связи с чем на отдельных плавках производилось загущение шлака дополнительными присадками извести по ходу обработки на УПК.

Несмотря на снижение основности рафинировочного шлака на плавках опытной технологии обеспечивались показатели десульфурации сопоставимые с показателями действующей технологии (табл. 2).

Приведенные данные свидетельствуют, что степень десульфурации металла опытных плавов с применением пегматита, несмотря на сни-

Таблица 1

Сравнительные показатели шлакового режима обработки на УПК металла действующей технологии и опытных плавок с применением пегматита

Марка стали	Пробы*	Массовая доля элементов, %										Основность % CaO + % MgO % SiO ₂ B =
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CaF ₂	TiO ₂	S	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	
а) Действующая технология (конструкционные марки стали)												
42KM	1	10,40	13,57	60,2	5,44	8,3	0,19	0,63	0,84	0,036	0,16	6,3
	2	9,80	9,93	61,2	3,96	12,6	0,09	0,43	1,61	0,007	0,11	6,6
	3	10,20	14,5	49,0	6,0	19,1	0,12	0,39	0,40	0,036	0,07	5,4
13XHM	1	8,80	12,0	58,5	5,70	12,9	0,03	0,98	0,65	0,032	0,14	7,3
	2	9,20	7,80	59,0	3,47	18,4	0,01	0,58	1,20	0,015	0,12	6,8
	3	10,80	9,20	57,7	5,32	15,6	0,01	0,58	0,76	0,009	0,005	5,8
б) Опытная технология (инструментальные марки стали)												
5XH2MФ	1	19,7	6,04	18,0	19,5	5,2	0,10	0,07	6,9	0,01	0,17	3,4
	2	20,9	9,7	35,7	17,1	5,7	0,15	0,12	4,7	0,11	0,24	2,5
	3	16,0	14,0	46,7	12,1	9,0	0,17	0,38	0,60	0,02	0,18	3,7
45X2H4M	1	9,1	18,0	57,3	6,3	8,0	< 0,10	0,64	0,40	0,03	0,13	7,0
	2	21,9	10,5	57,2	5,0	3,66	< 0,10	0,48	0,92	0,04	0,11	2,8
	3	18,7	18,5	45,2	8,6	7,32	< 0,10	0,36	1,0	0,01	0,11	2,9
в) Опытная технология (конструкционные марки стали)												
45XH	1	23,3	19,4	40,7	7,5	6,58	< 0,10	0,77	0,82	0,04	0,11	2,1
	2	21,8	13,6	46,5	5,0	10,2	< 0,10	0,63	1,70	0,04	0,08	2,4
	3	19,8	19,1	46,2	7,9	5,4	< 0,10	0,38	0,59	0,05	0,12	2,7
18XГГ	1	13,0	13,6	59,0	7,7	4,8	0,20	0,75	0,57	0,018	0,05	5,1
	2	17,3	12,5	58,0	5,6	4,4	0,15	0,42	0,71	0,006	0,16	3,7
	3	16,6	12,0	58,3	5,4	6,1	0,15	0,33	0,68	0,018	0,12	3,8

Примечание. Пробы* - 1 - шлак на выпуске металла из печи, 2 - шлак начала обработки на УПК, 3 - шлак по окончании обработки металла на УПК.

Степень десульфурации металла (η_s) при рафинировании шлаками действующей и опытной технологий

Марка стали	Обработка шлаками на выпуске металла из печи (первый рафинировочный шлак)			Обработка шлаками на УПК (второй рафинировочный шлак)			(η_s) итог, %
	[S]нач.	[S]кон.	η_s , %	[S]нач.	[S]кон.	η_s , %	
	ppm			ppm			
Действующая технология							
42ХМ9	340	200	41,1	200	50	75,0	85,3
52ХНС	220	110	50,9	110	60	45,5	72,7
42ХМ	340	140	58,8	140	40	71,4	88,2
45У1	540	160	70,4	160	100	62,5	81,5
Средние показатели	360	153	55,1	153	63	65,85	81,9
Опытная технология							
45Х2714М	330	100	69,6	100	70	30,0	78,8
50ХГФ	440	120	72,7	120	70	41,6	84,1
45У	350	120	65,7	120	60	50,0	82,8
45ХН	390	270	30,8	270	180	33,3	53,8
40Х	520	210	59,6	130	100	23,1	80,7
30ХНЗМ	400	200	50,0	200	60	70,0	85,0
45У	560	200	64,3	200	90	55,0	83,9
9Г2Ф	530	280	47,1	280	80	71,4	84,9
6ХГС-У2	430	120	72,1	120	70	41,6	83,7
14ХНЗ	380	160	57,9	160	100	37,5	73,6
Средние показатели	422	169	60,4	162	86	42,4	79

жение основности рафинировочных шлаков, практически не отличалась от показателей действующей технологии.

Аттестация металла опытных плавков производилась по результатам контроля металла по химическому составу и сдаточного контроля качественных характеристик проката. На отдельных плавках, определенных ЦЗЛ факультативно, оценивалась загрязненность неметаллическими включениями по ГОСТ 1778-70, ASTM-E 45 (метод А) и DIN 50602 (метод К).

Металл опытных плавков полностью соответствовал марочному составу. На образцах металла опытных плавков в объеме сдаточного и исследовательского контроля выполнен анализ загрязненности неметаллическими включениями по методикам ASTM-E 45 (метод А0) и DIN 50602 (метод К). В табл. 3 представлены результаты анализа качества металла по содержанию и типам неметаллических включений.

Из данных табл. 3 следует, что металл опытной плавки характеризуется отсутствием силикатов и низким баллом загрязненности сульфидами, оксидами и окисульфидными и полностью отвечает по результатам сдаточного контроля требованиям нормативно-технической документации.

По результатам опытных плавков с заменой импортного плавикового шпата отечественным минеральным сырьем пегматитом определена технико-экономическая эффективность разрабатываемой технологии, обеспечивающая снижение себестоимости стали на 19,6 грн/т.

По результатам положительных итогов проведения серии опытных плавков по разработанной технологии с использованием пегматита намечается увеличить объемы внедрения.

Выводы

1. Разработана технология внепечной обработки электростали с применением в составе шлакообразующих смесей щелочно-алюмосиликата-пегматита, содержащего до 10 % оксидов щелочных металлов (Na_2O , K_2O).

2. В условиях ПАО «Днепропетрсталь» в ДСП-60 проведена опытно-промышленная кампания плавков с частичной или полной заменой плавикового шпата пегматитом в составе рафинировочных шлаков УПК.

3. По результатам сдаточного и исследовательского контроля сортопроката конструкционных и инструментальных сталей металл опытных плавков полностью отвечает требованиям нормативно-технической документации.

Результаты сдаточного и исследовательского контроля загрязненности металла опытных плавов неметаллическими включениями

Марка стали	НТД	Профиль, мм	Образец	Результаты оценки неметаллических включений, ASTM E-45, балл								DIN 50602 (метод К), индекс
				Атн	Атл	Втн	Втл	Стн	Стл	Дтн	Дтл	
5ХН2МФ-В	ТУ ДСС 003	кр. 37/35	1	1,0	0,5	2,0	2,5	1,0	0	1,5	1,0	4
			2	1,0	0,5	1,0	1,0	0	0	1,5	1,0	
			3	1,5	0,5	3,0	2,5	2,0	0	1,5	1,0	
			4	1,0	0,5	1,5	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	
			5	1,5	0,5	1,5	1,0	0	0	1,5	1,0	
			6	2,0	0,5	1,5	1,0	0	0	1,5	1,0	
			Ср.б.	1,3	0,5	1,8	1,6	0,7	0,3	1,5	1,0	
40Х	ТП 219-06	кв. 107	У1	2,5	1,5	2,5	2,0	0	0	1,0	1,0	К4(О) = 18,9
			У1	2,5	1,5	2,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	
			У15	2,0	1,5	2,0	1,0	0	0	1,0	1,0	
			У15	2,0	1,5	1,5	1,5	0	0	1,0	1,0	
			У16	2,0	1,5	2,0	1,5	0	0	1,0	1,0	
			У16	2,5	1,5	2,0	1,5	0	0	1,0	1,0	
			Ср.б.	2,3	1,5	2,0	1,4	0,3	0,3	1,0	1,0	
Требования ТУ ДСС 003-2013			для вакуум.	≤ 2,0	≤ 1,5	≤ 2,0	≤ 1,5	≤ 2,0	≤ 1,5	≤ 2,0	≤ 1,5	К4(О) ≤ 15
Требования ТУ ДСС 004-2007			без вакуум.	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 2,0	К4(О) ≤ 45
				≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	К4(О) ≤ 20
Требования ТП № 428-14			для вакуум.									К4(О) ≤ 20

4. Разработанная технология внепечной обработки с заменой импортного плавикового шпата пегматитом обеспечивает снижение себестоимости стали на 19,6 грн/т.

Библиографический список

1. Анализ устойчивости оксидно-фторидных расплавов при рафинирующих обработках стали электрометаллургическими процессами / М. И. Гасик, М. М. Гасик, А. П. Горобец,

О. И. Поляков, Ю. С. Пройдак, А. И. Панченко, А. С. Сальников // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2011. – № 5. – С. 20-29.

2. Ферсман А. Е. Пегматиты. 3-е изд. Т. 1. Гранитные пегматиты. – М. – Л.: 1940.

3. Гаврилов В. А., Гасик М. И. Силикотермия марганца. – Днепропетровск: Системные технологии, 2001 – 512 с.

Поступила 24.06.2015



www.metaljournal.com.ua