

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/AFHU6838>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BPYS9636>

***М. М. Дундуков¹, Н. А. Дубинец²,
В. П. Марковский³, Б. Т. Абдрахманов⁴, А. У. Габдулов⁵**
^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСПЛАВОВ

Регулирование и поддержание температурного и электродугового режима работы в рудотермических печах происходит с помощью увеличения или уменьшения напряжения на печи с помощью ступеней печного трансформатора. При дугowych разрядах средней и высокой мощности до 30 % энергии передается нагреваемому металлу плазмогазовыми струями, при этом необходимо учитывать быстро изменяющиеся граничные условия и свойства среды. Использование водоохлаждаемых элементов футеровки стен и свода влияет и на распределение температуры в печи и характер плавления шихты в различные периоды плавки, что приводит при фиксированной мощности к увеличению длительности расплавления на 15–20 % и повышению удельного расхода электрической энергии. Показано, что существующие рудно-термические печи имеют существенные тепловые потери. Определено, что тепловые потери являются следствием перерасхода электрической энергии. Представлено использование зеркального отражателя свода печи для уменьшения тепловых потерь при производстве ферросплавов. Исследованы параметры, отражающих экранов, снижающих тепловые потери рудно-термической печи. Приведены формулы расчета тепловых потерь. Показано, что при использовании теплового экрана уменьшаются тепловые потери и, соответственно, уменьшаются электрические потери.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, тепловые потери печи, электрические режимы печи, теплоотражающий экран, рудно-термические печи.

Введение

Ферросплавные рудно-термические печи, применяющие электрическую энергию в качестве средства для получения тепловой энергии, имеют значительные теплотехнические, технологические, и конструктивные преимущества. Большое распространение получили рудно-термические печи, работающие в режимах термическом, дуговом или одновременно дуговом и термическом, в зависимости от технологических требования для выплавки конкретного вида ферросплавов. Большая мощность и высокая температура электрической дуги позволяет быстро нагревать и плавить металл, температура металла, может быть выше и ниже благодаря нескольким видам регулировки, в зависимости от технологических требований, для получения определенных видов ферросплавов. Для каждого технологического процесса ферросплавной печи, существует оптимальный тепловой и электрический режим, то есть определенное соотношение между основными электрическими характеристиками печи, и температурным режимом. Определение оптимального режима работы каждой печи для конкретного вида ферросплавов, является важнейшей задачей технологической службы производственного персонала.

Существующие рудно-термические печи имеют существенные тепловые потери, снижающие коэффициент полезного действия печи, что ведет к большому расходу электроэнергии. Исследованию по перенаправлению тепловых потоков для снижения тепловых потерь посвящена данная статья.

Материалы и методы

Краткая характеристика работы рудно-термической печи

Производство ферросплавов осуществляется на мощных рудно-термических печах. В зависимости от характера технологических процессов существуют большое число различных видов электрических печей по мощности конструкции, по роду применяемого электрического тока и числа и расположение плавильных электродов [1]. Процесс выплавки ферросплавов сопровождается интенсивным выделением в атмосферу тепла, пыли и газов. Для сокращения потерь и улучшения условий труда в ферросплавных цехах предусмотрено большое количество устройств, защищающих рабочих от воздействия высокой температуры, теплоты излучения, пыли и газов. Тепловые потери при выплавке в электропечи:

- удельное тепловыделение, кДж/м³с – (0,23);
- температура воздуха из колошниковой площадки, 0С – (43–45);
- интенсивность излучения около печи, кДж/ м³с – (7–12,6).

К тепловым потерям относят потери кожухом печи с охлаждением конструкцией водой тепло охлаждающей воды отходящими газами, рассчитанным по объемным температурам, объемам, площадям, относят

полностью на потери активной энергии, которые составляют 38,2 % и 21,2 к мощности печной установки. [2] При типовых электрических режимах на печах активные электрические потери составляют примерно 10 % [3], и не могут оставшиеся потери РКЗ-63 почти втрое превышать потери РКЗ-75. И в тоже время баланс потери тепла через кожух составляли, соответственно, по печам обратную картину – 1,4 и 3,95 МВт.

Тепловые потери при производстве ферросплавов

Тепловые потери печи, составляют потери излучением и конвекцией: поверхности колошника; от нижнего конца поверхности электродов по высоте посадки П от токовых щек до шихты Рэ.и; боковой поверхности кожуха под слоем твердой шихты; по высоте жидко-твердой фазы плюс толщина подины; поверхности днища кожуха.

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{кон}} + P_{\text{верх}} + P_{\text{низ}} + P_{\text{дн}} \quad (1)$$

Баланс рудно-термических печей подтверждается следующими рассуждениями. Результаты выплавки будут продукты: металл и шлак с температурой термодинамического равновесия и газопылевые выбросы с определенной (средней температуры первичного осуществления синтеза СО до) температурой процесса. Снижение их энтальпии или температуры невозможно, так как иначе изменится окислительно-восстановительный процесс, или вообще остановится процесс. В исследованиях Аксуского завода ферросплавов (АЗФ) работы печей РКЗ–63 и РКЗ–25 применялись прямые измерения напряжений и токов в элементах окружающей конструкции и их тепловые нагрузки также относили на потери активной энергии [3]. При измерениях на печи РКЗ–25 электромагнитные потери составляли в кВт: в короткой сети и контактных щек – 2147, кольцах электрододержателей – 1214, экранах токопроводов – 1385, зонте, труботечках, бранах и др. – 2344, кожухом ванны – 1047. И в общей сложности 8227 кВт, или 39 % активной мощности. При этом остался неучтенным еще ряд электромагнитных потерь. Электрические потери активной энергии достигали 3720 кВт, при измеренных только 2147 кВт. Охлаждающая вода короткой сети нагревается в основном за счет скин-эффекта в токопроводе от трансформатора до токовых щек включительно, эти потери находятся вне устройства печи, поэтому не участвуют в наших расчетах потерь. В окружающей короткую сеть и ванну с плавильными электродами конструкциях (зонд, сводовые и зонтовые секции, их подвесам, загрузочные воронки, труботечки, экранный патрубок, газоотвод на газочистку, взрывозащитные клапана и т.п.) как водоохлаждаемых, так и без охлаждения выделяется электромагнитная энергия в результате вихревых токов наводки, перематывания токов утечки при недостаточной чистоте

изоляция и так далее, также не участвуют в расчете. Частично конструкции нагревается теплоизлучением колошника и теплом печных газов, а также продуктами их сгорания. Даже если вода в конструкциях не нагревалась бы вообще, то экономия энергии на продукт выплавки металла не произошло бы. Энтальпия воды лишь косвенно отражает тепловые потери излучением колошника и электродов, а так же рассеянные в окружающее пространство электромагнитные потоки.

Использование отражающего теплового экрана свода печи

Энтальпия продуктов плавки – не потеря тепла и не предмет экономии энергии, а в противовес мнению [4], что «более 20 % энергии приходится на тепловые потери с металлом, шлаком и охлаждающей водой», необходимые затраты тепловой энергии на эффективный процесс выплавки металла. Применение теплового экрана из нержавеющей стали между сводом печи и печью позволяет сократить тепловые потери на излучение от расплава металла с колошником на свод печи. Что позволяет сократить тепловое излучение на свод печи и бесполезный нагрев его и соответственно воды. Это позволяет уменьшить бесполезные тепловые потери печи и использовать тепловое излучение для восстановительных процессов печи, что повышает коэффициент полезного действия печи на 5 % по сравнению с работой печи без теплового экрана. Физическая и химическая энергия колошников газов составляет 6500 кВт/ч для ФС–75, 8500-11000 кВт/ч для ФС–45. [4] Энергию тепловых потерь можно получить при выполнении материально-диагностического баланса (МДБ) расчета параметров термодинамического равновесия (ТДР) с конкретизацией участия определенных восстановительных реакций по агрегатным зонам и надежной методикой вычислений энтальпийных энергетических затрат на расплав металла. В частности, тепловые потери в разбираемой ситуации на печи № 43 были вычислены следующим образом. По МДБ и ТДР определен энтальпийный удельный расход электроэнергии на 1 т кварцита – 3310 кВт, при переплаве за год на шести печах – 166 тыс т кварцита, на все потребовалась 549464 тыс. кВт часов электроэнергии при мощности печи 21742 кВт, на потери в короткой сети пришлось $21742 - 14096 - 3771 = 3875$ кВт или 17,7 % от P_p , которые составляют сумму потерь. Разберемся, какая энергия образует тепловые потери через футеровку. Прежде всего зафиксируем, что шихту можно представить, как набор столбиков элементарных упаковочных объемов с ребром куба L_p , в центре которого кварцит с интегральным диаметром $d_{кв}$ в оболочке из восстановителей с интегральным диаметром [4]. В рассматриваемой технологии, в мм $d_{кв} = 51,74$, $d_r = 14,5$, $L_p = 59,76$ с соотношением объема кварцита к объему восстановителей $CO = 0,85$. Колошник вокруг электрода с радиусом активного слоя шихты $R_{ш}$ как бы набран из столбиков элементарных упаковок, трансформирующихся в профиле продвижения вниз до температуры $T_{ТДР}$ в образовании с основанием L_p^2 высотой $h_{Lp} = 0,0086$ и объемом $3,07 \cdot 10^3$ м³, состоящих из на плавившегося металла и шлака. Высота

i -того из N объемов ($i = 1..N$) от поверхности колошника к подине h_i математически представляется как $h_i = L_p [(H - L_p) / (H + h_{Lp})]$, когда количество упаковок на высоте $P = h$ (вниз от поверхности до изотермы $T_{гдр}$). Потери тепла излучением колошника и электродов весьма значительны и превосходят потери кожуха почти в 6 раз, и это закономерно. Будет уместным отметить следующее обстоятельство:

- на уровень потерь в электродах $T_{эл.в.}$, посадки, поверхностного эффекта, большое влияние оказывает абсолютная величина тока электрода, достаточно снизить рабочую нагрузку с 88,65 до 75 кА, как потери снизятся до 1140 кВт, или до 71 %, что предопределяет снижение удельного расхода электроэнергии примерно на 200 кВтч;
- температуру колошника можно существенно регулировать фракционным составом восстановителей.

Уменьшение интегрального диаметра кокса от 14,5 до 12 мм повышает его удельное сопротивление и, соответственно, снижает $T_{эл.в.}$ на 129 °С. Применение древесной щепы резко повышает $P_{тепл}$, что снижает выделение энергии слоя и, соответственно, температуру колошника и приводит к уменьшению потерь излучением на 200-400 кВт. Суммарные тепловые потери $P_{тепл} = 3875$ кВт/ч, или 17,8 % от P_y . Для удобства анализа выразим мощность тепловых потерь через тепловой коэффициент полезного действия η . Для это примем общее сопротивление печи как обратный эквивалент токовой нагрузке в виде $(Z_n - z_{кэ})Z_n$, где $Z_n = Z_y - z_{кэ}$, а эквивалентное сопротивление $z_{кэ} = P_{тепл} / 3 / I_3^2 = 0,164$ мОм, т.е. приведем к току электрода. На основании исследований АЗФ имеем обоснованные оптимальными режимами работы печи РКЗ-25 эквивалентные значения коэффициентов тепловой мощность ванны печи $q_{тепл} = 0,762$, и коэффициент токовой нагрузки $Z_n = 0,922$. Таким образом, для печи №43:

электрический η равен $эл.\eta = (0,922 - 0,164) / 0,922 = 0,882$;

- тепловой η равен $теп.\eta = (0,762 - 0,164) / 0,164 = 0,761$;

- эффективность использования энергии на восстановительные процессы равны

$$\begin{aligned} \text{эф.}\eta &= (P_y - P_{эл} - P_{тепл}) / P_y \\ \text{эф.}\eta &= (21742 - 3771 - 3875) / 21742 = 0,648. \end{aligned} \quad (2)$$

На нагрев расходуется электрическая энергия, увеличиваются электрические тепловые потери. Чтобы уменьшить тепловые потери и сократить расход электрической энергии при выплавке ферросплавного производства предлагается применить дополнительно защитный слой свода печи, выполненный из нержавеющей стали. То есть свод печи должен иметь дополнительно один или два защитных слоя с зеркальной поверхностью, наиболее отражающую тепло в ванну печи.

Результаты и обсуждения

В настоящее время свод печи непрерывно охлаждается водой, затем вода охлаждается в градирнях. При отключении охлаждающих насосов через 10 минут печи

отключаются, иначе свод печи расплавится и уйдет в печь. Установка зеркального отражателя перенаправляет выделенное тепло от плавки на свод назад в печь. Следовательно, уменьшаются тепловые потери, а отсюда и потери электроэнергии на выпуск продукции. В зависимости от шероховатости зеркальной поверхности, будет зависеть эффективность отражение инфракрасного, ионизационного, ультрафиолетового излучения, и как следствие уменьшение потерь, поэтому желательно иметь чисто белую зеркальную поверхность отражающего экрана. Отражающий экран в процессе работы нагревается, поэтому должен быть изготовлен из жаропрочной нержавеющей стали, нагрев значительно уменьшается у чистого отражателя, поэтому экран должен быть глянцевым, гладким, на котором хуже задерживается грязь. Для защиты экрана от пыли желательно использовать электростатический способ защиты, в комплексе с обдувом отражающей поверхности охлажденным газом. Обтекающий сжатый газ по поверхности теплового экрана не только сдувает пыль, но и уменьшает прилипание выбрасываемого металла обратно со шлаком к отражателю. Отражатель должен иметь отрицательный потенциал относительно пространства ванны, электродов шихты напряжением несколько кВ и небольшим током до 0,5 А. Благодаря принятию выше перечисленных мер, тепловой экран будет дольше сохранять свои заданные параметры, то есть выполнять функции отражателя тепловой энергии. Если отражатель будет черным он будет менее эффективным и сильно нагреваться и за счет переизлучения отдавать часть тепла своду печи. Нужно провести несколько экспериментов и расчетов, используя многослойный отражатель с обдувом газом. Теоретически возможно вообще отказаться от охлаждения свода печи водой и тепло оставлять в печи и тем самым повысить КПД еще выше, а также повысить надежность и безопасность.

Заключение

Установка зеркального отражателя в несколько раз уменьшает бесполезный перенос тепла на свод печи и далее на нагрев охлаждающей воды. Следовательно, уменьшаются тепловые потери, а отсюда и потери электроэнергии на выпуск продукции. В зависимости от шероховатости зеркальной поверхности, будет зависеть эффективность отражение инфракрасного, ионизационного, ультрафиолетового излучения, и как следствие уменьшение потерь, поэтому желательно иметь чисто белую зеркальную поверхность отражающего экрана. Отражающий экран в процессе работы нагревается, поэтому должен быть изготовлен из жаропрочной нержавеющей стали. Для защиты экрана от налипания пыли на экран желательно использовать электростатический способ защиты

Выводы

Как показали эксперименты и проведенные расчеты, чтобы уменьшить тепловые потери и сократить расход электрической энергии при выплавке ферросплавного производства предлагается применить дополнительно защитный слой свода печи, выполненный из нержавеющей стали. То есть свод печи должен иметь

дополнительно один или два защитных слоя с зеркальной поверхностью, наиболее отражающую теплую энергию в ванну печи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Гасик, М. И.** Теория и технология производства ферросплавов. / М. И. Гасик и др. – М. : Metallurgia, 2003. – 784 с.
- 2 **Емлин, Б. И., Гасик, М. И.** Справочник по электротермическим процессам. / М.И. Гасик и др. – М.: Metallurgia, 2003. – 288 с.
- 3 **Гаврилов, В. А.** Оптимизация режимов работы ферросплавных печей. / В. А. Гаврилов, И. И. Поляков, О. И. Поляков. – М. : Metallurgia, 1996. – 176 с.: ил.; 21 см.; ISBN 5-229-00552-1: Б. ц.
- 4 **Поволоцкий, Д. Я., Роцин, В. Е., Мальков, Н. В.** Электрометаллургия стали и ферросплавов : учебник для вузов. / Д. Я. Поволоцкий, В. Е. Роцин, Н.В. Мальков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1995. – 592 с.
- 5 **Еднерал, Ф. П., Филиппов, А. Ф.** Расчеты по электрометаллургии стали и ферросплавов: учеб. пособие. / Ф. П. Еднерал, А. Ф. Филиппов – М. : Metallurgizdat, 1983. – 399 с.
- 6 **Строганов, А. И., Рысс, М. А.** Производство стали и ферросплавов: учебник для учащихся металлургических техникумов. / А.И. Строганов, М.А.Рысс – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1979. – 504 с.
- 7 **Рысс, М. А.** Производство ферросплавов. – М. : Metallurgia, 1985. – 344 с.
- 8 **Струнский, Б. М.** Расчеты руднотермических печей. – М.: Metallurgia, 1982. – 192 с.
- 9 **Минеев, Г. Г., Минеева, Т. С., Жучков, И. А., Зелинская, Е. В.** Теория металлургических процессов. / Г. Г. Минеев, Т. С. Минеева, И. А. Жучков, Е. В. Зелинская – Иркутск: изд. ИрГТУ, 2010. – 524 с.
- 10 Пат. №22098 Республика Казахстан. Измерение длины электрода и расстояния между электродом и расплавом (способ и устройство) / М. М. Дундуков; Н. П. Головачев; А. В. Суслов; А. Г. Калиакпаров; С. К. Уантаев; Г. А. Муратов; Е. М. Дундуков; зарегистрирован РК 25. 11. 2009 г., опубли. 15. 01. 2010, Бюл. № 1
- 11 Иннов. пат. №30007 Республика Казахстан. Способ определения расстояния от электрода до расплава в реакционной зоне плавильной печи в режиме реального времени и устройство для его осуществления. / М. М. Дундуков; С. Т. Смаилов; зарегистрирован РК 29.05.2014 г., опубли. 15. 06. 2015. Бюл. № 6

REFERENCES

1 **Gasik, M. I.** Teoriya i tekhnologiya proizvodstva ferrosplavov [Theory and technology of production of ferroalloys] / M. I. Gasik i dr. – M. : Metallurgiya, 2003. – 784 p.

2 **Emlin, B. I., Gasik, M. I.** Spravochnik po elektrotermicheskim processam [Handbook of Electrothermal Processes] / M. I. Gasik i dr. – M.: Metallurgiya, 2003. – 288 p.

3 **Gavrilov, V. A.** Optimizaciya rezhimov raboty ferrosplavnyh pechej [Optimization of operating modes of ferroalloy furnaces] / V. A. Gavrilov, I. I. Polyakov, O. I. Polyakov. – M. : Metallurgiya, 1996. – 176 p.: il.; 21 sm.; ISBN 5-229-00552-1: B. c.

4 **Povolockij, D. YA., Roshchin, V. E., Mal'kov, N. V.** Elektrometallurgiya stali i ferrosplavov [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]: uchebnik dlya vuzov / D. YA. Povolockij, V.E. Roshchin, N. V. Mal'kov. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Metallurgiya, 1995. – 592 p.

5 **Edneral, F. P., Filippov, A. F.** Raschety po elektrometallurgii stali i ferrosplavov [Calculations for electrometallurgy of steel and ferroalloys]: ucheb. posobie / F.P. Edneral, A.F. Filippov – M.: Metallurgizdat, 1983. – 399 p.

6 **Stroganov, A. I., Ryss, M. A.** Proizvodstvo stali i ferrosplavov [Steel and ferroalloy production]: uchebnik dlya uchashchihsya metallurgicheskikh tekhnikumov / A.I. Stroganov, M.A. Ryss – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Metallurgiya, 1979. – 504 p.

7 **Ryss, M. A.** Proizvodstvo ferrosplavov [Production of ferroalloys] – M.: Metallurgiya, 1985. – 344 p.

8 **Strunskii, B. M.** Raschety rudnotermicheskikh pechei [Calculation design for ore-thermal furnaces] – M. : Metallurgiya, 1982. – 192 p.

9 **Mineev, G. G., Mineeva, T. S., Zhuchkov, I. A., Zelinskaya, E. V.** Teoriya metallurgicheskikh protsessov [Theory of metallurgica lprocesses] / G. G. Mineev, T. S. Mineeva, I. A. Zhuchkov, E. V. Zelinskaya – Irkutsk: izd. IrGTU, 2010. – 524 p.

10 Pat. №22098 Respubliki Kazahstan. Izmerenie dliny elektroda i rasstoyaniya mezhdru elektrodom i rasplavom (sposob i ustrojstvo) [Measuring the length of the electrode and the distance between the electrode and the melt (method and device)] / M.M. Dundukov; N. P. Golovachev; A.V. Suslov; A.G. Kaliakparov; S.K. Untaev; G.A. Muratov; E.M. Dundukov; zaregistrirovan RK 25. 11. 2009g., opubl. 15. 01. 2010, Byul. № 1

11 Innov. pat. №30007 Respubliki Kazahstan. Spособ opredeleniya rasstoyaniya ot elektroda do rasplava v reakcionnoj zone plavil'noj pechi v rezhime real'nogo vremeni i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [Method for

determining the distance from the electrode to the melt in the reaction zone of the melting furnace in real time and a device for its implementation] / М.М. Dundukov; S. T. Smailov; zaregistrirovan RK 29.05.2014g., opubl. 15. 06. 2015. Byul. № 6

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*М. М. Дундуков¹, Н. А. Дубинец², В. П. Марковский³,

Б. Т. Абдрахманов⁴, А. У. Габдулов⁵

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ФЕРРОҚОРЫТПАЛАРДЫ ӨНДІРУ КЕЗІНДЕ РУДОТЕРМИЯЛЫҚ ПЕШТІ ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ

Кенді-термиялық пештердегі жұмыстың температуралық және электр догалық режимін реттеу және ұстау пеш трансформаторының қадамдары арқылы пештегі кернеуді арттыру немесе азайту арқылы жүзеге асырылады. Орташа және жоғары қуатты догалық разрядтарда энергияның 30 % дейін қыздырылған металға плазмалық газ ағындары арқылы беріледі, бұл ретте тез өзгеретін шекаралық шарттар мен ортаның қасиеттерін ескеру қажет. Сумен салқындатылатын қабырға мен төбені төсеу элементтерін пайдалану пештегі температураның таралуына және балқудың әртүрлі кезеңдеріндегі шихтаның балқу сипатына әсер етеді, бұл бекітілген қуатта балқу уақытының 15–20 % ұлғаюына және ұлғаюына әкеледі. меншікті қуат тұтынуында. Қолданыстағы рудотермиялық пештердің айтарлықтай жылу шығыны бар екендігі көрсетілген. Жылу шығыны электр энергиясының артық шығынының салдары болып табылатыны анықталды. Ферроқорытпаларды өндіру кезінде жылу шығынын азайту үшін пеш күмбезінің айналы шағылыстырғышын пайдалану ұсынылған. Рудотермиялық пештің жылу шығынын азайтатын экрандардың параметрлері зерттелді. Жылу шығынын есептеу формулалары келтірілген. Жылу экранын пайдалану кезінде жылу шығыны азаяды және сәйкесінше электр шығыны азаяды.

Кілтті сөздер: жылу сәулеленуін көрсететін экран, жылу шағылыстыратын экран, рудотермиялық пештер.

*M. M. Dundukov¹, N. A. Dubinets², V. P. Markovskiy³,

B. T. Abdrakhmanov⁴, A. U. Gabdulov⁵

^{1,2,3,4,5}Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.09.22.

EFFICIENT USE OF THE ORE-THERMAL FURNACE IN THE PRODUCTION OF FERROSPALS

The regulation and maintenance of the temperature and electric arc mode of operation in ore-thermal furnaces occurs by increasing or decreasing the voltage on the furnace using the steps of the furnace transformer. In arc discharges of medium and high power, up to 30 % of the energy is transferred to the heated metal by plasma gas jets, while it is necessary to take into account rapidly changing boundary conditions and properties of the medium. The use of water-cooled wall and roof lining elements affects the temperature distribution in the furnace and the nature of charge melting in different periods of melting, which leads to an increase in melting time by 15–20 % at a fixed power and an increase in specific power consumption. It is shown that existing ore-thermal furnaces have significant heat losses. It is determined that heat losses are a consequence of overexpenditure of electrical energy. The use of a mirror reflector of the furnace arch to reduce heat losses in the production of ferroalloys is presented. The parameters of reflecting screens that reduce the heat losses of an ore-thermal furnace are investigated. Formulas for calculating heat losses are given. It is shown that when using a heat shield, heat losses decrease and, accordingly, electrical losses decrease.

Keywords: heat shield, heat radiation reflecting screen, ore-thermal furnaces.

Теруге 15.09.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3 Mb RAM

Шартты баспа табағы 19,8. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3989

Сдано в набор 15.09.2022 г. Подписано в печать 30.09.2022 г.

Электронное издание

3 Mb RAM

Усл. печ. л. 19,8. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3989

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz