

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 кислородно-конвертерное и электрометаллургическое производство стали. Тенденции в повышении объёмов производства высококачественной и легированной стали, а также большой объём экспортных операций определяют возрастающую потребность в ферросплавах.

Особенности выплавки заключаются в том, что ферросплавная электропечь, в отличие от дуговых печей, работает в смешанном режиме дуги и сопротивления, что усложняет процесс, поскольку электрический режим и технология взаимосвязаны и определяются составом шихты, её удельным электросопротивлением и конструкцией агрегата. 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 агрегата.

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 составляет от 3 до 20 МВт·ч/т при производстве 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 высока. К значительному ухудшению показателей производства также приводит снижение качества рудной базы материалов и восстановителей. В этих условиях повышение эффективности производства ферросплавов путём разработки и совершенствования энерготехнологических параметров выплавки в электропечах является актуальной задачей в научной и хозяйственной сфере.

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

выявить наиболее существенные закономерности для улучшения энерготехнологических показателей работы ферросплавных электропечей.

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 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 их энерготехнологических параметров, из-за того, что повышение мощности печей 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 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 частично используют углеродистые восстановители с повышенным удельным электросопротивлением при этом наибольший эффект составляет 5–10 %.

Поэтому диссертантом предложена новая технология выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком (электрод–подина) для значительного повышения в 2,5 раза сопротивления ванны и напряжения для 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 и мощности, 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 печи 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 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 получения стандартного сплава. В результате 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, 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 улучшения энерготехнологических параметров процесса выплавки.

Разработана, опробована в полупромышленных условиях новая концепция выплавки ферросилиция с увеличенными подэлектродным промежутком и распадом электродов. 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 %. 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 не только на удельный расход электроэнергии, а также на снижение себестоимости получаемого сплава и на увеличение удельной производительности печи на 1 МВ·А установленной мощности трансформатора для выплавки ферросилиция (бесшлаковый процесс) и углеродистого феррохрома (шлаковый процесс).

Материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2,6.2 (05.16.02) – металлургия черных, цветных и редких металлов: п. 11 – Пиromеталлургические процессы и агрегаты; п. 12 – Электromеталлургические 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 «Сталь», «Металлург», Бюллетень НТИ «Чёрная металлургия», «Электromеталлургия» и других, которые вхо-

дят в перечень ВАК Минобрнауки РФ, 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.

Заведующий лабораторией ферросплавов
и техногенного сырья (МТ-1),
кандидат технических наук,
специальность 05.16.02,
старший научный сотрудник

Ермолов Виктор
Михайлович

Государственный научный центр Федеральное государственное
унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский
институт черной металлургии им. И.П. Бардина»
(ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»)).
Адрес: 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2.
Сайт: <https://chermet.net/>
Электронная почта: ermolovaolga@mail.ru
Тел.: +7(495)777-93-69, +7 (916)659-74-35.

Подпись заверяю:
Начальник управления кадрами
ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина



Потапова Виктория
Леонидовна

30.08.2021