

## 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**

Основной 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 принципов «бережливого» производства.

Получение ферросплавов в электропечах относится к разряду материалоёмких и энергоёмких производств, так как осуществляется восстановление ведущего элемента сплава из оксидов рудных материалов углеродотермический процессом. Удельный расход электроэнергии в 7–20 раз больше, чем при выплавке 1 т стали в дуговой печи (от 3 до 20 МВт·ч/т ферросплавов и кремния). Доля затрат на электроэнергию в структуре себестоимости ферросплавов достаточно высока и составляет до 30–50 % и более. 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 научном и хозяйственном плане.

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 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. Такая комплексная величина достаточно 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.

Проанализировано, что с ростом мощности ферросплавных печей происходит ухудшение их энерготехнологических параметров, вследствие того, что повышение мощности печей 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 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 ранее многими исследователями были разработаны технологии и различные композиции смесей углеродистых восстановителей из различных видов полукоксов, бурых и газовых углей, нефтекоксов, антрацита, древесных восстановителей-разрыхлителей, шунгита, и других, что было проанализировано в работе. Отмечено, что использование углеродистых восстановителей с повышенным удельным электросопротивлением для выплавки ферросплавов приводит к наибольшему эффекту повышения сопротивления ванны на уровне 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.

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 из-за лучшего токораспределения в ванне. По сравнению с базовым вариантом 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 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 %. Энерготехнологический критерий печи увеличился на 29,8 % по сравнению с базовым вариантом и традиционным распадом электродов.

С позиции мероприятий, направленных на повышение энерготехнологического критерия ферросплавной печи, показано положительное влияние энерготехнологического критерия 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 трансформаторов для выплавки ферросилиция (бесшлаковый процесс) и углеродистого феррохрома (шлаковый процесс).

В качестве замечаний можно отметить:

1. В первом тезисе научной новизны обозначено: «На основе теоретических положений и практических исследований получена новая информация о процессе выплавки ферросплавов в электропечах». Однако автор не расшифровывает, о чем конкретно идет речь.
2. В тексте автореферата идет ссылка на проведение исследования на электролитических моделях (стр.14). Однако автор не поясняет какие конкретно исследования проводились, методику их выполнения, конкретные результаты этих исследований.
3. В представленных материалах уделено недостаточное внимание влиянию энергетических параметров и разработанного энерготехнологического критерия на физико-химические закономерности. В большинстве случаев представлены результаты только статистической обработки различных материалов.

Указанные замечания не снижают общее положительное впечатление от проведенной работы. 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 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.

Заместитель директора  
по научной работе,  
доктор технических наук,  
специальность 05.16.02



Косырев Константин Львович

5.10.2021 г.

Государственный научный центр Российской Федерации  
Акционерное общество Научно-производственное объединение  
"Центральный научно-исследовательский институт технологии  
машиностроения" (ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)  
Адрес: 109088, Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4.  
Сайт: <https://cniitmash.com/>  
Электронная почта: [cniitmash@cniitmash.com](mailto:cniitmash@cniitmash.com)  
Тел.: +7 (495) 675-83-02.