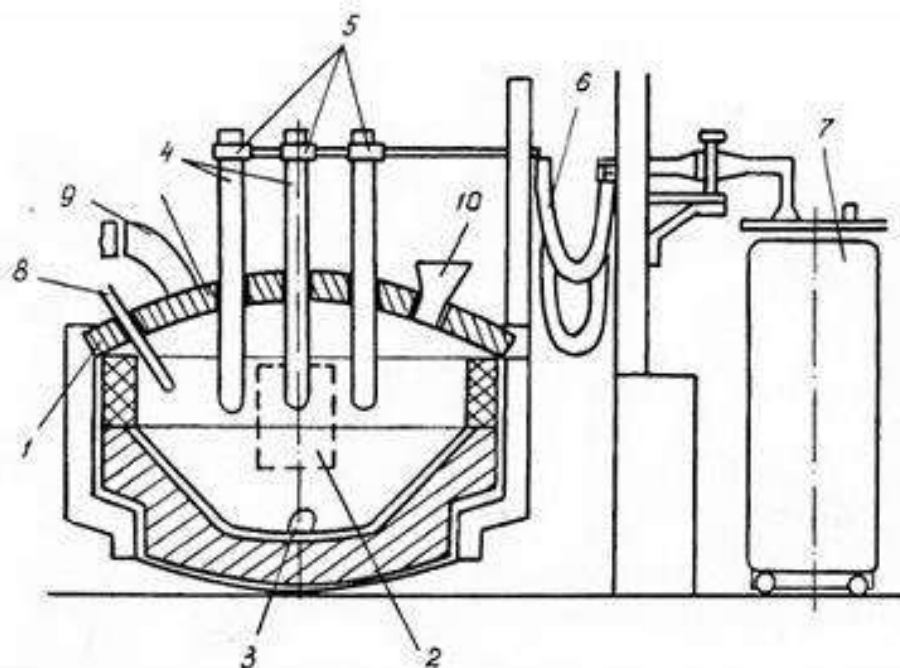


ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Миронов Д.Н., студент; Суков С.Ф., к.т.н., доц.; Федюн Р.В., к.т.н., доц.

(ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк, ДНР)

На сегодняшний день электродуговые печи считаются самыми распространенными и экологически чистыми агрегатами для выплавки стали [1,2]. Возможность сосредоточенного ввода значительного количества тепловой энергии в сочетании с простотой управления подводимой электрической мощности является неоспоримым преимуществом дуговых сталеплавильных печей по сравнению с другими агрегатами для производства стали. На рисунке 1 приведена укрупненная технологическая схема дуговой сталеплавильной печи (ДСП).



- 1 – свод печи; 2 – рабочее окно; 3 – сталевыпускное отверстие; 4 – электроды;
 5 – электрододержатели; 6 – короткая сеть; 7 – трансформатор; 8 – кислородная фурма;
 9 – отвод отходящих газов; 10 – загрузочная воронка

Рисунок 1 – Укрупненная технологическая схема дуговой сталеплавильной печи

На рисунке 1 показана конструкция комплекса ДСП. Свод печи 1, который несет наибольшую функциональную нагрузку. Как правило, ДСП оснащены сводом, который приподнимается и поворачивается, благодаря чему упрощается процесс загрузки шихты. В расположенных в центральной части свода отверстиях, расположены три электрода 4, которые с помощью электрододержателей 5 и короткой сети 6 соединяются с трансформатором 7, который располагается в отдельном изолированном помещении [1,2].

По высоковольтным линиям электропередачи с напряжением 35-220 кВ электроэнергия поступает в электросталеплавильный цех, где с помощью печного трансформатора 7 напряжение понижается до 100-1000 В. Такое напряжение и подается на ДСП, имея при этом силу тока в короткой цепи 6 равную десяткам тысяч ампер [1,2].

В данной электрической системе расположены измерительные, предохранительные, разъединительные, а также регулирующие устройства. Это позволяет требуемым образом поддерживать электрические параметры и режимы во время плавки.

Через свод 1 осуществляется отвод отходящих газов, с помощью трубопровода 9, опускание фурмы 8 и подача сыпучих материалов через воронку 10.

Корпус ДСП наклоняется до 40° в сторону сталевыпускного отверстия 3 либо в противоположную сторону, где находится рабочее окно 2. Это позволяет осуществлять регулировку слива шлака в процессе плавки и выпуск металла.

Для футеровки подины печи, её стен и свода применяются основные огнеупоры (хромомagneзитовые и магнезитохромитовые), а в литейном производстве встречается ещё и кислая футеровка. Наиболее подверженной износу является футеровка свода, срок службы которой составляет до 150 плавов. После чего свод подлежит замене. Срок службы подины печи составляет 1000-1500 плавов [1,2].

Водоохлаждение свода и футеровка только центральной части, где расположены электроды, позволили повысить стойкость сводов современных печей до 5000-6000 плавов. Благодаря успешному опыту эксплуатации водоохлаждаемых сводов были разработаны и водоохлаждаемые стены печи. Отсечка шлака при выпуске осуществляется с помощью эркерного или донного сталевыпускного отверстия с применением шиберных затворов.

Установка стеновых и горелок на стенках свода позволяет ускорить процессы нагрева и плавления шихты, а установка сводовых и глубинных кислородных фурм интенсифицировать обезуглероживание. Благодаря этому длительность плавки сокращается до 40-60 мин., а производительность печи приближается к производительности кислородно-конвертерного процесса плавки.

Питание рассматриваемой ДСП осуществляется трёхфазным переменным током. В рабочем пространстве ДСП расположены три цилиндрических электрода, которые изготовлены из специального графитового состава. Электрический ток от силового трансформатора ДСП по кабелям и медным шинам подается к электрододержателям, а по ним – к электродам. Между электродами и металлической шихтой возникает электрическая дуга, что позволяет превратить электрическую энергию в тепловую, которая передаётся металлу и шлаку излучением. ДСП имеет стальной сварной кожух, который изнутри футерован теплоизоляционным и огнеупорным кирпичом. Подина ДСП защищена специальной огнеупорной массой. Таким образом, плавильное пространство ограничивается стенками, подиной и сводом, который также изготовлен из огнеупорного кирпича и имеющим отверстия для перемещения электродов. В подине расположены три отверстия с креплениями для размещения продувочных пробок. В стенках ДСП располагается рабочее окно, которое предназначено для контроля и управления процессом плавки и летка – для выпуска готовой стали по желобу в печь-ковш.

Цель функционирования дуговой сталеплавильной печи – получение металла температурой $1620^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ с необходимым составом и требуемого качества [1,3].

Выплавка стали в ДСП включает в себя следующие технологические операции [3,4]:

- подготовка печи к завалке;
- завалка;
- расплавление;
- доводка;
- выпуск плавки.

В шихтовом пролете электросталеплавильного цеха осуществляется загрузка металлической шихты в корзины (бадьи) и с помощью мостового крана доставляется в печной пролет, где производится ее завалка в дуговую сталеплавильную печь. После осмотра рабочего пространства электропечи выполняется загрузка металлической шихты в ДСП сверху, с использованием загрузочной бадьи.

Выплавка стали начинается с завалки металлической шихты на «болото» – оставшейся от предыдущей плавки части жидкого металла в количестве около 10-15% от объема ДСП. Материалы в ДСП загружают в два-три приема.

На дно загрузочной бадьи укладывают легковесный лом, затем размещается тяжеловесный лом. Ближе к стенкам бадьи загружаются шлакообразующие. Плотная укладка

металлической шихты обеспечивает её хорошую проводимость, что дает возможность получить в процессе плавки устойчивую дугу и быстрое расплавление. Чугун отдают в середину завалки. Шихтовку плавки производят с обязательным учетом массы оставшегося в печи металла.

Выплавка стали осуществляется в автоматическом режиме, при влиянии теплового воздействия. Преобразование электрической энергии в тепловую происходит при возникновении электрической дуги, которая представляет собой один из видов дугового разряда, возникающего между графитированными электродами. Именно величина тока дуги и расстояние между электродами определяют скорость плавки металла. После окончания завалки и установки свода ДСП в рабочее положение, электроды опускают почти до касания с шихтой и включают печь. Между электродами и шихтой загораются электрические дуги, под воздействием излучения которых, металлическая шихта начинает плавиться под электродами и жидкий металл стекает вниз. Для ускорения плавления лома в холодных местах рабочего пространства и получения активной по всей поверхности шлаковой ванны, используют дополнительную энергию газокислородных горелок, расход газа и кислорода на горелку принимают в соотношении 1:2. Горелки включают сразу после завалки, при работе стеновых газокислородных горелок, также осуществляют донную продувку аргоном в течение всей выплавки. Продувка аргоном необходима для повышения качества металла. Аргон вдувают в жидкую сталь через пористые и огнеупорные пробки, которые устанавливают в подине электродуговой печи.

Расход электроэнергии на электрод в период плавления равен $370 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$. При работе ДСП необходимо поддерживать постоянную электрическую дугу. Для этого необходимо организовать надлежащую проводимость между корпусом электрода и шихтой. Достигается необходимый уровень проводимости за счет изменения положения (перемещения) электродов по вертикали, либо изменением напряжения на них, для поддержания дуги подается напряжение от 100 до 600 В и ток 10-80 кА. Электроды постепенно перемещаются и опускаются в образующиеся под ними в шихте «колодцы». В процессе плавления контролируется температура воды на панелях свода. Для раннего шлакообразования в завалку добавляют известь в количестве 2-3 % от массы металлической шихты.

В момент интенсивного шлакообразования и сходу шлака из печи температура металла должна быть 1550°C , что позволяет получить наилучшие условия дефосфорации металла.

Для схода шлака корпус ДСП наклоняют в сторону рабочей площадки материалов приблизительно на 5° . Удаление шлака осуществляется через рабочее окно ДСП. С целью недопущения переокисления ванны во время работы кислородных фурм и продувке ванны кислородом, подача углеродсодержащего материала является обязательным.

В момент полного расплавления металлической шихты термопарой измеряют температуру металла и осуществляют отбор проб погружным пробоотборником. Получив предварительную информацию о химическом составе металла, продолжают окисление примесей в металле продувкой ванны ДСП кислородом через кислородную фурму.

Процесс плавки стали в ДСП, а также предшествующие и последующие за ним стадии данного технологического процесса, сопровождаются существенными выделениями пыли. Удаление печных газов из ДСП осуществляется через водоохлаждаемый газоход и систему газоочистки с фильтрами. Выпуск готового металла осуществляется через сливной желоб.

Весь процесс управления дуговой сталеплавильной печью и ее элементами, подразделяется на управление технологическим режимом и управление тепловым режимом [4,5]. Поскольку в электросталеплавильном технологическом процессе в ДСП основная часть тепла получается в результате преобразования электрической энергии, то возникает необходимость управлять количеством поступающего тепла, т.е. электрическим режимом, а если точнее – электрической мощностью ДСП [4,5].

Выполненный выше анализ особенностей процесса выплавки стали позволил составить структурную схему материальных потоков ДСП, которая приведена на рис.2.



Рисунок 2 – Структурная схема материальных потоков ДСП

Как следует из схемы материальных потоков ДСП (рис.2) и выполненного выше анализа технологических процессов, протекающих в ней, электросталеплавильная печь является сложным, многомерным, многосвязным объектом управления, состоящим из большого количества технологических элементов. Первым (и основным) технологическим процессом, без нормального функционирования которого, невозможно представить работу ДСП в принципе, является процесс получения тепловой энергии из электрической за счет требуемого поддержания длины электрической дуги на различных этапах процесса плавки. Как было описано выше, это является основным процессом при управлении ДСП – управление тепловым режимом ДСП, который сводится к управлению электрическим режимом, а точнее – электрической мощностью ДСП [4,5].

Следующим технологическим элементом ДСП, определяющим эффективность и экономичность процесса выплавки стали является кислородная фурма [4,5]. Нормальное функционирование кислородной фурмы определяется поддержанием требуемых параметров процесса подачи кислорода и процесса ее охлаждения. Процесс подачи кислорода в рабочее пространство ДСП характеризуется необходимым расходом кислорода на продувку при поддержании требуемого его давления. Отклонение расхода и давления кислорода от требуемых значений приводит к повышению эксплуатационных затрат на процесс производства стали в ДСП или к ухудшению качества получаемой стали. При охлаждении фурмы необходимо изменять расход охлаждающей воды для поддержания требуемой разности температур на выходе и входе кислородной фурмы, что при относительно постоянной температуре охлаждающей воды сводится к поддержанию заданной температуры охлаждающей воды на выходе из кислородной фурмы.

Таким образом, на основании схемы материальных потоков ДСП (рис.2) и рассмотренных выше особенностей процесса перемещения электродов, процесса охлаждения кислородной фурмы, а также процесса подачи кислорода, получена схема дуговой сталеплавильной печи для перечисленных элементов как объекта автоматического управления, которая приведена на рис.3.

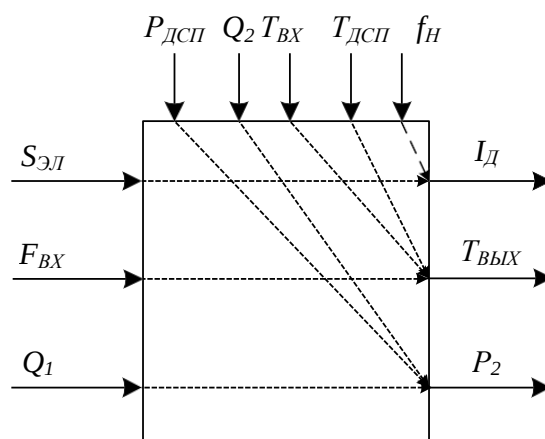


Рисунок 3 – ДСП как объект автоматического управления

Управляемыми переменными, характеризующими функционирование основных технологических элементов и процессов при выплавке стали в ДСП, являются (рис.3): при управлении мощностью ДСП – электрический ток дуги I_d ; при управлении охлаждением кислородной фурмы – температура охлаждающей воды на выходе фурмы $T_{вых}$; при управлении подачей кислорода в фурму – давление на входе в кислородную фурму (на выходе подающего кислород трубопровода) P_2 .

Управляющими воздействиями, позволяющими требуемым образом влиять на перечисленные управляемые переменные, являются (рис.3): при управлении мощностью ДСП – перемещение электрода $S_{эл}$; при управлении охлаждением кислородной фурмы – расход охлаждающей воды на входе в кислородную фурму $F_{вх}$; при управлении подачей кислорода в фурму – расход кислорода на выходе управляемой задвижки (на входе подающего трубопровода) Q_1 .

Возмущающими воздействиями для рассматриваемых элементов ДСП, выступают (рис.3): при управлении мощностью ДСП – неконтролируемые возмущения электрического режима, изменяющие расстояние между электродом и металлической шихтой f_H (возмущения электрического режима возникают при обвалах металлической шихты в процессе плавления; при кипении металла; при обгорании электродов; при подъеме уровня металла по мере его плавления); при управлении охлаждением кислородной фурмы – температура охлаждающей воды на входе в кислородную фурму $T_{вх}$ и температура в рабочей зоне ДСП $T_{дсп}$; при управлении подачей кислорода в фурму – расход кислорода, потребляемый кислородной фурмой (на выходе подающего кислород трубопровода) Q_1 и давление в рабочей зоне ДСП $P_{дсп}$.

В данной статье рассмотрен технологический процесс получения стали в дуговых сталеплавильных печах. Выполнен анализ элементов и технологических звеньев ДСП как объектов автоматического управления. На основании проведенного анализа разработана схема материальных потоков ДСП, с использованием которой определены управляемые переменные, управляющие и возмущающие воздействия дуговой сталеплавильной печи.

Перечень ссылок

1. Сведчанский, А.Д. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: учебник для вузов. / А.Д. Сведчанский, И.Т. Жердев, А.М. Кручинин – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.: ил., табл.
2. Поволоцкий, Д.Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов. / Д.Я. Поволоцкий – М.: «Металлургия», 1978. – 550с.
3. Огороков, Н. В. Электроплавильные печи черной металлургии. / Н.В.Огороков – М.: Металлургия, 2005. – 220 с.
4. Марков, Н.А. Электрические печи и режимы дуговых электропечных установок. / Н.А. Марков. – М.: Энергия, 2003. – 204 с.
5. Лапшин, И.В. Автоматизация дуговых печей. / И.В. Лапшин – Москва, 2004. – 166 с.