

УДК 658.567.1:669.1

Б.Ф. Величко, И.П. Рогачев, С.Г. Грищенко,
В.И. Ольшанский, И.Ю. Филиппов, А.Н. Овчарук

**КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ
ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ, ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ
МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ И ЭЛЕКТРОПЛАВЛЕННЫХ ФЛЮСОВ**

Анотація. Наведені характеристики комплексу металургійного виробництва марганцевих феросплавів в умовах Нікопольського заводу феросплавів. Проаналізовано розподіл марганцю між продуктами плавки, проаналізовані основні статті його втрат з відходами. Наведені основні шляхи підвищення технологічного добування марганцю при плавці, комплексного використання шлаків, шламів та пилу, вторинних металовмісних матеріалів поточного виробництва та переробки раніш накопичених шлакових відвалів. Визначені подальші напрями раціонального використання вторинних енергетичних та матеріальних ресурсів.

Ключові слова. Рудовідновна електроніч, марганцеві феросплави, флюси, агломашина, газоочисник, шлаки, шлами, пил, утилізація

Аннотация. Приведены характеристики комплекса металлургического производства марганцевых ферросплавов в условиях Никопольского завода ферросплавов. Проанализировано распределение марганца между продуктами плавки, основные статьи его потерь с отходами. Приведены основные пути повышения технологического извлечения марганца при плавке, комплексного использования шлаков, шламов и пылей вторичных металлосодержащих материалов текущего производства и переработки ранее накопленных шлаковых отвалов.

Ключевые слова. Рудовосстановительная электропечь, марганцевый ферросплавы, флюсы, агломашина, газоочистка, шлаки, шламы, пыли, утилизация.

Annotation. The characteristics of the complex metallurgical production of manganese ferroalloys in the conditions of Nikopol Ferroalloy Plant. Analyzed the distribution of manganese between the products of smelting, the main items of its losses from the waste. The main ways to improve the technology of extraction of manganese in smelting, comprehensive utilization of slag, sludge and dust secondary metallic materials of current production and processing of previously accumulated slag dumps.

Keywords. Ore-smelting furnace, manganese ferroalloys, fluxes, sintering machine, gas cleaning, slag, sludge, dust disposal.

Никопольский завод ферросплавов (НЗФ), являющийся крупнейшим специализированным предприятием по производству марганцевых ферросплавов и электроплавленных флюсов, располагает современным комплексом шихтоподготовительного, электропечного, металло- и шлакоперерабатывающего оборудования, а также необходимыми средствами для улавливания и утилизации промышленных выбросов. Плавильные ферросплавные цеха завода оснащены закрытыми и герметичными электропечами большой единичной мощности типа РКЗ-16,5, РПЗ-48 и РТП-6ЗИ1 конструкции ВНИИЭТО, а также печью РКГ-75 японской фирмы «Танабэ». В флюсоплавильном цехе эксплуатируются дуговые электропечи ОКБ-6063 с мощностью трансформатора 3,2 МВ·А.

© Величко Б.Ф., Рогачев И.П., Грищенко С.Г., Ольшанский В.И.,
Филиппов И.Ю., Овчарук А.Н., 2016

Как показывает отечественный и мировой опыт, эти печи в наибольшей степени удовлетворяют «жестким» требованиям экологии и охраны окружающей среды, экономии электроэнергии, использования вторичных тепло- и энергоресурсов, автоматизации и механизации производства [1–3]. Закрытые электропечи реконструированы и переведены на герметичный режим работы, оснащены современными средствами управления с механизацией и автоматизацией основных и вспомогательных технологических операций.

Крупные мероприятия по реконструкции проведены на аглофабрике завода с целью повышения производительности агломашины, улучшения качественных характеристик спекаемых агломератов различных марок, утилизации тепла, а также улучшения условий труда обслуживающего персонала [4–5].

Все рудовосстановительные электропечи закрытого и герметичного типов оснащены эффективными газоочистными аппаратами для очистки колошниковых газов. Запыленная газоздушная смесь от зонтов закрытых печей, камер леточных узлов и разливочных машин проводит очистку от пыли в газоочистках сухого типа. При этом улавливается значительное количество влажных и сухих шламов и пылей.

Как известно, при выплавке марганцевых ферросплавов на заводах используется относительно бедное рудное сырье, пустая порода которого увеличивает выход попутно образующихся шлаков и потери с ними ведущего элемента. Анализ распределения марганца между продуктами выплавки силикомарганца и ферромарганца показал, что основное количество марганца теряется со шлаком (12–16 %), в котором он находится как в оксидной форме, так и в виде механически запутавшихся металлических корольков. Значительная часть марганца переходит в отходы – продукты загущения шлака и настывли в разливочных ковшах (4–8%), в скрап-брызги и корольки металла на разливке (2–5 %), в шламы газоочисток отходящих газов и аспирационных систем леточных узлов и разливочных машин (2–6%). Ранее эти материалы складировались в отвалах, занимая значительные площади плодородных земель и ухудшая экологическую обстановку в районе завода.

За последние годы выполнен комплекс работ, направленных на повышение извлечения марганца и максимальное использование различных видов вторичных материалов в собственных переделах, и их рациональное применение в смежных отраслях народного хозяйства. В первую очередь здесь следует отметить разработанные способы оптимизации технологических режимов работы, позволившие для каждого типа печей в зависимости от их параметров и вида выплавляемого сплава подбирать оптимальный электрический режим ведения плавки и состав шихты для получения высоких технико-экономических показателей [6–7]. Практическому решению этой задачи способствовало освоение в режиме управления АСУТП герметичных печей типа РПЗ-63И1 и их оснащение надежными средствами контроля экологических, электрических, газовых, тепловых и технологических параметров процесса.

Параллельно с повышением технологического извлечения марганца при плавке разрабатывали комплексную технологию утилизации отвальных шлаков, шламов и пылей газоочисток, что потребовало углубленного изучения химико-минералогического состава отходов и их металлургических свойств (табл. 1–3).

Таблица 1

Химический состав материалов

Материал	Массовая доля компонентов, %					
	Mn	Fe	C	P	CaO	MgO
Шлак силикомарганца	11–13	0,15–0,20	0,2–0,4	0,012–0,014	17–18	4,5–5,5
Шлак высокоуглеродистого ферромарганца	12–14	0,10–0,16	0,2–0,4	0,008–0,011	35–38	3–4
Шлаковый песок	16–18	1–2	1,5–2,0	0,02–0,05	18–19	2–3
Металлоконцентрат*	44–50	4–6	1,0–1,4	0,3–0,4	6–8	1–3
Некондиционная мелочь силикомарганца**	65–71	7–11	1,3–1,9	0,35–0,43	1,5–2,8	0,3–0,8
Шламы аглофабрики	26–28	2,0–2,8	5–10	0,20–0,25	7–9	1,5–3,0
Шламы газоочисток плавильных цехов N 1 и 2	16–20	1,4–1,9	7–15	0,15–0,25	5–7	1,5–2,5
Шламы флюсоплавильные	3–5	0,2–0,5	1–3	0,05–0,08	2–4	10–12
Пыль вентиляционных систем	25–27	2–3	4–7	0,17–0,20	6–10	2–3
Пыль аспирационная	20–25	1–2	5–8	0,11–0,15	2,5–8,0	3–6

Продолжение таблицы 1

Массовая доля компонентов, %							п.п.п., %	W, %
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	F	S	Zn	Pb		
49–50	7–8	3,3–4,5	–	0,8–1,3	–	–	–	–
34–36	4–5	2,4–3,5	–	0,5–0,8	–	–	–	–
44–46	4–6	2,0–3,5	–	0,5–1,0	–	–	–	–
–	3–5	1,8–3,0	–	0,1–0,3	–	–	–	–
–	0,5–0,8	–	–	–	–	–	–	–
20–22	2,5–3,5	2,5–4,0	0,2–0,4	0,1–0,2	–	–	13–15	15–20
18–21	1,5–2,0	4,5–8,0	0,3–0,5	0,3–0,5	0,6–1,5	0,5–1,5	27–37	28–32
3–5	3–5	0,8–2,5	15–18	0,4–0,8	0,01–0,10	0,01–0,10	12–15	20–30
18–22	3–5	1,5–3,0	0,1–0,3	0,1–0,4	0,01–0,03	0,008–0,01	8–12	0,3–0,5
23–30	1,3–1,5	4–8	–	1,2–2,5	0,8–2,5	1,0–2,5	10–12	–

* и ** – Дополнительно содержалось соответственно 14–19 и 16–19 % Si.

Было установлено, что массовая доля марганца в отвальных шлаках силикомарганца и ферромарганца колеблется в пределах 11–14%. Концентрация марганца в шлаковом песке, образующемся в результате дробления и рассева шлака силикомарганца по фракциям, несколько выше (16–18%), что обусловлено значительным количеством (5–12%) корольков сплава.

Наряду с марганцем отвальные шлаки и шлаковый песок содержат также оксиды кальция, магния, кремния и алюминия, являющиеся в определенных количествах полезными при производстве чугуна, стали, лигатур и ферросплавов. Однако следует иметь в виду, что в этих материалах имеются соединения серы (0,5–1,3 %) и щелочных металлов (2–4,5%).

Шлаки силикомарганца [8] при отношении $(MnO+CaO) / SiO_2 < 1$ имеют в своем составе свободный кремнезем в виде кристобаллита и сложные силикаты типа бустамита $(Ca,Mn)O \cdot SiO_2$. Промежутки между кремнеземом и силикатами заполнены марганцево-кальциево-силикатным стеклом. Повсеместно в шлаке встречаются корольки сплава диам. ≤ 3 мм.

Таблица 2

Гранулометрический состав материалов

Материал	Массовая доля материалов, %, по фракциям (мм)									
	+5	3-5	1-3	0,5-1	0,25-0,5	0,16-0,25	0,10-0,16	0,071-0,10	0,05-0,071	-0,05
Шлаковый песок	0,1	5,6	4,3	20,4	17,5	12,3	3,07	0,23	0,15	0,35
Металло-концентрат	97,4	1,7	0,6	0,2	0,1	-	-	-	-	-
Некондиционная мелочь силикомарганца	14,6	14,6	47,4	19,8	0,8	0,4	0,5	0,3	0,1	-
Шламы аглофабрики	-	-	-	1,4	3,6	12,8	5,4	4,7	29,1	43,1
Шламы газоочисток плавильных цехов N 1 и 2	-	-	-	0,5	3,9	13,4	6,1	6,2	28,3	41,6
Шламы флюсоплавильные	-	-	-	15,6	7,4	5,7	7,6	8,4	28,3	27,0
Пыль вентиляционных систем	-	-	-	0,3	0,6	2,6	3,5	5,2	4,0	83,8
Пыль аспирационных систем газоочисток	-	-	-	-	1,0	4,2	2,1	2,3	2,5	87,9

Таблица 3

Физические свойства материалов

Материал	Удельная поверхность (внешняя), м ² /кг	Плотность, Ч10 ³ кг/м ³	Температура, К	
			Начала плавления	Образования капли
Шлаковый песок	-	3,23	1418	1588
Металлоконтрат	-	5,10	1448	1630
Некондиционная мелочь силикомарганца	-	4,20	1453	1618
Шламы аглофабрики	396	2,90	1393	1553
Шламы газоочисток плавильных цехов N 1 и 2	1364	3,00	1403	1753
Шламы флюсоплавильные	664	2,75	1365	1596
Пыль вентиляционных систем	482	3,50	1373	1563
Пыль аспирационных систем газоочисток	1913	2,94	1312	1705

Шлаки высокоуглеродистого ферромарганца флюсовой выплавки состоят в основном из силикатов бустамитового ряда с повышенным содержанием СаО; марганец находится в виде манганозита и сульфида марганца [8].

Шлаковый песок на 90–95% представлен фракцией 0–3 мм. Его плотность $3,23 \cdot 10^3$ кг/м³, температура начала плавления 1418 К. Формирование капли расплава происходит при 1588 К.

Некондиционная мелочь силикомарганца, образующаяся в результате фракционирования, по химическому составу соответствует силикомарганцу марки СМн17Р. На 81,8% она представлена фракцией 0,5–5 мм, ее плотность

$4,2 \cdot 10^3$ кг/м³, температура начала плавления 1453 К, а образования капли 1618 К; содержит 1,7–2,5% извести в виде примеси.

Содержание марганца в металлоконцентрате, получаемом путем разделения отвальных шлаков силикомарганца на металлическую и оксидную составляющие методом пневмосепарации, составляет 44–50%. Количество металлической фазы (СМн17Р) в этом материале составляет 40–60%. Металлоконцентрат представлен в основном фракцией свыше 5 мм (97,4 %), плотность $5,1 \cdot 10^3$ кг/м³.

Шламы аглофабрики, газоочисток плавильных цехов и флюсоплавильные характеризуются высокой влажностью ($W = 15–32\%$) и содержат соответственно 26–28, 16–20 и 3–5% марганца. Особенностью шламов флюсоплавильного производства является повышенная концентрация фтора (15–18%). Следует отметить, что эти материалы содержат углерод (1–15%), щелочные металлы (0,8–8%), серу (0,1–0,8%), а в шламах газоочисток плавильных цехов имеется 0,6–1,5% цинка.

Шламы неоднородны по гранулометрическому составу. Наряду с остроугольными частицами диаметром 0,01–0,04 мм, представленными преимущественно оксидами марганца, железа и их сростками с силикатами и кварцем, имеются круглые частицы диаметром 0,02–0,05 мм, состоящие из оксидов марганца и включений углерода. В шламах содержится значительное количество мелких частиц извести, известняка и глинистого материала. Оксиды марганца представлены гаусманитом и курнакитом, а оксиды железа – сульфидами.

На основании выполненных исследований была разработана комплексная технология утилизации отходов выплавки марганцевых сплавов, схема которой представлена на рисунке 1.

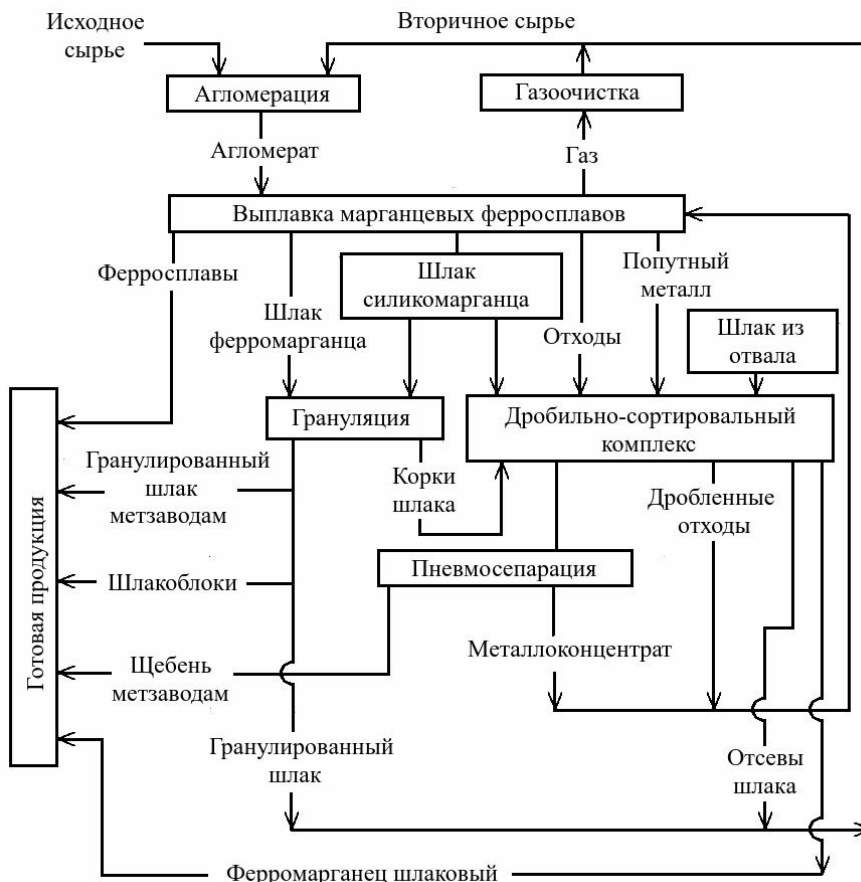


Рисунок 1 – Схема переработки и использования вторичных материалов на НЗФ

Уловленные пыли и шламы газоочисток электропечных агрегатов и аглофабрики поступают на аглофабрику завода, где смешиваются с первичными марганцеворудными материалами. Полученный при спекании этих шихтовых компонентов агломерат марки АМНВ-2 используется для выплавки товарного силикомарганца.

Мелкие фракции шлака силикомарганца (шлаковый песок), содержащие повышенное количество металлических корольков, применяются при спекании агломерата АМНВ-2 и возвращаются на плавку силикомарганца. Аналогичным образом утилизируется часть гранулированного шлака высокоуглеродистого ферромарганца. Использование в аглошихте материалов, прошедших предварительное плавление, способствует улучшению показателей спекания и физико-механических свойств агломерата.

В условиях завода впервые реализована в промышленных масштабах технология получения шлаколитых изделий из огненно-жидкого шлака силикомарганца, применение которых в металлургии, химической промышленности и сельском хозяйстве повышает срок службы агрегатов в 4–8 раз [9].

Дробленые корки шлаков используются по многим направлениям, одним из которых является их обогащение с целью выделения металлоконцентрата, применяемого в электропечной шихте для выплавки силикомарганца. Корки дробления шлаков и прометалленные корки загущения шлаков, ковшевые остатки, отходы разлива и фракционирования также повторно применяются в качестве металлосодержащих отходов при выплавке силикомарганца и высокоуглеродистого ферромарганца.

Разработана технология применения высокофосфористого высокоуглеродистого ферромарганца – попутного металла, получаемого при выплавке передельного малофосфористого шлака, которая позволяет экономить эквивалентное количество стандартных марганцевых ферросплавов.

Одним из рациональных путей утилизации отвальных марганецсодержащих шлаков, металлоконцентрата и некондиционной ферросплавной мелочи является их применение при производстве чугуна и стали.

Опытно-промышленные плавки стали проводили на металлургическом комбинате им. Дзержинского в 250-тонных конвертерах с верхней продувкой кислородом по действующей технологии [10]. Ковшевые остатки при выплавке кипящей и полуспокойной стали Зкп, Зпс, а также рельсовой КПТ и К74 давали в конвертер в завалку и по ходу плавки. Металлоконцентрат (45,7% Mn, 19,1% Si, 1,4% C, 0,23% P, 5,1% Fe, 3,5% Al₂O₃, 7,3% CaO), некондиционную мелочь силикомарганца (66,5% Mn, 18,4% Si, 1,3% C, 0,36% P, 11,4% Fe, 1,7% CaO) и брикеты, полученные из 35% металлоконцентрата, 35% некондиционной мелочи силикомарганца, 30 % шламов и пылей (42,9% Mn, 5,1% Fe, 4,8% C, 0,29% P, 4,3% CaO, 1,8% MgO, 30,9% SiO₂) – только в ковш при раскислении стали Зпс.

Основные показатели по выплавке стали с применением ковшовых остатков приведены в табл. 4, а с использованием металлоконцентрата и некондиционной мелочи силикомарганца и брикетов – в табл. 5.

Присадка в конвертер ковшовых остатков обеспечивает повышение концентрации остаточного марганца в металле после продувки на 0,01–0,03%. Соответственно увеличивается содержание марганца в готовой стали, что дает экономию марганцевых ферросплавов на 0,3–0,9 кг/т.

Повышение концентрации MnO в шлаке на 0,8% способствует значительному улучшению процесса шлакообразования. Степень усвоения марганца из ферросплавов на опытных и обычных плавках практически не различалась, тепловой баланс плавки также не изменился.

Содержание серы в металле после продувки повысилось на 0,03–0,05%, что вызвано некоторым снижением основности шлака в конвертере из-за внесения ковшовыми остатками значительного количества SiO₂. В связи с этим технология используется при переработке чугуна с концентрацией серы не выше 0,035%.

Таблица 4

Основные показатели выплавки стали с использованием ковшовых остатков
(числитель) и по обычной технологии (знаменатель)

Показатель	Зпс, Зкп	КПТ	К74
1	2	3	4
Количество плавки	52/57	4/11	2/6
Массовая доля компонентов, содержание в чугуне, %:			
Mn	0,16/0,12	0,06/0,07	0,07/0,07
Si	0,73/0,69	0,57/0,70	0,79/0,82
P	0,051/–	–/–	–/–
S	0,033/0,038	0,048/0,032	0,038/0,025
Массовая доля компонентов расплава после продувки в металле, %:			
C	0,06/0,07	0,57/0,59	0,65/0,68
Mn	0,09/0,08	0,10/0,07	0,09/0,07
S	0,044/0,040	0,035/0,031	0,035/0,031
P	0,015/0,013	0,016/0,024	0,015/0,016
Массовая доля компонентов, %:			
CaO	47,29/51,33	50,79/51,69	52,13/52,28
SiO ₂	16,85/15,44	20,74/18,88	19,60/20,24
FeO	21,29/18,57	12,78/12,74	14,79/11,75
MgO	7,20/8,63	9,63/11,14	6,49/8,20
Al ₂ O ₃	1,53/1,86	2,08/1,90	2,71/2,79
S	0,11/0,11	0,10/0,12	0,11/0,13
MnO	3,06/3,26	2,76/1,97	2,81/2,00
Основность шлака	3,23/3,88	2,91/3,33	3,01/3,01
Температура металла после продувки, К	1905/1905	1881/1887	1872/1877
Расход ковшовых остатков, кг/т стали	7,33/–	8,3/–	6,9/–
Массовая доля компонентов готовой стали, %:			
C	0,17/0,18	0,69/0,70	0,75/0,74
Mn	0,47/0,44	0,67/0,63	0,87/0,85
Si	0,07/0,05	0,11/0,12	0,33/0,29
S	0,038/0,037	0,038/0,030	0,031/0,028
P	0,014/0,013	0,026/0,022	0,16/0,019
Масса отлитой стали, т	12126,3/6327,2	823/2309,3	388/1228,6
Усвоение марганца, %	78,7/75,0	85,1/86,6	88,1/89,8

Таблиця 5

Основные показатели опытно-промышленных плавов Ст 3пс с применением металлоконцентрата (А), некондиционной мелочи силикомарганца (Б), брикетов (В) и по обычной технологии (знаменатель)

Показатель	Варианты		
	А	Б	В
1	2	3	4
Количество плавов	8/12	12/13	4/5
Массовая доля компонентов чугуна, %:			
Mn	0,07/0,07	0,06/0,08	0,11/0,10
Si	0,77/0,80	1,05/1,17	0,76/0,63
P	0,048/0,045	0,053/0,052	0,069/0,069
S	0,028/0,033	0,033/0,033	0,028/0,032
Массовая доля компонентов расплава после продувки, %:			
C	0,07/0,08	0,07/0,08	0,05/0,05
Mn	0,09/0,09	0,05/0,05	0,06/0,05
S	0,037/0,038	0,053/0,044	0,035/0,040
P	0,017/0,014	0,022/0,017	-/-
Массовая доля компонентов печного шлака, %:			
CaO	51,46/52,00	43,12/47,27	52,56/46,27
SiO ₂	20,53/20,87	19,19/17,56	14,18/15,53
FeO	16,99/16,47	17,83/20,83	15,37/19,49
MgO	4,66/4,07	10,00/9,41	5,1/4,81
Основность шлака (CaO+MgO/SiO ₂)	2,73/2,69	2,77/3,23	4,07/3,33
Температура металла после продувки, К	1905/1905	1901/1886	1893/1899
Расход ферросплавов, кг/т стали:			
силикомарганца СМн17Р	4,750/7,083	7,029/7,565	7,977/8,566
ферромарганца ФМн75	0,800/0,737	-/-	-/-
ферросилиция ФС65	-/-	0,303/0,418	0,332/0,350
металлоконцентрата (67,5 % Mn)	2,919/-	-/-	-/-
некондиционной мелочи силикомарганца	-/-	0,938/-	-/-
брикетов	-/-	-/-	0,798/-
Массовая доля компонентов, %:			
C	0,17/0,18	0,18/0,19	0,19/0,18
Mn	0,52/0,48	0,55/0,49	0,47/0,44
Si	0,08/0,10	0,10/0,10	0,10/0,06
S	0,038/0,030	0,043/0,041	0,032/0,035
P	0,014/0,012	0,016/0,017	0,011/0,010
Масса доля газов в стали, %:			
водород	0,000291/0,000271	-/-	0,00048/0,00047
кислород	0,01380/0,01623	-/-	0,0674/0,0456
азот	0,00707/0,01377	-/-	0,0118/0,0107
Вес отлитой стали, т	1867,4/2781,5	2573/2987,3	902,6/1144
Усвоение марганца, %	78,0/74,9	89,3/84,2	71,2/67,8

Анализ результатов опытных и обычных плавки стали Зпс и Зкп с использованием ковшовых остатков показал, что с повышением содержания углерода в металле после продувки концентрация в нем марганца увеличивается. При одинаковом содержании углерода концентрация марганца в металле, полученном с применением ковшовых остатков, на 0,01–0,015% выше, чем на обычных плавках (рис. 2).

Зависимость степени усвоения марганца от содержания (FeO) в шлаке показана на рис. 3, из которой следует, что увеличение (FeO) в шлаке сопровождается резким снижением степени усвоения марганца на обычных плавках.

Применение металлоконцентрата (2,919 кг/т стали) или некондиционной мелочи силикомарганца (0,938 кг/т стали) или брикетов (0,798 кг/т стали) для раскисления стали марки Ст Зпс в ковше обеспечивает экономию ферросплавов в размере 0,536–2,270 кг/т стали. При этом усвоение марганца колеблется в сравнительно узких пределах и по сравнению с обычными плавками повышается на 3,4–5,1 %. Это подтверждается содержанием марганца в стали. Так, в опытном металле оно составляет 0,47–0,55%, а в обычном 0,44–0,49%.

Концентрация серы, фосфора и газов в опытной стали находится на уровне плавки текущего производства.

Металлографический анализ и механические испытания образцов стали, полученной с применением ковшовых остатков, металлоконцентрата, некондиционной мелочи силикомарганца и брикетов, показали, что качество опытного и обычного металла оказалось практически идентичным.

Аналогичные результаты получены также при раскислении мартеновской трубной стали силикомарганцем в печи, а металлоконцентратом, 45%-ным ферросилицием и алюминием в ковше [11]. Степень усвоения марганца на опытных плавках составила 80,8 % при экономии ферросплавов 2,8–4,8 кг/т стали, на обычных – 78,5 %.

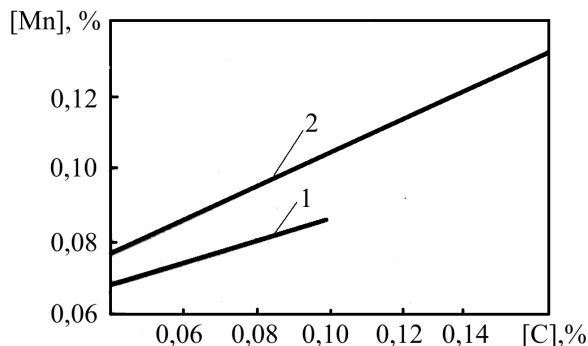


Рисунок 2 – Зависимость остаточного содержания марганца в металле после продувки от концентрации углерода на обычных плавках (1) и с применением ковшостатков (2):

$$1 - [Mn] = 0,049 + 0,48 [C];$$

$$R = 0,39; F = 4,12$$

$$2 - [Mn] = 0,058 + 0,456 [C];$$

$$R = 0,44; F = 11,9$$

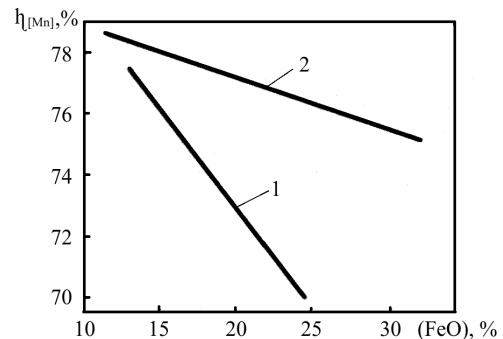


Рисунок 3 – Зависимость степени усвоения марганца от содержания закиси железа в шлаке на обычных плавках (1) и с применением ковшовых остатков (2):

$$1 - \eta_{Mn} = 85,86 - 0,647 (FeO);$$

$$R = 0,194; F = 0,9$$

$$2 - \eta_{Mn} = 80,65 - 0,172 (FeO);$$

$$R = 0,08; F = 0,37$$

Выводы

Внедрение технологии комплексного использования вторичных оксидных и металлсодержащих материалов позволило повысить извлечение марганца при производстве ферросплавов на 4–6%; обеспечить практически полную переработку и использование шлаков текущего производства и переработку ранее накопленных в отвалах, а также снизить годовую потребность завода в первичном марганцевом

сырье более чем на 150 тыс. т; экономить ежегодно свыше 60 млн. кВт·ч электроэнергии; снизить расход топлива при производстве агломерата на 7–9%; обеспечить переработку и отгрузку потребителям ежегодно свыше 30 тыс. т попутного металла, используемого в сталеплавильном и литейном производствах; освоить выпуск из шлаков товаров народного потребления (шлакоблоки), а также шлакового литья, применяемого на предприятиях отрасли.

За разработку и освоение ресурсосберегающей технологии выплавки марганцевых ферросплавов на основании комплексного использования отвальных шлаков, шламов и пылей, а также попутно образующихся металлопродуктов группе научных работников и производственников присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гасик М. И., Лякишев Р. П., Емлин Б. И. Теория и технология производства ферросплавов. — М.: Металлургия, 1988. — 784 с.
2. Величко Б. Ф., Матюшенко В. И., Ткач Г.Д. Пуск в эксплуатацию мощной герметичной печи РПЗ-63И1 для выплавки марганцевых сплавов // Сталь. 1982. N 2. С. 49–51.
3. Зубанов В. Т., Величко В. Ф., Ткач Г. Д. и др. Опыт работы завода в ускорении научно-технического прогресса // Сталь. 1987. N 9. С. 45–47.
4. Зубанов В. Т., Ященко А. Г., Величко Б.Ф. и др. Разработка и освоение технологии производства влагостойкого офлюсованного марганцевого агломерата // Сталь. 1987. N 2. С. 45–48.
5. Гасик М. И., Зубанов В. Т., Щербицкий Б. В. и др. Получение офлюсованного марганцевого агломерата и выплавка высокоуглеродистого ферромарганца // Сталь. 1982. N 9. С. 51–53.
6. Степанянц С.Л., Сафонов Б.П., Зубанов В.Т. и др. Опыт создания АСУТП мощных ферросплавных печей и перспективы применения / Сталь. 1987. N 11. С. 50–53.
7. Ткач Г. Д., Зубанов В. Т., Степанянц С. Л. и др. Применение ЭВМ для управления процессом выплавки силикомарганца // Сталь. 1987. N 3. С. 42–44.
8. Гасик М. И., Гладких В. А., Лысенко В. Ф. др. Использование марганцевых шлаков: Обзор. информ. (Черная металлургия. Сер. Ферросплавное производство) / Ин-т «Черметинформация». — 1981. — Вып. 1. — 27 с.
9. Вагин В. В., Зубанов В. Т., Величко Б. Ф. и др. Изделия из огненно-жидких шлаков производства силикомарганца – эффективные заменители металла, цемента, огнеупорного материала // Сталь. 1988. N 4. С. 47–48.
10. Рогачев И. П., Кривко Е. М., Чуб П. И. и др. Применение шлака производства силикомарганца и металлоконцентрата при выплавке стали в конвертере // Сталь. 1987. N 2. С. 29–31.
11. Кривко Е.М., Рогачев И.П., Чуб П.И. и др. Технология выплавки трубной стали с использованием марганецсодержащих отходов ферросплавного производства. Бюл. ин-та Черметинформация. N 9, 1984.