

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

Основным потребителем ферросплавов в Российской Федерации является сталеплавильное производство. При повышении доли выплавки высококачественной и легированной стали, а также высокие объёмы товарных сплавов на экспорт, увеличивают потребность в ферросплавах.

В отличие от дуговых сталеплавильных печей, ферросплавная электропечь работает в смешанном режиме сопротивления и дуги, так как электроды постоянно погружены в шихту. При этом электрический режим и технология выплавки определяются составом и удельным электросопротивлением шихты и конструкцией печи. В связи с укрупнением ферросплавных печей отмечен увеличивающийся разрыв между установленной мощностью печных трансформаторов и активной мощностью в ванне для технологического процесса. Данная ситуация не приводит к высоким технико-экономическим показателям и ограничивает производительность.

Целью диссертационной 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 основных принципов «бережливого» производства».

Получение ферросплавов в электропечах является одним из материалоемких и энергоёмких металлургических производств, так как осуществляется восстановление ведущего элемента из оксидов рудных материалов углеродом восстановителя. Удельный расход электроэнергии (3–20 МВт·ч/т для ферросплавов и кремния) в 7–20 раз больше, чем при выплавке 1 т стали в дуговой печи. Доля затрат на электроэнергию в структуре себестоимости ферросплавов достаточно высока и составляет до 30–60 % и более. Также 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.

С позиции научной новизны автором были рассмотрены в комплексе технологические, электрические и теплотехнические параметры выплавки. 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 конструкции печных агрегатов.

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, увеличение содержания кремния в сплаве, снижает извлечение ведущего элемента. При этом имеет место более высокая скорость образования оксида кремния, по сравнению со скоростью его потребления в плавильной зоне при выводе железа из шихты. Поэтому электропечь работает в более энергозатратном режиме и снижается энерготехнологический критерий.

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, 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 композиции смесей углеродистых восстановителей (полукоксов, бурых и газовых углей, антрацита, древесных восстановителей-разрыхлителей и других), с повышенным удельным электросопротивлением. Наибольший эффект повышения сопротивления ванны около 5–10 %.

В связи с этим диссертантом предложена новая технологическая схема выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком (электрод-подина) для значительного повышения в 2,5 раза сопротивления ванны и напря-

жения для улучшения энерготехнологических параметров печей с закрытой дугой.

При этом качественно меняется картина ввода дополнительной мощности в ванну электропечи – не за счёт увеличения силы тока, 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 %.

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 расходом электродов и более глубокой ванной. Данное комплексное 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 получения стандартного сплава. Снижается удельный расход электроэнергии из-за лучшего токораспределения в ванне. По сравнению с базовым вариантом выплавки 45 %-ного ферросилиция энерготехнологический критерий увеличился до 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; 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. Это позволило выявить факторы для улучшения комплекса энерготехнологических параметров и снижения удельных энергозатрат на выплавку 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 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 отмечено как для выплавки ферросилиция (бесшлаковый процесс), так и для выплавки углеродистого феррохрома (шлаковый процесс).

По содержанию автореферата имеются следующие вопросы:

- каким образом можно повысить тепловой КПД ферросплавной печи;

- при увеличении распада электродов какие возможны варианты ванны печи для рационального ведения процесса.

В целом материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2,6.2 (05.16.02) – металлургия черных, цветных и редких металлов. 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 и широко докладывались 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.

Заведующий кафедрой
автоматизации технологических
процессов и производств,
доктор технических наук,
профессор

Бажин Владимир
Юрьевич

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»
(ФГБУ ВО СПбГУ Горный университет)
Адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский
остров, 21-линия, д. 2.
Сайт: <https://spmi.ru/>
Электронная почта: bazhin_vyu@pers.spmi.ru
Тел.: +7(812)328-82-63.

Подпись заверяю:



Заведующий отдела
производства
вицкая

14 СЕН 2021