

В диссертационный совет
Д212.298.01

Ученый совет ЮУрГУ
454080, г. Челябинск,
пр. Ленина, 76

О Т З Ы В

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 России сталеплавильное и литейное производство являются главными потребителями ферросплавов. К тому же повышение доли выплавки легированной стали и значительные объёмы товарных сплавов для экспорта определяют возрастающую потребность в крупнотоннажных ферросплавах, что вызывает необходимость разработки и совершенствования параметров электропечей.

С точки зрения конструкции и технологического процесса ферросплавная электропечь, в отличие от дуговых сталеплавильных печей, работает в смешанном режиме сопротивления и дуги, так как самообжигающиеся электроды постоянно погружены в шихту. При этом электрический режим и технология выплавки определяются составом шихты, её удельным электросопротивлением и рядом конструктивных особенностей. В связи с укрупнением ферросплавных печей отмечен увеличивающийся разрыв между установленной мощностью печных трансформаторов и активной мощностью в ванне для технологического процесса, вследствие снижения коэффициента мощности и других параметров. Данная ситуация не позволяет достичь высоких технико-экономических показателей в работе и ограничивает производительность печей.

Целью диссертационной работы является развитие теоретических основ совершенствования энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом для повышения показателей работы электропечей, при рассмотрении в комплексе электрических, технологических и параметров конструкции печей, с позиции основных положений «бережливого» производства.

Получение ферросплавов рудовосстановительным процессом в низкошахтных электропечах является одним из самых материалоёмких и энергоёмких металлургических производств. Удельные расходы электроэнергии при выплавке ферросилиция и кремния в 7 – 20 раз превышает удельные расходы при выплавке электростали. Доля затрат на электроэнергию в структуре себестоимости ферросплавов достигает 60 %. В этих условиях повышение эффективности производства ферросплавов путём совершенствования энерготехнологических параметров выплавки является актуальной научно-технической и хозяйственной задачей.

Основным достоинством диссертационной работы является то, что с позиции научной новизны автором были рассмотрены в комплексе технологические, электрические и теплотехнические параметры выплавки. В результате выявлены наиболее

существенные закономерности для улучшения энерготехнологических показателей работы ферросплавных электропечей.

Диссертантом введено новое понятие – «энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи». Предложенная безразмерная величина учитывает следующие показатели процесса: извлечение ведущих элементов; тепловой КПД печи; коэффициент мощности печи; электрический КПД и коэффициент загрузки трансформатора. Полученная комплексная величина достаточно точно характеризует эффективность работы электропечи и может быть использована при совершенствовании технологических процессов и конструкции печных агрегатов.

В работе отмечено, что при проведении мероприятий, направленных на сокращение комплекса потерь, энерготехнологический критерий печи возрастает при снижении удельного расхода на выплавку ферросплава. При ухудшении работы печей энерготехнологический критерий уменьшается с увеличением удельного расхода электроэнергии.

Детально показано, что с ростом мощности ферросплавных печей происходит ухудшение их энерготехнологических параметров в основном за счёт увеличения силы тока и, соответственно, диаметра самообжигающихся электродов, а не рабочего напряжения (из-за снижения сопротивления ванны печи). В результате увеличивается разрыв между мощностью трансформатора и активной мощностью в ванне печи, что приводит к худшим технико-экономическим показателям, чем для печей средней мощности.

Для решения проблемы путем увеличения сопротивления ванны ферросплавной печи применяют углеродистые восстановители с повышенным удельным электросопротивлением.

Для улучшения энерготехнологических показателей печей с закрытой дугой диссертантом предложено вести выплавку ферросплавов при увеличенном подэлектродном промежутке для повышения в 2,5 и более раз активного сопротивления ванны и, соответственно, напряжения.

Такое повышение производительности печи более предпочтительно, так при постоянстве геометрических размеров узлов печи ее сложность и материалоемкость не увеличиваются. Так при выплавке 45 %-ного ферросилиция при существенном улучшении электрического КПД, коэффициента мощности, теплового КПД энерготехнологический критерий печи увеличился на 35 %.

Диссертантом на основании рассмотренной технологии предложена и опробована принципиально новая концепция выплавки ферросплавов по варианту автономных изолированных 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 распадом электродов и более глубокой ванной. Данное комплексное решение приводит к повышению в 2,2–2,6 раза сопротивления ванны, напряжения и дополнительной мощности без ухудшения степени извлечения ведущего элемента. По сравнению с базовым вариантом выплавки 45 %-ного ферросилиция энерготехнологический критерий печи увеличился на 37,8–48,0 %.

Для совершенствования конструкции электропечей диссертантом впервые выявлена зависимость величины подэлектродного промежутка в ванне ферросплавной печи от распада электродов и установлено влияние данных параметров на энерготехно-

логический критерий работы печи, вследствие повышения рабочего напряжения. Показано, что для лучшего распределения энергии в ванне печи большему распаду электродов, соответствует увеличенный подэлектродный промежуток.

На основе энерготехнологического критерия разработана методика сравнительной оценки эффективности выплавки ферросплавов в печах различных конструкций и технологий. В результате применён универсальный метод оценки технических решений в электрометаллургии для различных технологий выплавки ферросплавов: в печах переменного тока; в печах с пониженной частотой тока; в печах постоянного тока (с открытой и закрытой дугой), а также в плазменных печах.

Практическая ценность работы заключается в дополнительно полученной информации о взаимосвязи технологических, электрических и теплотехнических параметров при выплавке ферросплавов. Установлено, что при бесшлаковом процессе выплавки 75%-ного ферросилиция увеличение энерготехнологического критерия работы ферросплавной 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 шлаковом процессе выплавки углеродистого феррохрома увеличение энерготехнологического критерия от 0,252 до 0,326 приводит к снижению расхода электроэнергии от 4,3 до 3,3 МВт·ч/т сплава.

Решена научно-техническая проблема значительного повышения мощности ферросплавной электропечи за счет увеличения активного сопротивления ванны без увеличения диаметра электродов. Ведение процесса с увеличенным подэлектродным промежутком и значительно увеличенным расходом (до 5,6 диаметров электрода позволил повысить коэффициент мощности, электрический и тепловой КПД при значительном снижении удельного расхода электроэнергии. Энерготехнологический критерий печи увеличился на 29,8 % по сравнению с базовым вариантом компоновки электропечи.

По работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. При обосновании комплексности введенного автором энерготехнологического критерия работы ферросплавной электропечи не учитываются термодинамические и температурно-временные параметры технологических процессов восстановления и разделения компонентов, существенно отличающихся для различных видов ферросплавов.
2. В работе не представлены результаты, обосновывающие применимость выведенного автором критерия для всех типов материалов и процессов выплавки ферросплавов углеродотермическим методом в руднотермических электропечах.
3. Достаточно спорен тезис автора о повышении мощности электропечи за счет увеличения поэлектродного расстояния. Для случаев шлаковых процессов, когда переплав проводится в режиме погруженной дуги, выделение тепла идет за счет активного сопротивления при протекании электрического тока через жидкую фазу. Повышение подэлектродного расстояния неизбежно приведет к разрыву электрической цепи и переходу процесса в дуговой режим, что желательно далеко не всегда.
4. Автором в работе не рассмотрены последствия существенного увеличения межэлектродного пространства, ведущего к изменению характера распределения электрических токов в ванне и, как следствие, протеканию термохимических процессов.
5. В представленных материалах работы отсутствует рассмотрение аспектов изменения геометрических и электротехнических параметров печей.

Рассмотренный 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 «Электрометаллургия», «Сталь», «Металлург» и других, которые входят в перечень ВАК Минобрнауки РФ, прошли апробацию на 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 на обработку персональных данных.

Технический директор
ОАО НПО "Электротерм",
кандидат технических наук

Шустров Андрей Юрьевич

Открытое акционерное общество
Научно-производственное Объединение
«Электротерм» (ОАО НПО «Электротерм»)
630033, г. Новосибирск, ул. Мира, д.62.
Сайт: npo-term.com
Электронная почта: tech@npo-term.com
Телефон: +7-913-918-61-97

подпись Шустрова А.Ю
подтверждено
нач. отдела кадров
Голушкова И.И. Шаф

29.10.2021г