

УДК 621.365

МЕТОДЫ И УСТАНОВКИ УТИЛИЗАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТСЕВОВ ФЕРРОСПЛАВОВ

*В.Д. Кочкин, А.И. Алиферов, В.В. Золотарев**

Новосибирский государственный технический университет
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: alif@ngs.ru

Аннотация. На сегодняшний день производство таких ферросплавов, как ферросилиций, ферромарганец, ферросиликомарганец, феррохром высокоуглеродистый, исчисляется тысячами тонн в год. Подготовка ферросплава к продаже подразумевает дробление слитка ферросплава до товарной фракции, в результате которого остаются пылевидные отсевы, которые далее хранятся на складах и наносят вред окружающей среде. Отсев является уже готовым продуктом, аналогичным по составу товарной фракции, размер которой составляет 10–250 мкм. Для применения отсева в технологии получения сталей его необходимо повторно переплавить и отлить в слиток. Полученный слиток дробят повторно, чтобы получить товарную фракцию. Главной проблемой является переплав отсева, так как из-за его размеров и электрофизических свойств возникают различные трудности. В данной статье приведены методы и установки переплава отсева ферросплавов различных марок, а также их сравнение, недостатки и преимущества. Описаны плазменные, индукционные тигельные, а также дуговые установки постоянного и переменного тока, предназначенные для переплава отсева различных ферросплавов фракцией менее 10 мкм. Описаны недостатки и преимущества каждого способа и установки переплава отсева. Приведены различные экспериментальные данные, полученные путем плавки отсева ферросплавов в описанных установках. На основании описанных в статье данных, а также характеристик других установок в заключение предложен метод переплава отсева ферросплавов, который включает преимущества уже существующих методов и исключает их недостатки.

Ключевые слова: отсев ферросплавов, отходы ферросплавного производства, переплав пылевидных отсевов, руднотермические установки, дуговые установки.

Введение

Производство ферросплавов исчисляется в мире сотнями тысяч тонн ежегодно. Мировыми лидерами по производимому объему являются феррохром, ферромарганец, ферросилиций и силикомарганец. Ферросплавы получают в восстановительных печах. Закристаллизовавшийся слиток ферросплавов необходимо подготовить к дальнейшей продаже на рынке. Слитки ферросплава проходят дробление и грохочение с целью формирования кусковой фракции

* Виктор Дмитриевич Кочкин, аспирант кафедры автоматизированных электротехнологических установок.

Александр Иванович Алиферов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электротехнологических установок.

Владислав Владимирович Золотарев, аспирант кафедры автоматизированных электротехнологических установок.

размером от 10 до 250 мм. Такой размер фракции определен технологическим процессом получения сталей.

Фракция ферросплавов размером менее 10 мм составляет отсев. Основная часть отсева – пылевидная. Так, для ферросилиция марки 75 размер менее 1 мм составляет 45 % от общего объема отсева [1]. Для ферромарганца и ферросиликомарганца эти показатели еще выше. Процентное соотношение от общего объема отсева этих ферросплавов можно увидеть на рис. 1 [2].

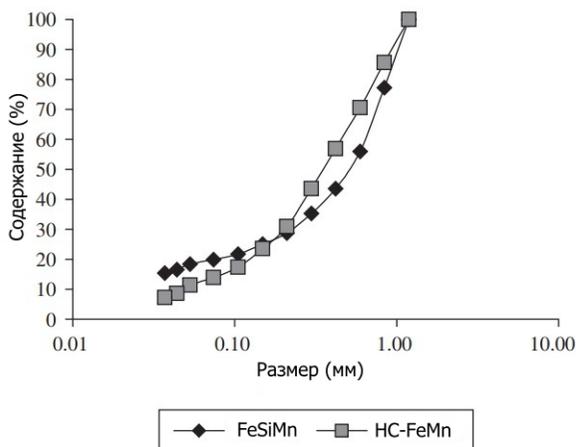


Рис. 1. Размер частиц и процентное соотношение отсева фракцией менее 1 мм [2]

Отсев ферросплавов является по сути уже готовым продуктом, технологическая ценность которого немногим меньше ценности товарного ферросплава. Наиболее простым способом его переработки была бы организация его переплава в руднотермической печи, в которой он был получен, но добавление фракции отсева в рудовосстановительную печь для его переплава в процессе реализации традиционной технологии производства ферросплава приводит к негативным последствиям работы печи, нарушается технологический процесс и электрический режим ее работы. Связано это с тем, что отсев имеет более низкое электросопротивление по сравнению с кусковой рудой, что приводит к изменению электрических параметров ванны, снижению газопроницаемости колошника, повышению содержания СО в объеме колошника, возможности образования свищей. Свищ – это высокотемпературный поток газа, вырывающегося под большим давлением из-под запекшегося верхнего слоя шихты. Свищи приводят к повреждению таких элементов конструкции печи, как кольцо гидроприжима, контактные щетки, водоохлаждаемые экраны и другие конструктивные элементы печи, находящиеся в непосредственной близости от колошника. При этом потери отсева на угар и улет составляют около 30–35 % от общего объема металла. Анализ распределения отсева между продуктами расплава показал, что мелкие и пылевые фракции практически полностью теряются со шлаком в газоочистке и с отвальным шлаком. Кроме этого, как показали эксперименты на печах РПЗ-63 и РКГ-75, переплав отсева в печах такого типа оказался нецелесообразным по технико-экономическим параметрам [3].

Ежемесячное получение ферросплавов в России составляет 10–12 тыс. тонн, потери металла в отсев достигают 3–4 тыс. тонн, что приводит к постоянному накоплению отсева на полигонах, ухудшению состояния окружающей среды. При этом отсев ферросплавов является хорошим полуфабрикатом для получения товарного ферросплава. В связи с этим разрабатываются методы и установки для его переплава. Рассмотрим их особенности и характеристики.

Плазменные печи

Плазменные установки, как и руднотермические печи, используются для получения ферросплавов [4]. В отличие от руднотермических печей, в случае плазменной установки размер фракции не влияет на ее работу, что позволяет проводить переплав отсева ферросплавов без нарушения технологического режима получения ферросплава.

На рис. 2 показана установка с плазменной дугой, горящей непосредственно на переплавляемый материал. Данная печь предназначена для производства ферромарганца и переплава его отсева.

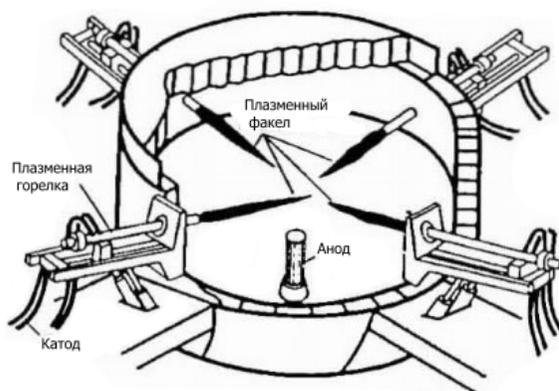


Рис. 2. Плазменная установка для получения ферромарганца и переплава его отсева системы Voest-Alpine [5, 6]

На рис. 3 показана плазменная установка с так называемым перемещаемым факелом, разработанная компанией Tetronics Research and Development для переплава отсева ферромарганца [7].

Загрузка печи производится через труботочки, установленные в своде печи. Особенностью данной печи является вращающийся водоохлаждаемый катод, расположенный в верхней части свода. Скорость вращения катода вокруг вертикальной оси печи влияет на протекание технологического процесса плавки. В печи, изображенной на рис. 3, были проведены контрольные плавки отсева высокоуглеродистого ферромарганца [7]. Мощность печи составила 3 МВА. Удалось достичь скорости подачи сырья в труботочки 1000 кг/ч при вводимой в печь активной мощности, равной 696 кВт на тонну отсева. Напряжение дуги составляло 300 вольт, ток дуги 2100 ампер, температура в печи 1500 °С.

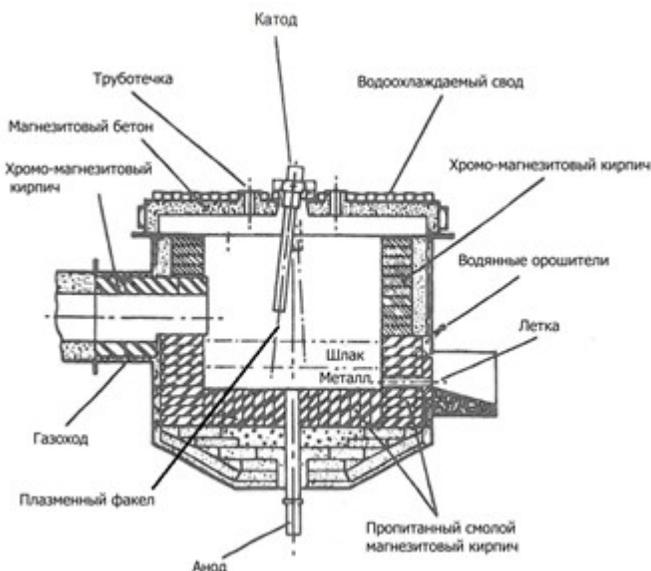


Рис. 3. Плазменная установка с перемещаемым факелом для переплава отсева феррохрома [7]

Плазменно-дуговые установки показали возможность переплава в них отсева различных ферросплавов. Однако из-за отсутствия таких печей большой мощности и емкости, а следовательно, и производительности, а также довольно короткого срока жизни электродов данные печи не нашли большого применения в промышленной технологии переплава ферросплавного отсева.

Индукционные печи

Другими установками, позволяющими производить переплав отсева ферросплавов, являются индукционные тигельные печи (ИТП). Нагрев загрузки в индукционной печи происходит в электромагнитном поле за счет теплового действия вихревых токов, протекающих по нагреваемому материалу. Плавка в индукционных печах становится все более распространенным процессом в литейном производстве и производстве полуфабрикатов с учетом их технического и экономического потенциала. Основные преимущества индукционного метода плавки заключаются в прямом подводе тепла к шихтовым материалам, а также возможности управления интенсивностью перемешивания расплава. Эти свойства обеспечивают необходимую температуру расплава с минимально возможным температурным перепадом по его объему, возможность управления технологическим процессом, низкие потери за счет угара переплавляемого металла, снижение загрязнения окружающей среды, а также высокую стабильность и точность технологического процесса. Сформированная после дробления нетоварная фракция ферросплава может быть переплавлена в индукционной тигельной печи, работающей только с остаточной несливаемой емкостью расплавленного металла, называемого «болотом». Это обеспечивает минимально возможный угар мелкодисперсного отсева. Кроме этого, отсев ферросилиция, например, имеет в своем составе до 15 % вкраплений неметаллических компонентов, таких как SiO_2 и Al_2O_3 (до 15 % объема отсева). Это приводит к образованию большого объема шлака на поверхности расплава. С увеличением объема шлака

он закрывает собой ванну, а подаваемая в печь шихта будет охлаждать шлак, увеличивая его вязкость и затрудняя процесс плавки. Образование очень вязкого шлака приводит к частым перерывам в работе индукционной печи для удаления его с поверхности ванны.

В [8] описана ИТП, работающая на частоте от 60 до 1000 Гц и имеющая геометрию, способствующую оптимальному перемешиванию ванны расплава. Разработанная технология предусматривала добавление шлакообразующих веществ вместе с шихтовым материалом для снижения температуры плавления шлака и его вязкости при рабочей температуре расплава ферросплава. Благодаря этим мерам оказалось возможным начиная с уровня «болота» в 50 % запустить непрерывный процесс плавки без какого-либо промежуточного удаления шлака до тех пор, пока печь не будет загружена до номинальной емкости.

В [9] выполнены экспериментальные исследования для оценки возможности переплава отсева ферросплавов в индукционной тигельной печи без остаточной емкости – «болота». В ходе экспериментальных плавки различных ферросплавов были определены индуктивность системы «индуктор – нагрузка» L и коэффициент добротности Q в зависимости от рабочей частоты тока индуктора (табл. 1). Добротность системы «индуктор – нагрузка» определялась как отношение активной мощности, потребляемой индуктором при наличии нагрузки, к активной мощности, потребляемой индуктором без нагрузки.

Таблица 1

Характеристики системы «индуктор – нагрузка» без нагрузки [9]

Частота, Гц	Характеристики индуктора	
	L (нГн)	Q (добротность)
1 000	12,8	0,9
5 000	12,51	4,3
10 000	12,48	8,3
20 000	12,44	15,5
30 000	12,42	22

Эксперименты показали, что при наличии в составе шихты большого количества частиц фракцией менее 3 мм снижается добротность Q , что влечет за собой уменьшение энергии, выделяемой в расплаве. Добавление в шихту кусков ферросплава размером 25 мм улучшают показатели выделения энергии в объеме шихты. При плавлении только мелкодисперсного отсева получалась добротность, которая была почти идентична добротности индуктора без нагрузки, что указывает на отсутствие выделения мощности в шихте. На основе выполненных исследований была обоснована рабочая частота. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Время плавления зависит от мощности, вводимой в печь. Масса нагрузки варьировалась от 104 до 114 кг. На рис. 4 представлен график зависимости логарифма энергии от времени, необходимого для расплавления одной тонны отсева.

Обработка методом наименьших квадратов экспериментальных точек, изображенных на рис. 4, дает следующую зависимость:

$$\text{Log}G = 0.049t + 2.98, \frac{\log \frac{\text{Дж}}{\text{т}}}{\text{мин}}$$

Эксперимент показал, что потребление энергии составило 850 кВт на 1 тонну отсева ферросплава. В результате выполненных исследований было установлено, что для расплавления 110 кг мелочи ферросплавов за 45 мин потребуются 140 кВА при частоте тока 1,8–1,9 кГц [9].

Таблица 2

Характеристики системы «индуктор – нагрузка» при различной нагрузке

Частота	Характеристики при различной нагрузке							
	Пыль 0–105 мм		Пыль 0–2 мм		Пыль 0–3 мм		Пыль 0–3 мм с добавками кусков 25 мм	
Гц	L (нГн)	Q	L (нГн)	Q	L (нГн)	Q	L (нГн)	Q
1 000	13,09	0,9	12,78	0,9	12,76	0,9	13,7	0,9
5 000	12,79	4,3	12,82	4,4	12,52	4,4	12,9	4
10 000	12,76	8,4	12,49	8,5	12,49	8,4	12,7	7,1
20 000	12,72	15,7	12,45	15,8	12,45	15,6	12,5	11,94
30 000	12,7	22,2	12,43	22,3	12,42	21,6	12,4	15,73

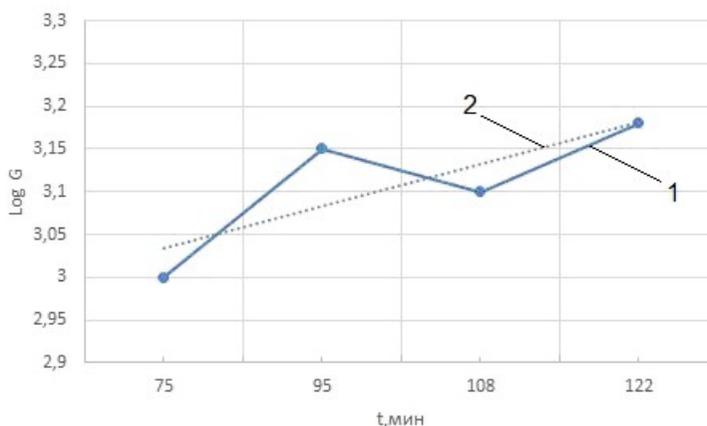


Рис. 4. Зависимость логарифма энергии, необходимой для расплавления одной тонны отсева ферросплава, от времени плавки [9]: 1 – зависимость, построенная по экспериментальным данным; 2 – зависимость, полученная в результате обработки данных эксперимента

Индукционные печи, несмотря на свои преимущества (интенсификация процесса, низкий угар металла, равномерное распределение температуры, быстрая скорость плавки), имеют значительные недостатки (малые объемы переплавляемого отсева в ИПП, дорогие источники питания, необходимость в квалифицированном персонале), которые делают их применение для промышленного переплава отсева ферросплавов нецелесообразным.

Дуговые печи постоянного тока

Переplав отсева ферросплавов также возможен в дуговой печи постоянного тока (ДППТ).

Экспериментальные плавки в ДППТ проводились на базе компании «Сибэлектротерм». Экспериментальная установка имела мощность 140 кВт, диапазоны напряжения и тока составляли 0...140 В и 0...2000 А [1]. Электропечь имела по одному электроду на своде и подине. Печь работала в постоянном режиме плавления без отключения питания. Слив металла проводился без наклона печи через летки, расположенные сбоку ванны. После слива на дне ванны оставалось около 20 % расплава. Плавка производилась в течение 40–50 минут с открытой дугой. Мощность, вводимая в установку, составила 120 кВт, напряжение и ток на электроде составляли 60 В и 2 кА соответственно.

Таблица 3

Химический состав полученного ферросплава [1]

№ образца	Состав шлака, кг		Вес металла, кг	Состав, %					
	Ферросилиций	Флюс		Si	Al	Ca	Mn	Ti	P
1	50,0	2,5	44,9	72,7	1,94	0,63	0,40	0,12	0,03
2	50,0	5,0	46,0	74,6	1,90	0,60	0,38	0,12	0,03

Состав полученного ферросилиция представлен в табл. 3. Полученные результаты удовлетворяют по составу конечной продукции. Удельный расход энергии на 1 тонну ферросилиция 75 % и 50 кг флюса составил 920 кВт·ч. На основе полученных экспериментальных данных были определены параметры ДППТ емкостью 6 т и мощностью 4,5 мВт с расчетной производительностью 88,3 т в сутки или соответственно 32,23 тыс. т в год.

На ферросплавном заводе в Актобе были проведены экспериментальные плавки на дуговой печи постоянного тока мощностью 1,8 МВА. В качестве шихты использовался отсев высокоуглеродистого феррохрома [10]. Как и предыдущая, данная печь также имеет по одному электроду, расположенному на подине футеровки и на своде. Печь работала с открытой дугой. Пуск печи осуществлялся на коксовую постель, которая подкладывалась под электрод. Затем в печь загружали отсев высокоуглеродистого феррохрома. Слив печи производится путем ее наклона.

Главным недостатком ДППТ является то, что переplав отсева производится с открытой дугой, что приводит к большому его угару.

Рудно-термические печи

Сложная проблема повышения уровня извлечения металлической фазы из нестандартного отсева была решена в [3] путем разработки и внедрения технологии, предназначенной для переplавки отсева в существующей электропечи РКЗ-22,5. Печь была реконструирована. В ходе реконструкции были уменьшены диаметр электродов и глубина ванны печи, что позволило увеличить удельную мощность [3].

Загружаемые материалы подавались в печь по загрузочным трубам в центральную часть свода под электроды и по периферии ванны. Шихта из ферросилиций-марганцевого отвального шлака и шлако-металлических отходов в соотношении 0,05 и 0,12 добавляется к отсеvu, чтобы увеличить электрическое со-

противление в ванне печи и обеспечить удовлетворительный электрический режим технологического процесса. В результате исследований установлено, что необходимо вводить различную по фракционности и составу загрузку материалов в центр печи и на ее периферию. Это приводит к понижению вероятности спекания колошника, обеспечивая приемлемые электрические и газовые условия эксплуатации.

В ходе исследований было установлено, что оптимальное значение активной мощности составляет около 10–15 МВт. В рабочем режиме плавки сила тока составляет 45–55 кА. В процессе работы сопротивление под электродами постепенно снижается, сила тока растет, а размер тигля увеличивается. Перед сливом расплава технологические условия начинают ухудшаться – сопротивление под электродом снижается с 1,5 до 0,6–0,9 мОм, сила тока увеличивается до 60–75 кА, а мощность снижается до 7–9 МВт. Слив расплава длится 20–30 минут. Масса расплава составляет 25–35 т металла и 7–15 т шлака. Химический состав металла с точки зрения состава марганца и фосфора соответствует составу отсева в твердой фазе. Концентрация кремния в сплаве находится в стабильном диапазоне 16–17 %. Выход годного металла составил 85 %. Удельный расход электроэнергии составил 767 кВт·ч на тонну полученного расплава и 554 кВт·ч на тонну переплавленной шихты.

Распределение шихты разной проводимости по объему колошника усложняет технологический процесс и его контроль. Несоответствие проводимости ванны печи может привести к потерям большего количества металла и остановке печи. Рост проводимости в конце плавки и резкие скачки тока могут привести к быстрому росту температуры ванны и, соответственно, к увеличению угара отсева и газообразования. Кроме этого, данный процесс переплава отсева ферросплавов сопровождается получением большого объема шлака (до 30–40 % от объема ферросплава), периодически сливаемого из печи.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

Принципиально иным способом утилизации пылевидных и других отходов ферросплавного производства является предложенный в [11] металлургический самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС-процесс). Новая технология основана на применении различных металлургических сплавов в качестве основного сырья, включая пылевидные отходы производства ферросплавов. При минимальном расходе электроэнергии металлургический СВС-процесс позволяет получать высококачественные композиционные материалы на основе неорганических соединений со связкой из железа и/или сплава на его основе для внедрения в сталеплавильном и доменном производстве. Традиционный СВС-процесс протекает за счет тепла реакций прямого синтеза [11]. В его металлургическом варианте основными реагентами исходной экзотермической шихты являются ферросплавы или их отсева, и процесс реализуется посредством обменных экзотермических реакций. Они близки к металлургическим реакциям. Основным сырьем металлургического СВС-процесса являются сплавы железа: силициды (FeSi , FeSi_2 , MnSi_2), интерметаллиды (VFe , TiFe , $\text{Nb}_{19}\text{Fe}_{21}$), бориды (FeB , FeBN) и различные их сочетания. При реализации СВС-процесса с их участием образуется композиционный материал на основе неорганических соединений (карбидов, боридов, нитридов и т. д.) со связкой из железа и/или сплава на его основе [12].

Перспективным применением переплавляемых отсевов ферросплавного производства является их азотирование в СВС-процессе. Азотирование отсевов ферросилиция приводит к образованию $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Fe}$, который используется в качестве упрочняющей добавки в неформованных огнеупорах. Азотирование отсева феррованадия позволяет получить два типа нитрида феррованадия: плавный и спеченный. Первый предназначен для кускового легирования сталей в ковше, второй используется в качестве наполнителя порошковой проволоки для корректировки содержания азота перед разливкой. Нитрид ванадия может быть использован при выплавке различных марок высокопрочных сталей, а также рельсовой и быстрорежущей стали.

Сложность контроля процесса, подготовки сырья, небольшие объемы получаемой продукции указывают на то, что данный метод сейчас не может быть основным при переработке мелкодисперсного отсева ферросплавов.

Выводы

Из рассмотренных методов переработки отсевов каждый имеет свои преимущества и недостатки.

Несмотря на хорошие показатели индукционных тигельных печей по выходу металла и скорости плавки, они имеют ряд недостатков: маленькая емкость печей, наличие источников питания повышенной частоты, которые являются дорогостоящими и сложными в обслуживании. Учитывая объем образующегося ежегодно отсева ферросплавов, можно утверждать, что индукционные тигельные печи не смогут покрыть нужды ферросплавного производства по их переплаву.

Плазменные печи имеют малые объемы рабочей ванны, а также короткий ресурс работы катодов и высокую цену содержания печи.

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза не распространен, сложен в реализации и требует специально обученного персонала.

Плавка отсевов в дуговых печах постоянного или переменного тока производится открытыми дугами, что приводит к большому угару шихты и образованию пылегазовой смеси, удаляемой из печи, что снижает выход конечной продукции и наносит вред персоналу и окружающей среде.

Как показывает анализ существующих методов переплава отсева ферросплавного производства, наиболее экономичным по угару мелкодисперсной шихты является режим плавления с остаточной емкостью в индукционных тигельных печах, а по объемам и производительности наиболее приемлемой является технология переплава в трехфазных электродных электропечах. Сочетание достоинств этих методов переплава возможно в технологическом процессе, реализуемом в режиме шлакового переплава отсева ферросплавов в электропечи, конструктивно аналогичной дуговой сталеплавильной печи с тремя графитированными электродами, погруженными в жидкий шлак. При этом эксплуатация трехфазных электродных шлаковых печей значительно проще, чем индукционных тигельных и плазменных печей, а также дуговых сталеплавильных переменного и постоянного тока. Персонал ферросплавного завода имеет навыки работы с подобными установками, что упрощает процесс ввода их в эксплуатацию и обучение персонала. Источники питания переменного тока дешевле и проще в обслуживании, чем постоянного. Все это говорит о том, что трехфазная электродная печь, работающая с выделением тепла в жидкой шлаковой ван-

не, является наиболее приемлемым решением для переработки отсева «больших» ферросплавов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Cherednichenko M.V., Zuev S.P.* Ferroalloy industry waste processing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Novosibirsk, 2019. P. 021134.
2. *Lucio de Faria G., Gabriel da Silva Araujo F., Batista Vieira C., Leopoldo von Kruger F., Jannotti N.Jr.* Characterization of Manganese Alloy Residues for the Recycling of FeSiMn and High-Carbon FeMn fines // Materials Research. 2008. Vol. 11, no. 4. Pp. 405–408.
3. *Kutsin V.S., Olshansky V.I., Filippov I.Yu., Chumakov A.A., Ganotsky V.G.* The development and introduction of resource saving technology of non-standard manganese ferroalloy fines recycling // Infacon XIV: Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry. Kiev, Ukraine, 2015. Pp. 745–749.
4. *Kumar R., Sanyal D.* Plasma Technology in ferroalloy processing // 4th Refresher Course on Ferro Alloys. Jamshedpur, India, 1994. P. 15.01–15.20.
5. *Mac Rae D.R.* Plasma-arc technology for ferroalloys. Part II // Infacon 6: Proceedings of the 6th International Ferroalloys Congress. Republic of South Africa, 1992. P. 21–35.
6. *Maske K.U., Barcza N.A.* Recent developments in pyrometallurgical plasma technology // Conference: Innovation in processing ores and scrap. Colorado, USA, 1983. P. 10.
7. *Cowx P.M., Heanley C.P.* The melting and refining of metallic ferroalloy fines in the tetronics plasma furnace // ISPC-7. Eindhoven, Nederland, 1985. P. 1201–1207.
8. *Schmitz W., Trauzeddel D.* Latest Developments in Recycling Production Residues Employing Coreless Induction Furnaces // European Metallurgical Conference. Weimer, Germany, 2013. P. 807–820.
9. *Lemire C., Biscaro A.* Induction melting of ferro-alloy fines // Infacon X: Transformation through technology. Cape Town, South Africa, 2004. Pp. 528–533.
10. *Sariev O., Kelamannov B., Zhumangaliyev Ye., Kim S., Abdirashit A., Almagambetov M.* Remelting the high-carbon ferrochrome dust in a direct current arc furnace (DCF) // Metalurgija, 2020. Vol. 59, no. 4. P. 533–536.
11. *Манашев И.П., Гаврилова Т.О., Шатохин И.М., Зиятдинов М.Х., Леонтьев Л.И.* Утилизация дисперсных отходов ферросплавного производства на базе металлургического СВС-процесса // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 8. С. 591–599.
12. *Shatokhin I.M., Ziatdinov M.Kh., Smirnov L.A., Manashev I.R.* Nitrided Ferroalloy Production By Metallurgical SHS Process: Scientific Foundations and Technology // NIOKR-2018, Ekaterinburg. 2018. Pp. 191–206.

Статья поступила в редакцию 09 декабря 2022 г.

METHODS AND INSTALLATIONS FOR UTILIZATION OF FINE SCREENINGS OF FERROALLOYS

*V.D. Kochkin, A.I. Aliferov, V.V. Zolotarev**

Novosibirsk State Technical University
20, avenu K. Marks, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

E-mail: alif@ngs.ru

Abstract. *To date, the production of such ferroalloys as ferrosilicon, ferromanganese, ferrosilicomanganese, high-carbon ferrochrome amounts to thousands of tons per year. Preparation of the ferroalloy for sale involves crushing the ferroalloy ingot to the commercial fraction, as a result of which there are dust-like screenings, which are further stored in warehouses and harm the environment. The existing sieving is a finished product, which in composition is close to the final fraction, the size of which is 10-250 mm. To apply sieving in steel production technology, it must be re-melted and cast into an ingot. The resulting ingot is repeatedly crushed until a commercial fraction is obtained. The main problem is the remelting of the dropout, since various difficulties arise due to its size and electrophysical properties. This article presents methods and installations for remelting sieving ferroalloys of various brands, as well as their comparison, disadvantages and advantages. The article describes plasma, induction crucible, as well as dual DC and AC installations designed for remelting sieving of various ferroalloys with a fraction less than 10 mm. The disadvantages and advantages of each method and remelting installation are described. Various experimental data obtained during the melting of ferroalloys sieving in the described installations are presented. Based on the data described in the article, as well as relying on other conclusions, in conclusion, a method of remelting with the removal of ferroalloys was proposed, including the advantages of existing ones, as well as excluding their disadvantages.*

Keywords: *ferroalloy screening, waste of ferroalloy production, remelting of pulverized screenings, ore-thermal installations, arc installations.*

REFERENCES

1. *Cherednichenko M.V., Zuev S.P.* Ferroalloy industry waste processing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Novosibirs, 2019. P. 021134.
2. *Lucio de Faria G., Gabriel da Silva Araujo F., Batista Vieira C., Leopoldo von Kruger F., Jannotti N.Jr.* Characterization of Manganese Alloy Residues for the Recycling of FeSiMn and High-Carbon FeMn fines // Materials Research. 2008. Vol. 11, no. 4. Pp. 405–408.
3. *Kutsin V.S., Olshansky V.I., Filippov I.Yu., Chumakov A.A., Ganotsky V.G.* The development and introduction of resource saving technology of non-standard manganese ferroalloy fines recycling // Infacon XIV: Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry. Kiev, Ukraine, 2015. Pp. 745–749.
4. *Kumar R., Sanyal D.* Plasma Technology in ferroalloy processing // 4th Refresher Course on Ferro Alloys. Jamshedpur, India, 1994. P. 15.01–15.20.
5. *Mac Rae D.R.* Plasma-arc technology for ferroalloys. Part II // Infacon 6: Proceedings of the 6th International Ferroalloys Congress. Republic of South Africa, 1992. P. 21–35.
6. *Maske K.U., Barcza N.A.* Recent developments in pyrometallurgical plasma technology // Conference: Innovation in processing ores and scrap. Colorado, USA, 1983. P. 10.
7. *Cowx P.M., Heanley C.P.* The melting and refining of metallic ferroalloy fines in the tetronics plasma furnace // ISPC-7. Eindhoven, Nederland, 1985. P. 1201–1207.

* *Victor D. Kochkin, Postgraduate Student.
Alexander I. Aliferov (Dr. (Techn.)), Professor.
Vladislav V. Zolotarev, Postgraduate Student.*

8. *Schmitz W., Trauzeddel D.* Latest Developments in Recycling Production Residues Employing Coreless Induction Furnaces // European Metallurgical Conference. Weimer, Germany, 2013. P. 807–820.
9. *Lemire C., Biscaro A.* Induction melting of ferro-alloy fines // Infacon X: Transformation through technology. Cape Town, South Africa, 2004. Pp. 528–533.
10. *Sariev O., Kelamannov B., Zhumangaliyev Ye., Kim S., Abdirashit A., Almagambetov M.* Remelting the high-carbon ferrochrome dust in a direct current arc furnace (DCF) // *Metalurgija*, 2020. Vol. 59, no. 4. P. 533–536.
11. *Manashev I.R., Gavrilova T.O., SHatohin I.M., Ziatdinov M.H., Leont'ev L.I.* Utilization of dispersed wastes of ferroalloy production based on the metallurgical SHS process [Utilizaciya dispersnyh othodov ferrosplavnogo proizvodstva na baze metallurgicheskogo SVS- processa] // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya metallurgiya*, 2020. V. 63, no. 8. Pp. 591–599. (In Russian).
12. *Shatokhin I.M., Ziatdinov M.Kh., Smirnov L.A., Manashev I.R.* Nitrided Ferroalloy Production By Metallurgical SHS Process: Scientific Foundations and Technology // *NIOKR-2018*, Ekaterinburg, 2018. Pp. 191–206.