

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шкирмонтова Александра Прокопьевича «Разработка теоретических основ совершенствования энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом с целью повышения показателей работы электропечей», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – металлургия чёрных, цветных и редких металлов

В работе рассмотрено влияние энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом на показатели работы электропечей при рассмотрении в комплексе технологии, конструкции и электрического режима.

Особенности выплавки состоят в том, что ферросплавная электропечь, в отличие от дуговых сталеплавильных печей, работает в смешанном режиме сопротивления и дуги, что усложняет процесс, поскольку электрический режим и технология взаимосвязаны и определяются составом шихты, её удельным электросопротивлением и конструкцией агрегата. Следствием этого является работа на больших силах тока электрода (десятки килоампер) и сравнительно низком рабочем напряжении. При этом с укрупнением ферросплавных печей наблюдается увеличивающийся разрыв между установленной мощностью трансформаторов печей и активной мощностью в ванне, что не позволяет достичь высоких технико-экономических показателей и ограничивает производительность.

Основной целью данной работы является дальнейшее совершенствование энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом для улучшения показателей работы электропечей, при рассмотрении в комплексе электрических, технологических и параметров конструкции печей, с позиции энергоресурсосбережения и принципов «бережливого» производства.

Получение ферросплавов в электропечах относится к разряду материалоемких и энергоёмких производств. Удельный расход электроэнергии (3–20 МВт·ч/т ферросплавов и кремния) в 7–20 раз больше, чем при выплавке 1 т стали в дуговой печи. Доля затрат на электроэнергию в структуре себестоимости 30–50 % и более. Также к ухудшению производства приводит снижение качества рудной базы и восстановителей. В этих условиях повышение эффективности производства ферросплавов путём разработки и совершенствования энерготехнологических параметров выплавки в электропечах является актуальной научно-технической задачей.

С позиции научной новизны диссертантом были рассмотрены в комплексе технологические, электрические и теплотехнические параметры выплавки. Удалось выявить наиболее существенные закономерности для улучшения энерготехнологических показателей работы ферросплавных электропечей.

Диссертантом на основании проведённых исследований в электрометаллургии ферросплавов было введено новое понятие – энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи. Предложенная безразмерная величина включает: извлечение ведущего элемента в сплав; тепловой КПД печи; коэффициент мощности печи; электрический КПД; коэффициент загрузки трансформатора. Эта величина более точно характеризует эффективность работы электропечи, а также может быть использована для совершенствования технологии выплавки и конструкции печных агрегатов.

При проведении мероприятий, направленных на сокращение комплекса потерь, энерготехнологический критерий печи возрастает, а удельный расход электроэнергии на 1 т ферросплава снижается. При ухудшении работы печей энерготехнологический критерий уменьшается и возрастает удельный расход электроэнергии на выплавку.

С ростом мощности ферросплавных печей происходит ухудшение показателей работы из-за того, что повышение мощности по трансформатору происходит в основном за счёт увеличения силы тока и, соответственно, диаметра самообжигающихся электродов, а не рабочего напряжения (из-за снижения сопротивления ванны печи). В результате возрастают электрические (активные и реактивные) потери и увеличивается разрыв между мощностью трансформатора и активной мощностью в ванне печи (снижение коэффициента мощности, электрического КПД, загрузки трансформатора и теплового КПД), что приводит к худшим технико-экономическим показателям, чем для печей средней мощности.

Для решения проблемы и увеличения сопротивления ванны ферросплавных печей, работающих с закрытой дугой, в качестве добавок используют различные углеродистые восстановители с повышенным удельным электросопротивлением, при этом наибольший эффект составляет 5–10 %.

Поэтому диссертантом предложена и разработана новая технология выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком (электрод–подина) для значительного повышения в 2,5 раза сопротивления ванны, напряжения и улучшения энерготехнологических параметров.

При этом качественно меняется картина ввода дополнительной мощности в ванну электропечи – не за счёт увеличения силы тока, а благодаря увеличению сопротивления ванны, напряжения, что энергетически более выгодно и эффективно. В результате при выплавке 45 %-ного ферросилиция повышается электрический КПД, коэффициент мощности, тепловой КПД при получении стандартного ферросплава. Увеличился энерготехнологический критерий электропечи на 35 %.

На основании рассмотренной технологии предложена и опробована принципиально новая концепция выплавки ферросплавов по варианту автономных изолиро-

ванных плавильных зон под электродами в ванне печи под слоем шихты и, соответственно, выпуском расплава из-под каждого электрода. Разработанный вариант концепции включает сочетание двух технических решений: использование технологии выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком и применение электропечи со значительно увеличенным в 2,1–2,8 раза относительным расходом электродов и более глубокой ванной. Данное комплексное техническое решение приводит к повышению в 2,2–2,6 раза сопротивления ванны, напряжения и дополнительной мощности в ванне печи (каждый показатель) без ухудшения степени извлечения ведущего элемента и получению стандартного сплава. В результате лучшего токораспределения в ванне повышаются составляющие величины комплексного параметра печи и снижается удельный расход электроэнергии. По сравнению с базовым вариантом для выплавки 45 %-ного ферросилиция энерготехнологический критерий увеличился на 37,8–48,0 %.

Впервые диссертантом получена зависимость величины подэлектродного промежутка в ванне ферросплавной печи от распада электродов и установлено влияние данных параметров на повышение энерготехнологического критерия работы печи вследствие увеличения рабочего напряжения. Показано, что для лучшего распределения энергии в ванне печи большему распаду электродов соответствует увеличенный подэлектродный промежуток (электрод–подина).

На основе энерготехнологического критерия разработана новая методика для сравнительной оценки эффективности выплавки ферросплавов в печах различных конструкций и технологий. В результате анализа был применён универсальный метод оценки технических решений в электрометаллургии для различных технологий выплавки ферросплавов:

- в печах переменного тока промышленной частоты;
 - в печах с пониженной частотой тока;
 - в печах постоянного тока (с открытой и закрытой дугой),
- а также в плазменных электропечах.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в дополнительно полученной информации о взаимосвязи технологических, электрических и теплотехнических параметров при шлаковой и бесшлаковой выплавке ферросплавов при снижении удельных энергозатрат. Автором установлено, что при бесшлаковом процессе выплавки 75 %-ного ферросилиция увеличение энерготехнологического критерия работы печи от 0,248 до 0,314 соответствует снижению удельного расхода электроэнергии в диапазоне от 10,5 до 8,6 МВт·ч/т сплава. При выплавке углеродистого феррохрома увеличение энерготехнологического критерия от 0,252 до 0,326 приводит к снижению удельного расхода электроэнергии от 4,3 до 3,3 МВт·ч/т сплава.

Решена научно-техническая проблема значительного (в 2 раза и более) повышения активного сопротивления ванны, напряжения и мощности ферросплавной электропечи без увеличения силы тока и диаметра электродов с целью улучшения энерготехнологических параметров процесса выплавки.

Разработана, опробована новая концепция выплавки ферросилиция с увеличенными подэлектродным промежутком и распадом электродов до 5,6 диаметров электрода. В результате сопротивление ванны, мощность и рабочее напряжение увеличились в 2 раза при неизменных значениях силы тока и диаметра электродов. Улучшились коэффициент мощности, электрический и тепловой КПД печи. Удельный расход электроэнергии на 1 т сплава снизился на 16,7 % и энерготехнологический критерий печи увеличился на 29,8 % по сравнению с базовым вариантом и традиционным распадом электродов.

На основании энергоаудита двух печей мощностью по 29 МВ·А завода «Кузнецкие ферросплавы» при выплавке 75 %-ного ферросилиция применена методика оценки работы электропечей с использованием энерготехнологического критерия ферросплавной печи. При этом применение на одной из печей увеличенного распада электродов 3,4 м, вместо с 3,0 м и углеродистых восстановителей с повышенным удельным электросопротивлением в виде полукокса увеличило энерготехнологический критерий от 0,203 до 0,258 при снижении удельного расхода электроэнергии на 615 кВт·ч/т или на 6,8 %.

С позиции мероприятий, направленных на повышение энерготехнологического критерия ферросплавной печи, показано положительное влияние данной комплексной величины:

- на уменьшение удельного расхода электроэнергии на 1 т сплава;
- на снижение себестоимости получаемого сплава;
- на увеличение удельной производительности печи на 1 МВ·А установленной мощности трансформатора для выплавки ферросилиция (бесшлаковый процесс) и углеродистого феррохрома (шлаковый процесс).

По материалам автореферата диссертации имеется несколько вопросов и замечаний. Например представляет интерес детализировать особенности технологии выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком углеродотермическим процессом. Также желательно оценить достоинства и недостатки выплавки ферросплавов в печах постоянного и переменного тока.

Материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2,6.2 (05.16.02) – металлургия черных, цветных и редких металлов: п. 11 – Пирометаллургические процессы и агрегаты; п. 12 – Электрометаллургические процессы и агрегаты; п. 17 – Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов.

Основные материалы исследований достаточно полно приведены в монографии диссертанта «Энерготехнологические параметры выплавки ферросплавов в электропечах» и опубликованы в журналах «Электromеталлургия», «Сталь», «Металлург» и других, которые входят в перечень ВАК и широко докладывались на Международных научно-технических конференциях.

На основании рассмотренных материалов автореферата, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, имеющее достаточный уровень научной новизны и практической значимости. Считаю, что диссертационная работа Шкирмонтова Александра Прокопьевича соответствует требованиям п. 9, Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – металлургия чёрных цветных и редких металлов.

Согласен с обработкой персональных данных.

Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории плазменных процессов
в металлургии и обработке материалов
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт металлургии
и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук (ФГБУН ИМЕТ РАН)
Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр., д. 49.
Сайт: <http://www.imet.ac.ru>
Электронная почта: anikolaev@imet.ac.ru
Тел.: +7(499)135-71-70

Николаев Андрей Анатольевич

Подпись заверяю:



Николаев
30.08.2021г.

с/п. проф. (Ворожничка Г.А.)