

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шкирмонтова Александра Прокопьевича «**Развитие теоретических основ совершенствования энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом с целью повышения показателей работы электропечей**», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность работы. Ферросплавы массового потребления производят в электродуговых восстановительных печах, мощности которых лежат в очень широком диапазоне от 10 до 81 МВА. В последние годы существует устойчивая тенденция к значительному снижению технико-экономических показателей производства, в основном обусловленная снижением качества рудных материалов и углеродистых восстановителей. Ввод в эксплуатацию печей с повышенной установленной мощностью трансформаторов (60-80 МВА) сопряжен с существенными трудностями в управлении технологическими процессами и также сопровождается снижением их показателей. Вместе с этим возрастают и затраты на электроэнергию, что в условиях постоянно увеличивающейся ее цены приводит к росту себестоимости продукции.

Подаваемая в печь электрическая мощность преобразуется в тепло непосредственно в ее рабочем пространстве, которое служит полезной электрической нагрузкой и включает в себя электрические сопротивления дуги, шихты, металлического и шлакового расплавов. Поэтому шихтовый, электродный и электрический режимы печи тесно связаны между собой и оказывают непосредственное влияние друг на друга.

В этих условиях приоритетным направлением в решении задач интенсификации и повышении эффективности производства ферросплавов является развитие научных основ и совершенствование методов анализа технологического процесса в электропечах. То есть, **актуальность представленной диссертационной работы**, направленной на поиск закономерностей в изменении энерготехнологических параметров печей и критериев оценки их рациональности, **сомнений не вызывает.**

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что:

1. На основании обзора и статистического анализа данных о работе ферросплавных печей практически всех существовавших в Советском Союзе заводов получена новая информация о карботермическом процессе выплавки ферросплавов. Комплексный подход к оценке влияния технологических, электроэнергетических и теплотехнических параметров процесса на технико-экономические показатели печей позволил выявить закономерности их изменения и возможности повышения эффективности работы ферросплавных электропечей.

2. Впервые введено понятие «**Энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи**» – безразмерная величина, определяемая на основе комплекса технологических, электрических, теплотехнических параметров выплавки ферросплавов, характеризующая эффективность работы электропечи и используемая для совершенствования технологии выплавки и конструкции печных агрегатов.

3. Впервые получена зависимость изменения энерготехнологического критерия от увеличения мощности печных трансформаторов при выплавке ферросплавов шлаковым и бесшлаковым карботермическими процессами.

4. На основе энерготехнологического критерия разработана новая методика сравнительной оценки эффективности выплавки ферросплавов в печах различных конструкций и технологий. В результате анализа составляющих величин энерготехнологического критерия был разработан универсальный метод оценки технических решений для различных технологий выплавки ферросплавов в печах переменного и постоянного тока, в печах с пониженной частотой тока, в печах с открытой и закрытой дугой, а также в плазменных печах.

Практическая значимость работы заключается в использовании выведенного и обоснованного автором энерготехнологического критерия для выявления энергетических и конструкционных факторов, способствующих повышению технико-экономических показателей и разработке новых технологических схем и конструктивных особенностей ферросплавных печей.

1. Проведено сопоставление энерготехнологического критерия и удельного расхода электроэнергии для печей мощностью от 16,5 до 81 МВ·А. Показано, что снижению удельного расхода электроэнергии соответствует рост этого критерия.

2. На Аксуском заводе ферросплавов на примере 45 %-ного ферросилиция разработана и опробована в опытных крупномасштабных электропечах новая концепция выплавки ферросплавов с увеличенными подэлектродным промежутком и распадом электродов. На основании результатов полупромышленных испытаний и рекомендаций в дальнейшем на 8-ми печах РКЗ-16,5/22,5 и на 4-х печах РКЗ-81 был увеличен диаметр распада электродов.

3. Энерготехнологический критерий может выступать в качестве оценки эффективности работы ферросплавных печей для выявления наиболее перспективных и эффективных технологических решений, в частности,

- в случае применения новых видов рудного сырья и вовлечения в производство различных углеродистых восстановителей;

- при проведении комплексного энерготехнологического аудита эффективности работы промышленных электропечей;

- при разработке новых печных агрегатов и технологий.

4. На основании энергоаудита двух печей мощностью 29 МВА завода «Кузнецкие ферросплавы» при выплавке 75 %-ного ферросилиция была применена методика оценки работы и эффективности электропечей с использованием энерготехнологического критерия ферросплавной печи. Отмечено, что применение на одной из печей увеличенного диаметра распада электродов 3,4 м, вместо 3 м, позволило снизить удельный расход электроэнергии на 6,8 %.

Новизна технических решений, имеющих практическое значение, подтверждена патентами и авторскими свидетельствами на изобретения.

Достоверность теоретических положений диссертации подтверждается результатами экспериментальных исследований, анализом большого количества данных выплавки ферросплавов, а также результатами разработанных технологических схем выплавки ферросплавов в опытных и промышленных электропечах.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, библиографического списка и приложений. Материал работы изложен на 302 страницах машинописного текста, содержит 36 рисунков и 32 таблицы, библиографический список включает 228 источников.

Содержание диссертации достаточно полно отражено в тексте автореферата.

В главе 1 диссертантом приведен обзор основных проблем, возникающих при производстве ферросплавов в электропечах. Обозначены тенденции к снижению технико-экономических показателей печей и их причины. На основе отечественного и зарубежного опыта дан анализ существующих способов повышения показателей выплавки ферросплавов массового применения.

Показано, что наряду со снижением качества рудного сырья и восстановителей увеличение установленной мощности трансформаторов печей приводит к существенному снижению показателей плавки. Основной причиной, по мнению автора, служит значительное снижение активного сопротивления ванны печи за счет опережающего роста силы тока в электродах по сравнению с ростом напряжения. Дан анализ технических решений по совершенствованию конструкций печных агрегатов.

В главе 2 рассмотрены причины снижения показателей ферросплавных печей при увеличении установленной мощности трансформаторов. Отмечено, что стоимость установок продольно-емкостной компенсации резко возрастает с ростом реактивной мощности и снижением естественного коэффициента мощности печи, вызванных увеличением размеров плавильных агрегатов. Сделан вывод о необходимости применения для анализа качества работы печи комплексного параметра, сочетающего в себе энергетические, тепловые и технологические характеристики.

Глава 3 посвящена обоснованию и анализу результатов практического применения полученного критерия. Энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи включает в качестве составляющих величин извлечение ведущего элемента в сплав, электрический и тепловой КПД печи, коэффициент мощности и коэффициент загрузки трансформатора. Достаточно подробно представлена процедура выбора составляющих критерия из отдельных групп и комплексов технологических параметров. Проведена оценка веса каждого из сомножителей в величине энерготехнологического критерия.

В главе 4 приведено подробное описание отдельных составляющих энерготехнологического критерия. Рассмотрены главные факторы, влияющие на извле-

чение ведущих элементов в сплав при выплавке ферросплавов шлаковым и бесшлаковым способами. Приведена зависимость энерготехнологического критерия от величины теплового КПД печи. Отмечено, что доля его влияния на энерготехнологический критерий значительно выше вклада остальных сомножителей.

В главе 5 на примере выплавки ферросилиция и углеродистых феррохрома и ферромарганца рассмотрено влияние показателей процесса, технологических и электрических параметров на энерготехнологический критерий. На примере зависимости энерготехнологического критерия от установленной мощности печных трансформаторов при выплавке ферросилиция показано отрицательное влияние избыточной мощности на показатели процесса.

Отмечено, что высоким технико-экономическим показателям работы печей соответствуют и более высокие значения энерготехнологического критерия и что данный критерий можно применять в качестве основного элемента энергетического и технологического аудита электропечей для определения параметров эффективных режимов их эксплуатации.

Глава 6 посвящена исследованиям влияния подэлектродного промежутка и распада электродов на эффективность работы ферросплавной печи. В целях значительного увеличения активного сопротивления ванны печи автором предложено существенно увеличить расстояние «электрод-подина» и распад электродов. Приведено теоретическое обоснование этого предложения. Для оценки эффективности нового технического решения была проведена серия плавов ферросилиция ФС-45 на крупномасштабных опытных печах. Исследования показали значительный рост коэффициента мощности, электрического и теплового КПД и энерготехнологического критерия в целом. В результате более чем вдвое выросло активное сопротивление ванны, возросла производительность печи, был снижен удельный расход электроэнергии. Аналогичные результаты получены в полупромышленных условиях Аксуского завода ферросплавов.

В главе 7 рассмотрены технические решения производственных задач повышения эффективности технологического процесса. Приведены их оценка по энерготехнологическому критерию и практические рекомендации. Описана новая методика сравнительной оценки эффективности выплавки ферросплавов в печах различных конструкций и технологий, основанная на анализе энерготех-

нологического критерия. Методика была применена для различных технологий выплавки ферросплавов, а именно: в печах переменного тока промышленной частоты, в печах с пониженной частотой, в печах постоянного тока (с открытой и закрытой дугой), а также в плазменных печах.

Заключение по диссертации содержит перечень основных научных положений и изложение достигнутых практических результатов.

Результаты работы достаточно полно обсуждены на Международных, Всероссийских и региональных конференциях и семинарах.

По теме диссертации опубликована монография «Энерготехнологические параметры выплавки ферросплавов в электропечах» – М.: МИСиС.– 2018.– 216 с.

В целом по теме диссертации опубликовано 77 научных работ, в том числе в журналах Перечня ВАК – 28, авторских свидетельств – 4. Опубликовано 9 работ в переводных периодических изданиях «Steel in Translation» – 3 и «Metallurgist» – 6 (системы Scopus).

Следует особо отметить громадный объем данных и обработанной информации о параметрах и технологических режимах ферросплавных печей. Новое направление в исследованиях эффективности работы электропечей, предложенное и обоснованное в диссертации, имеет широкие перспективы и требует дальнейшего развития в плане детализации и адаптации энерготехнологического критерия к различным способам ведения процесса.

Материал 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.

Однако по тексту диссертации есть несколько замечаний.

1. Очень большое количество лишних запятых. Много предложений, составленных неаккуратно и даже неряшливо. Вероятно, это результат многочисленных редакций и переписываний работы. Примеры (оба на стр.110): «Другим источником поступления кремния в сплав – это углеродистые восстановители и самобжигающиеся электроды, в виде золы, которая образуется в процессе вы-

плавки» или «Для нормального хода печи, температура отходящих газов около 500 – 700 °С».

2. В структуре энерготехнологического критерия электрический КПД и коэффициент мощности сами по себе несут не много полезной информации. Их высокие значения далеко не всегда являются признаком повышенного значения сопротивления ванны. Чаще всего, это результат высокой посадки электрода, а, следовательно, и пониженного значения теплового КПД. Коэффициент использования мощности трансформатора в обособленном виде также выглядит как малозначительный параметр. Только в комплексе эти три параметра, представляя собой величину отношения полезной мощности к полной мощности трансформатора, отражают эффективность процесса и электрического режима.

С другой стороны, 4 из пяти сомножителей критерия неявно зависят от геометрических характеристик ванны и агрегата, но автор удалил геометрический критерий из комплекса параметров, тем самым лишив энерготехнологический критерий его связи с важнейшей энергетической характеристикой – плотностью потока энергии через систему.

3. Необоснованно часто автор употребляет характеристику «оптимальный» по отношению к параметрам и режимам, которые даже не удовлетворяют требованиям рациональности. Например, (стр.151): «К основным факторам **нежелательного** увеличения удельного расхода электроэнергии относится: ... **не очень оптимальный** электрический режим и положение рабочего конца электрода...». Следует напомнить, что «оптимальный» – это наилучший. Что же тогда означает «не очень оптимальный»?

4. В производящих ферросплавы печах одним из основных тепловыделяющих элементов служит электрическая дуга, степень развития которой во многом определяет эффективность технологического процесса. Вместе с тем, ее параметры не нашли отражения в энерготехнологическом критерии. Более того, в диссертации нет ни одного упоминания об электрической дуге и ее особых свойствах.

5. Технологический аспект работы выглядит слабее электрического. Вероятно, поэтому в энерготехнологическом критерии отсутствует сомножитель, позволяющий четко разграничить процессы шлаковых и бесшлаковых технологий.

Применяемый в работе математический аппарат ограничен лишь регрессионным анализом. Для более глубокого описания взаимосвязи технологических и энергетических характеристик следовало бы использовать методы теории случайных процессов.

Сделанные замечания не меняют общего положительного мнения о рецензируемой работе. Автореферат диссертации отражает её содержание.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

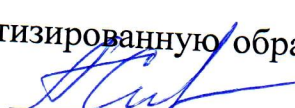
На основании рассмотренных материалов автореферата диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, позволившее разработать технические решения для совершенствования энерготехнологических параметров и универсальный метод оценки для различных технологий выплавки ферросплавов в электродуговых печах и имеющее достаточный уровень научной новизны и практической значимости. Считаю, что диссертационная работа **Шкирмонта 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.

Официальный оппонент

620016, г. Екатеринбург,
ул. Амундсена, 101.
Тел.: (343) 232-90-28.
E-mail: aws2004@mail.ru

Сивцов Андрей Владиславович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии Уральского отделения РАН.


19.10.2021

Я, Сивцов Андрей Владиславович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе 

Подпись А.В. Сивцова заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ УрО РАН, к.х.н.
А. В. Долматов



19.10.2021