

## ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЕМКОСТЬЮ 25 Т НА по «ИЖСТАЛЬ»

**М.К. Закамаркин,  
М.М. Липовецкий,  
В.С. Малиновский**

Разработка дуговых печей постоянного тока, в конструкции и энергетических режимах которых учтен опыт проектирования и эксплуатации плазменных печей, позволила реализовать преимущества, имеющие принципиальный характер для металлургического и литейного производства, прежде всего связанные с экологией: десятикратное уменьшение пылегазовыбросов и не превышающий во все периоды плавки санитарные нормы уровень шума на рабочей площадке. При этом достигаются снижение расхода графитированных электродов до 1-1,5 кг на 1 т расплава, уменьшение угара металла ( $\leq 1$  %), расхода ферросплавов (на 60-80 %), уровня колебаний электрического режима (не выше 20 % в начале плавки и 5 % в последующие периоды плавления).

Разработка плазменных, а затем дуговых печей постоянного тока была начата Всесоюзным научно-исследовательским институтом электротермического оборудования (ВНИИЭТО) в 1964 г. Авторами настоящей статьи выработана концепция современной дуговой печи постоянного тока, на базе которой осуществили перевод одной из дуговых сталеплавильных печей переменного тока (ДСП) емкостью 25 т на питание постоянным током.

Их особенностью является наличие одного установленного на оси печи графитированного электрода, подключенного к минусам источников электропитания, и нескольких электродов, расположенных в подине печи, каждый из которых подключен к полюсу автономно управляемого тиристорного преобразователя.

В ПО "Ижсталь" реконструкцию 25-т печи провели в два этапа. На подготовительном этапе без остановки действующей печи построили помещения источников электропитания, изготовили новый кожух печи, подовые и сводовые электроды, трубошины для силовой коммутации, пульт управления. Завершающий этап реконструкции с остановкой печи был проведен в течение 1 мес.; с учетом накопленного опыта продолжительность этой работы может быть сокращена до 10 дней. Из-за отсутствия места вокруг цеха установка источника питания проведена внутри цеха; это потребовало демонтажа существующего оборудования.

Печь оборудована двумя автономными источниками электропитания, состоящими из силового трансформатора, сетевого реактора, тиристорного преобразователя, коммутатора для последовательно-параллельного переключения тиристорных преобразователей, сухих сглаживающих реакторов, установленных в цепи постоянного тока. Несмотря на большой набор специального оборудования, не потребовалось значительных дополнительных площадей в связи с компактной расстановкой и небольшими габаритами силовых модулей источника электропитания.

Все электрооборудование печи было выполнено на базе серийно выпускаемого в СССР оборудования. В процессе конструирования печи был разработан источник электропитания со значительно уменьшенными габаритами.

Выбор реакторного оборудования в цепи постоянного и переменного тока в сочетании с параметрами трансформатора и преобразователя обеспечил высокую стабильность дуги, независимо от качества шихты и периода плавления, а также минимальный уровень помех, генерируемых в питающую сеть.

Силовые трансформаторы имеют два переключателя: один для ступеней напряжения под нагрузкой и второй с отключением трансформатора от сети при переключениях. В сочетании с устройством последовательно-параллельного переключения тиристорных

преобразователей источник электропитания имеет 94 ступени напряжения в интервале 100-1200 В. Тиристорный преобразователь, собранный по двенадцатипульсной схеме, позволяет плавно изменять и стабилизировать силу тока в пределах 0-20 и 0-10 кА при напряжении соответственно 100-600 и 100-1200 В.

Охлаждение тиристорного преобразователя проводится дистиллированной водой, циркулирующей во внутреннем контуре теплообменника, охлаждаемого (как и остальные узлы печи) технической водой.

Тиристорные преобразователи подключены к двум металлическим подовым электродам, водяные каналы охлаждения которых вынесены за пределы кожуха печи. Это в сочетании с системами непрерывного автоматического контроля за состоянием и тепловой нагрузкой подовых электродов обеспечивает надежность и безопасность эксплуатации печи.

Оснащение печи двумя автономными источниками электропитания, как показали монтаж и эксплуатация печи, полностью себя оправдало. Каждый из модулей мощностью до 8 МВт может быть использован для электропитания печи емкостью 12 т. Таким образом, реализована возможность унификации силового оборудования, шинопроводов, подовых электродов. Очевидно, что габариты тиристорных преобразователей, реакторного оборудования остаются неизменными, увеличивается несколько только площадь, занимаемая двумя трансформаторами по сравнению с одним мощным, но при этом уменьшаются масса и габариты каждого из трансформаторов. Автономное питание подовых электродов в сочетании с целенаправленной их расстановкой и специальными режимами ведения плавки позволило обеспечить управляемое трехмерное интенсивное перемешивание расплава без применения специальных устройств. Отказ любого из источников электропитания несколько увеличивает продолжительность плавления, но не приводит к остановке печи.

Печь имеет выкатную ванну с небольшим зазором между тележкой и люлькой, что вызвало необходимость изменения конфигурации хвостовой части подовых электродов. С реконструированной ДСП были сняты два электрододержателя; при этом третий (средний) был удлинен. Для улучшения газоплотности печи изготовили уплотненный экономайзер.

Следует отметить неудачную конфигурацию кожуха печи, который имеет вертикальные стены и небольшую высоту рабочего пространства, что не соответствует оптимальной геометрии печного пространства дуговой печи постоянного тока. При увеличении высоты печи на 300 мм улучшить конфигурацию кожуха не удалось из-за ограничения размеров портала. Это приводит к повышенному износу футеровки стен и свода (на 30 % ниже стойкости футеровки ДСП).

Снижение стойкости футеровки новой печи является особенностью конкретной печи. Ранее перевод ДСП емкостью 6-12 т на питание постоянным током сопровождался увеличением стойкости свода в 1,5-2 раза и стойкости стен в 3 раза.

Печь постоянного тока эксплуатируется совместно с двумя подобными ДСП с циклом плавки около четырех часов, что связано с небольшой производительностью шихтового двора и разливочного пролета. Средняя продолжительность плавления составляет 1 ч 30 мин (выявлена возможность его сокращения до 1 ч). Все печи работают круглосуточно; при этом проводится по 6 плавков в сутки.

Футеровка подины выполняется, как и на ДСП, методом кирпичной кладки с набивными слоем толщиной 240 мм из хромагнетитового порошка. В дуговой печи постоянного тока для установки подовых электродов в кирпичной кладке выполнены колодцы; промежутки между стенами кладки и подовыми электродами набиваются огнеупорной массой.

На плавках первой компании происходили частые "срывы" набивного слоя, который восстанавливали наваркой подины. После 400 плавков футеровка подины и один из подовых электродов были заменены; ее эксплуатация в настоящее время затруднений не вызывает. Отработаны приемы горячего ремонта подины при срывах из-за перегрева расплава, мало отличающиеся от ремонта футеровки на ДСП. В настоящее время эксплуатация подины новой печи не отличается от эксплуатации дуговых печей постоянного тока емкостью 6 и 12 т, в

которых стойкость подины и подовых электродов оставляет 2-3 года и не оказывает влияния на себестоимость металла.

Работа печи ведется с полным сливом; между плавками проводят обычный ремонт подины, связанный (как и на ДСП) в основном с наваркой шлакового пояса.

Горячие ремонты стен и свода не проводятся; ремонт стен осуществляется путем частичной замены кирпичной кладки при холодном ремонте.

Установка на печь водоохлаждаемых панелей и свода, а также отработка энергетического режима будут способствовать увеличению стойкости футеровки.

Нагрев шихты и проплавление колодца в ДСПТ ведется при пониженной силе тока и повышенном (800 В) напряжении. Это позволяет, не форсируя периода плавления, проплавливать в шихте широкий колоде; в тот момент, когда опорное пятно дуги переходит на расплав, шихта оказывается хорошо прогретой, а подина закрытой достаточным слоем расплава. Температура футеровки к окончанию режима нагрева длительной дугой не превышает 1250 °С. Такой метод начала плавки позволяет стабилизировать мощность дуги и при невысоком уровне ее колебаний предотвращает колебания давления газа внутри печи, препятствуя интенсивному газообмену печного пространства с окружающей средой. Это значительно уменьшает угар металла и пылегазовыбросы из печи, в составе которых практически отсутствуют окислы металла и легирующих элементов. При отсутствии в шихте масла, эмульсии и влаги плавление шихты ведется практически без заметных пылегазовыбросов. Выходящие из отверстия в своде печи газы содержат окись углерода, которая загорается и догорает вне печи. При наличии замазливой шихты или подачи в печь известняка интенсивность факела возрастает. В случае подачи в печь шлакообразующих элементов пылегазовыбросы (мелкая пыль СаО) усиливаются. В период даже максимальных пылевыбросов их уровень в 7-10 раз ниже уровня пылевыбросов из ДСП (~1 кг/т расплава).

В процессе плавления шихты без загрязнений и без подачи шлакообразующих пылевыбросы не превышают 0,2 кг/т расплава, что обеспечивает основное преимущество дуговых печей постоянного тока в экологическом отношении.

В процессе исследования провели измерение уровня шума в течение полного цикла плавки (от момента включения печей) на расстоянии 5 м от рабочего окна при работе рядом стоящих 25-т дуговой печи постоянного тока и 25-т дуговой печи переменного тока.

Было отмечено снижение уровня звукового давления 25-т печи постоянного тока до санитарных норм во все периоды плавки.

На дуговых печах постоянного и переменного тока нагрев расплава и его рафинирование проходят в более легких условиях. Работа дуговой печи постоянного тока характеризуется при этом не только снижением уровня шума и пылегазовыбросов, но и лучшими технологическими условиями. Так как в процессе расплавления шихты в ДСПТ не образуется мостов, зависаний, шихта хорошо прогревается, а после перехода к интенсивному плавлению организуется трехмерное управляемое перемешивание ванны; в расплаве не отмечаются градиенты температуры и концентрации элементов.

Выбранный диапазон скоростей и направления перемешивания позволяет быстро (в течение нескольких минут) растворять ферросплавы (включая тугоплавкие, например, ферровольфрам) и шлакообразующие; при этом получают шлаки с заданными свойствами. Угар легирующих элементов в процессе плавки практически не происходит.

В процессе эксплуатации печи постоянного тока отмечается также резкое снижение угара графитированных электродов – до 1,5 кг/т расплава.

Ряд факторов, ухудшающих эксплуатационные параметры печи постоянного тока, задает предельно возможный о минимальной продолжительности плавки цикл 3,5-4 ч. в этих условиях удельный расход электроэнергии на расплавление составляет 480 (кВт·ч)/т расплава.

Проведенные экспериментальные плавки на дуговой печи постоянного тока с максимальной нагрузкой до 12 МВт позволили проводить расплавление шихты за 60-70 мин; при этом расход энергии составил 420-435 (кВт·ч)/т расплава.

На печи ДСПТ-25 проводят полный слив металла на каждой из плавки; возможен частичный слив металла. Пуск и завалка печи после холодного простоя осуществляются, как и на обычных плавках. Таким образом, эксплуатация ДСПТ, включая холодные ремонты, мало отличается от эксплуатации ДСП переменного тока.

Установка на печи двух источников электропитания позволила работать в условиях, когда ДСП переменного тока должна быть отключена.

Работы по переплаву в ДСПТ высоколегированного скрапа показали, что степень усвоения в ней легирующих элементов значительно выше, чем в печи переменного тока.

Так, после перевода ДСП-25 на питание постоянным током экономия графитированных электродов достигла 4,5 кг/т расплава, уменьшение расхода шихты и ферросплавов при выплавке инструментальной стали составило, кг/т:

Легированная металлошихта 30-40	Феррохром 1,5
Ферровольфрам 0,3-0,8	Феррованадий 4,75
Ферромolibден 0,3	

Это позволило окупить затраты на реконструкцию печи в течение 7 мес. эксплуатации.

Требуется разработка технологии выплавки низколегированной стали, так как высокое остаточное содержание хрома и марганца в металле затрудняет удаление углерода методами кипения и кислородной продувки.

### **Заключение**

Анализ сравнения ДСП и ДСПТ выявил решающие преимущества дуговых печей постоянного тока. Отмечается снижение угара легирующих элементов и графитированных электродов, резкое улучшение экологии за счет снижения в 7-10 раз пылегазовыбросов и уровня шума до санитарных норм.