

На правах рукописи

Тимофеев Евгений Станиславович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА
ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДСП-150 ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО
ЖЕЛЕЗА В ЗАВАЛКЕ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и
редких металлов»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата техни-
ческих наук

Москва
2007 г.

Диссертационная работа выполнена
на кафедре металлургии стали и ферросплавов
Московского государственного института стали и сплавов
(технологического университета)

Научный руководитель:
кандидат технических наук, профессор Кочетов А.И.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Шалимов А.Г.
кандидат технических наук Куликов А.П.

Ведущее предприятие:
ОАО «Уральская сталь»

Защита состоится «31» мая 2007 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д. 212. 132. 02 по присуждению ученых степеней в области металлургии черных, цветных и редких металлов при Московском государственном институте стали и сплавов (технологическом университете) по адресу: 119049, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект д.6 ауд. 305.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИСиС.

Автореферат разослан «27 » апреля 2007 г.

Справки по телефону (495) 237-84-37, факс (495) 236-82-17

Ученый секретарь
диссертационного совета Д. 212. 132. 02,
доктор технических наук, профессор



Семин А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы. Недостаток качественного лома при выплавке электростали, повышенные требования к качеству выплавляемой стали, требуют применения альтернативных видов металлошихты таких, как металлизованные окатыши (МОК) и горячебрикетированное железо (ГБЖ). Важнейшим направлением в дальнейшем развитии и совершенствовании электросталеплавильного производства, наряду с решением вопросов по улучшению качества металлопродукции, является разработка энергоресурсосберегающих технологий выплавки стали в дуговых печах с применением металлизованного сырья. Высокая эффективность работы электропечей может быть достигнута на основе разработки оптимальных режимов электроплавки металлизованной шихты. Брикетирование повышает стоимость губчатого железа, но это оправдывается при определенных условиях, которые можно выявить путем экспериментов и опыта переработки в металлургических агрегатах. В связи с необходимостью решения проблемы уменьшения энергозатрат на производство электростали и повышения ее качества, был проведен комплекс исследований по изучению закономерностей плавления шихты с использованием горячебрикетированного железа в завалке, по совершенствованию тепловой работы агрегата, отработке и оптимизации энерготехнологических режимов электроплавки.

Для решения этой важной и актуальной задачи были изучены и исследованы теплотехнические и технологические особенности плавления шихты с применением ГБЖ, режимы выплавки стали и плавления МОК, основные теплофизические свойства брикетов.

На основе тепло- и массообменных закономерностей электроплавки шихты в завалке и непрерывно подаваемых окатышей в жидкую ванну дуговой сталеплавильной печи требуется разработать математическую модель расплавления шихты для более эффективного производства стали.

Цель работы. Проведение экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях для определения физических свойств ГБЖ, изучение закономерностей при расплавлении шихты в завалке с использованием брикетов, влияний количества и металлургических свойств ГБЖ на ход выплавки стали и ее качество, на энерготехнологический режим. Оптимизация содержания горячебрикетированного железа в шихте в зависимости от физических и металлургических свойств его для достижения высоких технико-экономических показателей производства.

Объект исследования. Технология плавки с применением горячебрикетированного железа в завалке и непрерывной загрузкой металлизованных окатышей в ванну, использованием продувки металла кислородом для интенсификации процесса плавления металлизованных окатышей и контролем энерготехнологического режима электроплавки.

Предмет исследования. Процесс расплавления шихты с использованием ГБЖ в завалке и плавления МОК, скорости расплавления, скорости обезуглероживания и расхода электроэнергии.

Автором выносятся на защиту:

-экспериментальные данные о влиянии ГБЖ на длительность плавления шихты сложного состава, состоящей из лома и ГБЖ, и расход электроэнергии;

-экспериментальные данные по уменьшению концентрации цветных металлов, неметаллических включений стали, выплавленной с применением ГБЖ;

-расчет времени проплавления колодца, учитывающий различные виды шихтовых материалов в завалке и их расположение по уровням;

-расчет времени доплавления шихты, учитывающий излучения электродами и дугами при изменении степени открытости их, поглощения излучения средой;

-прогнозирование и регулирование содержания углерода по расплавлению шихты с наличием в ней горячебрикетированного железа различной степени металлизации, содержания углерода и массы;

-энерго- и ресурсосберегающий режим выплавки стали в ДСП-150, позволяющий оптимизировать технологический процесс электроплавки с использованием горячебрикетированного железа.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– установлены закономерности расплавления шихты сложного состава, состоящей из лома и ГБЖ, при их различных соотношениях в завалке, показано, что максимальная скорость расплавления наблюдается при наличии 0,3-0,4 доли ГБЖ от лома и 0,9-1,1 доли шихты в завалке от непрерывно подаваемых в жидкую ванну МОК;

– установлено, что при содержании 0,3-0,4 доли ГБЖ от лома плотность завалки достигает оптимальных значений, характеризующихся минимальным расходом электроэнергии на расплавление шихты;

– показано, что время проплавления колодца и расплавления металлошихты зависит от послойного расположения металлического лома и ГБЖ в дуговой печи, так как взаиморасположение и расположение составляющих металлошихты изменяет насыпную плотность и средний состав металлозавалки и, как следствие, ее теплотехнические параметры, такие как теплопроводность и теплоемкость.

– разработаны математическая модель, алгоритм и программа расчета на ЭВМ времени проплавления колодца и расплавления шихты в завалке, учитывающая различные уровни расположения шихтовых материалов. Данные модели можно использовать в производственных условиях, т.к. погрешность не превышает 10%;

– разработана программа, позволяющая прогнозировать и использовать для регулирования содержания углерода по расплавлению шихты с использованием ГБЖ.

Практическая значимость. Предложен энергосберегающий режим электроплавки углеродистой стали с использованием ГБЖ в ДСП-150 для условий ЭСПЦ ОАО «ОЭМК», выявлен оптимум по количеству ГБЖ, подаваемых в завалку, разработаны алгоритм, программа и номограмма расчета науглероживателя в зависимости от свойств горячебрикетированного железа.

Полученные в работе результаты по расплавлению шихты в завалке в ДСП-150 предложены для разработки оптимального энерготехнологического режима выплавки стали, позволяющего снизить энергозатраты на процесс, повысить энергетический к.п.д., производительность агрегата и качество выплавленной стали.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты данного исследования докладывались, обсуждались и положительно оценены в трудах Международной конференции ЛГТУ г. Липецк 2005-2006гг., научно-практической конференции ОЭМК 2005 г., Международной научной конференции СТИ МИСиС 2004 г., Международной научно-практической конференции г. Губкин 2004 г., Международной конференции г. Магнитогорск, 2006г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 печатных работ в научно-технических изданиях.

Структура и объем работ. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 79 наименований и 3 приложений, содержит 147 страниц печатного текста, 64 иллюстрации и 26 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЗАДАЧА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ литературных источников показал, что металлizedованное сырье находит все большее применение при электроплавке. Большинство исследований проводилось с металлizedованными окатышами.

По результатам обзора отечественных и зарубежных источников научно-технической информации сделаны следующие выводы:

1. Выплавка стали в дуговых печах с применением ГБЖ требует совершенствования электрических, тепловых и энергетических режимов электроплавки.

2. Выплавка стали с использованием МОК дает возможность уменьшить содержание примесей цветных металлов и неметаллических включений по сравнению с выплавкой на ломе. Необходимо исследовать технологические режимы электроплавки с применением горячебрикетированного железа в завалке и выяснить его влияние на качество стали.

3. Анализ существующих данных по теплообмену в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи при расплавлении шихты с использованием ГБЖ показывает, что необходимо провести дальнейшие углубленные исследования по передаче тепла в системе дуга - газ - шихта, электроды - газ - шихта, с учетом различного вида шихты, в том числе и горячебрикетированного железа.

4. Для расчетов по теплообмену в дуговой печи необходимо исследовать теплофизические свойства горячебрикетированного железа, такие как, удельная теплоемкость, теплопроводность, удельная теплота плавления.

5. Применение горячебрикетированного железа влияет на обезуглероживание жидкой ванны. Необходимо согласовать содержание углерода в ГБЖ с концентрацией углерода по расплавлению шихты в завалке для интенсификации плавления МОК, непрерывно подаваемых в жидкую ванну.

6. Выявить оптимальный уровень концентрации углерода по расплавлению шихты в завалке для повышения эффективности расплавления МОК.

В связи с необходимостью решения проблемы уменьшения энергозатрат на производство электростали с применением в завалке горячебрикетированного железа, представляется необходимым провести исследование тепловой работы электродуговой печи в период расплавления шихты и МОК.

В соответствии с поставленными задачами настоящая работа была выполнена на 150т дуговой печи ОАО «ОЭМК» с тщательным анализом энергетических, технологических и теплотехнических параметров по ходу плавки. ДСП-150 снабжена водоохлаждаемыми стеновыми и сводовыми панелями,

трансформатором мощностью 90 МВ·А. Технология выплавки стали предусматривает несколько энерготехнологических режимов плавления шихты, состоящей из 100% лома, лома и непрерывно подаваемых металлizedованных окатышей в жидкую ванну, лома и ГБЖ в завалке, а также непрерывно подаваемых МОК по расплавлению шихты в завалке. Так как в настоящее время выплавка стали ведется с добавлением, в основном, металлizedованного сырья и с продувкой газообразным кислородом, то исследования проводились по второму и третьему режиму.

Статистическую обработку опытных данных осуществляли с помощью пакета математических программ «Статистика» и «MathCad» по различным параметрам электроплавки. Для получения этих данных использовали приборы и оборудования, имеющиеся в ЭСПЦ. Пробы металла и шлака отбирали по ходу электроплавки с последующим их анализом на основные элементы химическими и физико-химическими методами.

В целях разработки энергосберегающих условий электроплавки стали требуется проведение дальнейших исследований по углубленному изучению закономерностей расплавления шихты с применением ГБЖ в завалке и без него, влияния доли и химсостава брикетов на расплавление шихты в завалке и непрерывно подаваемых в жидкую ванну МОК.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГБЖ В 150-т ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Особенность электротехнологических режимов выплавки стали с использованием ГБЖ и без него в ДСП-150 в условиях ОАО «ОЭМК» можно проследить по данным рис.1.

По инструкции режимы практически не отличаются, но согласно рис.1 имеется существенное отличие во времени периодов плавки и в расходе энергии.

В ходе исследования режимов выплавки стали в 150-т ДСП, были получены данные по изменению длительности плавки в зависимости от скорости плавления ГБЖ. Длительность плавки под током зависит от скорости выплавки стали (рис.2), чем больше скорость выплавки, тем меньше время под током. Но выплавка стали без ГБЖ, ведется при скорости 1,6 - 2 т/мин, а при использовании брикетов 1,1 - 2 т/мин. Это говорит о том, что режим выплавки стали с использованием ГБЖ в завалке не отработан. При скорости выплавки стали в тех же пределах, что и без брикетов длительность плавки под током меньше с применением ГБЖ.

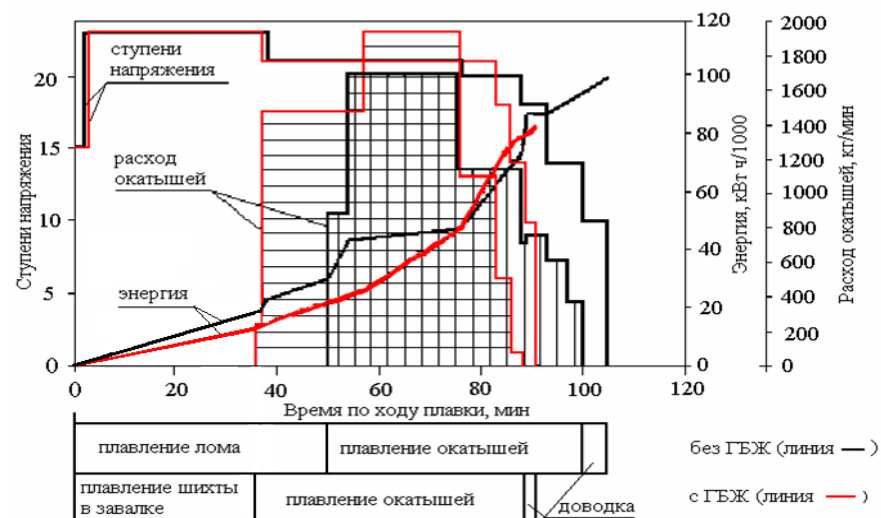


Рис.1 Ход электроплавки с содержанием горячебрикетированного железа в завалке 20-30% от лома и без него в ДСП-150

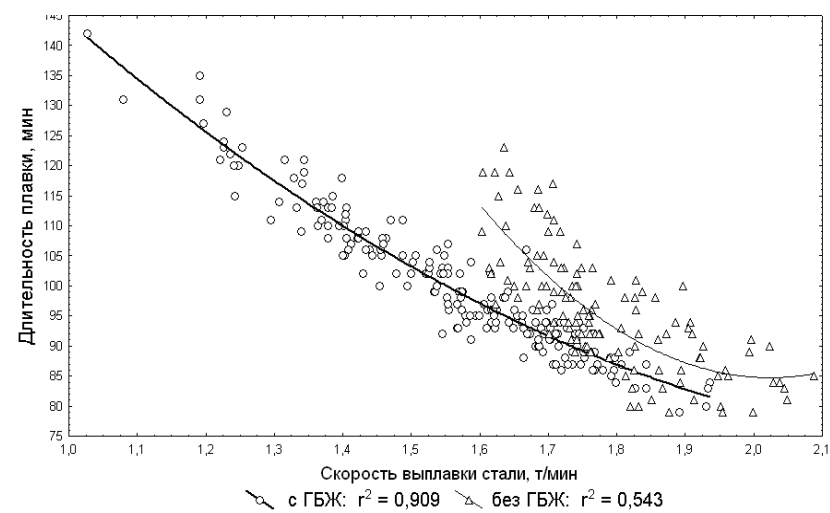


Рис.2. Длительность плавки под током

Длительность плавки зависит от скорости расплавления шихты в завалке (рис.3), при этом длительность плавки с использованием ГБЖ меньше.

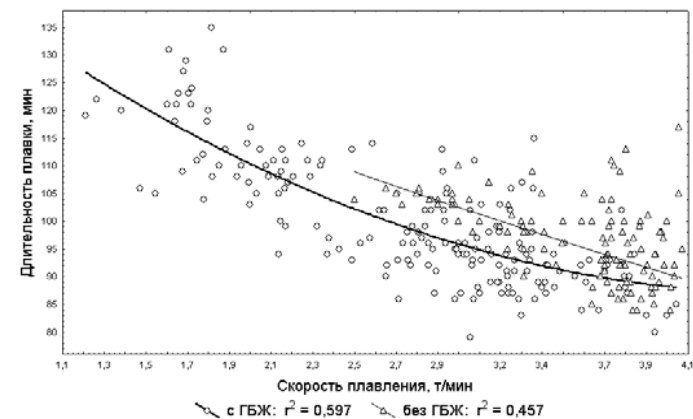


Рис.3. Зависимость длительности плавки под током от скорости плавления шихты.

На длительность плавки под током влияет и скорость расплавления окатышей, но для плавов с использованием ГБЖ в завалке и без него длительность плавки отличается незначительно.

Выплавка стали в ДСП-150 с использованием ГБЖ в завалке, может по-разному действовать на длительность плавки и ее скорость. При незначительном содержании ГБЖ в шихте (до 20% от лома) скорость расплавления даже несколько уменьшается, при этом длительность плавки под током возрастает. Это объясняется увеличением времени за счет расплавления пустой породы в брикетах. С увеличением доли ГБЖ увеличивается насыпная плотность завалки, при этом увеличивается скорость расплавления шихты, несмотря на то, что количество пустой породы тоже увеличивается. Но в этом случае больший вклад в скорость расплавления шихты вносит повышение насыпной плотности завалки за счет брикетов и улучшение теплообмена, чем время на расплавление пустой породы.

Были отобраны паспорта плавов с содержанием доли ГБЖ 0,4 от лома в завалке и без ГБЖ с одинаковой массой завалки и жидкой стали, просчитано время нахождения плавки под током. Для плавов с ГБЖ оно меньше на 4 минуты. Обработка достаточно большого массива данных по расходу общей и удельной энергии на выплавку углеродистой стали в ДСП-150 (рис. 4-5), по-

казывает, что с увеличением расхода электроэнергии на расплавление шихты увеличивается расход электроэнергии на выплавку стали, но, с увеличением доли завалки к МОК, изменение расхода электроэнергии на расплавление шихты уменьшается. Это связано с тем, что при уплотнении завалки увеличивается скорость расплавления шихты, но когда происходит чрезмерное уплотнение металлошихты в завалке (при содержании ГБЖ более 40% от лома), ухудшается теплообмен и расход электроэнергии увеличивается.

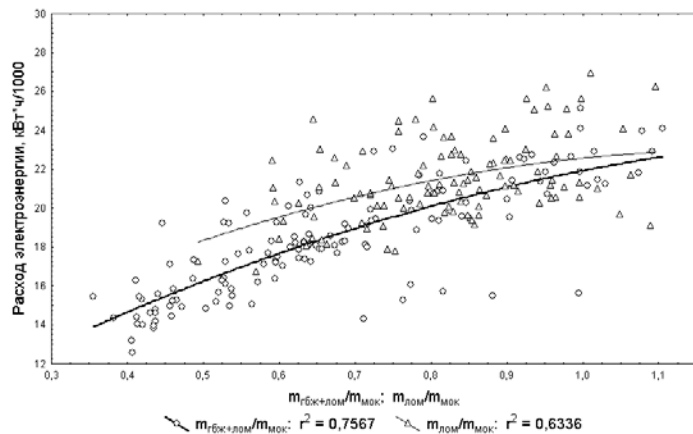


Рис.4. Влияние содержания ГБЖ в завалке на расход электроэнергии при расплавлении шихты

Наименьший удельный расход на расплавление шихты наступает при $0,9 \leq m_{ГБЖ+лом}/m_{МОК} \leq 1,1$ (рис.5), где $m_{ГБЖ+лом}$ - масса завалки, $m_{МОК}$ - масса непрерывно подаваемых окатышей в жидкую ванну.

Удельный расход электроэнергии, идущий на расплавление окатышей при использовании ГБЖ и без него, изменяется незначительно.

При использовании ГБЖ в пределах 0,3 - 0,4 от лома и отношения массы шихты в завалке к массе окатышей в пределах 0,9 - 1,1 сокращается удельный расход энергии на $8 \frac{кВт \cdot ч}{t}$ жидкой ванны.

Влияние горячебрикетированного железа на качество и свойства стали может проявляться по-разному. Прежде всего - это непосредственное влияние, обусловленное низким содержанием в металлизированном сырье примесей цветных металлов

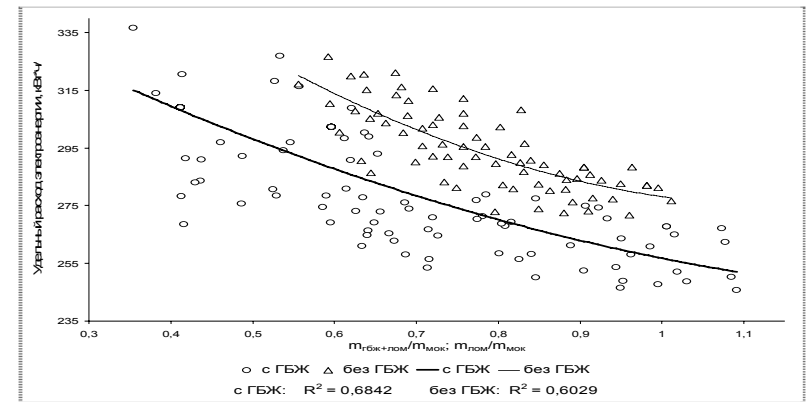


Рис.5. Удельный расход электроэнергии на расплавление шихты в зависимости от отношения массы металлошихты в завалке к массе непрерывно подаваемых МОК

. Результаты обработки печных проб перед выпуском показывают, что содержание таких цветных металлов, как никель, медь, молибден уменьшается при использовании ГБЖ в завалке (рис. 6). Количество вредных примесей таких как, сера уменьшается на 11% и фосфора на 40% (рис.7,8).

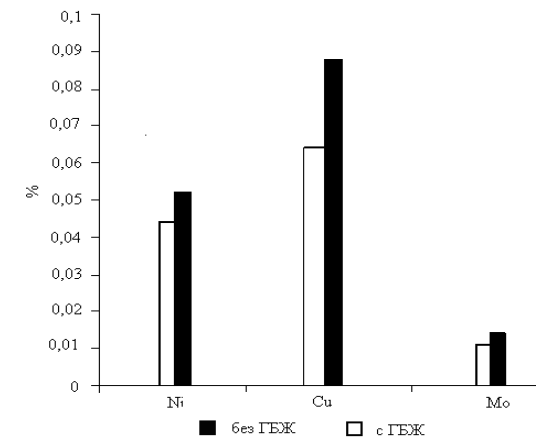


Рис.6. Содержание цветных металлов в стали.

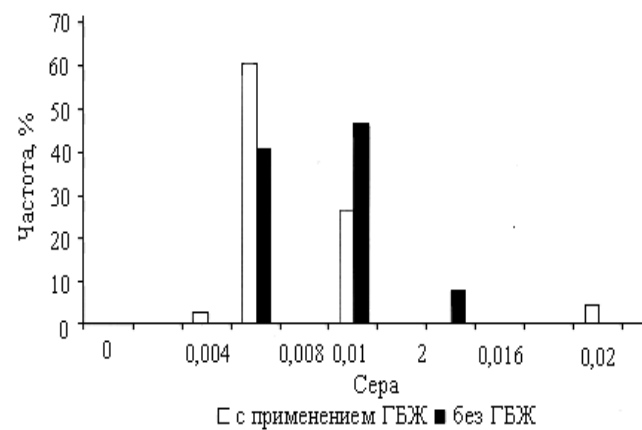


Рис.7. Содержание серы в стали.

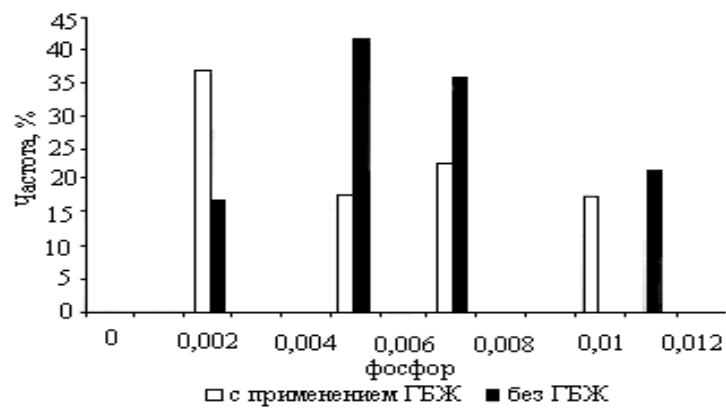


Рис.8. Содержание фосфора в стали.

Производительность ДСП-150 незначительно, но увеличивается с увеличением содержания ГБЖ в шихте. При доле брикетов от лома равной 0,3 - 0,4, и массы шихты в завалке от МОК 0,9 – 1,1 сокращение времени плавки под током в среднем на 4 минуты, т.е. производительность повышается на 3,6%. Выход жидкого металла при этом практически не меняется.

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАСПЛАВЛЕНИЯ ШИХТЫ

Период расплавления в дуговой сталеплавильной печи можно рассматривать как два последовательно протекающих периода: период проплавления колодцев и период доплавления шихты.

Применяя методику зонального расчета теплообмена излучением для периода расплавления шихты в ДСП-150 можно рассчитать распределение потоков излучения дуг на шихту в различное время, а затем определить время проплавления колодцев и время доплавления шихты.

При определении потоков излучения были приняты следующие допущения:

- 1). Дуга и электрод в сталеплавильных печах представляют собой излучающие каналы цилиндрической формы.
- 2). Температуры дуги и электрода одинаковы по всей высоте цилиндра.
- 3). Теплоотдача осуществляется преимущественно излучением.
- 4). Дуга и электрод излучают как абсолютно черное тело, т.е. поверхностью.

Основой математической модели является излучение в системах дуга-газ-шихта, электрод-газ-шихта для круговой зоны шихты под электродом и боковых поверхностей проплавляемого и проплавленного колодца. Все названные системы предполагают деление поверхностей и объемов, участвующих в теплообмене, на элементарные площадки. Во времени процесс также делится на малые промежутки. Это деление является конечным и вместе с допущениями, принятыми при составлении модели и программы, определяют степень приближения модели к реальной печи.

Для эффективного использования зонального метода объем шихты по высоте разбивали на пояса, шириной 0,1 м, ее поверхность на кольца шириной 0,074 м и на 12 секторов по 30° в секторе. В результате такой разбивки шихта состоит из достаточного числа элементарных участков. Используя математическую модель расчета излучения дуги и электрода через локальные коэффициенты с учетом поглощения части излучения окружающей средой, была составлена блок-схема и реализована в Mathcad. Излучение от дуги при проплавлении колодца определялось по формуле:

$$q_{i,k} = \frac{F_{i,k} * \alpha * q_d}{2 * \pi^2 * r_{i,k}^2} * [(\sin(\beta_{i,k} + \varphi))^2 - (\sin(\varphi))^2] + \tan(\varphi) * (\beta_{i,k} + \sin(\beta_{i,k}) * \cos(\beta_{i,k} - 2 * \varphi))$$

где $F_{i,k}$ - площадь поверхности элементарной площадки i -го сектора, k -го кольца; q_d - излучение дуги; $r_{i,k}$ - расстояние от элементарной площадки до дуги; l_d - длина дуги; φ - угол наклона дуги к оси электрода; $\beta_{i,k}$ - угол под которым видна дуга с центра элементарной площадки i -го сектора, k -го кольца; α - коэффициент излучения дуги.

Для электрода излучение определяли по формуле:

$$q_{i,k}^{\text{э}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{э}} \cdot F_{i,k}}{2 \pi^2 r_{\text{эш}} d_{\text{э}}} (\beta_{i,k} + \sin(\beta_{i,k}) \cdot \cos(\beta_{1\ i,k} - \beta_{2\ i,k}))$$

где α - коэффициент излучения электрода; $Q_{\text{э}}$ - излучение электрода; $r_{\text{эш}}$ - расстояние от электрода до элементарной площадки шихты; $d_{\text{э}}$ - диаметр электрода; $\beta_{1\ i,k}$ и $\beta_{2\ i,k}$ - углы между направлениями на элементарную площадку с концов диаметра электрода и перпендикуляром к площадке, β_{ik} - угол, под которым виден электрод с центра элементарной площадки. Данные углы выражали, используя математические формулы:

$$\beta_{1\ i,k} = \arctg \frac{r_{\text{эш}} + r_{\text{э}}}{l_{\text{д}} \cdot \cos(\varphi)} \quad \beta_{2\ i,k} = \arctg \frac{r_{\text{эш}} - r_{\text{э}}}{\lambda_{\text{д}} \cdot \cos(\varphi)}$$

Где $r_{\text{э}}$ - радиус электрода. Затем, применяя принцип суперпозиции, находили общее излучение от трех дуг и трех электродов на каждую выделенную площадку. Используя математическую модель, было просчитано излучение с учетом поглощения его части окружающей средой. Из расчета следует, что при проплавлении колодца необходимо учитывать поглощение излучения окружающей средой, так как оно составляет около 30%. Максимальное излучение падает на 1 и 12 сектор. Это связано с тем, что электрод находится на середине первого сектора по условиям разбиения шихты на элементарные участки (рис.9).

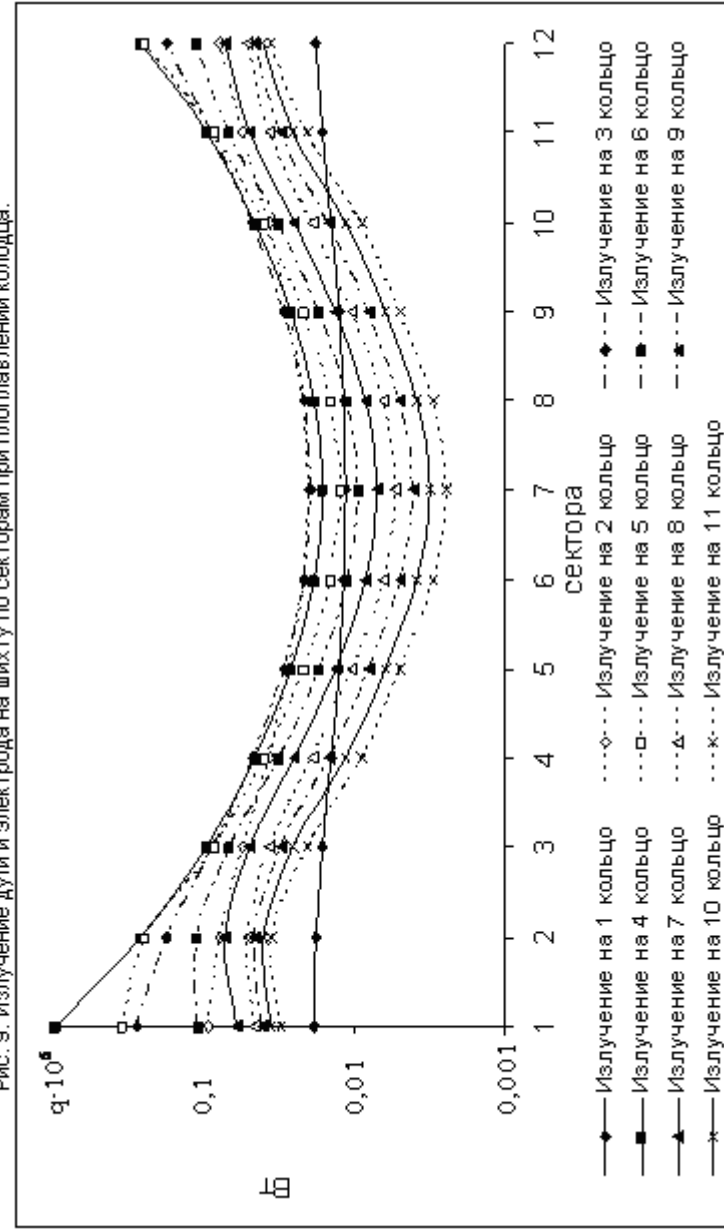
Зная общее излучение на площадки, можно найти время проплавления каждого вида шихты в завалке и в целом колодца, но для этого необходимо знать значения теплофизических величин каждого вида шихты.

В научной и технической литературе приведены значения физических величин по различным видам лома, стружки, пакетов, окатышей, но для ГБЖ данных не имеется, таких как теплопроводность, удельная теплоемкость, удельная теплота плавления и температуры плавления.

В лабораторных условиях были проведены эксперименты по определению вышеперечисленных теплофизических величин. Теплоемкость определяли на приборе ИТ-С-400 по величине теплового потока, идущего на разогрев образца и времени запаздывания температуры его относительно температуры основания. По результатам измерений и расчетов удельная теплоемкость брикетов равна 753 Дж/кгК

Теплопроводность измеряли на приборе ИТ- λ -400. Значение величины теплопроводности горячебрикетированного железа равно 41 Вт/м К

Рис. 9. Излучение дуги и электрода на шихту по секторам при плавлении колодца.



Для определения температуры плавления и удельной теплоты плавления были проведены эксперименты по расплавлению брикетов в индукционной печи.

С помощью термопары и расчетов выяснено, что температура плавления ГБЖ равна 1450°C , а удельная теплота плавления 276 кДж/кг . Погрешность при определении теплофизических величин ГБЖ составила не более 7%.

При выплавке стали использованием ГБЖ в ДСП-150, происходит одноразовая завалка до 80 т., куда входит горячебрикетированное железо, пакеты, стружка, легковесный и тяжеловесный лом. Было просчитано количество поясов каждого вида шихты завалки, рассчитано тепловое излучение на шихту от электрода и дуги по поясам и определено общее время проплавления колодца. Отличие от времени проплавления колодца по данным КИП менее 10%.

Одновременно с опусканием электрода и увеличением глубины колодца на боковые стенки его, происходит излучение со стороны дуг и со стороны электродов. Просчитаны тепловые потоки на элементарные площадки, находящиеся на стенках колодца при различном положении электрода (рис10).

Излучение на верхние пояса больше, чем на нижние при опускании электрода, так как время излучения на нижние пояса гораздо меньше. Ко времени опускания электродов до нижней точки, в ДСП-150 образуется один колодец. Поэтому далее расчет излучения на боковые стенки колодца велся от 3 дуг и 3 электродов.

Разбиение поверхностей и объемов шихты проводили аналогично первому, только центральная ось проходила не по оси электрода, а по оси ванны печи.

При доплавлении шихты учитывали поглощение излучения окружающей средой. Тепловое излучение на шихту со стороны дуг и электродов при ее доплавлении увеличивается с увеличением пояса (рис. 11).

Время проплавления колодца в три раза меньше времени общего расплавления шихты, то есть доплавление имеет больший временной промежуток, при котором дуга находится на уровне нижних и средних поясов, а дуга составляет основную долю излучения. Поэтому более тугоплавкую шихту необходимо помещать именно на этих поясах для более равномерного расплавления шихты по высоте печи.

Считая, что металл расплавляется и стекает вниз, просчитывали, на сколько поднимался уровень жидкого металла, и при этом учитывали новое излучение дуг и электродов на площадки.

Ошибка в расчете времени расплавления шихты по данным регистрации КИП составляет менее 10%(рис.12)

Данную математическую модель можно использовать для расчета времени проплавления колодцев и времени расплавления шихты в производственных условиях.

Излучение, МВт

Рис 10. Суммарное излучение от дули и электрода на пояса при проплавлении колодца.

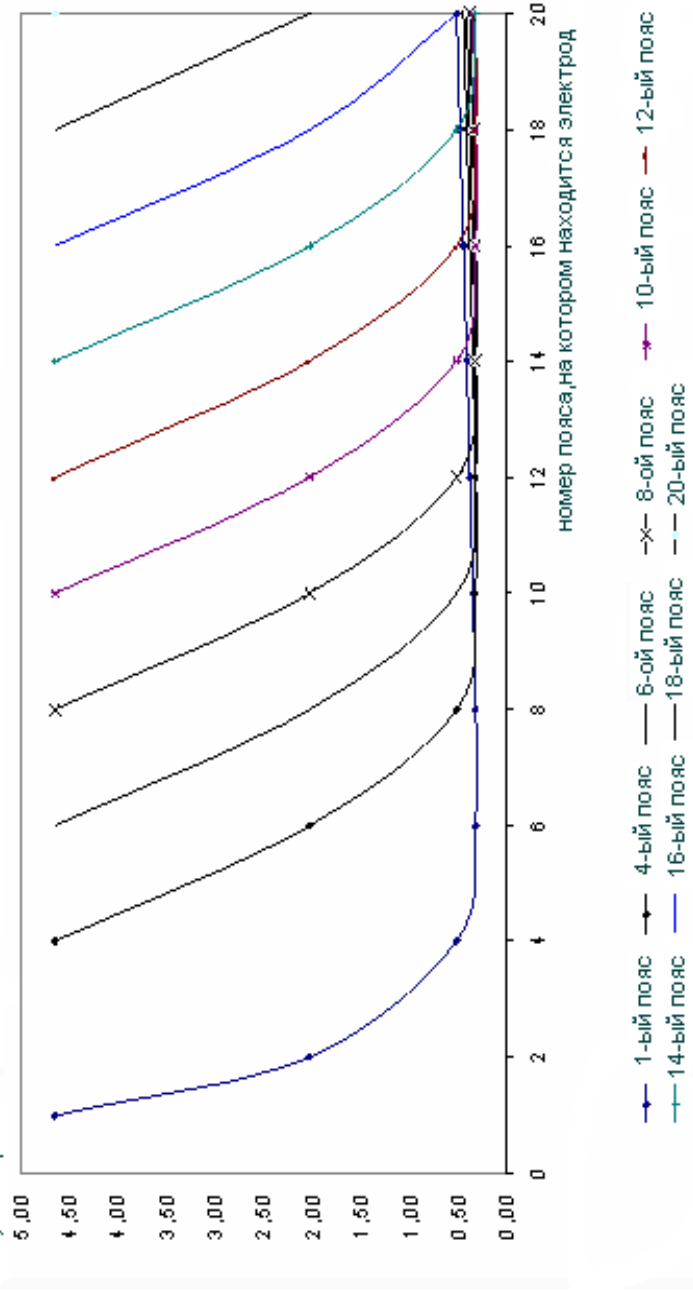




Рис.11 Излучение дуг и электродов по поясам при доплавлении шихты



Рис.12 Результаты проверки модели на адекватность

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В ДСП-150 ПО РАСПЛАВЛЕНИЮ ШИХТЫ

Для поддержания требуемой интенсивности тепло- и массообмена в ванне в период непрерывного расплавления МОК, необходимо, чтобы они содержали оптимальные, с точки зрения развития реакции обезуглероживания, количества кислорода и углерода.

Наличие достаточно высокого содержания углерода и кислорода в металлизированных материалах, в том числе и ГБЖ, способствует образованию пенного шлака в результате интенсивного барботажа СО и стабилизации пены мелкими твердыми частицами сажи. Средняя скорость обезуглероживания

расплава зависит от начального содержания углерода в нем. Минимальное, исходя из необходимости поддержания в период плавления МОК пенных шлаков, содержание углерода должно быть более 0,6%. Но высокая скорость обезуглероживания дает бурное выделение оксида углерода, при этом металл поднимается выше порога печи, дуги горят нестабильно в результате колебаний уровня металла. Поэтому содержание углерода в расплаве перед подачей МОК должно составлять 0,6-0,8% от массы расплава (рис.13).

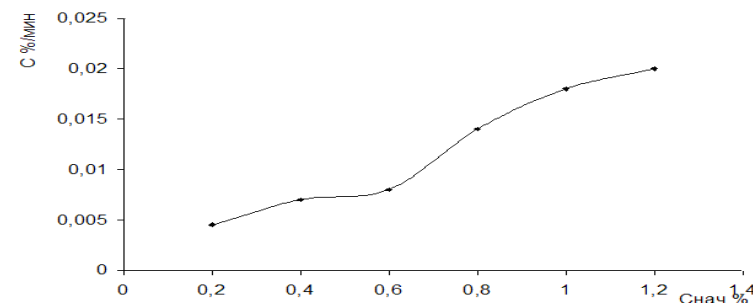


Рис.13 Зависимость средней скорости обезуглероживания от начального содержания углерода в ванне

Недостаток углерода в шихте может быть компенсирован введением карбюризатора в ванну и в процессе расплавления металлизированных окатышей. Присадка кокса в шлак или через продувочную систему повышает содержание углерода в расплаве, но при этом усвоение его может составлять 50%. При расплавлении шихты с применением ГБЖ в завалке с содержанием углерода большим, чем содержание в ломе увеличивается концентрация углерода в расплаве.

Этот метод отличается от других углеродных добавок тем, что не содержит летучих веществ и золы, на получение которой тоже необходим расход энергии. Расход науглероживателя значительно снижается с использованием горячебрикетированного железа в завалке (рис. 14).

Использование горячебрикетированного железа в завалке при выплавке стали в ДСП, позволяет уменьшить расход коксика на 40%.

Для уточнения требований к содержанию углерода в горячебрикетированном железе был рассмотрен баланс этого элемента в ванне.

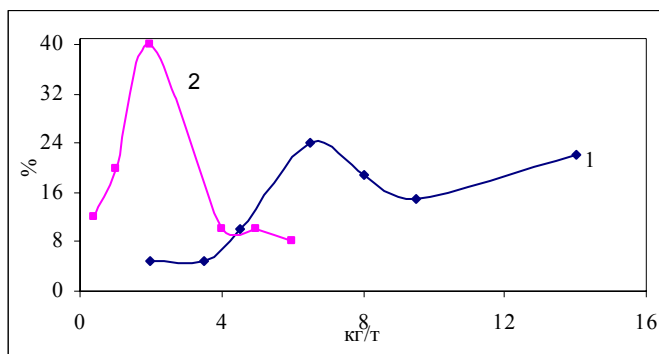


Рис.14. Частотное распределение расхода науглероживателя.
(1 – без использования ГБЖ; 2 – с использованием ГБЖ.)

Известный состав ГБЖ в сочетании с технологией плавления его позволяет достаточно точно регулировать содержание углерода по расплавлению как составом шихты, так и путем продувки ванны кислородом или введением карбюризатора по ходу плавления шихты. Содержание углерода по расплавлению шихты, включающей лом и брикеты, было рассчитано, исходя из соотношения этих компонентов в шихте и эквивалентных содержаниях углерода в материалах.

Масса науглероживателя находилась из формулы баланса по углероду

$$M_n = \frac{C_m \% M_m - C_l \% M_l - \Delta C_p \% M_b}{C_n \%}$$

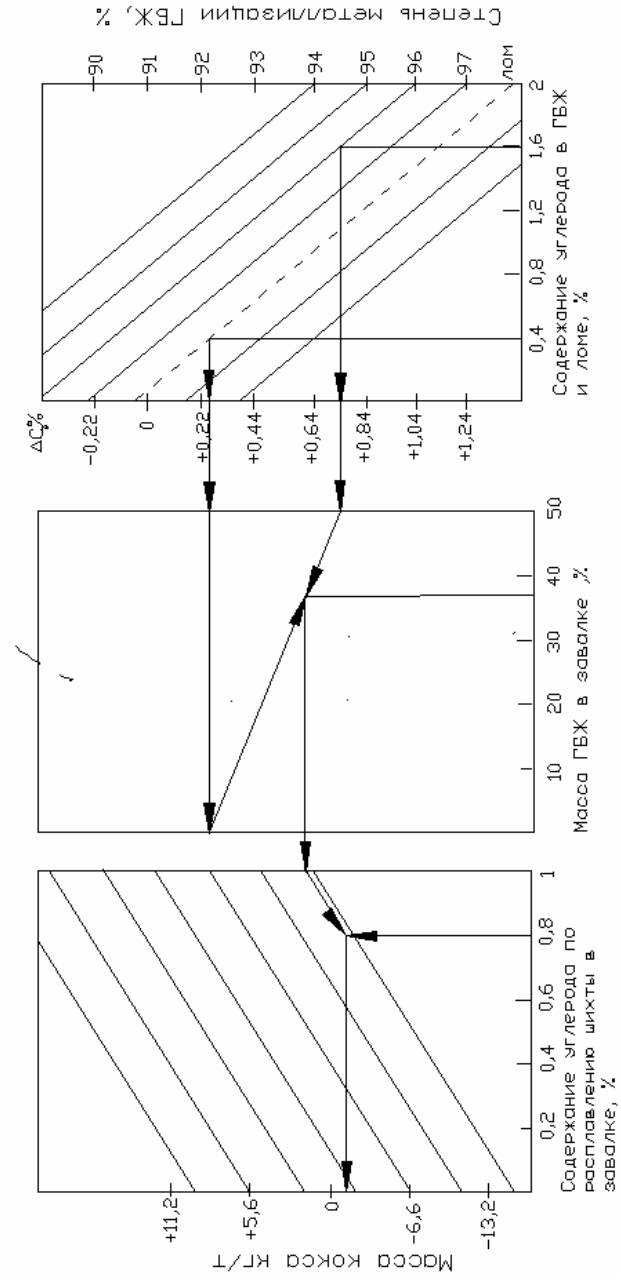
где $C_m \%$ - концентрация углерода в ванне по расплавлению шихты; $C_l \%$ - концентрация углерода, содержащегося в ломе; $\Delta C_p \%$ - разность концентраций углерода в брикетах и равновесного для них.

Равновесная концентрация углерода в брикетах определялась по формуле:

$$C_p = (100 - M) / 5,25$$

где M - степень металлизации в %; 5,25 - эмпирический коэффициент, рассчитанный опытным путем, характеризующий равновесное содержание углерода в брикетах. Степень металлизации брикетов может изменяться от 94 до 97%. Содержание углерода от 0,9 до 1,8%. Для расчета массы науглероживателя, необходимого для заданного содержания углерода по расплавлению шихты с использованием горячбрикетированного железа в завалке при различной степени металлизации, содержания углерода и массы брикетов, были составлены блок – схема, алгоритм расчета и номограмма (рис.15).

Рис.15 Номограмма определения расхода науглероживателя



Зная степень металлизации брикетов, содержания углерода в них и долю в завалке можно по номограмме определить оптимальное количество кокса для необходимого содержания углерода в расплаве шихты. Если же значение углерода отрицательное, то необходимо пересчитать, сколько требуется внести окислителя.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОПЛАВКИ В ПЕРИОД РАСПЛАВЛЕНИЯ ШИХТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГБЖ.

Горячебрикетированное железо, в сочетании с обычным ломом обеспечивает возможность производства «чистой» стали, качество которой удовлетворяет требованиям мировых стандартов. При использовании ГБЖ в завалке процесс окислительного рафинирования жидкой стали и плавления совмещается, в результате время электроплавки несколько уменьшается. В окислительном рафинировании стали, важную роль играет процесс обезуглероживания. Непрерывное выделение газообразного оксида углерода вызывает «кипение» жидкого металла, интенсивное перемешивание металла и шлака, ускорение расплавления металлизированных окатышей подаваемых непрерывно в ванну.

Для повышения эффективности производства стали в ДСП-150 при использовании горячебрикетированного железа в завалке была составлена комплексная математическая модель.

Математическая модель включала: расчёт расхода науглероживателя с учетом концентрации углерода по расплавлению, расчёт радиационного обмена между шихтой, дугами, электродами и газом расчёт времени проплавления колодца и расплавления шихты, выбор наиболее оптимального варианта по времени расплавления шихты в завалке с учетом экранирования дуг, за счет изменения последовательности уровней расположения шихты. Был составлен алгоритм расчета минимального времени расплавления шихты (рис.16).

Результаты расчета показали, что время расплавления шихты может изменяться от 25 до 30 минут, по действующей технологии в зависимости от уровней расположения шихтовых материалов. Расчет по представленной блок - схеме дает возможность заранее просчитать время расплавления шихты в завалке при любом соотношении лома различного вида и ГБЖ и при различном содержании углерода в металле по расплаву шихты.

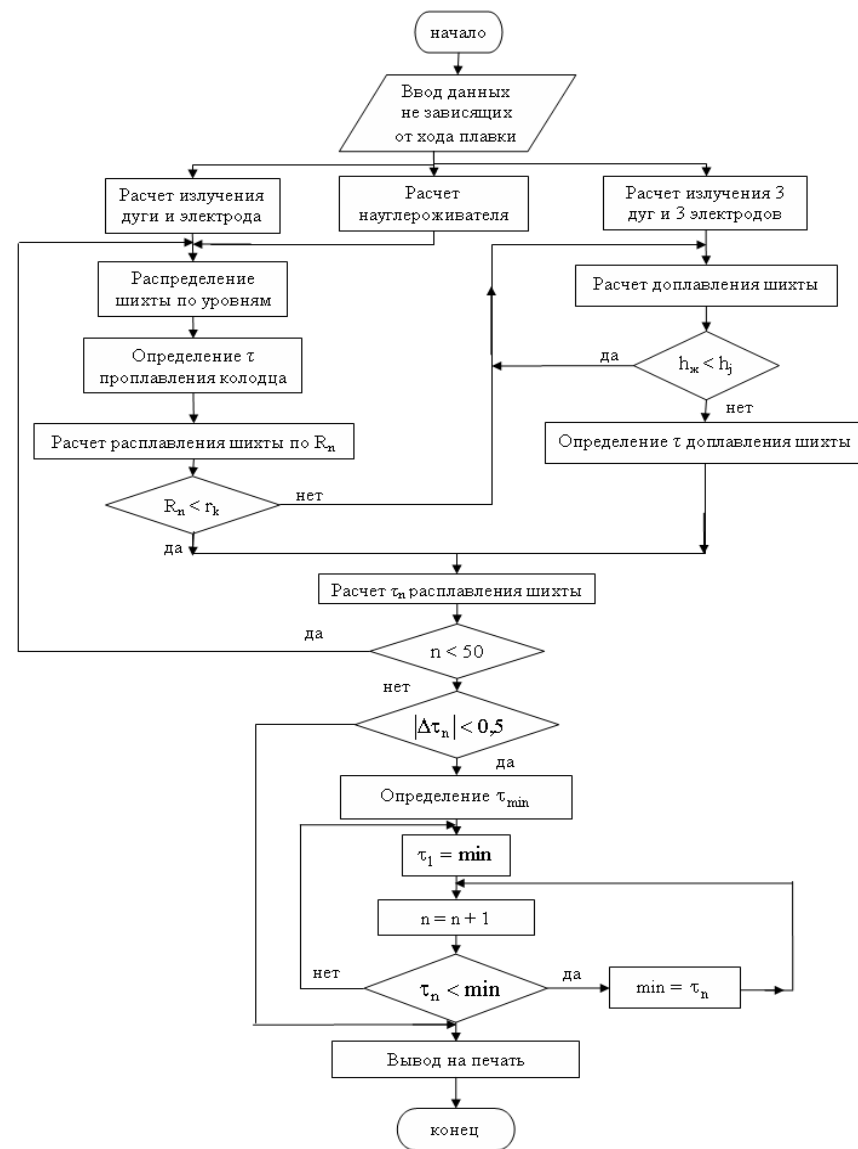


Рис.16 Блок - схема оптимизации выплавки стали

Необходимо иметь ввиду чтобы при выборе расположения составляющих металлошихты (лом, стружка, пакеты, ГБЖ) по слоям, расплавление стенок колодца по радиусу имело незначительную разницу во времени, для сохранения экранирования дуг на свод и стены печи. Наиболее выгодный вариант распределения шихты по уровням дает экономию во времени 3 минуты и сохраняет более длительное время экранирования.

При увеличении начальной концентрации углерода в расплаве увеличивается скорость обезуглероживания металла. При увеличении скорости обезуглероживания увеличивается температура расплава, то есть дальнейшее плавление непрерывно подаваемых окатышей будет происходить более интенсивно. По расчетам оно сократится на 3 минуты. Используя ГБЖ в завалке, можно получить повышение эффективности производства, если доля брикетов в шихте составляет 0,3 – 0,4 от лома, а доля шихты 0,9-1,1 от непрерывно подаваемых МОК. При этом необходимо учесть, чтобы по расплавлению шихты содержание углерода находилось в пределах 0,6 - 0,8%. Тогда экономится электроэнергия на 8 кВт·ч/т и время нахождения плавки под током сокращается на 10 минут, за счет увеличения скорости расплавления шихты в завалке и непрерывно подаваемых МОК.

Уменьшение поломок электродов связано с уменьшением вероятности обвалов шихты и более равномерным режимом съема мощности с ростом ГБЖ в шихте. Действие указанных причин приводит к тому, что расход электродов при плавке с горячебрикетированным железом несколько ниже, чем без него.

Абсолютная величина расхода электродов зависит в значительной мере от производительности печи. Т.к. износ электродов зависит от времени нахождения их под током, а время нахождения под током уменьшается на 10 минут, то соответственно износ электродов уменьшается, по сравнению с выплавкой стали без ГБЖ.

Для расчета экономической эффективности производства стали с применением ГБЖ, произведен анализ себестоимости выплавки углеродистой стали, в который входят:

- 1). Анализ расхода шихты при использовании различной структуры шихты в завалке.
- 2). Анализ средней продолжительности плавки и, как следствие, производительности в зависимости от структуры шихты в завалке.
- 3) Анализ расходов по переделу.

Анализ и расчеты показали, что использование ГБЖ в завалке при доле его 0,3 - 0,4 от лома и доле шихты 0,9 – 1,1 от МОК дает возможность повысить эффективность производства стали. Годовой экономический эффект при этом более 100 млн. руб. в год по сравнению с используемым вариантом в шихте металлолома и подаваемых непрерывно в жидкую ванну МОК.

Основные выводы

В результате проведенных исследований в производственных и лабораторных условиях установлен ряд важнейших закономерностей электроплавки углеродистой стали с использованием горячебрикетированного железа в завалке в условиях ОАО «ОЭМК»:

1. Установлены закономерности расплавления шихты с использованием ГБЖ в завалке. При увеличении насыпной плотности шихты за счет ГБЖ максимальная скорость расплавления ее наблюдается при наличии доли ГБЖ от лома равной 0,3 - 0,4 и доле шихты от МОК равной 0,9– 1,1 при этом сокращается время расплавления шихты на 4 минуты.

1. С применением горячебрикетированного железа в завалке в количестве 0,3 – 0,4% от лома повышается качество металла: уменьшается содержание никеля на 15 %, меди на 27%, молибдена на 21%, неметаллических включений: серы на 11% и фосфора на 40%.

3. Теплообмен в шихте увеличивается при наличии ГБЖ, так как теплопроводность и насыпная плотность шихты выше, чем без брикетов, энергия на расплавление шихты уменьшается на 15 кВт·ч/т завалки при оптимальном содержании брикетов в шихте.

4. В лабораторных условиях были измерены и рассчитаны значения теплофизических свойств горячебрикетированного железа, которые использовались в расчетах оптимизации выплавки стали в ДСП-150.

5. Разработаны математическая модель, алгоритм и программа расчета на ЭВМ времени проплавления колодца и доплавления шихты в завалке, учитывающая различные уровни расположения шихтовых материалов. Данные модели можно использовать в производственных условиях, т.к. погрешность не превышает 10%.

6. Составлена программа расчета науглероживателя, позволяющая прогнозировать и регулировать содержание углерода по расплавлению шихты с использованием ГБЖ. На основе расчетов построена номограмма по определению расхода науглероживателя при расплавлении шихты в завалке, с различной степенью металлизации и массой горячебрикетированного железа, содержанием углерода в нем.

7. На основе расчетов по обезуглероживанию металлической ванны в период непрерывной подачи окатышей выяснено, что при начальной концентрации углерода в расплаве 0,6% время расплавления окатышей, подаваемых непрерывно в жидкую ванну, уменьшается на три минуты по сравнению с содержанием углерода в расплаве 0,2%.

8. Использование горячебрикетированного железа в завалке уменьшает расход науглероживателя на 40%, расход электродов на 9%.

9. Предложена энергосберегающая технология электроплавки углеродистой стали в ДСП-150, которая позволяет повысить производительность печи на 9% за счет уменьшения времени нахождения под током на 10 минут, сэкономить электроэнергию на 8 кВт·ч/т и в целом получить годовой экономический эффект более 100 млн. рублей в год.

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

- 1) Тимофеев Е.С., Тимофеева А.С. Электроплавка углеродистой стали в большегрузных печах с применением ГБЖ Изв. Вуз.Черная металлургия. №8, 2005.- С. 66.
- 2) Тимофеев Е.С., Кочетов А.И., Тимофеева А.С. Применение ГБЖ при плавке стали. Изв.Вуз.Черная металлургия. №12, 2005.- С.66.
- 3) Тимофеева А.С., Тимофеев Е.С. Исследование выплавки стали при использовании горячебрикетированного железа в завалке. Металлург №3, 2007.- С. 45.
- 4) Тимофеев Е.С., Корчагин А.П., Тимофеева А.С., Крахт Л.Н., Определение теплоемкости и теплопроводности ГБЖ Матер междунар. конференции - Старый Оскол, 2004.- Т.2.- С. 192 – 194.
- 5) Тимофеев Е.С., Головкин Е.В. Влияние горячебрикетированного железа на качество стали. Современные наукоемкие технологии ISSN 1812 – 7320. №5. 2005.- Москва.- С. 29.
- 6) Тимофеев Е.С., Гончаров В.В. Расчет излучения электродов на шихту. Научно - практическая конференция ОЭМК, 2005.- С. 99-100.
- 7) Тимофеев Е.С., Кочетов А.И., Тимофеева А.С. Исследование выплавки углеродистой стали в ДСП-150 с применением ГБЖ. Сб. научных трудов «Современная металлургия начала нового тысячелетия». - Липецк, 2005. – С. 43-49.
- 8) Тимофеев Е.С., Кочетов А.И., Тимофеева А.С. Зависимость длительности расплавления шихты от ГБЖ в завалке при выплавке стали в ДСП-150. Фундаментальные исследования ISSN1812-7339 №11, «Академия естествознания», 2006 – С.37-38.
- 9) Тимофеев Е.С., Кочетов А.И., Тимофеева А.С., Федина В.В. Математическая модель расплавления шихты с использованием ГБЖ в ДСП-150.. Сборник научных трудов. - Липецк, 2006.- т.2.- С.79-84.
- 10) Тимофеев Е.С., Кочетов А.И., Тимофеева А.С. Современная металлургия нового тысячелетия. Сборник научных трудов. ЛГТУ, 2006г.- Т.5.- С.188-194.

Научное издание

Тимофеев Евгений Станиславович

Совершенствование
энерготехнологического режима выплавки стали в ДСП-150 при
использовании горячебрикетированного железа в завалке с целью
повышения эффективности производства

Автореферат

Формат 60х84/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 1,61.
Тираж 100 экз. Заказ № 100 от 24.04.07 г.

Отпечатано в типографии
«Тонкие Наукоемкие Технологии»
309530, г. Старый Оскол, Белгородской обл.,
м-н Макаренко, д 40.
тел./факс (4725) 32-25-29

