

## RESEARCHING AND DEVELOPING THE PROCESS OF PRODUCTION SUPERPHOSPHATE USING SPENT SULPHURIC ACID

M.P. Arlievsky, G.I. Vlasova, P.P. Vlasov, R.V. Kurtenkov

The process of phosphate rock's decomposition by means of spent sulphuric acid was investigated. The basic parameters of the main technological stages, such as unit consumption and optimum concentration of sulphuric acid in decomposition of Karatau and Vyatka-Kama deposit's phosphate rocks, process's temperature and duration, were determined. A conventional ammonium superphosphate was obtained.

УДК 658.012; 621.36:661

## КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ СТЕПЕНЬЮ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

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

ООО «ЛНГХ», СПГГУ

*На примере фосфорной печи рассматривается характер влияния изменения напряжения и тока на распределение мощности в руднотермической печи между дугой, шунтирующим ее сопротивлением и расплавом.*

По так называемой энергетической классификации руднотермических процессов, предложенной в свое время М.С.Максименко /1/, каждый технологический процесс, осуществляемый в электропечи, наиболее эффективно протекает при определенном соотношении энергии, выделяемой в дуге ( $p$ ), и энергии, выделяемой в сопротивлении материалов, заполняющих ванну печи ( $q$ ). Это объясняется тем, что наличие дуги в руднотермической печи носит неоднозначный характер. Высокие температуры в области горения дуги не только повышают скорость восстановительной реакции, но и способствуют развитию нежелательных побочных процессов: диссоциации целевых продуктов (карбид кальция), процессов пылеобразования, когда к частицам шихты, механически увлекаемым газами, покидающими печь, прибавляются конденсаты паров элементов шихты и их оксидов, что ведет к загрязнению целевого продукта (фосфор).

Конденсируясь в верхних горизонтах ванны печи, пары, образующиеся в области горения дуги, способствуют спеканию шихты, ухудшая ее газопроницаемость. В результате на колошнике образуются так называемые «свищи», когда газы из печи выходят по отдельным каналам, а не по всему сечению ванны. Температура отходящих газов при этом повышается, что приводит к росту температуры на колошнике и под сводом и росту тепловых потерь с отходящими газами.

Однако, в отдельных процессах, в которых необходимой стадией является предварительная газификация ряда компонентов шихты (производство кристаллического кремния), определенная степень развития дуги допустима и даже желательна.

Отсюда следует, что контроль степени развития электрической дуги, т.е. мощности, выделяемой в ней, имеет большое практическое значение.

Непосредственный прямой контроль степени развития дуги в руднотермической печи представляет значительные трудности, главным образом, из-за труднодоступности реакционного пространства, наличия высоких температур и агрессивности среды. Однако в последнее время все шире разрабатываются и делаются попытки применения косвенных методов контроля развития дуги, основанных на использовании явлений, сопровождающих ее горение, в том числе и на использовании изменения гармонического состава напряжения и тока электродов /2,3/.

Нелинейность и несимметричность вольт-амперной характеристики электрической дуги вызывает в той или иной степени искажения формы кривых напряжения и тока. Анализ искажений напряжения дуги практически невозможен из-за труднодоступности пространства, в котором горит дуга.

В тоже время получение сигнала, пропорционального току электрода, возможно на любом участке короткой сети. Именно поэтому гармоническому анализу в большинстве случаев и подвергается ток электрода /5/.

Прежде всего, представляет интерес связь гармонического состава тока электрода с напряжением и током дуги.

Известно /4/, что при прямоугольной форме напряжения дуги при разложении её в ряд Фурье напряжение тройной частоты, т.е. значение гармонической составляющей с частотой 150 Гц – третьей гармонии ( $U_3$ ), равно трети напряжения дуги ( $U_d$ ):

$$U_3 = \frac{1}{3} U_d$$

При другой форме напряжения дуги

$$U_3 < \frac{1}{3} U_d$$

В реальной печи напряжение дуг измерить практически невозможно, поэтому заменив значение напряжения утроенным значением напряжения 3-ей гармоники, для печей с открытой дугой, получим:

$$P_d = \frac{3U_3}{U_\phi} P, \quad (1)$$

где  $P_d$  – мощность дуги;

$P$  – мощность, потребляемая одной фазой печной установки.

Еще раз подчеркнем, что это уравнение справедливо лишь для печей, эквивалентная схема замещения которых представляет сопротивление дуги, соединенное последовательно с сопротивлением расплава или шихты. В этом случае ток дуги равен общему полному току электрода.

При шунтированной дуге, горящей на расплав или шихту, через расплав проходит только часть полного тока электрода, при этом напряжения и на шунте, и на дуге одинаковы:

$$U_d = U_{ш},$$

где  $U_{ш}$  - падение напряжения на шунтирующем дугу сопротивлении шихты или расплава.

Формула (1) в этом случае недействительна и для определения мощности дуги целесообразно привлечь содержание в токе электрода гармонической составляющей с частотой 150 Гц -, тем более, что измерение ее возможно на любом удобном участке электрической цепи, по которой проходит полный ток.

В соответствии с отмеченной ранее зависимостью напряжения гармонической составляющей с частотой 150 Гц ( $U_3$ ) от падения напряжения дуги ( $U_d$ ), содержание в токе электрода той же гармоники ( $I_3$ ), будет

$$I_3^2 = \frac{U_3 \cdot I_d}{R_k} = \frac{1}{3} \cdot \frac{U_d I_d}{R_k},$$

где  $R_k$  - сопротивление печного контура;

$I_d$  - ток дуги .

Относительное содержание в токе электрода 3-ей гармоники определяется уравнением

$$\left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{U_\partial I_\partial}{U_\phi I_1} \quad (2)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение;

$I_1$  – ток 1-ой гармоники, практически равный току электрода.

В уравнении (2) числитель правой части равен мощности, потребляемой дугой ( $P_\partial$ ), а знаменатель – печной установкой ( $P$ ). Отсюда уравнение (2) можно представить в виде

$$\left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_\partial}{P} \quad (3)$$

Это уравнение позволяет определить такой важный показатель работы РТП, как мощность, выделяемая в дуге

$$P_\partial = 3 \left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 P \quad (4)$$

Допустив, что индуктивность ванны печи при изменении напряжения и мощности остается величиной постоянной, значение падения напряжения в дуге можно представить в виде

$$U_\partial = U_\phi - R_0 I_1$$

где  $R_0$  – это электросопротивление расплава, на который горит дуга.

Заменив в уравнении значение  $U_\partial$  в соответствии с предыдущим выражением, получим

$$\left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{U_\phi - R_0 I_1}{U_\phi} \cdot \frac{I_\partial}{I_1} \quad (5)$$

или

$$\left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 = \frac{1}{3} \cdot \left(1 - \frac{R_0}{R_x}\right) \cdot \frac{I_\partial}{I_1} \quad (6)$$

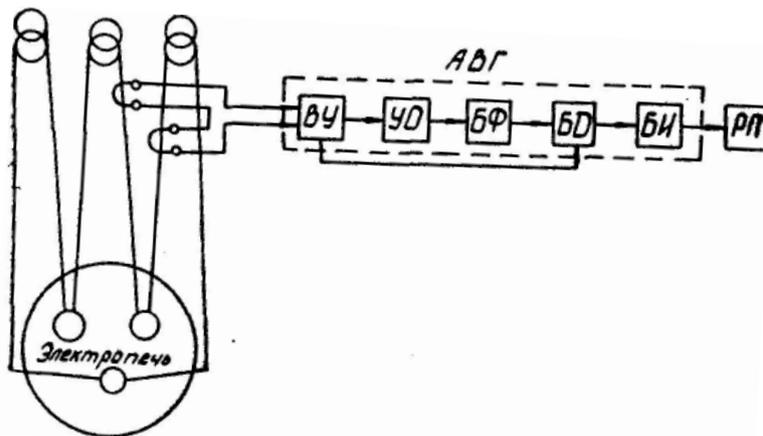


Рис. 1 - Схема анализатора высших гармоник (АВГ) и его подключения

Определение возможности использования анализа гармонического состава тока электродов для оценки степени развития электрической дуги в печи для получения фосфора осуществлялось с помощью схемы измерения, представленной на рис.1. При работе печи электрические сигналы с магнитных поясов (поясов Роговского), установленных на полуфазах одного из электродов, подавались на входное устройство (ВУ) анализатора. ВУ усиливал сигналы и подавал их в блок детекторов (БД). Одновременно ВУ коммутировал сигналы, поступавшие на усилитель отношений (УО) высших гармоник к основной гармонике. УО обеспечивал постоянство амплитуды основных гармоник, амплитуды

остальных гармоник определялись соотношением между ними и основной гармоникой во входном сигнале. С выхода УО сигнал поступал в блок фильтров БФ, настроенных на частоты, кратные основной частоте, т.е. 50 Гц. Выделенные сигналы детектируются и поступают в блок интеграторов БИ. Сигналы, пропорциональные величине основной гармоники и относительному содержанию во входном сигнале кратных ей гармоник, фиксируются на регистрирующем приборе РП.

Анализ полученных данных показал, что гармонический состав тока электродов определяется многими факторами: электротехнологическими параметрами работы печи, режимом выпуска шлака и особенностями ведения технологического процесса. Наличие и выпуск феррофосфора не отражается на гармоническом составе тока. Это объясняется тем, что электрическое сопротивление феррофосфора на несколько порядков меньше сопротивления остальных материалов, находящихся в ванне печи, которыми и определяется электрический режим.

Во время проводившихся исследований на печи РКЗ-80Ф при нормальной работе наибольшего значения достигало содержание в токе электрода гармонической составляющей с частотой 150 Гц – 15-25 %. Несколько меньшим было относительное содержание гармонической составляющей с частотой 250 Гц. Относительное содержание 2-й гармоники редко превышало 1,0 %. При обрушениях шихты, отмечавшихся по шуму в загрузочных течках, наблюдалось резкое возрастание содержания нечетных гармоник – до 35 %. Исходное значение содержания гармоник устанавливалось в течении 5-10 минут в зависимости от характера обрушения. Одновременно с обрушением отмечалось и искажение синусоиды производной тока, регистрируемое на экране осциллограф

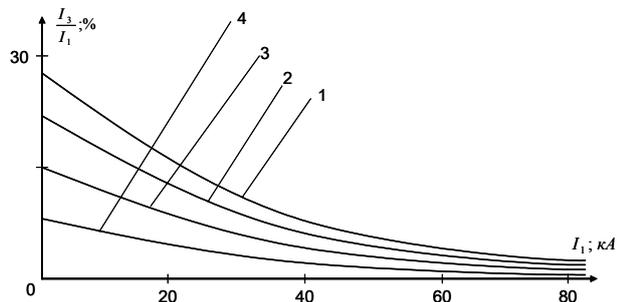


Рис. 2 - Зависимость  $I_3/I_1=f(I_1)$  при различных напряжениях на низкой стороне печного трансформатора: 1 -524 В; 2 -486,5 В; 3 -449 В; 4 -311,5 В

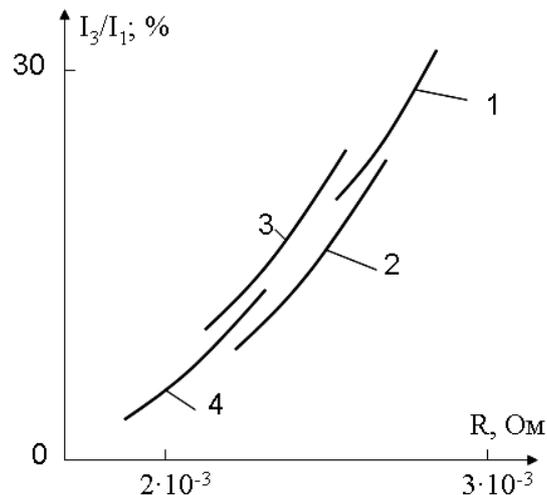


Рис. 3 - Зависимость  $I_3/I_1= f(R)$  при различных напряжениях на низкой стороне печного трансформатора: 1 -524 В; 2 -486,5 В; № -449 В; 4 -311,5 В

На рис. 2 и 3 представлены зависимости относительного содержания в токе электрода гармонической составляющей с частотой 150 Гц от тока и активного сопротивления ванны, построенные на основании данных, полученных в один из периодов работы печи.

Характер полученных кривых на рис.2 соответствует уравнению (5) при условии, что

$$\frac{1}{U_\phi} \cdot \frac{I_\phi}{I_1} = const, \text{ а на рис.3– уравнению (6) при условии, что } \frac{I_\phi}{I} = const.$$

Эти два замечания позволяют сделать очень важные для работы руднотермической печи выводы о характере влияния на распределение энергии в ванне печи способов регулирования мощности изменением напряжения на низкой стороне печного трансформатора и изменением сопротивления ванны печи путем перемещения электродов.

В первом случае изменения фазного напряжения приводит к изменению характера распределения мощности в ванной печи в результате изменения мощности дуги. Это объяснимо с точки зрения природы возникновения и существования электрической дуги в руднотермической печи. При увеличении мощности, выделяемой в реакционном тигле, увеличивается его объем при этом толщина электропроводного шунтирующего дуги слоя шихты остается прежней. Сопротивление шунта лишь немного уменьшается в результате увеличения диаметра тигля. Отсюда рост тока электрода с увеличением фазного напряжения происходит главным образом за счет тока дуги.

С уменьшением питающего напряжения имеет место обратная картинка: уменьшение тока электрода происходит практически только за счет уменьшения тока дуги.

Во втором случае, т.е. когда регулирование потребляемой печью мощности осуществляется перемещением электродов, изменения тока в электроде происходит в результате изменения сопротивления ванны, при этом распределение (соотношение) тока между дугой и шунтом остается постоянным. С увеличением сопротивления ванны (уменьшением тока) доля мощности выделяемой в дуге растет, с уменьшением сопротивления ванны (увеличением тока) падает.

Таким образом, уравнения (5) и (6) позволяют не только определять мощность, выделяемую в электрической дуге, но и в зависимости от условий протекания технологического процесса в ванне поддерживать необходимую мощность, регулируя её распределение между дугой и сопротивлением шихтовых материалов и расплава в соответствии с требованиями этого процесса.

### **Литература**

1. Максименко М.С. Основы электротермии. Л.; ОНТИ, 1937.
2. Микулинский А.С., Богданов Е.А., Эдемский В.М., Характер спектра рабочего тока в ферросплавной печи // Электрическая промышленность. Сер. Электротермия. 1975. Вып.10 (170). с.6-7.
3. Князев В.С. Исследование и совершенствование электроплавки стали на основе анализа тока дуг. Диссертация кандидата технических наук. Л.: ЛПИ им. Калинина. 1980.
4. Моргулев С.А. К вопросу расчета электрического режима ферросплавных печей // Сборник трудов ВНИИЧМ. М.: Металлургиздат. 1954.
5. Лапшин И.В. Автоматизация дуговых печей.- М.: Изд-во МГУ,2004.- 166с.

### **КЕНТЕРМИЯЛЫҚ ПЕШІНДЕГІ ЭЛЕКТРЛІК ДОҒАСЫНЫҢ ДАМУ ТУ ДӘРЕЖЕСІН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ**

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

Фосфор пеші мысалында кенді-термиялық пештегі доға, шунтирлеуші кедергі мен балқыма арасындағы қуаттылықтың таралуына кернеу мен токтың өзгерісінің әсерінің сипаты қарастырылған.

### **MONITORING AND CONTROL OF THE DEGREE OF DEVELOPMENT IN ORE-SMELTING ELECTRIC ARC FURNACE**

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

The nature of influence of variations of electric potential and current electricity on capacity distribution between the arc, shunt resistance, and liquid melt was under consideration as exemplified by the action of a phosphoric furnace.