



Создание электродуговых печей

Ю.В. Черников

(Продолжение. Начало см. ЭП, № 1-2, 2008 г.)

Одним из важных элементов электродуговых печей являются электроды, через которые обеспечивается подвод электроэнергии в рабочее пространство печи. Для обеспечения нормальной работы печей они должны обладать достаточной механической прочностью и электропроводностью, иметь высокую термическую стойкость, хорошо противостоять окислению воздухом при высоких температурах, а также иметь низкую стоимость. Всем этим требованиям отвечают электроды, изготовленные из углеродистых материалов.

В электродуговых печах применяют электроды угольные, графитизированные и самоспекающиеся. Вильгельм Сименс в своей первой электродуговой печи использовал угольные электроды. И угольные, и графитизированные электроды изготавливаются из одних и тех же материалов, а именно: карбонизированного антрацита, нефтяного кокса и связывающих материалов, как, например,

пластической древесноугольной или каменноугольной смолы [1]. Уголь и кокс размалываются, смешиваются в определенной пропорции, нагреваются, смешиваются со связкой, помещаются в формы и прессуются до получения из них цилиндрических тел различных диаметров и длиной от 1500 до 1800 мм. Затем эти изделия обжигают в печах при температуре 1300 °С, при этом медленный нагрев (от 15 до 20 °С/ч) предотвращает образование трещин. Процесс обжига, включая охлаждение, занимает около двух недель. Полученные угольные электроды передают на механическую обработку. Для повышения качества электродов в шихту при их изготовлении добавляют природный или искусственный графит. Графитизированные электроды получают в электрических печах сопротивления путем выдержки обожженных заготовок в течение 50 – 60 часов при температуре от 2500 до 3000 °С. В результате графитизации повышаются электропроводность (примерно в четыре раза) и химическая стойкость электродов. Однако графитизи-

рованные электроды – более хрупкие и дорогие, чем угольные.

Угольные электроды диаметром от 200 до 750 мм используют, преимущественно, в дуговых печах малой и средней емкости для выплавки углеродистой стали, предназначенной для фасонного литья. Графитизированные электроды диаметром от 75 до 555 мм используют в дуговых печах, предназначенных для выплавки стали и сплавов различных марок. При эксплуатации высокоомощных дуговых печей для обеспечения требуемой плотности тока используют графитизированные электроды диаметром 610 и 710 мм. Изготовление электродов является длительным процессом, который продолжается для угольных электродов до 30, а для графитизированных – до 40 дней.

Большим успехом в области электродного производства следует считать изобретение норвежского инженера Содерберга, известное под названием «непрерывного самоспекающегося электрода» [2]. Впервые такой электрод был применен в 1919 г. на норвежском заводе

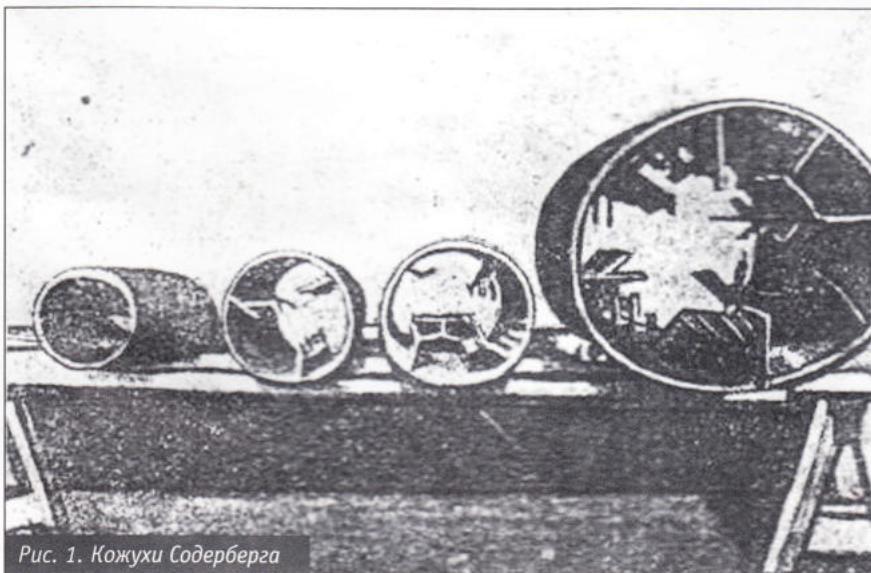


Рис. 1. Кожухи Содерберга

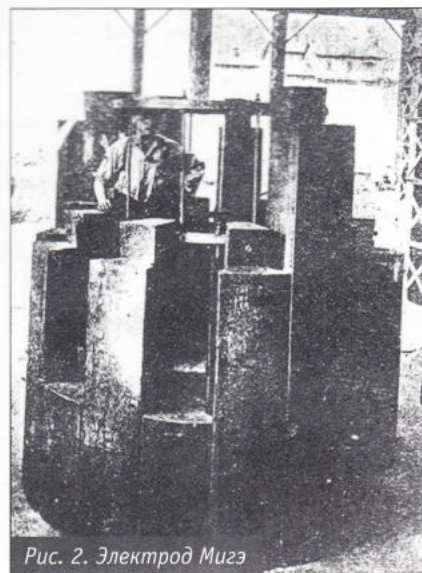


Рис. 2. Электрод Мигэ



Фискаа. Непрерывный самоспекающийся электрод Содерберга отличается от обычного прессованного электрода тем, что готовится в самой печи во время ее работы. Эти электроды не подвергаются ни прессованию, ни отжигу в печах.

Электрод Содерберга состоит из металлического кожуха-цилиндра с толщиной стенки от 1,25 до 3,0 мм с внутренними ребрами (рис. 1), а также набивки из электродной массы, мало отличающейся от той, какая применяется для обыкновенных электродов. Кожух изготавливается из отдельных секций длиной от 1,4 до 1,8 м. После тщательного смешивания компонентов шихты в смесителе с обогревом электродную массу загружают в кожух. Когда такой электрод начинает работать в печи, электродная масса нагревается и непрерывно спекается по направлению от электрододержателя вниз, благодаря действию печного жара и той мощности, которая выделяется в электроде при протекании тока. Когда электрод израсходуется до такой величины, что его нижний конец подходит близко к электрододержателю, к нему сверху приваривается новая секция, которая набивается доверху электродной массой, а затем электрод опускается вниз по отношению к электрододержателю и перепускается.

Самоспекающиеся электроды применяют преимущественно в ферросплавных печах, работающих в основном непрерывно. Они обеспечивают возможность изготовления электродов большого диаметра – до 1500 – 2000 мм. При этом они имеют низкую стоимость (в три раза дешевле графитизированных и в полтора раза – угольных).

Для печей конструкции Мигэ применяются электроды чрезвычайно больших размеров диаметром до 4000 мм [3]. На электродных заводах нет возможности изготавливать электроды таких размеров. Поэтому электрод для печи Мигэ изготавливают составным из ряда угольных секторообразных блоков, расположенных по кругу (рис. 2).

Электрод Мигэ диаметром 3850 мм ферросплавной печи Днепровского

завода состоит из двух частей: внешней кольцевой части, образуемой 24-мя обожженными прессованными угольными блоками, и центральной – цилиндрической части, изготовленной по принципу Содерберга. Вследствие скин-эффекта при той большой силе тока, какая имеет место в печи Мигэ (100 – 200 кА), почти весь ток направляется по внешней кольцевой зоне электрода, центральная же часть почти не принимает участия в передаче тока. Трудность изготовления электрода Мигэ и его наращивания представляет одно из слабых мест печей этой системы.

Уже в 20-е годы прошлого столетия опыт эксплуатации дуговых сталеплавильных печей показал, что интенсификация металлургических процессов, особенно в восстановительный период плавки, может быть достигнута путем перемешивания жидкого металла. В печах вращающихся или качающихся во время плавки осуществляется механическое перемешивание металла. В 1916 г. профессора С.И. Тельный и Г.Е. Евреинов в Екатеринославе (Днепропетровск) предложили в дуговых печах, неподвижных во время плавки, использовать для перемешивания жидкого металла добавочное магнитное поле. На рис. 3 изображена предложенная им однофазная «дуговая печь с вращающейся дугой» и с проводящей подиной. Рабочее пространство печи окружено кладкой 1, ванна жидкого металла 2 охватывается снаружи катушкой 3, выполненной из медной

трубы, заложенной в кладку печи и охлаждаемой водой. Ток, питающий печь, проходит последовательно от источника питания через катушку 3, верхний электрод 5, дугу 4, нижний подовый электрод 6 и возвращается к источнику питания. Взаимодействие переменного магнитного потока катушки с дугой приводило ее во вращение со скоростью 150 об/мин, при этом дуга сильно удлинялась, достигая 250 – 300 мм вместо нескольких десятков миллиметров в обычных условиях. Это позволило увеличить напряжение на дуге, улучшило ее устойчивость и передачу тепла от дуги к металлу. Этот же магнитный поток наводил в ванне индуктированный ток, который отталкивался от токов катушки, обеспечивая перемешивание металла [4].

Первые печи этого типа были установлены в 1919 г. в Екатеринославских железнодорожных мастерских и в 1920 г. на Екатеринославском трубопрокатном заводе, однако «вращающаяся дуга» профессоров С.И. Тельного и Г.Е. Евреинова не получила распространения на дуговых сталеплавильных печах, так как получаемый технико-экономический эффект не окупал осложнения и удорожания конструкции.

Весьма трагична судьба Георгия Евгеньевича Евреинова (1880 – 1937) – профессора, доктора технических наук, заведующего кафедрой горной электромеханики Днепровского горного института. Решением выездной сессии

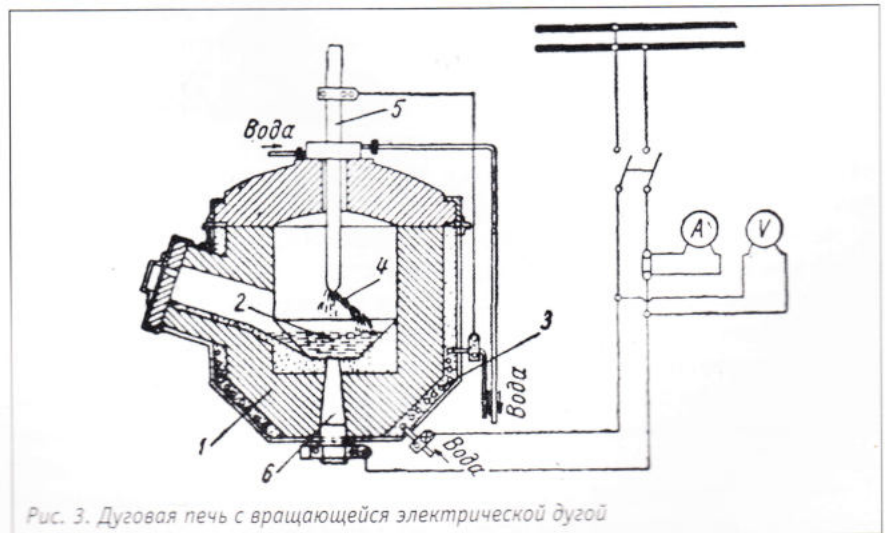


Рис. 3. Дуговая печь с вращающейся электрической дугой



Военной Коллегии Верховного Суда СССР от 14 сентября 1937 г. он был приговорен к высшей мере наказания. Реабилитирован в 1956 г. посмертно.

Идея С.И. Тельного и Г.Е. Евреинова улучшить дуговую печь при помощи добавочного магнитного поля впоследствии привлекла внимание многих исследователей.

В 1928 г. инженер Л.И. Морозенский предложил устройство, предназначенное для управления дугами и одновременно для перемешивания металла [5]. Вокруг ванны жидкого металла в горизонтальной плоскости по окружности кожуха располагают три катушки, питаемые трехфазным током и создающие вращающееся в горизонтальной плоскости магнитное поле, которое наводит в ванне индуцированные токи. Механическая сила между потоком катушек и индуцированными токами приводит металл в движение в направлении вращения магнитного потока катушек. Система подобна асинхронному двигателю: катушка – статор, а жидкий металл – ротор, при этом металл вращается в горизонтальной плоскости. Верхняя часть катушек находится над зеркалом металла и создает механические силы, отклоняющие дуги. Направление выдувания дуг изменяли переключением катушек. Испытания устройства, проведенные на печи емкостью 0,5 т, дали положительные результаты: расплавление ускорилось в среднем на 30 %, а удельный расход энергии уменьшился на 40 %, обезуглероживание и дефосфация ускорились в 4 – 5 раз. Однако результаты испытаний, проведенных на промышленной печи емкостью 2,5 т завода «Электросталь», оказались неудовлетворительными: продолжительность расплавления и металлургических процессов, а также удельный расход электроэнергии остались прежними, хотя мощность катушек достигала 175 кВА при мощности печного трансформатора 900 кВА. Катушки Л.И. Морозенского не получили практического применения.

В 1935 – 1937 и 1952 – 1956 гг. профессор Московского института

стали (МИС) Николай Валерьянович Окорочков выполнил цикл теоретических и экспериментальных исследований в области электромагнитного перемешивания металла в дуговой сталеплавильной печи, в результате которых были сделаны следующие выводы [6]:

- нижнее расположение катушек под ванной более эффективно по сравнению с боковым их расположением;

- использование токов низкой частоты (от 0,3 до 2,0 Гц) более эффективно по сравнению с использованием токов стандартной частоты 50 Гц, на которой индуцированные в ванне токи вследствие «поверхностного эффекта» протекают по нижнему слою металла в ванне, равному всего 8 – 10 см и, кроме того, на низкой частоте используемых токов глубина проникновения переменного магнитного поля в ванну печи увеличивается;

- использование двухфазного статора с неявно выраженными полюсами с «расщепленной» фазой наиболее эффективно для создания механических усилий для перемешивания металла в ванне печи.

Магнитопровод перемешивателя по форме напоминает собой дугу асинхронного двигателя. В статоре с так называемой «расщепленной» крайней фазой одна фаза «средняя» состоит из одной большой катушки, а вторая – «крайняя» – из двух меньших катушек, расположенных по концам статора. В таком статоре можно получить различные виды движения магнитного поля в зависимости от того, как соединены катушки крайней «расщепленной» фазы (согласно или встречно) и от того, как подсоединены начало и конец обмотки средней фазы статора (поля, бегущие от края до края в ту или другую сторону, два встречных поля от края к середине и два расходящихся поля от середины к краям перемешивателя). Расходящиеся поля более выгодны для перемешивания, так как они создают больше циклов вращения металла. Поле, бегущее от края к краю, необходимо для организованного подкачивания шлаков.

По техническому проекту МИС завод «Днепропетцсталь» (г. Запорожье) изготовил и ввел в эксплуатацию с января 1959 г. перемешиватель металла со статором низкой частоты на печи ДСВ-18 емкостью до 25 т [6]. Проведенные испытания подтвердили значительное положительное влияние электромагнитного перемешивания на сокращение длительности технологического процесса и повышение качества выплавляемого металла.

Следует отметить, что впервые о промышленном применении электромагнитного перемешивания было сообщено в печати фирмой ASEA (Всеобщая Шведская Электрическая Компания) в 1949 г. [8, 9]. Эта фирма применяла двухфазные статоры с «расщепленной» фазой, питаемые током низкой частоты от 0,35 до 1,5 Гц. В последующее время фирма ASEA установила в зарубежных странах около сорока таких статоров на печах емкостью от 10 до 150 т.

Литература:

1. Кемп Д.М., Френсис К.Б. Производство и обработка стали, пятое издание ч. 1, М.: ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1945.
2. Гасик М.И. Электроды рудостановительных печей, 2-е изд. М.: Металлургия, 1984.
3. Ферросплавы. Теория и практика выплавки ферросплавов в электрических печах. /К.П. Григорович, В.А. Боголюбов, В.П. Елютин и др. – М.-Л. – Свердловск: ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1934.
4. Окорочков Н.В. Дуговые сталеплавильные печи. – М.: Металлургия, 1971.
5. Величко П.Е. Индукционное перемешивание металла в дуговых печах и опытно-промышленная установка // «Электричество», 1958, № 2.
6. История электротехники. /Под ред. И.А. Глебова. – М.: Изд-во МЭИ, 1990.

(Продолжение следует)