

В. С. Куцин /д. т. н./, Д. В. Чаплыгин
ПАО «Никопольский завод ферросплавов»
А. Г. Гриншпунт /д. т. н./
Национальная металлургическая академия
Украины

С. Г. Грищенко /д. т. н./
ЦУП «Трансгеорудмет»

Совершенствование технологии производства электродной массы для обеспечения стабильной работы электродов рудовосстановительных печей большой единичной мощности

Приведены условия формирования самоспекающихся электродов, требования к материалам, конструктивные элементы и строение электродов рудовосстановительных электропечей повышенной мощности. Проанализирована действующая схема производства электродной массы в условиях цеха электродной массы Никопольского завода ферросплавов и пути снижения ее себестоимости за счет использования феррогаза для прокаливания антрацита в трубчатых печах. (Ил. 2. Библиогр. 5 назв.)

Ключевые слова: электродная масса, самообжигающиеся электроды, феррогаз, антрацит, рудовосстановительная печь, каменноугольный пек.

The conditions of formation of self-baking electrodes, requirements for materials, construction elements and structure of the electrodes of ore-reduction electric furnaces are presented. Analyze the effect of the electrode mass production scheme in the Electrode paste shop of Nikopol Ferroalloy Plant and the availability of ways to reduce its cost through the use of ferrogas for calcination of anthracite in tube furnaces.

Key words: electrode mass, Söderberg electrodes, ferrogas, anthracite, ore-reduction electric furnace, coal tar pitch.

На Никопольском заводе ферросплавов, 50-летие которого отмечается в этом году, был построен высокопроизводительный комплекс в составе отечественных рудовосстановительных прямоугольных электропечей, оборудованных 6 непрерывными плоскими самообжигающимися электродами сечением 2800×650 мм. Создание этих электропечей явилось одним из наиболее прогрессивных решений в области рудной электротермии, позволившим резко повысить единичную мощность печей с 16,5 до 63 МВ·А. Позднее на заводе были построены 4 круглые герметичные электропечи мощностью по 75 МВ·А производства японской фирмы «Танабе», оборудованные также непрерывными самообжигающимися электродами диаметром 2000 мм [1].

Анализ основных этапов развития Никопольского завода ферросплавов за 50 лет его истории показывает, что создание и освоение работы высокоомощных электропечей неразрывно связано с разработкой одного из основных и ответственных элементов – непрерывных самообжигающихся электродов, высокая эксплуатационная стойкость которых определяет электрический, а следовательно, и тепловой режимы ведения плавки, мощность и производительность

печи, удельный расход электроэнергии и другие технико-экономические показатели.

Самообжигающийся электрод (рис. 1) представляет собой металлический кожух, заполненный электродной массой, состоящей в основном из твердых углеродистых материалов, например, кокса, термоантрацита и связующего – каменноугольного пека или смолопека.

В результате теплового воздействия ванны работающей печи и «джоулевого» тепла, выделяющегося при прохождении тока через электрод, а также в контакте щека-электрод и электрод-шихта, масса постепенно нагревается и коксует. Когда все легколетучие вещества связующего дистиллируют, масса необратимо переходит в жесткое компактное состояние и хорошо проводит электрический ток. Скоксованную токопроводящую часть, расположенную ниже контактных щек, называют рабочим концом или углеродистым блоком электрода. Существенным преимуществом самообжигающихся электродов является возможность их изготовления непосредственно на действующих электропечах, что позволяет создавать электроды любых форм и габаритов.

Обжиг самообжигающихся электродов является весьма трудно управляемым процессом, так

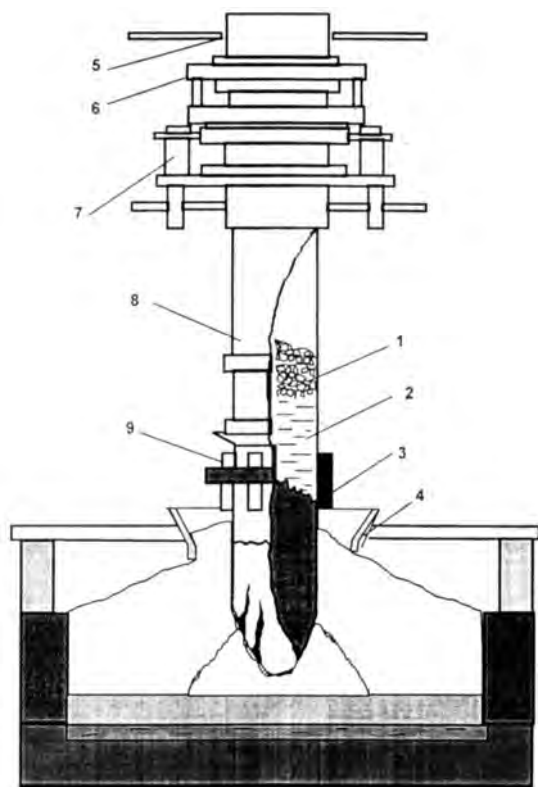


Рис. 1. Конструктивные элементы и строение самообжигающегося электрода:

- 1 – твердая масса; 2 – расплавленная масса;
- 3 – зона коксования; 4 – рабочий конец электрода;
- 5 – кожух электрода; 6 – механизм перепуска;
- 7 – механизм перемещения; 8 – устройство для обдувки; 9 – контактные щетки

как в значительной степени определяется ходом технологического процесса выплавки, конструкцией электропечи и контактного узла, видом выплавляемого сплава, качеством используемой электродной массы, ее теплофизическими характеристиками и др. Однако управлять режимом формирования электрода все же возможно путем использования электродной массы с высоким комплексом физико-механических характеристик, регулярной загрузкой массы, правильным выбором обдува электрода, токовой нагрузкой, величиной перепуска и т. д.

Как показано в фундаментальных работах академика НАНУ М. И. Гасика [2; 3], с увеличением мощности электропечей и размеров электродов условия эксплуатации последних становятся все более жесткими, а закономерности формирования – более сложными, что обуславливает необходимость разработки и совершенствования составов и технологий производства электродных масс, осуществления систематического контроля условий работы электродов и принятия мер, обеспечивающих повышение их надежности. Именно с этой целью проектными решениями по НЗФ было предусмотрено строительство наряду с плавильными цехами специ-

ализированного цеха по производству электродной массы.

Цех электродной массы НЗФ характеризуется большой производительностью, наличием современного оборудования, высокой степенью механизации и автоматизации, хорошими условиями труда обслуживающего персонала (рис. 2). Все это позволяет производить электродную массу самого высокого качества, соответствующую и даже превосходящую по отдельным параметрам качество электродной массы передовых зарубежных компаний.

В настоящее время цех состоит из главного корпуса, в котором имеется прокалочное, пекоплавильное, дозировочно-смесительное и формовочное отделения, и складов для твердых углеродистых материалов и каменноугольного пека (компонентов шихты для производства электродной массы).

Склад шихты закрытого типа имеет два ряда подземных бункеров, вдоль которых проходят два железнодорожных пути. Поступающие в железнодорожных вагонах твердые углеродистые материалы разгружаются самотеком, для открывания люков полувагонов вдоль путей смонтированы эстакады. Из бункеров с помощью лопастных питателей, ленточных и пластинчатых транспортеров материалы подаются к дробилке, металлические примеси улавливают магнитные сепараторы, а дробленные материалы ковшовым элеватором подают в соответствующие печные бункеры.

Каменноугольный пек поступает на завод в битумовозах или цистернах, при необходимости подогревается паром и разгружается в пекоприемники. Склад оборудован пекоплавильными, в которых производится разогрев пека до жидкотекучего состояния и обезвоживание, после чего он по обогреваемым паром трубопроводам подается в расходные бункеры, расположенные в главном корпусе.

В прокалочном отделении установлены две вращающиеся печи длиной 35 м и диаметром кожуха 2,2 м. Печи оборудованы газовыми горелками и работают на природном газе по принципу противотока. Температура прокаливания может достигать 1200–1250 °С, продукты горения подвергаются мокрой очистке. Печи имеют четыре скорости вращения.

Проектом предусмотрено производство электродной массы с использованием электродного термоантрацита, который получают на заводах-поставщиках путем прокалики антрацита без доступа воздуха при температурах около 1100 °С в течение 1 часа.

При этом качество получаемого материала, как правило, не удовлетворяло требованиям,

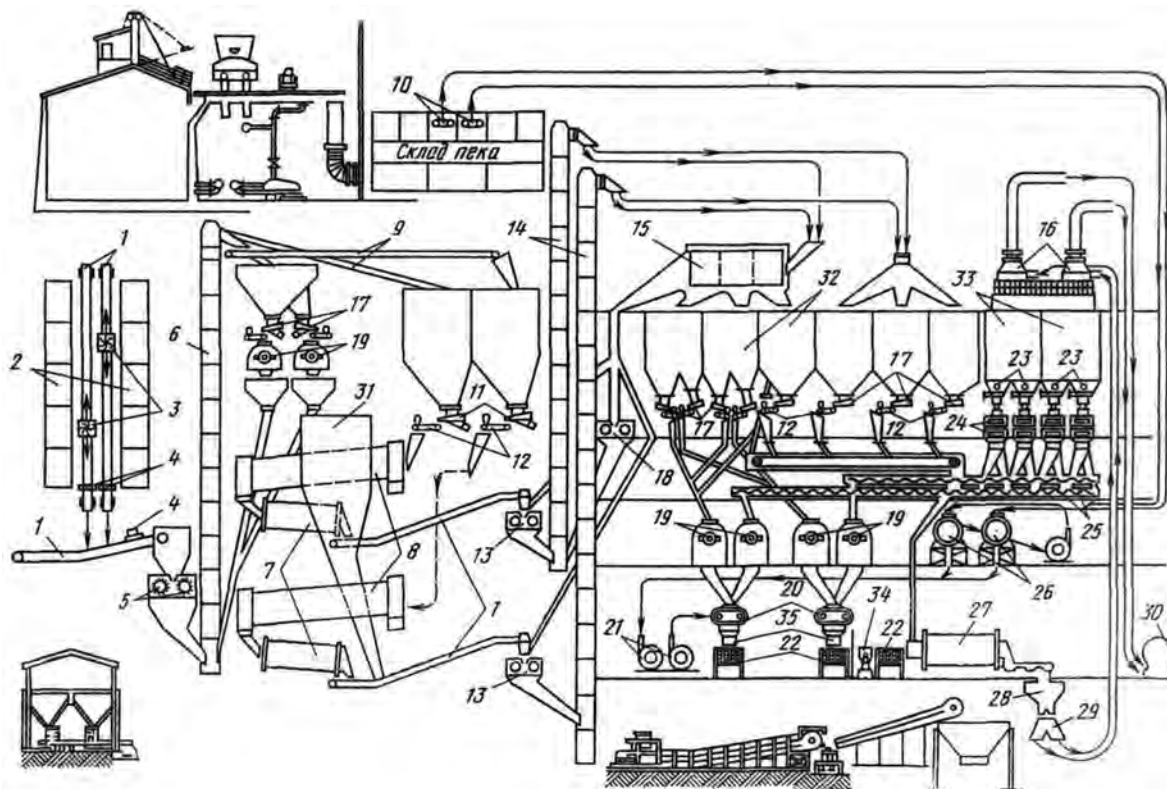


Рис. 2. Принципиальная схема производства электродной массы в электродном цехе НЗФ:

- 1 – ленточный транспортер; 2 – бункеры кокса и термоантрацита; 3 – питатель лопастной передвижной; 4 – магнитный сепаратор; 5 – двухвалковая дробилка типа ДДЗ – 1М; 6 – элеватор типа ЭЛГ-450; 7 – барабанный холодильник; 8 – вращающаяся прокалочная печь; 9 – ленточный транспортер; 10 – пековые насосы; 11 – вибропитатель типа ПЭВ-2; 12 – ленточные весоизмерители типа ВЛ-10-59; 13 – дробилка валковая типа СМ-12; 14 – элеватор типа ЭЛГ-250; 15 – полигональное сито; 16 – фильтр с осадителем; 17 – вибропитатель; 18 – дробилка; 19 – подогреватель порошков; 20 – смеситель типа СНК-300; 21 – жидкостной дозатор типа ДЖ-600; 22 – формовочная машина; 23 – ворошитель бункеров для молотых материалов; 24 – питатель-дозатор типа ПНВ; 25 – шнек; 26 – расходный бак пека; 27 – шаровая мельница; 28 – промежуточный бункер; 29 – комбинированная сдвоенная насадка; 30 – вакуум-насос; 31 – запасные бункеры прокаленных материалов; 32 – расходные бункеры; 33 – бункеры молотых материалов; 34 – смеситель периодического действия; 35 – вибратор для уплотнения массы.

предъявляемым, к исходному сырью для производства электродных масс, что вызывало необходимость подвергать термоантрацит вторичной термообработке непосредственно в цехе электродной массы при температурах 1250 °С в течение 30–50 мин. Это приводило к повышенным энергетическим затратам, низкому выходу годного после двойной термообработки (менее 40 %), а также к увеличению зольности и трещиноватости термоантрацита.

Учитывая эти обстоятельства и в связи с острым дефицитом и дороговизной последнего, Национальной металлургической академией Украины и НЗФ на основании исследований изменения комплекса физико-механических свойств антрацита в зависимости от температурного режима его прокалки и охлаждения разработана технология, предусматривающая полную замену термоантрацита антрацитом и получение высококачественного термоантрацита непосредственно во вращающихся электродных

печках с обеспечением удельного электросопротивления прокаленного материала не более $1,2 \cdot 10^{-4}$ Ом м. Это значительно ниже, чем удельное электросопротивление термоантрацита, поставляемого ранее на НЗФ [4].

Технология получения высококачественного термоантрацита во вращающихся печах цеха электродной массы позволяет снизить затраты на производство электродной массы. В настоящее время электродная масса НЗФ наиболее конкурентоспособна на рынках Украины и стран СНГ.

Из прокалочных печей материал поступает в орошаемый водой холодильник и далее в дробилку. Дробленый кокс ковшовым элеватором подается в бункер, а затем через ленточные весы поступает на помол в шаровую мельницу. Термоантрацит после дробления поступает на полигональное сито и отсеивается на фракции. Фракция +20 мм вновь подается в дробилку для повторного дробления, фракция 4–0 мм подает-

ся в шаровую мельницу для помола совместно с коксом.

Молотые материалы поступают в дозирочно-смесительное отделение, которое по сравнению с проектом подвергнуто значительной реконструкции. В отделении установлены дополнительные бункеры, весоизмерители и вибропитатели для дозирования в массу Si-содержащих материалов, природного графита и графитсодержащих добавок, что значительно повышает качество электродной массы и эксплуатационную стойкость самообжигающихся электродов.

Целесообразность введения в состав электродной массы графита и графитсодержащих материалов подтверждается многочисленными исследованиями, обобщенными в работе [5]. Карбид кремния, как улучшающая качество электродной массы добавка, введен в ее состав впервые. Карбид кремния имеет большую, чем у графита, теплопроводность, низкую реакционную способность, обладает высокой механической прочностью и термостойкостью. В зоне высоких температур карбид кремния разлагается на графит и элементарный кремний, что в значительной степени способствует графитации углеродного блока электрода и повышению его стойкости. Карбид кремния вводится в электродную массу в виде отходов абразивного или электродного производства. Перед подачей в смеситель отходы сушат в подогревателе порошковых материалов при 250 °С. Внедрение электродной массы с карбидом кремния на печах РПЗ-63 привело к снижению расхода электродной массы на 3–5 %, уменьшению количества и продолжительности простоев, связанных с обрывом электродов, повышению производительности электропечей.

Смешение компонентов электродной массы производится при температурах 140–145 °С в смесителях непрерывного действия, из которых масса поступает в обогреваемый паром бункер, где уплотняется путем вибрации. Виброуплотнение массы способствует более полному заполнению пеком пор и микротрещин в коксе и антраците, снижению склонности массы к сегрегации и, в конечном итоге, к повышению эксплуатационной стойкости электродов.

Из бункера виброуплотненная масса поступает на роторную формовочную машину. Охлажденные водой брикеты электродной массы в саморазгружающихся контейнерах подаются в плавильные цеха.

В период освоения и эксплуатации рудовосстановительных электропечей различных модификаций НМетАУ и НЗФ изучены режимы формирования самообжигающихся электродов

и установлено, что основные закономерности распределения температурных зон в прямоугольных электродах сохраняются вне зависимости от типа выплавляемого сплава, способа выплавки и мощности печи [4; 5]. Изотермические поверхности, ограничивающие зону размягчения электродной массы, имеют, как правило, явно выраженный наклон, при этом большую температуру на том же уровне имеет сторона, обращенная ко второму электроду этой же фазы. Зона начала коксования электродов находится на 0,3–0,9 м выше уровня нижней кромки контактных щек, а высота расплавленной массы составляет 2,0–3,5 м. Изотермические поверхности зоны начала коксования имеют как выпуклый, так и вогнутый характер в различных сечениях электрода. На температурное поле в зоне контактного узла значительное влияние оказывает «посадка» электрода, условия контактирования и охлаждения контактных щек, состояние колошника и другие факторы. В связи с этим в районе контактного узла наблюдаются резкие изменения температур вблизи поверхности электрода.

Как показали исследования [4], температурное поле герметичных прямоугольных печей РПЗ-63И1 имеет ряд характерных особенностей. Столб твердой массы сохраняется вплоть до верхней кромки контактных щек, а высота расплавленной массы составляет 0,4–1,2 м. Отмечена общая для всех типов прямоугольных печей закономерность – значительный наклон изотермы размягчения, в то же время в зоне коксования на уровне 250–500 мм выше нижней кромки контактных щек градиент температур сравнительно небольшой.

Как отмечено выше, на НЗФ введены в эксплуатацию электропечи фирмы «Танабэ» мощностью 75 МВ·А; в мировой практике отсутствовал опыт эксплуатации круглых самообжигающихся электродов диаметром 2000 мм. В связи с этим при пуске печей мощностью 75 МВ·А использовали наиболее совершенные технологические приемы, разработанные отечественными специалистами. Особые требования были предъявлены к конструкции, точности изготовления и наращивания кожухов электродов, качеству и физико-механическим характеристикам электродной массы. Поскольку производимые электродные массы не отвечали требованиям фирмы «Танабэ», применительно к электродам диаметром 2000 мм были выполнены комплексные исследования, в результате которых разработаны новые составы и технология производства электродной массы с повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Пуск печей был проведен

с постоянным контролем теплового поля методом прямого зондирования.

Исследование теплового поля электродов диаметром 2000 мм при работе печи на мощности 40–45 МВт показало, что высота столба расплавленной массы составляет 2,5–3 м, изотерма размягчения (70 °С) имеет явно выраженный наклон от центра печи к периферии, что характерно для других электропечей. Изотерма коксования имела выпуклый характер и находилась в интервале от 50 до 150 мм выше нижней кромки контактных щек. Это свидетельствовало о том, что при сравнительно низкой плотности тока в кожухе коксование массы осуществляется преимущественно под воздействием теплового потока из ванны печи по электроду.

Наиболее существенное влияние на повышение уровня зоны коксования печи РКГ-75 до оптимального (300–400 мм от нижней кромки контактных щек) оказало введение в электродную массу взамен части кокса и графита дешевых SiC-содержащих отходов, обладающих комплексом высоких физико-механических характеристик. Это позволило увеличить количество как «джоулевого» тепла, так и тепла, поступающего в зону коксования по скокованной части.

В результате выполненных комплексных исследований по совершенствованию состава и технологии производства электродной массы на НЗФ, ее физико-механические характеристики в настоящее время отвечают высоким требованиям даже при стабильной тенденции к ухудшению качества исходного углеродистого сырья в связи с истощением ресурсов.

Кроме этого, с целью снижения расхода природного газа для технологических нужд завода, разработан проект, и в ближайшее время будет введена в эксплуатацию система подвода феррогаза от рудовосстановительных печей для прокалики антрацита в трубчатых печах ЦЭМ, что позволит более полно утилизировать вторичные энергоресурсы и значительно снизить себестоимость продукции.

В настоящее время производственные условия позволяют не только получать самообжигающиеся электроды с высоким комплексом физико-механических, электрических и теплофизических характеристик углеродного блока

электрода, но и создавать электрод с необходимыми заданными свойствами.

Выводы

Исследована и усовершенствована технологическая схема производства электродной массы в условиях ЦЭМ Никопольского завода ферросплавов при снижении качества исходного сырья, используемого для изготовления электродных масс, позволяющая обеспечить надежную безаварийную эксплуатацию самообжигающихся электродов больших сечений (2800×650 и диаметром 2000 мм). Показано, что использование в шихте искусственного графита и графитсодержащих материалов значительно улучшает ее качество и позволяет повысить теплопроводность и снизить удельное электрическое сопротивление.

Предложенная схема использования феррогаза для прокалики антрацита позволит повысить степень утилизации вторичных энергоресурсов, снизить потребление природного газа и себестоимость продукции.

Библиографический список

1. Рудовосстановительные электропечи и технология производства марганцевых ферросплавов / В. С. Куцин, Б. Ф. Величко, М. И. Гасик [и др.]; под ред. В. С. Куцина и М. И. Гасика. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – 508 с.
2. Гасик М. И. Самообжигающиеся электроды рудовосстановительных электропечей / М. И. Гасик. – М.: Металлургия, 1976. – 368 с.
3. Гасик М. И. Электроды рудовосстановительных электропечей / М. И. Гасик. – М.: Металлургия, 1984. – 248 с.
4. Кашкуль В. В. Передовой опыт эксплуатации рудовосстановительных электропечей / В. В. Кашкуль, А. Г. Гриншпунт, И. И. Любарец. – М.: Металлургия, 1988. – 88 с.
5. Гриншпунт А. Г. Создание научно-обоснованных технологий производства ферросплавов за счет обеспечения надежной работы электродов высокоомощных электропечей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук 05.16.02 / А. Г. Гриншпунт; НметАУ. – Днепропетровск, 2001. – 35 с.

Поступила 10.05.2016