



It is shown that foamed slag in arc electric steel-making furnaces provides decrease of power- and material-capacity of melting, increases the speed of steel melting due to more stable burning of electric arcs and enlargement of portion of the heat energy transferred to the bath.

А. П. БОНДАРЬКОВ, А. И. РОЖКОВ,
А. Ю. ТИХОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

УДК 669.017

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ШЛАКА НА ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ ОАО «БМЗ»

В настоящее время более 30% мирового производства стали выплавляется в дуговых электрических печах. При этом одной из основных тенденций развития металлургии является опережающее развитие электропечного способа производства стали. ОАО «Белорусский металлургический завод», занимающий ведущее место по уровню производства промышленной продукции среди предприятий Республики Беларусь, использует аналогичный метод выплавки стали.

Внедрение передовых и энергоэффективных технологий, использование высокопроизводительного оборудования, а также слаженная работа коллектива предприятия позволяют достигать положительных результатов на каждом из имеющихся направлений производства. Так, в 2011 г. на ОАО «БМЗ» выпущено более 2600 тыс. т стали, около 2200 тыс. т проката, более 110 тыс. т стальных труб, более 400 тыс. т металлокорда и проволоки различного назначения. Согласно программе развития ОАО «БМЗ» на 2011–2015 гг., основной целью предприятия является выход на уровень производства 3 млн т стали в год и полную переработку литой заготовки в товарную продукцию с высокой добавленной стоимостью.

На ОАО «БМЗ» постоянно проводятся модернизация и реконструкция. Это связано с тем, что в число важнейших задач ОАО «БМЗ» и других предприятий металлургической отрасли Республики Беларусь входит управление затратами, себестоимостью, качеством выпускаемой продукции, одной из составляющей которой являются энергетические затраты. Они очень значительны и имеют тенденцию к росту в связи с повышением цен на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР).

Повышение эффективности использования ТЭР на предприятиях черной металлургии в современных условиях – одно из главных направлений выживания, например, доля затрат на ТЭР в общих заводских затратах на производство продукции ОАО «БМЗ» составляет около 20%, в которой 17% – электропотребление. Снижение этой доли за счет внедрения различных энергоэффективных мероприятий существенным образом сказывается на себестоимости продукции.

Сталеплавильное производство, реализованное тремя электродуговыми плавильными печами емкостью по 100 т каждая, является наиболее энергоемким на предприятии. При производстве стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) происходит сложный в гидродинамическом отношении процесс вспенивания сталеплавильных шлаков, который является результатом действия поверхностных явлений. На сегодняшний день вспенивание шлака – это неотъемлемая часть технологии электроплавки в ДСП, обеспечивающая снижение энерго- и материалоемкости плавки в условиях повышения удельной мощности трансформаторов.

Какой же эффект дает вспененный шлак в плане экономии?

В ДСП вспенивание шлака оказалось важнейшим технологическим элементом, который позволяет повысить скорость выплавки стали за счет более стабильного горения электрических дуг и увеличения доли передаваемой ванне тепловой энергии от дуг. Кроме того, вспененный шлак играет роль экрана, обеспечивающего защиту стеновых водоохлаждаемых панелей от перегрева или футеровки печи от разрушения.

Эффективным мероприятием с точки зрения снижения потребления ТЭР и автоматизации производства выплавки стали, реализованным в рамках государственной Программы по энергосбережению, Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2010–2015 гг., является внедрение на ДСП виброакустической системы управления вспениванием шлака SIMELT FSM, разработанной специалистами компании SIEMENS. Внедрение системы FSM базировалось на серии испытаний, проведенных ранее концерном SIEMENS AG на 70-тонной электродуговой печи завода Lech-Stahlwerke GmbH (LSW), г. Майтинген, которые показали очень точное совпадение результатов измерений с визуальной картиной распределения шлака.

Система FSM предназначена для точной регистрации распределения пенистого шлака посредством измерения вибрации стенок печи с помощью датчиков структурных акустических шумов и токов электродов. Это обеспечивает точное регулирование высоты пенистого шлака и его пространственного распределения во всем объеме печи путем направленного вдувания углерода, что в результате позволило сэкономить электроэнергию, заметно сократить эксплуатационные затраты и снизить количество вдуваемого пылеугольного топлива на 20–30%.

Ранее сталевар визуально и на слух определял степень вспенивания шлака и соответственно этому регулировал шлакообразование, т. е. все зависело только от опыта и внимательности технологического персонала. При этом естественно не было возможности регулировать равномерность вспенивания шлака в объеме печи, определялись условно

только два состояния: все дуги закрыты шлаком и одна или более дуг не закрыты шлаком.

Установленный новый программный «наблюдатель» призван автоматизировать работу сталевара и обеспечить максимально точное выполнение требуемых процессов, так как увеличение уровня пенистого шлака выше оптимального приводит к снижению КПД электрической дуги и увеличению потерь энергии дуги, потому что пенистый шлак из-за наличия многих примесей является хоть и плохим, но проводником электрической энергии. И наоборот, недостаточное укрытие дуг пенистым шлаком приведет как к прямым потерям энергии дуги, так и косвенным, которые могут возникнуть в виду повышенного износа футеровки или разрушения водоохлаждаемых панелей, т. е. данная ситуация, в конечном итоге, может привести к сокращению сроков между плановыми ремонтами или даже к внеплановому ремонту.

Система контроля уровня шлака была введена в эксплуатацию в 2009 г. на ДСП-3 ЭСПЦ-2, в 2011 г. – на ДСП-2 ЭСПЦ-1 при непосредственном участии компании SIEMENS. Применение данной системы существенно повысило технико-экономические показатели процесса выплавки стали в ДСП. Таким образом, достигнутая условно-годовая экономия расхода электроэнергии на ДСП-3 составила 1356 т у. т. За девять месяцев эксплуатации системы FSM на ДСП-2 энергетический эффект составил 319 т у. т.

Система управления вспениванием шлака имеет модульную структуру.

- Модуль обнаружения шлака позволяет определить высоту и распределение пенистого шлака в печи и обеспечить их визуальное отображение. Он также может использоваться для регулировки печи.

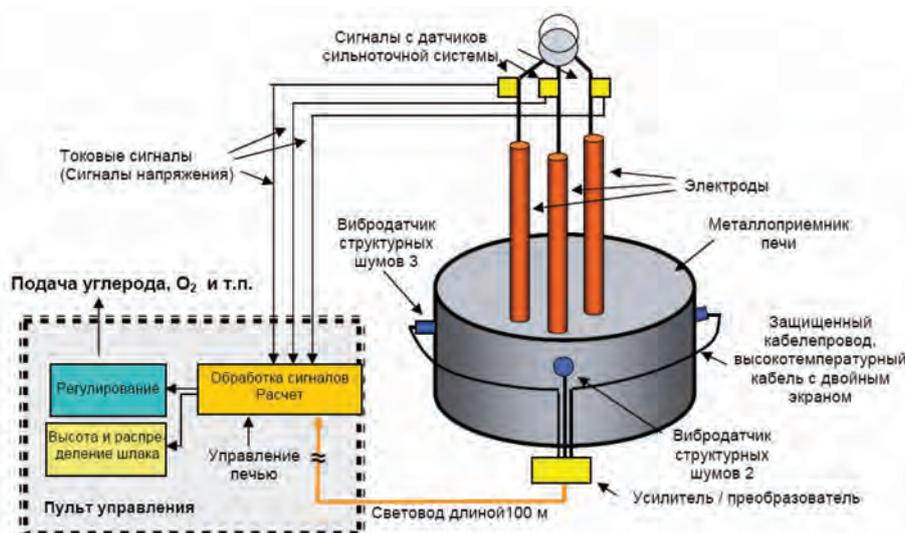


Рис. 1. Структурная схема системы управления вспениванием шлака

• Модуль регулирования позволяет рассчитать оптимальную подачу углерода для фурм исходя из замеренного распределения шлака.

За счет этого достигается равномерное распределение слоя пенного шлака при минимизированной и оптимизированной подаче углерода. Это приводит к уменьшению теплоотдачи излучением и дает возможность снизить потребление электроэнергии при сокращении времени подачи электропитания и уменьшении потребления углерода.

На рис. 1 схематически показана структура системы управления дуговой электропечью трехфазного тока.

Кроме обработки сигналов, с датчиков структурных шумов, установленных на стенках печи, дополнительно обрабатываются токовые сигналы и подаются на модуль FSM. Это временные сигналы трансформаторов тока. Передача данных осуществляется через интерфейс «MPI Prodrive» с помощью «Simatic S7» через локальную сеть «Ethernet».

Для получения измерительных сигналов используются три датчика структурных шумов, каждый из которых приписан к одному электродному сегменту (рис. 2).

Датчики крепятся к трем крепежным плитам, приваренным к металлоприемнику печи напротив соответствующих фаз/электродов. При этом специальные профили, установленные для защиты и поддержки кабелей к датчикам, не оказывают негативного влияния на колебательную способность стенок печи и крепежных плит. Сигналы с трех датчиков передаются по специальным кабелям на станцию усиления сигналов, которая осуществляет усиление, нормирование и преобразование сигналов для передачи на компьютер FSM пульта управления печью по волоконно-оптическому кабелю. За счет использования кабелей подобного типа передача данных возможна на значительное расстояние – порядка 2 км. Сама же станция усиления

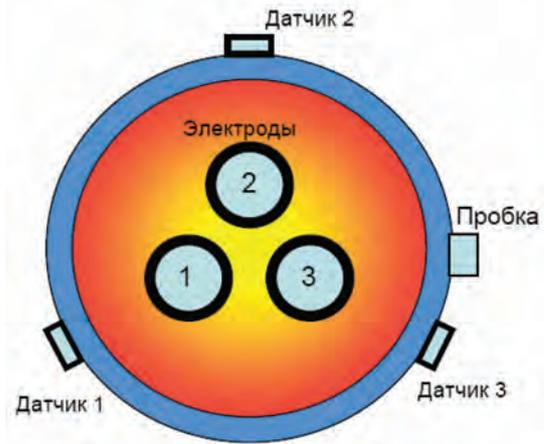


Рис. 2. Расположение датчиков

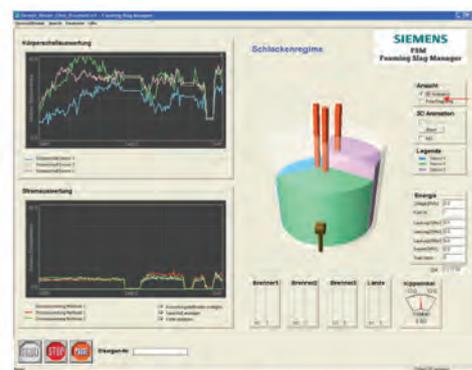
сигналов установлена, согласно техническим требованиям, на расстоянии не более 20 м от металлоприемника печи. Сбор данных измерений, окончательную обработку и последующую оценку состояния шлака (с подготовкой данных для индикации) выполняет компьютерная рабочая станция системы управления вспениванием шлака FSM.

Как же работает система при обнаружении пенного шлака?

Уровень пенного шлака рассчитывается исходя из совокупности сигналов структурных шумов и токовых сигналов, т. е. производится анализ передачи шумов от источника электрической дуги до стенки печи. Исходя из этого, рассчитывается высота пенного шлака на пути передачи путем обработки передаточной функции, ее определение осуществляется с интервалом 1 с. При этом возмущающие воздействия как от внешних источников шумов, так и от клапанов, установленных на стенках печи, не оказывают никакого влияния на результаты. Система выдает достоверные результаты расчета уровня распределения шлака в трех секторах печи, где высота шлака указывается в относительных единицах. Настройки для обнаружения



а



б

Рис. 3. Окно высоты слоя и распределения шлака в двухмерном режиме (а); визуализация высоты слоя и распределения шлака в трехмерном изображении (секторная диаграмма) (б)

шлака определяются в рецептуре в зависимости от типа выплавляемой стали. Рецептура может быть загружена вручную или путем передачи данных с системы управления печью.

Для визуального отображения высоты слоя и распределения шлака использовано программное окно высоты слоя и распределения шлака в двухмерном режиме (рис. 3, а) или трехмерное изображение в виде секторной диаграммы (рис. 3, б).

Окно системы обнаружения пенистого шлака включает в себя обзорную схему, на которой отображается следующая информация:

- временные диаграммы относительной высоты слоя пенистого шлака для всех трех фаз на основе замеренных структурных шумов (верхняя диаграмма) и анализа токов (нижняя диаграмма);
- текущая высота слоя пенистого шлака разделена по трем секторам печи (трехмерная диаграмма или двухмерное изображение);
- информация о горелках, фурмах или функциях углов наклона, так как эти технические данные введены в систему.

Система регулирования пенистого шлака (рис. 4) включается в работу при активации модуля регулирования.

Клапанами (углеродными фурмами) можно управлять таким образом, чтобы достичь равномерной высоты слоя и равномерного пространственного распределения пенистого шлака в печи.

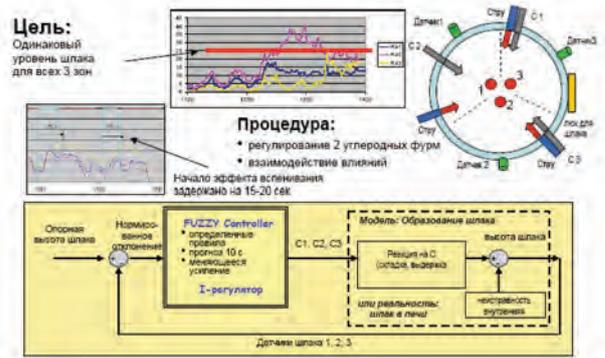


Рис. 4. Схема работы системы регулирования

Регулирование базируется на регуляторе с нечетким алгоритмом с устанавливаемой настройкой предсказания высоты пенистого шлака по линейной экстраполяции. Альтернативно может быть выбран так называемый «сверхразумный» регулятор.

Управление клапанами подачи углерода может осуществляться аналоговыми сигналами или сигналами с широтно-импульсной модуляцией. Регулирование вспенивания шлака выполняется на двух последовательных фазах, которые начинаются в соответствии с устанавливаемыми порогами. В качестве величины управления для порогов оптимально используется комбинация из удельного потребления энергии и мощности. В качестве альтернативы могла бы использоваться только мощность, если неизвестна масса металлолома. Однако это не оптимально.