

С.М. Нехамин, к.т.н., А.Я. Стомахин, проф., д.т.н.,
А.И. Черняк, ФИЛИППОВ А.К.
(Комтерм, г. Москва)

МАЛОТОННАЖНЫЕ ДУГОВЫЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ (до 25 т) ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ. ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В литейных цехах РФ производится 1,3 млн т стальных отливок (2004г.). Это количество неуклонно возрастает с 2000 г. По производству отливок РФ занимает третье место в мире после США и КНР¹. Судя по количеству ожидаемых вводов новых дуговых печей, объем производства стального литья в РФ в ближайшие годы существенно возрастет. Стоимость фасонных отливок очень высока, поэтому их значение в общем объеме валового продукта значительно больше, чем доля объема производства отливок в общем объеме производства стали. Многие отрасли промышленности и транспорта без стальных отливок просто не могут обойтись (например, железнодорожный транспорт).

На металлургических заводах также имеется значительное количество относительно малотоннажных печей, там, где этого требует ограниченный объем производства отдельных марок стали, необходимость отливки малых слитков и другие особые обстоятельства.

Известно, что в техническом уровне электросталеплавильного производства при использовании большегрузных печей достигнут за последние десятилетия чрезвычайно большой прогресс. Производительность дуговых печей вместимостью около 100 т увеличилась в 5-7 раз (до миллиона тонн в год и выше). Удельный расход электроэнергии сократился вдвое. По сравнению с этими достижениями прогресс в техническом уровне

¹ Дибров И.А. (Президент Российской ассоциации литейщиков). Труды седьмого съезда литейщиков России, т.1, Издательский дом «Историческое наследие Сибири». 2005г, с. 4-13.

электроплавки стали в малотоннажных печах, особенно в литейном производстве, ничтожно мал.

Возникает вопрос: «Почему?». Интересно было бы узнать мнение литейщиков по этому вопросу. Однако, в Трудах последних съездов литейщиков авторам не удалось обнаружить докладов, посвященных работе сталеплавильных участков. Может быть недостаток внимания к проблеме (при множестве других) – и есть одна из причин отставания?

В настоящее время, основной путь повышения эффективности малотоннажных печей ёмкостью 0,5-25 тонн составляющих основную массу плавильных агрегатов в литейных цехах) – это грамотное использование хотя бы некоторых достижений «большой» электрометаллургии стали. К их числу можно в первую очередь отнести:

- переход от двухшлаковой технологии (с восстановительным периодом плавки) к одношлаковой,
- увеличение удельной мощности печей, как электрической, так и тепловой неэлектрической (разумеется, без больших неоправданных затрат на слишком частые ремонты футеровки).

Важным является также выбор предпочтительного рода тока для рассматриваемых агрегатов: переменный или постоянный.

Рассмотрим эти вопросы подробнее.

ПЕРЕХОД НА ОДНОШЛАКОВУЮ ТЕХНОЛОГИЮ.

В «большой» электрометаллургии почти не осталось печей, работающих по двухшлаковой технологии – с восстановительным периодом плавки (если не считать те, в которых выплавляют высколегированные стали и сплавы). Переход к одношлаковому процессу позволяет сократить длительность плавки от выпуска до выпуска на 40-60 мин. Это составляет примерно 50 % длительности всей плавки, т.е. эквивалентно при хорошей мощности двукратному увеличению производительности. Кроме этого при одношлаковом процессе уменьшается содержания водорода и азота в

металле, уменьшается расход электроэнергии, электродов, огнеупоров, извести, раскислителей.

В современных цехах переход на одношлаковую технологию обеспечивается, как правило, проведением раскисления и доводки металла на установке «ковш-печь» (УКП), где, по существу, проводится тот же восстановительный период, но в более благоприятных условиях – с нужным режимом аргонной продувки, с гораздо более эффективным вводом добавок в виде алюминиевой и порошковой проволоки и т. д. В печи в это время уже идет следующая плавка.

Организация одношлакового процесса выплавки стали с использованием УКП целесообразна, конечно, и на малотоннажных печах, в т.ч. в литейных цехах. Возникающие при этом проблемы, связанные с заливкой форм из шибера ковша в ряде случаев могут быть успешно решены. Есть, однако, более серьезная проблема – экономическая. Инвесторов понять можно, одно дело – сооружение УКП для обслуживания 100 тонной печи с производительностью 1 млн тонн стали в год, и совсем другое дело – на печь производительностью 10-30 тыс. т/год. Использование одной УКП для обслуживания даже 2-х печей весьма затруднительно из-за обычной несинхронности их работы и других факторов. Это проверено на опыте работы большой металлургии, от этого стараются уйти и, как правило, уходят.

Таким образом, целесообразность сооружения УКП в цехах с малотоннажными печами – это проблема для тщательного технико-экономического расчета. Это, кстати, относится и другому современному оборудованию дуговых печей: системе ввода порошка углерода, современным фурмам – горелкам и т. д.

Имеется, однако, возможность реализации одношлаковой технологии электроплавки и без УКП – с доводкой металла в течение 10-15 минут в ковше. Именно так работают (или работали) все мартеновские печи и конвертеры (в том числе и при производстве отливок) в цехах, где нет (не

было) УКП. В мартенах и конвертерах, как известно, проведение восстановительного периода невозможно, поэтому всю доводку металла осуществляют при выпуске и в ковше. Так делают (делали) и на малых (10-тонных) агрегатах. Известен, например, опыт работы 10-тонных мартенов на Московском заводе «Серп и Молот», 10-тонного кислородного конвертера на Ново-Тульском заводе (НТМЗ). Более быстрое охлаждение металла в малых ковшах конечно сказывается, но вполне допускает достаточную паузу между выпуском и заливкой металла в формы. Все операции укладываются в длительность обычной выдержки металла в ковше после выпуска, которую делают и при двухшлаковой технологии плавки.

Доводку металла в ковше делают либо сразу у балкона печной площадки (где обычно измеряют температуру металла), либо на отдельно стоящей установке доводки металла. Последний вариант чаще используют для большегрузных плавов, т.к. он требует несколько более длительной выдержки металла в ковше (крановые операции: установка и взятие ковша, подключение аргона)

Современные средства, применяемые при обработке металла в ковше, позволяют сделать эту обработку быстрее и лучше, чем раньше. Такими средствами являются:

- применение легкоплавких твердых шлаковых смесей (ТШС), вводимых обычно в ковш при выпуске плавки (печной шлак при этом отсекают);

- продувка металла в ковше аргоном;

- быстрое проведение химанализа (3-4 мин от отбора пробы до получения результата);

- ввод добавок (алюминий, углерод, силикокальций и др.) в виде проволоки с помощью трайб-аппаратов.

Использование этих средств – главное в современной доводке металла в ковше. Место её завершения не имеет такого большого значения².

² В настоящей статье оба эти варианта доводки называются доводкой на УДМ.

Независимо от варианта доводки металла после одношлаковой плавки (на УКП или на УДМ – у печи или в другом месте) показатели процесса в целом зависят, конечно, не только от мощности и конструкции агрегата, но и от технологии периодов расплавления шихты и окислительного рафинирования металла, которая существенно различается в дуговых печах переменного и постоянного тока.

Печи постоянного (ДПС) и переменного (ДСП) тока имеют аналогичные исполнения основных конструктивных элементов, одинаковые схемы загрузки шихты и разлива металла, используют одни и те же огнеупорные материалы, позволяют применить одни и те же технологические процессы плавания и доводки металла.

Однако, имеются и существенные различия в компоновке конструкции печей, характере ведения плавки и в составе оборудования, что вызвано различием в характере физических процессов в дугах постоянного и переменного тока. Кроме того, имеются принципиальные различия электромагнитных эффектов при протекании переменного и постоянного тока по ванне металла. Учет этих различий, также особенностей энергетических режимов источников питания печей постоянного и переменного тока, их влияния на питающую сеть, позволяет определить зоны наиболее эффективного применения печей ДПС и ДСП.

В отличие от ДСП, ДПС имеет один вертикально расположенный сводовый электрод, который закреплен в корпусе электрододержателя и через отверстие в центре свода введен в плавильное пространство электропечи. Это позволяет выполнять печи ДПС более газоплотными, чем ДСП, а также обеспечивает более равномерный прогрев шихты и футеровки по периметру ванны (без локальных перегревов футеровки напротив электродов и более низкой скорости плавления на откосах в промежутках между электродами, как в ДСП).

Электропитание ДПС производится от специализированного источника постоянного тока, отрицательный полюс которого соединяется со сводовым

электродом (катодом), а положительный полюс соединяется с конструкцией токоподвода к переплавляемому металлу (аноду).

Источник представляет собой комплект оборудования, включающий силовой трансформатор, преобразователь, сглаживающие реакторы, теплообменник.

Одним из основных элементов ДПС является конструкция токоподвода к шихте и к переплавляемому металлу. Подовый электрод состоит из стальной головки, контактирующей с жидким металлом, и медного водоохлаждаемого корпуса. Зона водяного охлаждения вынесена за пределы корпуса печи,

Благодаря способности подовых электродов самовосстанавливаться в процессе плавки и возможности горячих межплавочных ремонтов подины, ресурс непрерывной работы подовых электродов составляет 2-3 тысячи плавов, после чего подовый электрод проходит техническое обслуживание и устанавливается на печь для повторной эксплуатации. Электрический режим ДПС обеспечивает снижение уровня колебаний напряжения дуги в период расплавления. Это достигается за счет удерживания сводового электрода над уровнем шихты без заглублиения в “колодец”.

Напряжение дуги по ходу плавки снижается, при этом источник питания соответственно увеличивает ток, сохраняя тем самым мощность неизменной³.

Благодаря высокой стабильности электрического режима дуги постоянного тока и возможности хорошей герметизации печи, в ней ликвидируется подсос воздуха в рабочее пространство, благодаря чему

³. Патент РФ № 2216883.

обеспечивается низкий по сравнению с печами ДСП угар шихты в период расплавления (не более 3-5%), снижаются пылегазовыбросы по сравнению с печами ДСП, значительно уменьшается и уровень шума (на 10-15 ДБА).

Важным технологическим преимуществом ДПС является эффективное электромагнитное перемешивание ванны металла полем проходящего через нее постоянного тока. Использование электромагнитного перемешивания, наряду с созданием в печном пространстве восстановительной атмосферы, позволяет экономней расходовать ферросплавы.

Кроме того, значительной статьёй экономии является снижение по сравнению с ДСП расхода графитированных электродов.

Особенности ДПС малой и средней емкости позволяют при плавке стали обеспечить следующие преимущества перед аналогичными ДСП:

- уменьшить расход графитированных электродов до 0,8-1,5 кг на тонну;
- снизить угар шихты на 5-7%
- снизить расход ферросплавов на 15-20% ;
- уменьшить пылевыбросы, уровень шума и фликер в питающей энергосистеме;
- организовать эффективное электромагнитное перемешивание жидкого металла.

С точки зрения эксплуатации печей решающим является качество проектно-конструкторских решений и изготовления оборудования. Опыт завода «Ижсталь», где рядом установлены дуговые печи постоянного и переменного тока емкостью 25 тонн, говорит о том, что сталевары и подручные предпочитают работу на печи ДПС, где в процессе плавки они затрачивают меньше труда, нежели на печи ДСП .

Современные ДСП работают, как правило, с максимальной интенсификацией процесса за счет использования кислорода и топлива. Высокая производительность при этом сочетается с серьёзными

недостатками: большим угаром металла (10% и более) и большим пылеобразованием.

Современные ДПС оснащаются набором источников электропитания различной мощности, из которого потребитель может выбрать источник, обеспечивающий требуемую скорость расплавления без использования кислорода и газокислородных горелок.

По опыту работы отечественных ДПС угар металла в них значительно меньше. Данные балансовых плавов, проведенных на работающих в одном цехе 25-тонных ДСП и ДПС, показали, что угар металла при переходе к ДПС уменьшился с 9,5 до 2,5%, а пылеобразование в период расплавления (по замерам НИОГаза)⁴ – с 52,5 до 6,26 кг/час. Это обеспечивается одним из фундаментальных преимуществ ДПС – возможностью обеспечения малоокислительной атмосферы в печи в связи с высокой стабильностью дуги и, вследствие этого, малым газообменом между печной атмосферой и окружающим воздухом. Из приведенных, хорошо согласующихся между собой данных следует, что для более полного использования преимуществ ДПС надо исключить использование кислорода для ускорения расплавления шихты (не топить печь железом). Шихта для этого сегодня слишком дорога. Кислород целесообразно использовать, только когда металл уже расплавлен и не имеет такой развитой поверхности, как шихта, – то есть для продувки металла (желательно с помощью современной фурмы – горелки). Будем называть этот вариант технологией с умеренной интенсификацией плавки.

Рассмотрим подробнее различные варианты технологии и соответствующие им уровни производительности печей.

В целом технология с умеренной интенсификацией для выплавки стали (простого сортамента – типа 20ГЛ) в малотоннажных дуговых печах может выглядеть следующим образом.

1. В шихту (в бадью или перед подвалкой) для совмещения

⁴ См. Закамаркин М.К., Беспалько В.И., Храмов В.В., Мураховский И.М. (ОАО «Ижсталь») Сталь. №4.2000. С 32-34.

дефосфорации с расплавлением садки вводят известь и железную руду (или окисленные окатыши) – до 4 % каждого в зависимости от необходимой степени удаления фосфора. Ввод добавок важно осуществлять без отключения печи – через отверстие в своде.

2. По расплавлении шихты содержание фосфора должно быть существенно ниже заданного, чтобы можно было спустить шлак и больше фосфором не заниматься. Это позволяет с максимально возможной скоростью нагреть ванну и начать обезуглероживание металла (кип). Температура металла к концу кипа должна быть выше верхнего предела температуры выпуска плавки.

3. Кипение ванны для уменьшения угара металла желательно поддерживать присадками руды и извести, но, если нужно ускорить процесс, надо использовать продувку металла кислородом. В начале и в ходе плавления шихты, если нет необходимости дополнительной интенсификации плавки (если электрической мощности печи достаточно или если позволяет график выпуска плавки), кислород желательно не применять – уменьшить угар шихты. По этой же причине в этом варианте технологии желательно не применять газокислородные горелки. Все это требуется для максимальной интенсификации расплавления, но связано с резким возрастанием угара шихты.

4. Далее, после достижения необходимых значений температуры ванны и содержания углерода можно использовать два варианта завершения плавки. Если в печи можно обеспечить интенсивное перемешивание ванны (как, например, в современных печах постоянного тока), то лучше удалить окислительный шлак и ввести в ванну через отверстие в своде основную массу кремний- и марганецсодержащих материалов и ТШС. После этого нужно на 3-5 минут включить печь, расплавить присадку и ТШС и после этого выпустить плавку в ковш.

В печах переменного тока, где возможность интенсивного перемешивания металла и шлака в печи отсутствует, и требуется быстро

завершить плавку, можно выпустить металл в ковш, оставив окислительный шлак (и часть металла) в печи. ТШС и основная добавка кремния и марганца вводятся при этом на выпуске. Точно также может быть выполнено завершение плавки и в печах постоянного тока.

Первый вариант предпочтительнее (если он допустим по условиям работы цеха), так как исключает охлаждение металла на выпуске присадками марганца и кремния и, главное, выпуск проводится со шлаком. Потери температуры на выпуске в этом варианте меньше, а это для малотоннажных плавов очень актуально.

5. После выпуска проводится доводка металла в ковше в условиях аргонной продувки: отбор и анализ пробы, измерение температуры и активности кислорода, ввод алюминия, корректировка содержания углерода, кремния, марганца, при необходимости дополнительная десульфурация силикокальцием.

УСТАНОВКА В ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХАХ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Существенный недостаток печей ДПС: они дороже печей ДСП на 10-35% из-за затрат на полупроводниковый источник питания. Однако, в случае необходимости использования более мощной газоочистки на ДСП, а также использования фильтрокомпенсирующих устройств для обеспечения заданного энергосистемой качества потребляемой электроэнергии, капитальные затраты для обоих вариантов примерно одинаковы, а в некоторых случаях печи переменного тока оказываются дороже печей постоянного тока.

В каждом конкретном случае необходимо выполнить детальный технико-экономический анализ с учетом всех конструктивных и схемных особенностей ДПС и ДСП, а также технологического процесса.

В ряде случаев по технико-экономическим показателям выбор типа агрегата практически predetermined. В случае, если сеть электроснабжения дуговых печей достаточно слабая (мощность короткого замыкания менее,