

Ю.В. Поплавский⁽¹⁾, ст. научн. сотрудник

И.Г. Парфенюк⁽¹⁾, ст. научн. сотрудник

Г.А. Колобов⁽²⁾, профессор, к.т.н.

В.Г. Лысенко⁽¹⁾, ст. научн. сотрудник

В.В. Криворучко⁽¹⁾, мл. научн. сотрудник

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ ТИТАНОВЫХ ШЛАКОВ

⁽¹⁾Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана, г. Запорожье,
⁽²⁾Запорожская государственная инженерная академия

Досліджено вплив змінювання напруги трансформатора на головні техніко-економічні показники роботи промислової руднотермічної печі потужністю 5 МВА.

Исследовано влияние изменения напряжения трансформатора на основные технико-экономические показатели работы промышленной руднотермической печи мощностью 5 МВА.

Введение. Для обогащения титаносодержащих концентратов в промышленном масштабе используется восстановительная руднотермическая электроплавка, в результате которой большая часть оксидов железа восстанавливается до металла, а оксиды титана и часть примесных элементов переходят в шлак.

В настоящее время в странах СНГ выплавку титановых шлаков производят в укрытых сводом руднотермических печах периодическим способом, то есть путем проплавления всей загруженной в печь порошковой шихты с последующим выпуском продуктов плавки. Преимущество периодического процесса плавки – возможность получения титановых шлаков с низким содержанием FeO . Процесс восстановительной плавки проводят в два этапа. Первый этап заключается в полном проплавлении шихтовых материалов и параллельном их восстановлении, что позволяет снизить содержание оксида железа в шлаке до 10...12%. В этом случае используется восстановитель, шихтуемый к концентрату в начале плавки. Второй этап осуществляют, производя загрузку восстановителя на поверхность жидкого шлака с доведением содержания FeO до требуемой величины.

Анализ проблемы. Одним из важнейших свойств титановых шлаков, в значительной степени определяющим ход восстановительной плавки, является изменение электрической проводимости в течение всего технологического процесса.

Электрическая проводимость титановых шлаков характеризует положение электродов относительно расплава и длину электрической дуги. Как железотитановые концентраты, так и титановые шлаки в расплавленном состоянии имеют высокую электрическую проводимость. Например, электрическая проводимость железотитанового концентрата Малышевского месторождения при температуре плавления 1500 °С составляет 20...25 Ом⁻¹·см⁻¹, а при температуре 1800 °С достигает величины равной 59,2 Ом⁻¹·см⁻¹, хотя в начале плавки электропроводность холодной шихты не превышает 1·10⁻⁸...1·10⁻⁹ Ом⁻¹·см⁻¹. Это обусловлено значительной электрической проводимостью основных составляющих концентрата – TiO_2 (в восстановительной среде) и FeO (в расплавленном состоянии) [1].

По мере протекания восстановительного процесса в ванне печи состав расплава изменяется по содержанию FeO , TiO_2 и низшим оксидам титана, при этом происходит

изменение его электрической проводимости. Общей закономерностью для всех титановых шлаков, взятых в различные периоды плавки, является увеличение электрической проводимости с повышением его температуры и уменьшением концентрации FeO в шлаке.

В конце плавки шлаки имеют электрическую проводимость $250 \dots 180 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Такое значительное повышение объясняется увеличением концентрации диоксида титана, который, однако, в инертной среде обладает небольшой электрической проводимостью. В присутствии углерода в расплаве диоксид титана теряет часть атомов кислорода (титан в шлаке в значительной степени представлен низшими оксидами), это увеличивает число свободных электронов, что и обуславливает низкое электрическое сопротивление.

Изменение электропроводности шихты в процессе плавки определяет смешанный характер превращения электрической энергии в тепловую: как за счет проводимости шихты (в начале плавки), так и за счет электрической дуги на концах электродов (после расплавления шихты).

Такое значительное изменение электропроводности материалов в процессе переработки не характерно для большинства электрометаллургических процессов. По электрическому режиму процесс получения титановых шлаков в руднотермических печах (РТП) в начале процесса ближе к руднотермической плавке ферросплавов, различных руд или концентратов цветных металлов, а всю остальную часть плавки – ближе к выплавке стали в дуговых печах. К примеру, уже после первого часа работы печи 86,6% мощности выделяется в дугах, а в период доводки эта величина достигает 97% [2,3].

Исходя из вышесказанного, логично предположить, что, по аналогии с процессами получения стали, более эффективную работу РТП по производству титановых шлаков обеспечит работа на повышенных напряжениях.

Постановка задачи. Цель данного исследования – определить влияние изменения напряжения на основные технико-экономические показатели работы промышленной руднотермической печи мощностью 5 МВА.

Основная часть исследования. На первом этапе изучали влияние повышенного напряжения трансформатора на показатели работы печи № 1, а на втором – пониженного напряжения трансформатора на показатели работы печи № 2 [4].

Работы, относящиеся к первому этапу, были проведены ранее и представлены двумя сериями плавки на открытой печи № 1: на отработанном режиме при напряжении 133,5 В и средней силе тока 17100 А и на экспериментальном режиме с повышением напряжения до 212 В при средней силе тока 11900 А. Средняя загрузка шихты для обеих серий плавки составила 12,5 т, среднее количество шлака, полученного в результате плавки, – 7,9 т (при среднем содержании TiO_2 – 88,4%, FeO – 3,5%).

Второй этап исследований представлен двумя сериями плавки на печи № 2, укрытой сводом: на отработанном режиме при напряжении 133 В и средней силе тока 20300 А и на экспериментальном режиме, который предусматривал работу в течение первого часа на напряжении 121,5 В при средней силе тока 25660 А, а последующую работу, вплоть до выпуска – на напряжении 133 В при средней силе тока 20300 А.

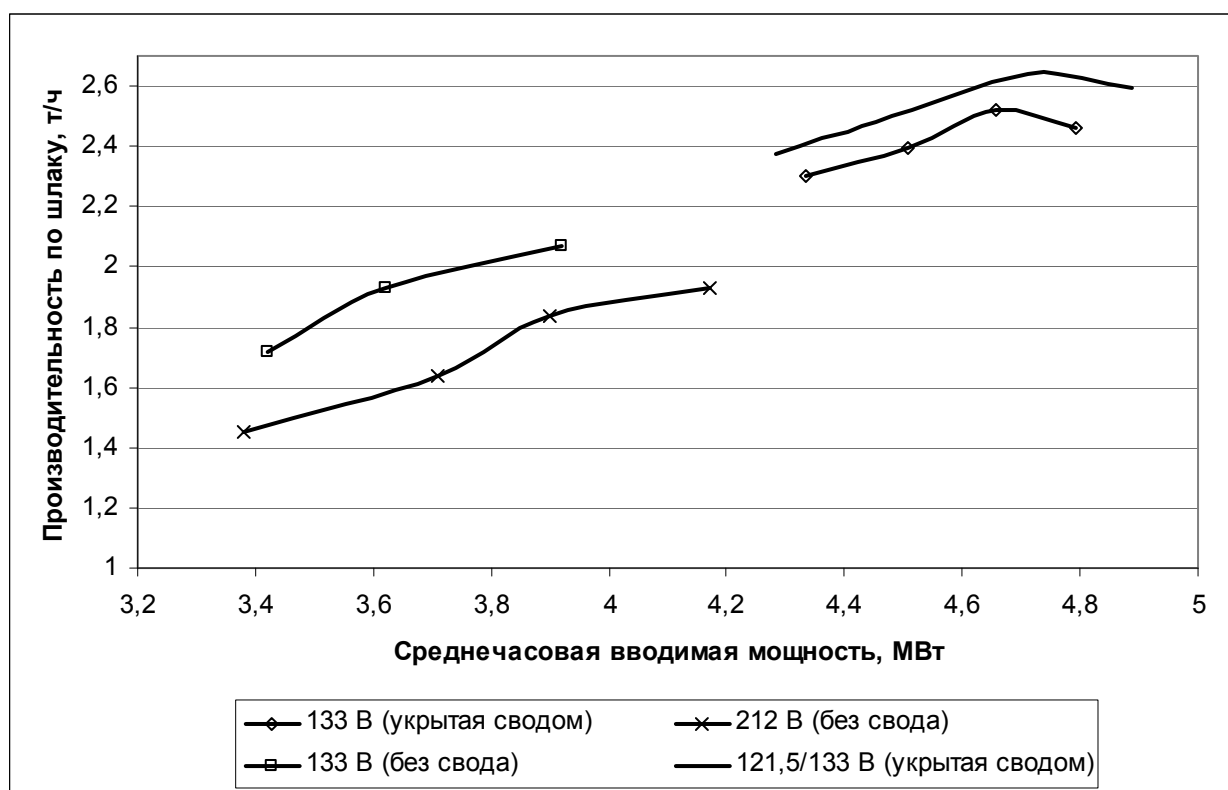


Рисунок 1 – Зависимость производительности печи по шлаку от среднечасовой вводимой мощности

На этом этапе средняя загрузка шихты составила для отработанного режима 19,0 т, для экспериментального – 19,4 т. Среднее количество шлака, полученного в результате плавок, составило для отработанного режима 14 т (при среднем содержании TiO_2 – 83,1%, FeO – 8,0%), для экспериментального – 13,18 т (при среднем содержании TiO_2 – 86,4%, FeO – 6,0%). Поскольку химические составы полученных титановых шлаков отличаются, то для сравнения полученных результатов количество полученного шлака по всем вариантам приводили к стандартному, содержащему 80% TiO_2 .

Следует отметить, что балансовые плавки на открытой печи относятся к периоду освоения процесса получения титанового шлака в РТП, а плавки на печи, укрытой сводом, – к более позднему времени, когда накопленный опыт позволил более эффективно осуществлять данный процесс. В результате, средняя масса загрузки шихтовых материалов на открытой печи составила 12,5 т, а на укрытой сводом – 19,2 т. Такое значительное увеличение (53,6%) количества шихты, перерабатываемой за одну плавку, объясняется более полным использованием мощности печного трансформатора.

Результаты зависимости производительности по шлаку от вводимой мощности представлены на рис. 1. Как видно из приведенных графиков, для всех случаев характерно увеличение производительности при увеличении вводимой мощности. При одинаковой величине вводимой мощности производительность по шлаку на напряжении 212 В в среднем на 10% меньше, чем на напряжении 133,5 В (на открытой печи). Производительность печи, укрытой сводом, в комбинированном режиме с напряжениями 121,5 / 133 В выше на 4%, чем на напряжении 133 В.

Перегиб кривой в районе 4,7 МВт свидетельствует о достижении предельной вводимой мощности для данной печи, которая соответствует максимальной производительности по шлаку. Повидимому, это можно объяснить тем, что увеличение активной мощности более 4,7 МВт приводит к перегреву шихтовых материалов, что вы-

зывает более быстрое их расплавление и, следовательно, сокращение периода твердофазного восстановления оксидов железа и увеличение продолжительности восстановительных процессов, протекающих в расплаве. Подобное перераспределение восстановительных процессов приводит к увеличению общей продолжительности плавки, а, следовательно, – к снижению производительности печи.

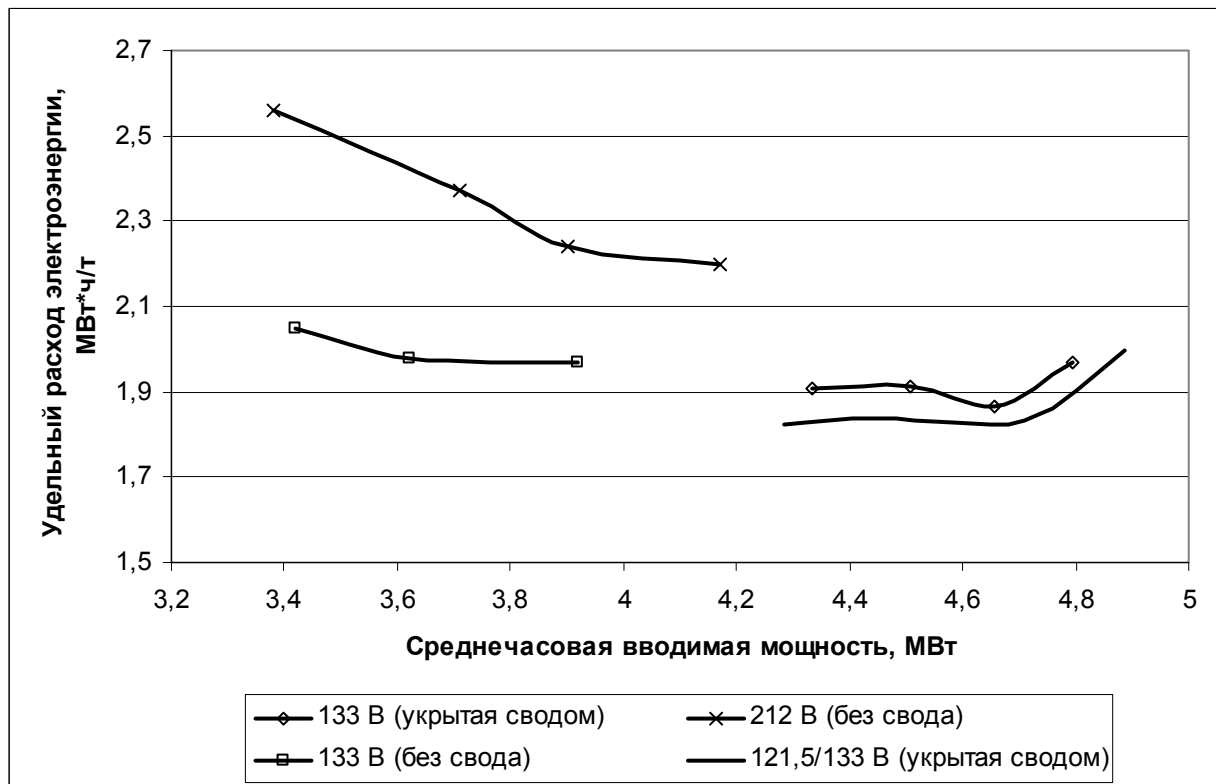


Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от среднечасовой вводимой мощности

Вторым основным показателем эффективности плавки является удельный расход электроэнергии. Из графиков, приведенных на рис. 2, видно, что при увеличении снимаемой мощности удельный расход электроэнергии во всех случаях снижается. Сравнивая удельный расход электроэнергии на отработанном режиме и режиме с повышенным напряжением можно видеть, что работа открытой печи на напряжении 212 В приводит к увеличению этого показателя в среднем на 17%. Работа печи, укрытой сводом, в комбинированном режиме на напряжениях 121,5 / 133 В характеризуется снижением удельного расхода электроэнергии на 2,5%, по сравнению с отработанным режимом. Снижение, а после достижения величины вводимой мощности в 4,7 МВА увеличение удельного расхода электроэнергии для обоих графиков также характеризует эту активную мощность как оптимальную для данной печи.

Снижение удельных показателей плавки при напряжении 212 В на открытой печи, по сравнению с напряжением 133,5 В, объясняется увеличением тепловых потерь через колошник печи, поскольку длина дуг на этом напряжении значительно увеличилась. Для этой серии плавки характерен очень неустойчивый ход, с большими колебаниями по току, что объясняется быстрым переходом работы печи на дуговой режим. Плавки на напряжениях 133,5 В и 133 В характеризовались относительно устойчивым ходом, а плавки в комбинированном режиме с напряжениями 121,5 и 133 В проходили ровно, без значительных колебаний по току.

Как следует из графиков, приведенных на рис. 1 и 2, при плавках на отработанных режимах с напряжениями 133,5 и 133 В установка свода, увеличение загрузки и среднечасовой вводимой мощности печи привело к снижению удельного расхода электроэнергии в среднем на 4,3% и увеличению производительности печи в среднем на 27%. Однако дополнительное увеличение загрузки и вводимой мощности не приведет к ожидаемому увеличению удельных показателей работы, поскольку эти величины приближаются к предельным для данной печи.

Для повышения эффективности работы печи, укрытой сводом, был предложен режим работы с первоначальной работой на ступени с меньшим напряжением и дальнейшей работой на отработанном режиме. Ведение всей плавки на напряжении 121,5 В не эффективно, поскольку на этой ступени мощность трансформатора на 10% меньше мощности, соответствующей напряжению 133 В. Работа в начальный период с напряжением 121,5 В с более глубокой посадкой электродов позволила выйти на дуговой режим несколько позже, при этом шихта успевала лучше прогреться и образовались более глубокие колодцы с большим объемом расплава. За счет этого снизилось кипение шлака, и улучшился ход плавки.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Работа открытой печи на напряжении 212 В нестабильна, имеют место большие колебания по току. За счет увеличения длины дуг возрастают тепловые потери через открытый колошник, что снижает основные удельные показатели плавки.

2. Установка свода, увеличение загрузки и среднечасовой вводимой мощности печи, работающей на напряжении 133 В, приводит к снижению удельного расхода электроэнергии в среднем на 4,3% и увеличению производительности печи в среднем на 27%.

3. Работа печи в комбинированном режиме (первый час – на напряжении 121,5 В, далее – на 133 В) позволяет повысить ее производительность в среднем на 4,1% и снизить удельный расход электроэнергии в среднем на 2,5%, по сравнению с обычной плавкой на напряжении 133 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Резниченко В. А.* Металлургия титана / В. А. Резниченко, М. Б. Рапопорт, В. А. Ткаченко. – М.: АН СССР, 1963. – 200 с.
2. *Денисов С. И.* Электротермия титановых шлаков / С. И. Денисов. – М.: Металлургия, 1970. – 166 с.
3. *Спахи Е. О.* Об электрическом режиме выплавки титановых шлаков / Е. О. Спахи, Т. А. Тихонова, В. М. Печенникова // Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості: матеріали XIV наук.-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, 13-17 квіт. 2009 р.: тези доп. – Запоріжжя, 2009. – Ч.1. – С. 82.
4. *Колобов Г. А.* Влияние электрических параметров на процесс выплавки титановых шлаков в руднотермических печах / Г. А. Колобов, Т. П. Гурьянова, В. В. Криво-ручко // Там же. – С 80.

Стаття надійшла до редакції 02.07.2009 р.
Рецензент – проф. М.Ю. Пазюк