

УДК 669.15'74-198

Б.Ф. Величко, И.П. Казачков, И.П. Рогачев, А.Н. Овчарук,
О.Г. Ганцеровский, В.И. Ольшанский, И.Ю. Филиппов

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЛЕГКОПЛАВКИХ МАРГАНЦЕВЫХ
ФЕРРОСПЛАВОВ, ТЕХНОЛОГИИ ИХ ВЫПЛАВКИ И ПРИМЕНЕНИЯ В
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Анотація. Проаналізовано процеси отримання низькофосфористого високоуглецевого електропічного ферромарганцю. Показана залежність впливу підвищеного вмісту кремнію в сплаві на показники виробництва, зниження температури плавлення та густини, ефективність використання такого сплаву для розкислення та легування широкого сортаменту сталей. Наведені результати досліджень залежності теплопровідності і питомого електроопору залізомарганцевих сплавів від концентрації в них марганцю, кремнію та температури. Виконано порівняльний аналіз основних техніко-економічних показників виробництва кремнійвмісного (2,2–4,6% Si) та стандартного ферромарганцю.

Ключові слова. Ферромарганець, кремній, фосфор, електропіч, конвертер, сталь, теплопровідність, електроопір, ківш, розкислення, легування.

Аннотация. Проанализированы процессы получения низкофосфористого высокоуглеродистого электропечного ферромарганца. Показана зависимость влияния повышенного содержания кремния в сплаве на показатели производства, снижение температуры плавления и плотности, эффективность использования такого сплава для раскисления и легирования широкого сортамента сталей. Приведены результаты исследований зависимости теплопроводности и удельного сопротивления железомарганецсодержащих сплавов от концентрации в них марганца, кремния и температуры. Выполнен сравнительный анализ основных технико-экономических показателей производства кремнистого (2,2–4,6% Si) и стандартного ферромарганца.

Ключевые слова. Ферромарганец, кремний, фосфор, электропечь, конвертер, сталь, теплопроводность, электросопротивление, ковш, раскисление, легирование.

Annotation. The processes of production of low phosphorous high carbon ferromanganese in electric furnace were analyzed. The dependence of the effect of increasing the silicon content of the alloy on the performance of production, lowering the melting temperature and density, the efficiency of this alloy for deoxidation and alloying of steel a wide assortment was showed. Results on heat conductivity and resistivity of Mn-Fe alloys on the concentration of manganese, silicon, and temperature. A comparative analysis of the main technical and economic indices of silicon (2,2-4,6% Si) and standard ferromanganese production.

Keywords. Ferromanganese, silicon, phosphorus, an electric furnace, converter, steel, thermal conductivity, electrical resistivity, ladle deoxidation, alloying.

Одним из важнейших направлений повышения качества выплавляемой стали является расширение производства легированного металла, что требует соответствующего увеличения выплавки ферросплавов, среди которых ведущее место принадлежит марганцевым сплавам. Однако возросший дефицит высокосортного марганцеворудного сырья обусловил необходимость вовлечения в производство сравнительно бедных марганцевых руд, и это привело к значительному снижению технико-экономических показателей процесса выплавки ферросплавов и их качества. Так, выход высокоуглеродистого ферромарганца,

содержащего не более 2% кремния, с концентрацией фосфора менее 0,45%, снизился до 16–23%.

Анализ процесса получения низкофосфористого высокоуглеродистого ферромарганца в электропечах показал, что с увеличением содержания кремния в сплаве производственные показатели его выплавки значительно улучшаются [1]. Кроме того, повышение содержания кремния в сплаве свыше 2% способствует снижению его температуры плавления, плотности и, следовательно, скорости его плавления в жидкой стали. Вследствие этого представляется возможным использовать такой ферромарганец для раскисления и легирования широкого сортамента полуспокойных и спокойных марок сталей не только в печи, но и в ковше, и тем самым значительно повысить сквозное извлечение марганца как в ферросплаве, так и в сталеплавильном производствах.

Содержание марганца в стандартных марках электропечного ферромарганца должно быть не менее 75%. Такую концентрацию марганца в сплаве возможно обеспечить, используя для его выплавки высокосортное марганцевое сырье. Эти обстоятельства обусловили необходимость разработки новых марок марганцевых ферросплавов, удовлетворяющих основным требованиям сталеплавильного производства с учетом содержания марганца в сырье.

При разработке составов новых сплавов исходили из общих требований, предъявляемых к ферросплавам [2, 3]. Ферросплавы для внепечного раскисления и легирования стали должны обладать минимальными значениями теплопроводности и температуры плавления, а также плотностью, близкой к плотности жидкой стали. Сплавы, удовлетворяющие этим требованиям, имеют высокую скорость плавления в жидком металле, а их использование для раскисления и легирования обеспечивает получение стали однородного химического состава.

В связи с отсутствием данных о теплопроводности марганцевых ферросплавов проведены исследования по определению этих свойств сплавов систем Mn–Fe–Si–C и Mn–Fe–Si–Al–C по методике Физико-технического института АН Беларуси [4].

Расчетная зависимость представлена уравнением

$$\lambda = \frac{C_{\mu} TR_{\mu}}{\rho},$$

где C_{μ} – мольная теплоемкость сплава при постоянном давлении, Дж/(моль·К); T – температура сплава, К; R_{μ} – коэффициент пропорциональности сплава, моль/(Ф·К); ρ – удельное электросопротивление сплавов, Ом·м; λ – теплопроводность сплава, Вт/(м·К).

Теплоемкость сплавов C_{μ} рассчитывали по правилу Неймана–Кюпа, а коэффициент пропорциональности R_{μ} по уравнению

$$\frac{1}{R_{\mu}} = \mu \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i R_{\mu_i}},$$

где $\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}}$ – кажущаяся (средняя) молекулярная масса сплава, кг/моль; g_i –

относительное массовое содержание i -того компонента в сплаве; μ_i – масса одного моля i -того компонента в сплаве, кг/моль; $R_{\mu_i} = \lambda_i \rho_i / TC_{\mu_i}$ – коэффициент пропорциональности i -того компонента, Вт/(м·К); λ_i – теплопроводность i -того компонента, Вт/(м·К); ρ_i – удельное электросопротивление i -того компонента,

Ом·м; T – температура, К; $C_{\mu i}$ – молярная теплоемкость i -того компонента при постоянном давлении, Дж/(моль·К).

При этом были учтены модификации марганца и железа при различных температурах согласно работе [6]. Удельное электросопротивление сплавов в интервале температур 293–1223 К определяли экспериментально в вакууме четырехконтактным потенциометрическим методом.

На рис. 1 приведена зависимость теплопроводности железомарганцевых сплавов от концентрации в них марганца, полученная экспериментальным [5] и расчетным путем по приведенному уравнению. Удельное электросопротивление исследуемых сплавов заимствовано из работы [7]. Сравнение расчетных и экспериментальных данных теплопроводности сплавов Fe–Mn показало удовлетворительную их сходимость.

Результаты экспериментального определения удельного электросопротивления сплавов Mn–Fe–Si–C и расчетные значения их теплопроводности представлены на рис. 2 и 3. Анализ этих данных показывает, что электросопротивление и теплопроводность сплавов зависят от их химического состава. Увеличение содержания марганца 48 до 78% сопровождается возрастанием их электросопротивления и теплопроводности, причем зависимость теплопроводности сплавов от концентрации марганца носит экстремальный характер. Минимальным значением теплопроводности характеризуются сплавы, содержащие 50–60% Mn. Повышение концентрации кремния с 1 до 9% в сплавах, содержащих 48–54 и 77,5–78% Mn, приводит к возрастанию их электросопротивления и снижению теплопроводности (рис. 3).

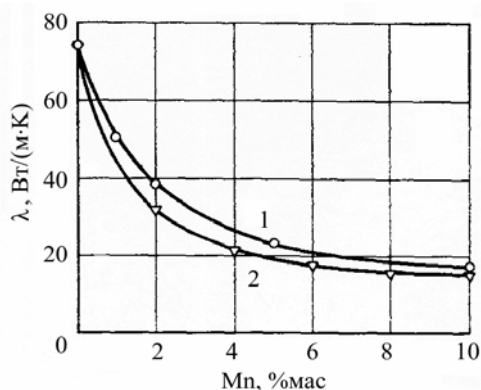


Рисунок 1 – Зависимость теплопроводности железомарганцевых сплавов от концентрации в них марганца: 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные значения

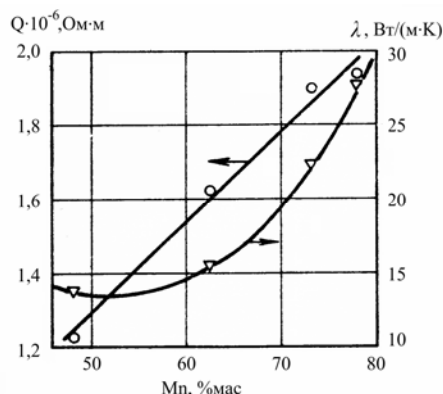


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности и удельного электросопротивления сплавов, содержащих 48–78% Mn, 13–44% Fe, 1–2% Si, от концентрации в них Mn при 293 К

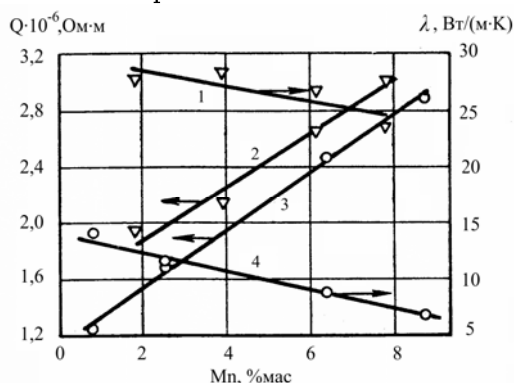


Рисунок 3 – Зависимость теплопроводности и удельного электросопротивления сплавов Mn–Fe–Si–C от содержания в них Si при 293 К:
1, 2 – 77,5–78,0% Mn, 9,8–13,2% Fe, 1,8–7,8% Si, 4,2–6,4% C;
3, 4 – 48–54% Mn, 33,5–45,1% Fe, 0,8–8,7% Si, 3,7–6,0% C

Зависимость теплопроводности сплавов Mn-Fe-Si-C и Mn-Fe-Si-Al-C различного химического состава (табл. 1) от температуры показана на рис. 4. При этом значения удельных электросопротивлений для сплавов Mn-Fe-Si-C заимствованы из работы [5], а для сплавов Mn-Fe-Si-Al-C приведены ниже, $\cdot 10^{-6}$ Ом·м.

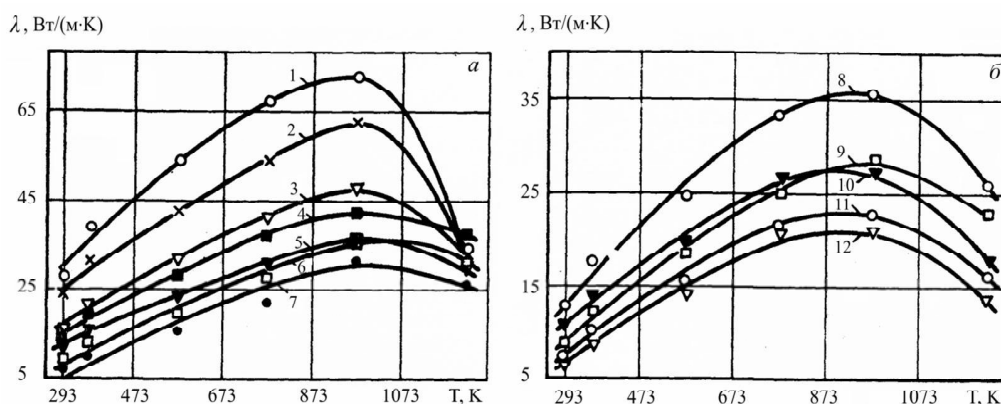


Рисунок 4 – Зависимость теплопроводности сплавов Mn-Fe-Si-C (а) и Mn-Fe-Si-Al-C (б) от температуры

Таблица 1

Химический состав исследуемых сплавов (к рис. 4)

Сплав	Содержание элементов, % (по массе)				
	Mn	Fe	Si	Al	C
1	78	13,11	1,78	–	6,35
2	77,5	10,2	7,76	–	4,2
3	62,56	29,34	0,9	–	6,34
4	48,38	44,08	0,8	–	4,68
5	52,34	39,08	2,55	–	5,6
6	54,2	33,8	6,38	–	4,68
7	48,95	38,37	8,72	–	3,7
8	51,24	39,2	1,51	1,95	5,75
9	48,42	40,0	1,56	4,97	4,97
10	47,92	39,39	5,49	1,35	4,25
11	47,55	37,77	6,31	4,50	3,44
12	47,16	35,48	5,91	7,30	3,52

Сплав	Температура, К					
	293	373	573	773	973	1223
8	1,355	1,408	1,578	1,620	1,710	1,800
9	1,387	1,518	1,755	1,849	1,897	2,049
10	2,004	2,044	2,119	2,176	2,159	2,153
11	2,153	2,255	2,374	2,410	2,428	2,398
12	2,295	2,416	2,493	2,460	2,416	2,386

Анализ результатов показывает, что теплопроводность исследуемых сплавов зависит как от химического состава, так и от температуры. В частности, алюминий, так же как и кремний, в исследуемом диапазоне концентраций способствует снижению теплопроводности сплавов.

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют оценить сплавы с точки зрения их электрических и теплофизических свойств.

Экспериментальное определение температур плавления и плотности сплавов систем Mn-Fe-Si-C и Mn-Fe-Si-Al-C показало, что с увеличением содержания кремния и алюминия температура плавления и плотность этих сплавов уменьшаются

(рис. 5 и 6). При концентрации 4–6% кремния плотность 50%-ного и 75%-ного ферромарганца, а также сплава АМС близка к плотности жидкой стали ($\sim 7 \cdot 10^3$ кг/м³), а их температура плавления соответственно составляет 1440–1450, 1405–1410 и 1350–1390 К против 1480–1490 К для стандартного ферромарганца.

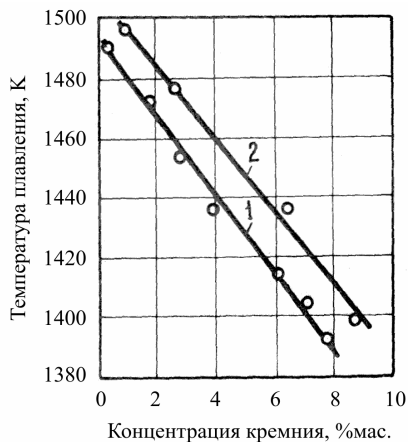


Рисунок 5 – Плотность сплавов Mn–Fe–Si–C от содержания в них кремния:
 1 – 77,5–78,2% Mn, 9,8–14,9% Fe, 0,3–7,76% Si, 4,2–6,8% C;
 2 – 48 – 54% Mn, 33,5–45,1% Fe, 0,8–8,7% Si, 3,7–6% C

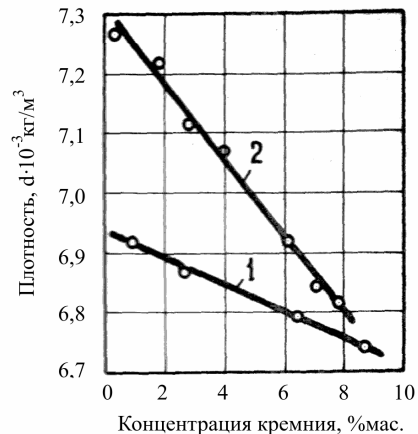


Рисунок 6 – Температура плавления сплавов Mn–Fe–Si–C от концентрации в них кремния: 1 – 48–54% Mn, 33,5–45,1% Fe, 0,0–8,7% Si, 3,7–45,1% C

Оптимальные показатели теплофизических свойств опытных сплавов (теплопроводность, температура плавления и плотность) обуславливают повышение их скорости плавления в жидкой стали по сравнению со стандартным ферромарганцем, что подтверждено результатами экспериментальных исследований.

Цилиндрические образцы сплавов диаметром 40 мм и длиной 110 мм погружали в низкоуглеродистую сталь, нагретую до 1600°C в 50-кг индукционной печи. Их выдерживали в жидком расплаве 10, 20, 30, 40 секунд и до полного расплавления погруженной части в металл. Установлено, что со снижением теплопроводности и температуры плавления сплавов величина корки, образующейся на их поверхности, и продолжительность плавления уменьшаются. Так, ферромарганец с содержанием 78,2% Mn, 6,1% Si, 5,1% C, а также сплавы с концентрацией 54,2% Mn, 6,4% Si, 4,7% C и 47,9% Mn, 5,5% Si, 5,5% C и 1,4% Al расплавились в жидком металле соответственно в 1,1–1,3, 1,4–1,6 и 2,2–2,3 раза быстрее стандартного ферромарганца (77,7% Mn, 0,3% Si, 6,8% C).

На основании исследований комплекса теплофизических свойств сплава и скорости их плавления в жидкой стали разработаны рациональные химические составы легкоплавких марганцевых ферросплавов ФМн75С (75–78% Mn, 3–8% Si, 5–6% C), ФМн50 (50–60% Mn, 3–8% Si, 5–6% C) и АМС (50–60% Mn, 3–8% Si, 4–5% Al, 3–6% C), защищенных авторскими свидетельствами бывшего СССР (619536, 619535, 629773).

При разработке новых сплавов очень важным является их получение с высокими технико-экономическими показателями. Исследования по выплавке стандартного ферромарганца ФМн75 и опытных сплавов ФМн75С и ФМн50 осуществляли в полупромышленной электропечи мощностью 1600 кВт·А (табл. 2). В качестве марганцевого сырья при получении стандартного (ФМн75) и опытного (ФМн75С) ферромарганца использовали марганцевый агломерат АМН1 с

содержанием 49% Mn, 2,7% Fe, 19,8% SiO₂, 3% CaO, 1,4% MgO, 0,024 % P (соответственно варианты 1 и 2). Для выплавки опытного ферромарганца ФМн75С применяли смеси марганцевых руд Ушкатын III (45,5% Mn, 2,3% Fe, 10,5% SiO₂, 1,9% CaO, 0,5% MgO, 0,013% P) и Ушкатын I (15,6% Mn, 35% Fe, 6,7% SiO₂, 5,5% CaO, 0,14% MgO, 0,021% P) в соотношении 20:1 (вариант 3). Получение опытного сплава ФМн50 осуществляли из смеси марганцевых руд Ушкатын III и Ушкатын I в соотношении 1,6:1 (вариант 4).

Основные показатели процесса выплавки стандартного и опытных марок ферромарганца приведены в таблице 2, из которой следует, что получение опытных марок сплава ФМн75С и ФМн50 с содержанием кремния 2,2–4,6% сопровождается повышением извлечения марганца в металл с 70,8% до 76,2–78% и снижением удельного расхода электроэнергии на 9,9–14% по сравнению с выплавкой стандартного ферромарганца. Содержание фосфора в опытном сплаве ФМн75С с концентрацией кремния 4,6% значительно ниже (0,393%), чем в стандартном ферромарганце (0,44%).

Таблица 2

Основные показатели выплавки стандартного ФМн75 и опытного ферромарганца ФМн75С и ФМн50 в полупромышленной электропечи мощностью 1600 кВ·А

Показатели	Сплавы				
	ФМн75	ФМн75С6	ФМн75С6	ФМн50	
Производительность электропечи, баз.т/сут.	4,0	5,03	4,66	4,69	
Средневзвешенное содержание в металле, %:	Mn	76,8	76,6	76,4	56,3
	Si	1,6	4,6	2,2	2,25
	C	6,3	5,01	6,1	5,7
	P	0,44	0,393	0,05	0,06
Средневзвешенное содержание в шлаке, %:	Mn	14,3	18,9	17,8	24,1
	SiO ₂	31,2	35,0	29,4	31,3
	CaO	38,3	24,6	31,3	19,3
	MgO	2,7	3,3	1,6	1,6
Кратность шлака	1,47	1,01	0,80	0,54	
Основность шлака	1,3	0,8	1,1	0,7	
Расход на 1 баз.т сплава, т:					
марганцевого агломерата АМН1	2,16	2,01	–	–	
марганцевой руды Ушкатын III	–	–	2,07	1,744	
марганцевой руды Ушкатын I	–	–	0,229	1,089	
железорудного агломерата	0,150	0,101	–	–	
известняка	0,860	0,296	0,353	0,099	
коксика	0,498	0,440	0,500	0,564	
электроэнергии, кВт·ч	4900	4222	4350	4364	
Извлечение марганца в металл, %	70,8	76,2	76,8	78,0	
Извлечение кремния в металл, %	6,9	21,8	17,5	22,2	

Выплавка опытных марок ферромарганца ФМн75С и ФМн50 из смеси марганцевых руд Ушкатын III и Ушкатын I обеспечивает получение сплавов с концентрацией фосфора 0,05–0,06%. В процессе проведения опытных плавки ферромарганца ФМн75С и ФМн50 исследовали влияние содержания кремния в сплаве [Si] на извлечение марганца η_{Mn} , производительность электропечи P , удельный расход электроэнергии $\omega_{уд}$, концентрации марганца в шлаке (Mn) и фосфора в металле [P] и на кратность шлака ($K_{шл}$). Кроме того, устанавливали

зависимость содержания кремния в ферромарганце от основности шлака $B_{\text{шл}}$. При этом для определения количественного влияния концентрации кремния в ферромарганце на основные показатели процесса его выплавки производили статистическую обработку результатов опытных плавов корреляционно-регрессионным методом. Статистическая оценка полученных уравнений регрессии (табл. 3) показала их высокую надежность и достоверность.

Исследования уравнений второй степени на экстремум и анализ их графических моделей показали, что оптимальное содержание кремния в ферромарганце $[\text{Si}]$, обеспечивающее максимальное извлечение марганца η_{Mn} и повышение производительности Π , минимальный удельный расход электроэнергии $\omega_{\text{уд}}$ и низкую кратность шлака $K_{\text{шл}}$ для данного марганецсодержащего сырья и условий проведения технологического процесса, находится в пределах 4,5–5,6% (рис. 7).

Таблица 3

Влияние содержания кремния в углеродистом ферромарганце на основные показатели процесса его выплавки*

Уравнение регрессии	R	F	$a, \%$	$b, \%$
$[\text{Si}] = 6,809 - 1,924B_{\text{шл}} - 1,024B_{\text{шл}}^2$	0,83	85,2	69,4	15,6
$[\text{P}] = 0,508 - 0,032[\text{Si}] + 0,00167[\text{Si}]^2$	0,69	34,9	48,2	5,74
$(\text{Mn}) = 6,34 + 3,659[\text{Si}] - 0,209[\text{Si}]^2$	0,63	25,45	40,43	16,0
$K_{\text{шл}} = 2,35 - 0,49[\text{Si}] + 0,043[\text{Si}]^2$	0,73	42,84	53,3	15,6
$\Pi = 1,56 + 1,426[\text{Si}] - 0,143[\text{Si}]^2$	0,52	14,36	27,68	13,6
$\omega_{\text{уд}} = 6155 - 714,8[\text{Si}] + 63,4[\text{Si}]^2$	0,42	7,99	17,57	13,0
$\eta_{\text{Mn}} = 48,82 + 12,64[\text{Si}] - 1,4[\text{Si}]^2$	0,29	3,62	8,86	13,6

* Обозначения в тексте (производительность Π и удельный расход энергии $\omega_{\text{уд}}$ – в пересчете на базовые тонны); R – коэффициент корреляции, F – критерий Фишера, a – доля объясняемой вариации ($1-R^2$), b – стандартная ошибка.

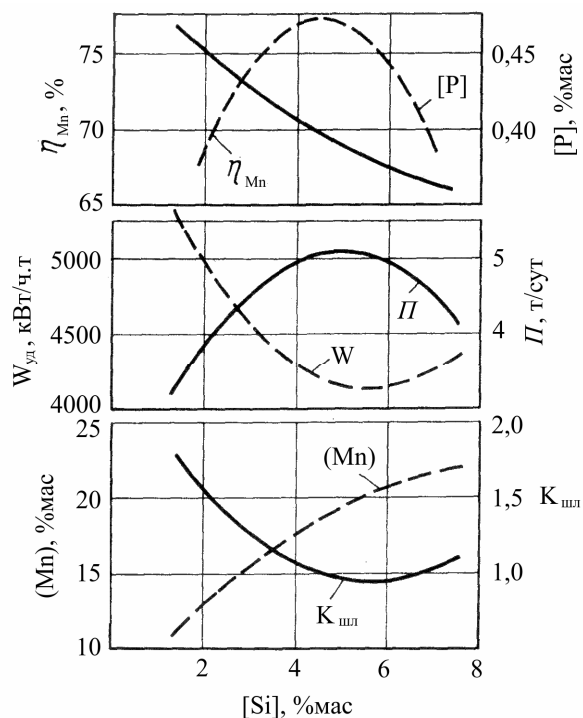


Рисунок 7 – Изменение показателей выплавки углеродистого ферромарганца (в тексте) в зависимости от концентрации в нем кремния $[\text{Si}]$

Дальнейшее повышение концентрации кремния в углеродистом ферромарганце сопровождается ухудшением показателей процесса его выплавки, что обусловлено увеличением содержания марганца в шлаке (Mn) и его кратности.

Увеличение концентрации кремния в ферромарганце способствует также снижению содержания в нем фосфора [P]. Как правило, в высококремнистом сплаве (3–5% Si) содержится не более 0,45% P (обычно 0,40–0,43).

Одним из основных факторов, определяющих содержание кремния в сплаве при производстве углеродистого ферромарганца, является основность шлака $V_{\text{шл}}$. Ее увеличение сопровождается снижением концентрации кремния в сплаве (рис. 8). Оптимальная основность шлака при выплавке ферромарганца с содержанием кремния 4,5–5,6% составляет 0,6–0,8, что позволяет снизить расход флюсующих материалов и тем самым улучшить технико-экономические показатели процесса его производства.

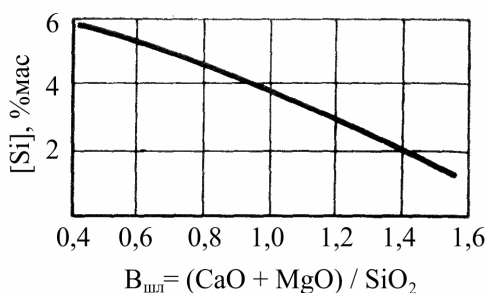


Рисунок 8 – Зависимость содержания кремния в углеродистом ферромарганце [Si] от основности шлака $V_{\text{шл}}$

Исследования по выплавке опытного ферромарганца ФМн75С6 в промышленных электропечах РПЗ-48М2 и РПЗ-63 на Никопольском заводе ферросплавов подтвердили технико-экономические показатели выплавки сплавов в полупромышленной электропечи мощностью 1600 кВ·А. Так, извлечение марганца в сплав повышается на 4–5%, производительность электропечи – на 3–5%, а расход электроэнергии снижается на 4–6% по сравнению с получением стандартного ферромарганца.

Промышленное применение разработанных марганцевых ферросплавов ФМн75С и ФМн50 осуществляли в процессе раскисления и легирования широкого сортамента конструкционных марок сталей (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГСА, 40Х, 50Г, 60С2, 50Г, 45, 3сп) на Донецком металлургическом заводе. Опытно-промышленные плавки осуществляли в 140-т основных мартеновских печах по трем вариантам с присадкой в ковш (или печь): стандартного ферромарганца ФМн75 (вариант 1), с использованием опытных сплавов ФМн75С (вариант 2) и ФМн50 (вариант 3).

Присадку стандартного ферромарганца и опытных сплавов в ковш осуществляли после его наполнения жидким металлом примерно на 1/5 части его высоты в течение 1–2 мин. Предварительное раскисление стали во всех вариантах осуществляли 25%-ным ферросилицием в печи. Разливку полученного металла проводили сифонным способом в слитки массой 5,5 т.

При проведении плавки исследовали скорость плавления стандартного и опытных сплавов в жидком металле, химическую однородность стали, ее макро- и микроструктуру, механические свойства, содержание в ней газов, неметаллических включений и цветных металлов.

Химический состав используемых стандартного ферромарганца и опытных сплавов приведен ниже (% масс.):

	Mn	Si	C	P
ФМн75	77	0,5	6,7	0,45
ФМн75С	77	4,0	5,0	0,41
ФМн50	55	2,25	5,8	0,06

Скорость плавления стандартного ферромарганца и опытных сплавов в жидком металле определяли путем отбора проб стали из ковша через равные промежутки времени с помощью специального пробоотборника. Исследованиями установлено, что все сплавы полностью расплавились в металле за время наполнения ковша. Однако, опытные сплавы ФМн75С и ФМн50 при выплавке стали 30ХГСА расплавились к моменту наполнения ковша на 1/2 его части, а стандартного ферромарганца – только при наполнении ковша на 3/4 (рис. 9). Снижение концентрации марганца в металле при последующем наполнении ковша во всех вариантах объясняется полным расплавлением сплавов.

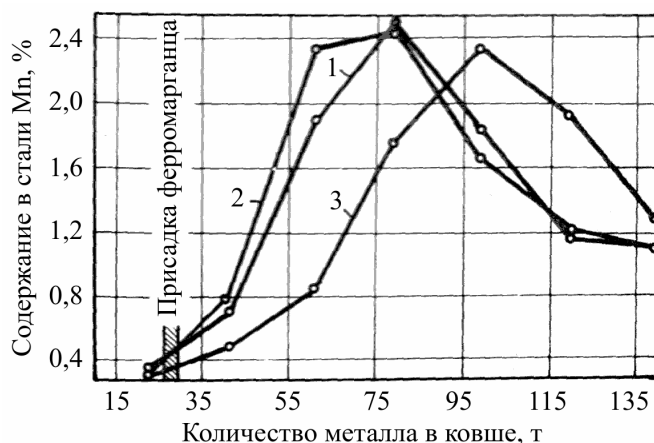


Рисунок 9 – Динамика изменения содержания марганца в стали 30ХГСА за период ее раскисления и легирования в ковше: 1 – опытный сплав ФМн75С; 2 – опытный сплав ФМн50; 3 – стандартный ферромарганец ФМн75

Исследования химической однородности стали определяли путем отбора и анализа проб металла в начале, середине и конце разлива, а также из готового проката. Результатами этих исследований установлено, что опытная сталь, в отличие от плавки текущего производства, обладает достаточно высокой химической однородностью ее компонентов. Это имеет место в случае использования опытных сплавов ФМн75С и ФМн50. Применение же стандартного ферромарганца в ряде случаев сопровождается отклонением концентрации марганца в металле, превышающим допустимые значения.

Использование опытных сплавов ФМн75С и ФМн50 при раскислении и легировании конструкционной стали обеспечивает снижение угара марганца на 1,5–2,5% и кремния на 2–3% по сравнению с применением стандартного ферромарганца ФМн75, что позволяет снизить расход ферромарганца на 0,1–0,2 кг/т и ферросилиция на 0,2–0,7 кг/т стали.

Содержание фосфора в стали, полученной с применением опытных сплавов ФМн75С и ФМн50 на 0,001–0,005% ниже по сравнению с плавками текущего производства, а концентрация цветных металлов (Cu, Pb, Zn), серы и газов (кислород, азот) находится на уровне сравнительного металла.

Количество неметаллических включений в пробах от прокатанного металла, полученного с применением опытных сплавов на 0,004% ниже, а ударная

вязкость и пластичность на 2,5–4,5% выше по сравнению с плавками текущего производства.

Опытный низкофосфористый сплав ФМн75С, полученный из смеси марганцевых руд Ушкатын III и Ушкатын I с содержанием 76,4% Mn, 2,2% Si, 6,1% С, 0,05% Р применяли при выплавке нержавеющей стали 12Х18Н10Т в электропечах ДСП-30 и ДСП-40 методом переплава легированных отходов с использованием технического кислорода взамен дорогостоящих среднеуглеродистого ферромарганца и металлического марганца. Выплавку стали проводили по существующей технологии. Однако для предварительного раскисления металла, после продувки ванны кислородом, в печь вводили опытный сплав ФМн75С в количестве 4 кг/т первоначальной садки.

Выводы

Результаты выполненных исследований показали, что присадка опытного низкофосфористого сплава ФМн75С обеспечивает снижение содержания кислорода в стали на 0,03% и, вследствие этого, улучшаются условия восстановления хрома из шлака. За счет уменьшения окисленности металла снижается расход малоуглеродистого феррохрома и среднеуглеродистого ферромарганца на 0,71 кг и 3,17 кг/т металлозавалки соответственно.

Опытный сплав ФМн75С был внедрен при производстве конструкционной стали на Донецком, Криворожском, Западно-Сибирском, Челябинском, Макеевском, Днепродзержинском металлургических заводах и Магнитогорском металлургическом комбинате.

На основании проведенного комплекса теплофизических исследований, установления эффективности производства и применения сплава ФМн75С в ферросплавном и сталеплавильном производстве в Государственный стандарт включены 2 марки высококремнистого ферромарганца ФМн75С6 (2,1–6% Si) и ФМн75С9 (6,1–9,9 % Si), а также в стандарт СЭВ «Ферромарганец. Марки и технические требования».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Курнушко О.В., Зубанов В.Т., Лякишев Н.П. и др. Освоение технологии производства низкофосфористого углеродистого ферромарганца в закрытой печи мощностью 16,5 МВ·А. Сталь, 1975, N 7.
2. Казачков И.П., Паримончик И.Б. Кинетика плавления ферросплавов. Известия Вузов. Черная металлургия. – 1973, N 2, с. 55–59.
3. Казачков И.П., Паримончик И.Б. Факторы, определяющие скорость растворения сплавов в жидкой стали. Сб. «Металлургия и коксохимия», Киев, «Техніка», 1976, N 49, с. 56–60.
4. Вейник А.И. Кокиль. Минск: Наука и техника, 1972, 333 с.
5. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. Пер. с англ. Изд. 2-е. М.:Госэнергоиздат, 1961, 680 с.
6. Казачков И.П. Тепловой эффект процессов раскисления и легирования стали в ковше. Сообщение 1. Известия вузов. Черная металлургия. 1971, № 1, с. 68–70.
7. Богачев И.Н., Еголаев В.Ф. Структура и свойства железомарганцевых расплавов. М.:Металлургия, 1973, 206 с.