

электрода относительно уровня расплава, величина тока в электродах, гармонический состав напряжения и тока электродов.

Литература

1. Педро А.Л. Использование постоянной составляющей фазного напряжения в качестве характеристики состояния расплава нормального электрокорунда / А.А.Педро, Н.Л.Степанова // Исследование электротермических установок. Чебоксарский технический ун-т. 1986.
2. Педро А.А. О природе постоянной составляющей напряжения электрической дуги в печи для получения нормального электрокорунда // Промышленная энергетика. 1993. № 5.

ФОСФОРДЫ ЖӘНЕ КАЛЬЦИЙКАРБИДІН АЛУ ҮШІН КЕНТЕРМИЯЛЫҚ ПЕШТІҢ ТҮРАҚТАЛҒАН ҚҰРАМДЫ ФАЗАЛЫҚ КЕРНЕУІНІҢ СИПАТЫ

А.А. Педро, М.П. Арлиевский, Р.В. Куртенков

Фосфорлы және карбидті пештер мысалында колошнігі жабық кенді-термиялық пешінің фазалық кернеудегі тұрақты құраушыларының $U_{\text{тк}}$ өзгеру сипаты мен болу табиғаты қарастырылған. $U_{\text{тк}}$ -ның шамасы мен бағыты электрлік доғаның жану шарты, даму дәрежесі мен электродтың реакциялық зона компоненттерімен химиялық әрекеттесу процестерінің қатынасына тәуелді.

THE CHARACTER OF DC COMPONENT OF LINE-TO-EARTH VOLTAGE IN PHOSPHORIC AND CALCIUM CARBIDE ORE-SMELTING FURNACES

A.A. Pedro, M.P. Arlievsky, R.V. Kurtenkov

On example of phosphoric and carbide furnaces is considered character of change and the nature of existence a constant component (U_{cc}) in a phase voltage of ore-smelting furnaces with closed furnace throat. The size and direction U_{cc} depends on a ratio of electrode processes chemical interaction with reactionary zone components and a degree of development and a condition of burning electric arch.

УДК 621.36.2

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВАННЕ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

А.А. Педро, М.П. Арлиевский, Р.В. Куртенков, А.П. Суслов

ООО «ЛНГХ», СПГГУ

Показано, что потребление мощности на электрохимические процессы не превышает 1-2 % от всей мощности, поступающей в ванну руднотермической печи.

Как известно [1], шлаковые расплавы в руднотермических печах имеют ионный характер, т.е. являются проводниками второго рода: перенос зарядов осуществляется ионами и сопровождается химическими превращениями. И как все электрохимические процессы прямое превращение электрической энергии в химическую в руднотермической печи возможно при любой температуре и не сопровождается ни выделением, ни поглощением тепла.

Основное потребление электроэнергии в руднотермической печи имеет место в результате электротермических процессов, т.е. в результате преобразования электрической энергии в тепловую при прохождении тока через сопротивление материалов, находящихся в ванне печи, а также электрическую дугу.

В электролизёрах выделение тепла при прохождении тока через омическое сопротивление электролита носит неоднозначный характер. При получении, например, алюминия требуется поддержание криолитно-глинозёмного расплава в жидком состоянии, для чего необходимо выделение тепла.

Напротив, при разложении водных растворов стремятся как можно ближе расположить анод и катод, чтобы уменьшить расход электроэнергии.

В руднотермических преобразование электрической энергии в тепло происходит практически только в омическом сопротивлении материалов, заполняющих ванну печи, а также в электрической дуге. Лишь в дальнейшем это тепло в результате фазовых превращений и химических реакций переходит в химическую энергию получаемых веществ.

Однако и электрохимические процессы в руднотермической печи имеют место, о чем свидетельствует присутствие в фазном напряжении постоянной составляющей. В отличие от постоянной составляющей, вызванной вентильным эффектом электрической дуги переменного тока и имеющей направление от электрода к расплаву, постоянная составляющая, обусловленная электрохимическими процессами на границе электрод-реакционная зона (расплав), имеет обратное направление.

На фосфорных печах и печах для получения карбида кальция в фазном напряжении большей частью превалирует постоянная составляющая, вызванная вентильным эффектом дуги переменного тока. Все же при глубокой посадке электродов, когда электрическая дуга развита незначительно, преобладает постоянная составляющая, обусловленная электрохимическими процессами /2/.

В рудотермических печах наличие электрохимических процессов, также носит неоднозначный характер. Существовая практически только на границах реакционной углеродистой зоны с электродом и шлаковым расплавом они с одной стороны, когда анодом является электрод, увеличивают расход последнего, с другой стороны, когда анод находится на расплаве, способствуют развитию реакции восстановления целевых компонентов.

В ряде электротермических производств развитие электрохимических процессов сопровождается ухудшением качества получаемого продукта. Так при плавке белого электрокорунда с использованием глубокопрокалённого глинозёма по сравнению с рядовым имеет место снижение удельного расхода электроэнергии, однако при этом ухудшается такой показатель качества получаемого продукта, как его белизна. Это объясняется повышенным заглублением электродов при плавке глубокопрокалённого глинозёма, т.е. увеличением поверхности контакта электродов с расплавом и взаимодействия их с ним.

Долю электрической энергии, расходуемой на электрохимические процессы в руднотермической печи, ориентировочно можно определить по материальному балансу соответствующего производства с учетом расхода электродов.

Например, согласно /3/ удельный расход кокса в фосфорной печи составляет 1395 кг на тонну фосфора. Расход электрода с кожухом - 49 кг. Приняв вес доли электрода, приходящейся на кожух, 4 кг, долю электрода, теряемую вследствие механической эрозии компонентами шихты, окисления отходящими из зоны реакции печными газами и распыление из электрической дуги — 20 кг, остальные 25 кг останутся на долю химических и электрохимических реакций при контакте электрода с расплавом.

Таким образом, общий расход углерода в фосфорной печи на одну тонну фосфора составит:

$$1395+25=1420 \text{ кг.}$$

Механизм расхода электрода в результате химической и электрохимической реакций на примере восстановления CaO представлен на рисунке.

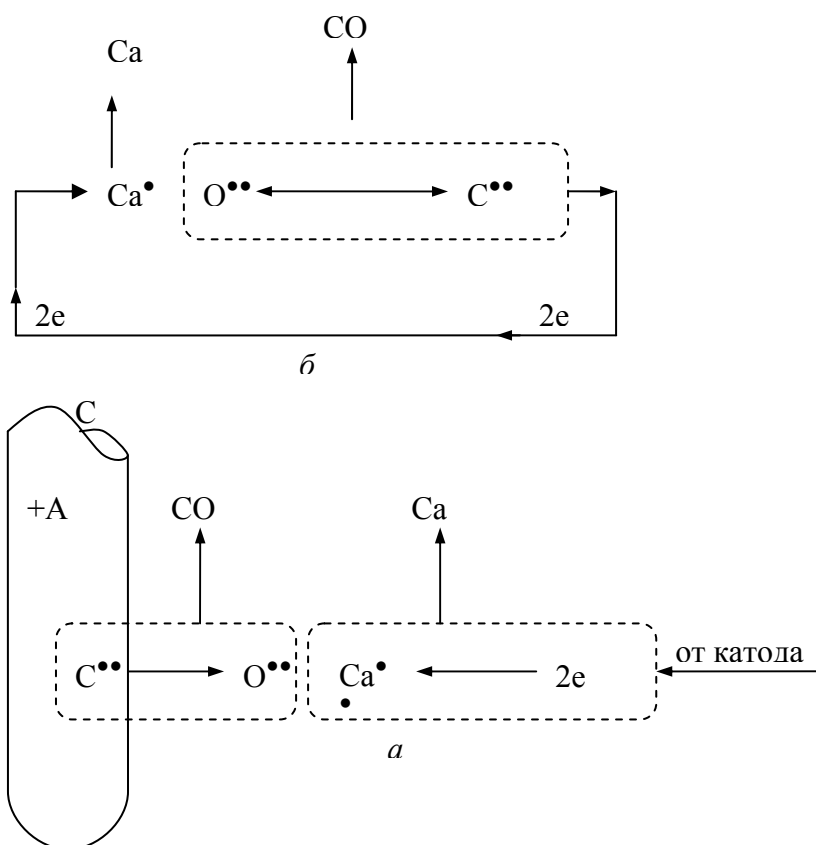


Схема восстановления Ca из CaO: *a* – в прианодном слое дуги при угольном аноде;
б – углеродом без тока

Согласно П.В.Сергееву /4/ на долю электрохимических реакций приходится от 30 до 50% оставшейся величины, т.е. $25 \cdot 0,4 = 10$ кг.

Отсюда энергия, затрачиваемая на электрохимические процессы, связанные с расходом электродов, составит

$$\frac{10}{1420} \cdot 100 = 0,7\%$$

от всей полезной мощности, потребляемой печью.

Эти затраты имеют место в полупериод, когда электрод является анодом. Во второй полупериод подобные затраты имеют место и связаны с электрохимическим взаимодействием на границе углеродистой зоны с расплавом.

Таким образом, общий расход электроэнергии в руднотермической фосфорной печи составляет

$$0,7 + 0,7 = 1,4\%,$$

т.е. не более 1,5%.

В основе электрохимического расхода углеродистого электрода лежит механизм его анодного окисления. Существует две точки зрения на этот механизм. Первая принимает в качестве первичного процесса разряд анионов до образования свободного кислорода с последующим химическим окислением углерода электрода до CO или CO₂. Вторая принимает первичным процессом образование на аноде хемосорбированных промежуточных окислов типа C_xO с последующим их распадом до CO и CO₂. В первом случае потенциал анода определяется скоростью окисления, во втором - скоростью распада окислов C_xO.

В фосфатно-шлаковом расплаве фосфорной печи анионами, способными разряжаться на углеродистом электроде, могут быть (SiO₂)²⁻, (Si₂O₅)²⁻, (SiO₄)⁴⁻, (PO₃)⁻, (PO₄)³⁻, (FeO₂)⁻, (FeO₃)³⁻ (FeO₄)⁵⁻ и другие. Если анодный потенциал принять равным 2 В (точно определить его величину можно только опытным путём), то для фосфорной печи РКЗ-80Ф при рабочем

токе электрода 80000 А и $\cos\varphi=1,0$ мощность, затрачиваемая на электрохимические процессы, будет

$$P=2 \cdot 80000=160000 \text{ Вт}=160 \text{ кВт.}$$

Однако, в фосфорной печи только часть общего тока электрода проходит через его контакт с расплавом. Большая часть проходит через прямой контакт электрода с твёрдым восстановителем.

Кроме того, часть тока, правда незначительная, проходит через электрическую дугу. Отсюда следует, что доля тока, проходящего через контакт электрода с расплавом, находится в районе 30% от общего тока электрода. Соответственно, мощность, потребляемая в контакте электрод-расплав, будет

$$160 \cdot 0,03=4,8 \text{ кВт.}$$

При максимальной полезной мощности одной фазы 25 МВт это составит

$$(0,048/25) \cdot 100=1,9\%.$$

от всей полезной мощности, потребляемой одной фазой, т. е. в конечном итоге всей печью. Эта цифра одного порядка с полученным ранее результатом.

Выводы

1. Электрохимические процессы в руднотермических печах являются основной причиной расхода электродов.

2. Доля энергии, затрачиваемой на электрохимические процессы не превышает 1-2% всей полезной мощности, потребляемой электропечью.

Литература

1. Электрохимические процессы химической технологии: Учеб. пособие для вузов/Под. Ред. В.А. Ершова.- Л.: Химия, 1984. - 464 с.
2. Сотников В.В., Блинов Е.В., Педро А.А., Боярун В.З. Автоматизированное проектирование и управление руднотермической печью при производстве фосфора / Под общ. ред. В.В. Сотникова.- Спб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2001-217 с.
3. Ершов В. А., Пименов С. Д. Электротермия фосфора. - Спб: Химия, 1996.-248 с.
4. Сергеев П.В. Энергетические закономерности рудотермических электропечей, электролиза и электрической дуги. – Алма-Ата: Издательство Академии наук Казахской ССР, 1963-252 с.

КЕНТЕРМИЯЛЫҚ ПЕШТИҢ ВАННАСЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

А.А. Педро, М.П. Арлиевский, Р.В. Куртенков, А.П. Суслов

Электрохимиялық процестерге жұмсалатын қуаттылық кенді-термиялық пештің ваннасына түсетін барлық қуаттылықтың 1-2%-нан аспайды.

ELECTROCHEMICAL PROCESSES IN THE BATH OF THE ELECTROTHERMIC FURNACE

A.A. Pedro, M.P. Arlievsky, R.V. Kurtenkov, A.P. Suslov

It was shown that the electrochemical processes in the bath of electrothermic furnace consume no more 1-2 % of input energy.