

УДК 669.054.8

*к.т.н. Проценко М. Ю.,
Воронько М. И.,
Проценко В. И.,
Ангелов В. Ю.*

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, mikhalu4@yandex.ru)

АНАЛИЗ СОСТАВА ОТХОДОВ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Исследованы физико-химические свойства отходов, получаемых при производстве электропечных ферросплавов, и выполнена оценка эффективности использования полученного вторичного сырья в металлургических технологиях.

Ключевые слова: *отходы, ферросплавы, шлак, корольки сплава, ферросилиций, ферросиликомарганец, химический состав, переплав отходов.*

За многолетнюю историю деятельности Стахановского завода ферросплавов (ныне филиал № 13 «Стахановский завод ферросплавов» ЗАО «Внешторгсервис») в отвалах скопилось довольно большое количество отходов ферросплавного производства (ОФП). С целью вовлечения техногенных отходов в металлургический передел необходимо выполнить комплексный анализ физико-химических свойств данных отходов.

Продуктами химических реакций при карботермическом способе восстановления элементов на филиале № 13 «Стахановский завод ферросплавов» ЗАО «Внешторгсервис» (СЗФ) являются непосредственно ферросплав определенной марки, пыль и шлак, содержащий в основном кремнезем (SiO_2). Помимо кремнезема шлак содержит оксиды других элементов, участвующих в реакции. По литературным данным, в ОФП, кроме корольков сплава, содержится 30÷80 % кремнезема, содержание других компонентов (Al_2O_3 , CaO , MgO , MnO и т. д.) 0,5÷35 % в зависимости от вида выплавляемого сплава [1].

Производство ферросплавов сопровождается образованием значительного количества шлаков. Кратность шлака (отношение массы шлака к массе металла) зависит от вида сплава и составляет [2]:

– при выплавке ферросилиция 0,05–0,10 (это бесшлаковый или малошлаковый процесс);

– при производстве ферросиликомарганца 1,1–1,3;

– при плавке высокоуглеродистого ферромарганца 1,2–1,6 (это флюсовый способ).

Также при производстве ферросилиция на 1 т выплавляемого кремния образуется 300÷900 кг пыли (шлама), а при производстве ферросиликомарганца образуется 200÷600 кг пыли, содержащей ценные компоненты на 1 т полученного сплава [2–5]. СЗФ производит в основном кремнистые и марганцевые ферросплавы, определенная доля которых запутывается в шлаковой фазе в виде корольков сплава и с ОФП вывозится в отвал. За годы работы СЗФ в основном производил ферросилиций и ферросиликомарганец, а также ферромарганец, и, следовательно, в отвалах скопились ценные для металлургии компоненты.

Отвальные шлаки от производства ферросилиция содержат до 30–50 % сплава в виде корольков и до 15 % карбида кремния. При дроблении шлака от производства марганцевых ферросплавов образуется фракция 0–5 мм, называемая «шлаковым песком», содержащая до 20 % корольков готового сплава [3–6]. На рисунке 1 представлены снимки со спутника, где обозначены места расположения ОФП СЗФ.

Если учесть масштаб снимков со спутника (рис. 1, б), то занимаемая шлаковыми отвалами площадь составляет около 8000 м^2 , и они пагубно влияют на окружающую среду региона.



Рисунок 1 Расположение ОФП СЗФ

Поскольку в шлаке содержится достаточно большое количество полезных компонентов, а шлаковые отвалы оказывают негативное влияние на экологию региона, актуальным является более полное исследование компонентного состава отвала от производства ферросплавов СЗФ и повторного его использования в качестве сырья, что, в свою очередь, обеспечит ресурсосбережение и улучшит экологию.

Основной целью данной работы являлся физико-химический анализ отвального шлака от производства электропечных ферросплавов.

Объект исследования — электропечное производство ферросплавов.

Предмет исследования — анализ физико-химических свойств отходов ферросплавного производства.

Задачи исследования:

- определение физико-химических свойств отходов посредством их переплава и дальнейшего химического анализа продуктов плавки;

- оценка металлургической ценности ферросплавных отходов для дальнейшего возвращения их в технологический процесс.

При проведении исследований использовали стандартные методики определения насыпной и истинной плотности, подго-

товки сырья, измерения температуры, отбора и подготовки проб для химического анализа состава отходов. Переплав подготовленных проб отходов производился на кафедре металлургии черных металлов ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», а его дальнейший химический анализ выполняли в комплексной многопрофильной научно-исследовательской лаборатории научного центра мониторинга окружающей среды.

На промышленном отвале СЗФ (рис. 1) отходы ферросплавного производства визуально представляют собой многочисленные насыпи, состоящие в основном из частиц фракцией 40÷100 мм разной массы и цвета. В большей части насыпи состоят из отходов производства ферросплавов, а также мусора (резина, бытовые отходы и т. п.), боя электродной массы и кусков огнеупоров (в основном шамотного кирпича).

Для исследований отходов на территории отвала среди насыпей визуально были определены возможные места разного периода производства ферросплавов, из которых было отобрано 3 пробы по 10 кг.

На первом этапе исследований физико-химических свойств отобранных проб отходов определили их насыпную и истинную плотность (табл. 1).

Таблица 1
Физические свойства ОФП

Показатель	Ед. изм.	№ пробы		
		1	2	3
Насыпная плотность	кг/м ³	2091	1665	1508
Истинная плотность	кг/м ³	3571	3125	2564

Представленные в таблице 1 данные показывают, что пробы имеют высокую истинную плотность, что свидетельствует о наличии значительного количества тяжелых компонентов в виде металлической фазы, которая визуальна представлена вкраплениями (корольками сплава).

В связи с тем, что корольки марганцовистого сплава имеют довольно мелкую фракцию, плохо поддаются магнитной сепарации, а корольки ферросилиция вообще не обладают магнитными свойствами и при ручном разделении возможна большая погрешность ввиду присутствия «человеческого» фактора, было принято решение разделить шлаковую фазу и металлическую методом расплавления ОФП.

Для дальнейшего переплава пробы ОФП были измельчены до фракции «-1,0» мм и усреднены (рис. 2). Переплав проб производили в специально изготовленных графитовых тиглях с применением индукционной печи ИСТ-0,01 (рис. 3).

В процессе переплава проб порционно использовали в качестве флюса негашёную известь для достижения максимально возможной жидкоподвижности шлака. Для более полного контакта флюса и переплавляемой пробы ОФП расплав перемешивали стальным прутом. В процессе расплавления ОФП производили замер температуры с помощью платина-платинородиевой термопары. При переплаве пробы № 1 (плавка № 1) полного ее расплавления достигли при температуре 1650 °С.

Переплав пробы № 1 позволил разделить шихту на две составляющие: металлическую и шлаковую фазы (рис. 4). Металлическая фаза представляла собой твердый хрупкий сплав серого цвета с металлическим блеском, шлаковая — пористый материал ближе к черному цвету.

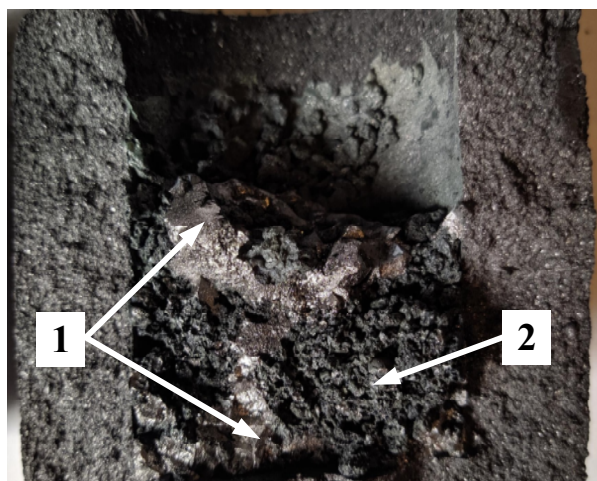


а — проба № 1; б — проба № 2; в — проба № 3

Рисунок 2 Общий вид отобранных проб ОФП после дробления



Рисунок 3 Индукционная печь ИСТ-0,01



1 — металлическая фаза; 2 — шлаковая фаза

Рисунок 4 Общий вид пробы № 1 после переплава

При температуре около 1400 °С произошло расплавление пробы № 2 (плавка № 2). Продукты переплава данной пробы также разделились на металлическую и шлаковую фазы (рис. 5). Металлическая фаза сформировалась на дне графитового тигля в отличие от пробы № 1, которая представляла собой твердый хрупкий сплав серого цвета с металлическим блеском. Плотный материал зеленоватого цвета характерен для шлаковой фазы.

Переплав пробы № 3 (плавка № 3) осуществляли до температуры 1550 °С. При этой температуре проба расплавилась, но

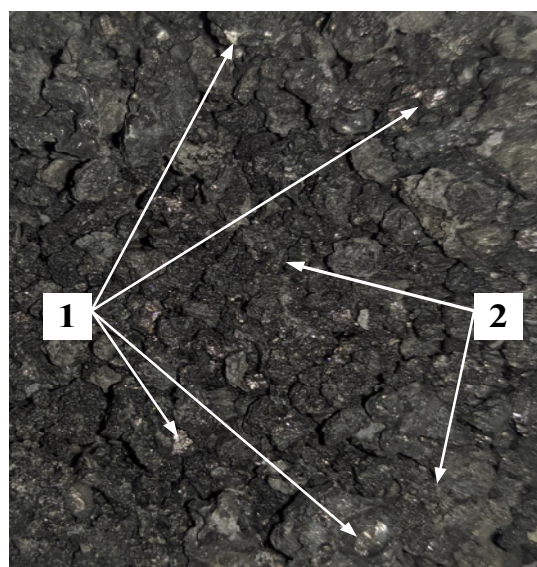
разделение продуктов плавки на металлическую и шлаковую фазы произошло не в полной мере (рис. 6).

Металлическая фаза представляла собой корольки твердого и хрупкого сплава серого цвета с металлическим блеском, запутавшегося в шлаке по всему объёму графитового тигля. Шлаковая фаза — пористый материал черного цвета.



1 — металлическая фаза; 2 — шлаковая фаза

Рисунок 5 Общий вид пробы № 2 после переплава



1 — металлическая фаза; 2 — шлаковая фаза

Рисунок 6 Общий вид пробы № 3 после переплава

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

На основании проведенных плавов по переплаву отходов ферросплавного производства СЗФ были составлены материальные балансы, которые представлены в таблице 2.

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что в результате переплава проб № 1 и № 2 получено наибольшее количество металла — 0,120 и 0,079 кг (48,6 % и 25,1 %), а выход сплава из ОФП (без учета металла стального прута) составил 41,5 % и 32,8 % соответственно. При переплаве данных проб общий угар компонентов навески составил по 0,032 кг, что связано с наличием в данных пробах мусора и летучих веществ. В результате переплава пробы № 3 общий угар составил 0,018 кг. При этом металла получено лишь 0,038 кг (15,6 %), а выход сплава из ОФП — 13,5 %. Полученное низкое количество металлической фазы при переплаве пробы № 3, доказывает низкое содержание корольков сплава в данных ОФП, что подтверждает его невысокую истинную плотность.

Результаты исследований показывают, что получаемые в результате расплавления отходов ферросплавного производства металлическая и шлаковая фазы имеют различную структуру и цвет и могут содержать полезные компоненты для металлургического передела или строительной промышленности. Поэтому был выполнен химический анализ полученных продуктов

плавки после переплава трех проб ОФП, результаты которого представлены в таблицах 3 и 4.

Выполненный химический анализ полученного металла после переплава ОФП проб № 1 и № 3 близок по составу к кремнистым ферросплавам, а именно: пробу № 1 можно отнести к ферросилицию марки ФС65 и ФС70, а пробу № 3 — к ферросилицию марки ФС25. Металл проб № 1 и № 3 может быть использован в процессах раскисления-легирования железоуглеродистых расплавов, однако необходимо учитывать, что он содержит повышенное количество вредных примесей (серы и фосфора) согласно ГОСТ 1415–93 и ДСТУ 4127:2002.

Таблица 2
Материальный баланс переплава ОФП

Статья баланса	№ плавки		
	1	2	3
Поступило, кг:			
ОФП	0,205	0,241	0,222
Негашёная известь	0,007	0,074	0,014
Стальной прут	0,035	-	0,008
Итого:	0,247	0,315	0,244
Получено, кг:			
Металл	0,120	0,079	0,038
Шлак	0,095	0,204	0,188
Угар	0,032	0,032	0,018
Итого:	0,215	0,283	0,226

Таблица 3

Химический состав шлака после переплава отходов СЗФ, %

№ плавки	MnO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Прочее
1	0,29	66,30	14,10	12,46	0,36	1,60	3,96	0,93
2	33,20	26,80	22,70	6,42	4,35	4,12	1,21	1,20
3	0,62	64,20	11,20	10,80	0,58	1,24	9,96	1,40

Таблица 4

Химический состав металла после переплава отходов СЗФ, %

№ плавки	C	Si	Mn	P	S	Fe	Прочее
1	0,73	68,70	0,54	0,036	0,053	29,70	0,241
2	2,67	4,16	55,40	0,318	0,281	37,10	0,071
3	0,59	29,30	1,13	0,029	0,044	68,60	0,307

Высокое содержание марганца в металле пробы № 2 позволяет применять его для легирования чугуна.

Применение шлака, полученного после переплава данных отходов, возможно в дорожном строительстве и при производстве строительных материалов.

Отходы ферросплавного производства СЗФ содержат значительное количество ценных для металлургии компонентов, возврат которых в металлургический пе-

редел позволит частично заменить дорогостоящее сырье, используемое в технологических схемах предприятий.

В ходе дальнейших исследований необходимо определить технологические параметры, способствующие наиболее полному извлечению и разделению фаз на ценное вторичное сырье и шлак. Целесообразно провести исследования состава пылей и шламов ферросплавного производства.

Библиографический список

1. Зубов, В. Л. *Электрометаллургия ферросилиция [Текст]* / В. Л. Зубов, М. И. Гасик. — Днепропетровск : Системные технологии, 2002. — 704 с.
2. *Утилизация отходов ферросплавного производства [Текст]* / Р. У. Кожамуратов, Р. З. Сафаров, Ж. К. Шоманова [и др.] // *Global science and innovations 2017 : materials of the international scientific conference.* — Bursa : Eurasian Center of Innovative Development «DARA», 2017. — P. 207–213.
3. Розенберг, В. Л. *Рудовосстановительные электропечи. Энергетические показатели и очистка газов [Текст]* / В. Л. Розенберг, А. Ю. Вальдберг. — М. : Энергия, 1974. — 130 с.
4. Толстогузов, Н. В. *Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов [Текст]* / Н. В. Толстогузов. — М. : Металлургия, 1992. — 239 с.
5. Гасик, М. И., *Теория и технология производства ферросплавов [Текст]* : учеб. для вузов / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев, Б. И. Емлин. — М. : Металлургия, 1988. — 784 с.
6. Рысс, М. А. *Производство ферросплавов [Текст]* / М. А. Рысс. — М. : Металлургия, 1985. — 346 с.

© Проценко М. Ю.

© Воронько М. И.

© Проценко В. И.

© Ангелов В. Ю.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТИ Должиковым В. В., зам. нач. ЦЛК филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Тарасовым В. Н.

Статья поступила в редакцию 24.06.2021.

PhD in Engineering Protsenko M. Yu., Voron'ko M. I., Protsenko V. I., Angelov V. Yu. (DonSTI, Alchevsk, LPR, mikhalu4@yandex.ru)

ANALYSIS OF THE WASTE COMPOSITION OF FERROALLOY INDUSTRY

The physicochemical properties of waste obtained in the production of electric furnace ferroalloys are studied and the efficiency of using the obtained secondary raw materials in metallurgical technologies is assessed.

Key words: waste, ferroalloys, slag, alloy prills, ferrosilicon, ferrosilicon manganese, chemical composition, remelting of waste.