

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 приводит к высоким технико-экономическим показателям 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 материалоёмких и энергоёмких металлургических производств. Значения удельный расход электроэнергии весьма велики (3–20 МВт·ч/т для ферросплавов и кремния), что в 7–20 раз больше, чем при выплавке 1 т стали в дуговой печи. Доля затрат на электроэнергию в структуре себестоимости ферросплавов достигает 60 %. На ухудшение показателей производства влияет снижение качества рудных материалов и восстановителей. В этих условиях повышение эффективности производства ферросплавов путём разработки и совершенствования энерготехнологических параметров выплавки в электропечах 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.

На основании исследований в электрометаллургии ферросплавов диссертантом 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 и коэффициент загрузки трансформатора. Полученная комплексная величина достаточно точно характеризует эффективность работы электропечи и может быть использована для совершенствования технологии выплавки и особенно конструкции печных агрегатов.

В работе отмечено, что 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 увеличивается удельный расход электроэнергии.

Проанализировано, что при выплавке различных марок ферросилиция, увеличении содержания кремния в сплаве, снижает извлечение ведущего элемента, вследствие повышенного улета кремния при выводе железа из шихты. Поэтому электропечь работает в более энергозатратном режиме и снижается энерготехнологический критерий электропечи при выплавке.

Детально показано, что с ростом мощности ферросплавных печей происходит ухудшение их энерготехнологических параметров вследствие того, что повышение мощности в основном происходит за счёт увеличения силы тока и, соответственно, диаметра самообжигающихся электродов, а не рабочего напряжения (из-за снижения сопротивления ванны печи). В результате растут электрические активные и индуктивные потери и 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 и увеличения сопротивления ванны ферросплавной печи обычно используют различные углеродистые восстановители, с повышенным удельным электросопротивлением. Наибольший эффект повышения сопротивления ванны около 5–10 %.

Поэтому диссертантом предложена новая технологическая схема выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком (электрод–подина)

для значительного повышения в 2,5 раза сопротивления ванны и напряжения для улучшения энерготехнологических параметров печей с закрытой дугой.

В данном случае качественно меняется картина ввода дополнительной мощности в ванну ферросплавной печи – не за счёт увеличения силы тока и увеличения диаметра электродов, а благодаря повышению сопротивления ванны, напряжения и мощности, что энергетически более выгодно и эффективно. В результате при выплавке 45 %-ного ферросилиция существенно улучшились электрический КПД, коэффициент мощности, тепловой КПД при получении стандартного ферросплава, а 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 (каждый показатель) без ухудшения степени извлечения ведущего элемента и получения стандартного сплава. Снижается удельный расход электроэнергии из-за лучшего токораспределения в ванне. По сравнению с базовым вариантом выплавки 45 %-ного ферросилиция энерготехнологический критерий печи увеличился до 37,8–48,0 %.

Для совершенствования конструкции электропечей диссертантом впервые 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).

В диссертационной работе на основе энерготехнологического критерия разработана новая методика для 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 шлаковой и бесшлаковой 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 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 повышения энерготехнологических параметров процесса выплавки. Улучшились коэффициент мощности, электрический и тепловой КПД печи по технологии выплавки с увеличенным подэлектродным промежутком и значительно увеличенным распадом (до 5,6 диаметров электрода). Удельный расход электроэнергии на 1 т сплава снизился на 16,7 %. Энерготехнологический критерий печи увеличился на 29,8 % по сравнению с базовым вариантом и традиционным распадом электродов.

На основании энергоаудита двух печей мощностью 29 МВ·А завода «Кузнецкие ферросплавы» при выплавке 75 %-ного ферросилиция применена методика оценки работы электропечей с использованием энерготехнологического критерия ферросплавной печи. 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 величины:

- на снижение удельного расхода электроэнергии;
- на уменьшение себестоимости получаемого сплава;
- на увеличение удельной производительности печи на 1 МВ·А установленной мощности трансформатора.

Выявлено, что такое влияние комплексного параметра электропечи отмечено как для выплавки ферросилиция (бесшлаковый процесс), так и для выплавки углеродистого феррохрома (шлаковый процесс).

По работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. На стр. 26 автореферата при анализе влияния подэлектродного промежутка на энерготехнологический критерий предложено решение по увеличению активного сопротивления ванны расплава печи за счет только увеличения подэлектродного промежутка. Не понятно, как удалось это получить в данном исследовании без увеличения диаметра распада электродов;

2. В автореферате применяется понятие «подэлектродного промежутка», приводятся его зависимость от разных параметров, но как оценивалась сама величина этого промежутка не пояснено;

3. В автореферате говорится, что при увеличении подэлектродного промежутка увеличивается сопротивление ванны печи; при этом между электродом и расплавом горит электрическая дуга, сопротивление которой включено последовательно с сопротивлением ванны расплава; так как сопротивление дугового разряда значительно превышает сопротивление расплава, то корректнее говорить не о сопротивлении ванны печи, а об "эквивалентном сопротивлении ванны печи", как сумме сопротивления дуги и сопротивления расплава;

4. В работе описывается зависимость увеличения количества меди от увеличения мощности. Безусловно количество меди возрастает с увеличением мощности печей, как и черной и нержавеющей стали, так как печь становится больше. Действительно, увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты. Но капитальные я бы по большому счету не учитывал, а эксплуатационные действительно увеличатся. Но увеличится и количество выпускаемого продукта. Не проводя серьезный анализ, на первый взгляд кажется, что соотношение увеличения меди из-за увеличения мощности к увеличению выпуска продукта становится меньше с увеличением мощности. Также при увеличении мощности печи и, соответственно, при увеличении выпуска продукта сохраняется количество обслуживающего персонала, а это значительная составляющая эксплуатационных затрат.

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 и докладывались на научно-технических конференциях.

На основании рассмотренных материалов автореферата диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, имеющее доста-

точный 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.

Руководитель департамента проектов
ОАО НПО "Электротерм",
кандидат технических наук



Сериков Виктор
Андреевич

29.10.2021 г.

Открытое акционерное общество
Научно-производственное Объединение
«Электротерм» (ОАО НПО «Электротерм»)
630033, г. Новосибирск, ул. Мира, д.62.
Сайт: www.npo-term.com
Электронная почта: info@npo-term.com
Телефон: +79231915380

Служба делопроизводства
подпись заверяю:

Юлия / Котомасова И.И.

