

УДК 621.315

Н.П. Криворучко <sup>(1)</sup>, зав. лабораторией

Д.В. Бачурский <sup>(1)</sup>, аспирант

И.Ф. Червоный <sup>(2)</sup>, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

Д.М. Хабров <sup>(1)</sup>, ст. научн. сотрудник

Е.А. Матвеев <sup>(1)</sup>, мл. научн. сотрудник

Е.П. Щербань <sup>(1)</sup>, инженер

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОЛИЗА МАГНИЯ ИЗ ХЛОРИДА МАГНИЯ ТИТАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

<sup>(1)</sup> Государственный научно-исследовательский и проектный Институт титана, г. Запорожье,

<sup>(2)</sup> Запорожская государственная инженерная академия

Наведено математичну модель температурного режиму функціонування потокової лінії електролізу магнію, що працює у складі титано-магнієвого виробництва. Виконано розрахунки та показано діапазони можливого коливання температури розплаву апаратів потокової лінії за періодичного подавання сировини – зворотного хлориду магнію титанового виробництва. Запропоновано варіанти практичного використання розробленої методики розрахунку під час проектування й експлуатації поточкових ліній для електролітичного виробництва магнію.

Приведена математическая модель температурного режима функционирования поточной линии электролиза магния, работающей в составе титано-магниевого производства. Выполнены расчеты и показаны диапазоны возможного колебания температуры расплава аппаратов поточной линии при периодической подаче сырья – возвратного хлорида магния титанового производства. Предложены варианты практического использования разработанной методики расчета при проектировании и эксплуатации поточных линий для электролитического производства магния.

*Введение.* Температура электролита в аппаратах поточной линии производства магния является важным технологическим параметром. Превышение ее оптимальных значений приводит к увеличению выхода шлама, снижению выхода по току и росту удельного расхода электроэнергии.

Н.М. Зуевым [1] рассмотрено влияние температуры на технологические параметры производства магния в поточной линии. Для получения максимальных значений выхода металла по току электролиз проводят при температуре электролита 670...700 °С, которую считают оптимальной как при индивидуальном обслуживании электролизеров, так и в условиях поточной технологии.

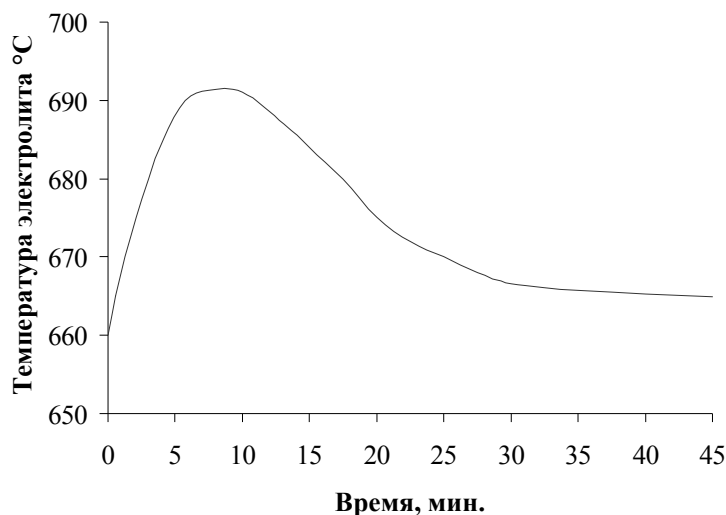
При заливке расплавленного хлорида магния в головной аппарат поточной линии или в электролизер с индивидуальным обслуживанием в процессе его смешивания с электролитом выделяется определенное количество теплоты. Этот тепловой эффект, обусловленный протеканием процессов комплексообразования в расплаве, сопровождается повышением температуры электролита. Пример такого явления иллюстрирует температурная зависимость, полученная в промышленном электролизере, вмещающем 24 т электролита, при заливке одной тонны хлорида магния (рис. 1).

После повышения температуры электролита в технологической ячейке на 31 °С вследствие интенсивного массообмена в объеме электролита избыточная

теплота от-водится через элементы конструкции электролизера, и температура электролита в течение 45 мин стабилизируется на значении, близком к исходному.

© Криворучко Н.П., Бачурский Д.В., Червоный И.Ф., Хабров Д.М., Матвеев Е.А., Щербань Е.П., 2012

Подобные температурные колебания наблюдаются в каждом электролизере примерно 6...12 раз в сутки согласно количеству заливок хлорида магния.



**Рисунок 1** – Изменение температуры электролита в электролизере в процессе заливки хлорида магния

*Постановка задачи.* Задачей исследований является прогнозирование температурных изменений в поточной линии и их влияние на технологические показатели электролиза.

*Основная часть исследований.* При рассмотрении температурного режима поточной линии производства магния в качестве факторов, вызывающих отклонение от температурного равновесия, во внимание принимали приход теплоты с хлоридом магния, заливаемым в головной аппарат, и теплоту смешивания хлорида магния с от-работанным электролитом, поступающим из разделительного аппарата. Кроме того, был сделан ряд допущений:

- до заливки хлорида магния все аппараты поточной линии находятся в условии теплового равновесия  $Q_{\text{приход}} = Q_{\text{расход}}$ ;
- теплота смешивания выделяется только в головном аппарате;
- потери теплоты в соединительных каналах не зависят от температуры протекающего по ним электролита;
- поток расплава в цепи аппаратов много больше емкости одного электролизера;
- длительность заполнения одного электролизера много меньше продолжительности перерыва при питании поточной линии хлоридом магния;
- в каждом электролизере происходит полное перемешивание электролита с поступающим в него расплавом;
- емкость аппаратов поточной линии по расплаву не одинакова, то есть  $P_{ГА} \neq P_{РЭ} \neq P_{ПЭ} \neq P_{РА}$ , где  $P_{ГА}$ ,  $P_{РЭ}$ ,  $P_{ПЭ}$ ,  $P_{РА}$  – количество электролита в головном аппарате, рафинировочном и проточном электролизерах, а также разделительном аппарате, соответственно, кг;

– в рафинировочных и проточных электролизерах расход хлорида магния раз-личный:  $m_{PЭ} \neq m_{ПЭ}$ .

Тогда уравнения для расчета температуры электролита  $t_n$  в момент времени  $\tau_k$  будут иметь вид:

– для головного аппарата

$$t_{ГА,\tau_k} = \frac{c \cdot P_{ГА} \cdot t_{ГА,\tau_{(k-1)}} + Q_{см,\tau_k} + c \cdot \overline{M}_{\tau_k} \cdot t_{MgCl_2} - Q_{ном.,ГА,\tau_{(k-1)}} + c \cdot M_n \cdot t_{РА,\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{ГА} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n)}, \quad (1)$$

– для каждого из рафинировочных электролизеров

$$t_{n,PЭ,\tau_k} = \frac{c \cdot P_{PЭ} \cdot t_{n,PЭ,\tau_{(k-1)}} + c \cdot (\overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{PЭ} - 1) \cdot m_{PЭ}) t_{(n-1),PЭ,\tau_{(k-1)}} - Q_{ном.,PЭ,\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{PЭ} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{PЭ} - 1) \cdot m_{PЭ})}, \quad (2)$$

– для каждого из проточных электролизеров

$$t_{n,ПЭ,\tau_k} = \frac{c \cdot P_{ПЭ} \cdot t_{n,ПЭ,\tau_{(k-1)}} + c \cdot (\overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{PЭ} - 1) \cdot m_{PЭ} - (n_{ПЭ} - 1) \cdot m_{ПЭ}) \cdot t_{(n-1),ПЭ,\tau_{(k-1)}} - Q_{ном.,ПЭ,\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{ПЭ} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - (n_{PЭ} - 1) \cdot m_{PЭ} - (n_{ПЭ} - 1) \cdot m_{ПЭ})}, \quad (3)$$

– для разделительного аппарата

$$t_{PM,\tau_k} = \frac{c \cdot P_{PM} \cdot t_{PM,\tau_{(k-1)}} + c \cdot (\overline{M}_{\tau_k} + M_n - n_{PЭ} \cdot m_{PЭ} - n_{ПЭ} \cdot m_{ПЭ}) \cdot t_{n,ПЭ,\tau_{(k-1)}} - Q_{ном.,PM,\tau_{(k-1)}}}{c \cdot (P_{PM} + \overline{M}_{\tau_k} + M_n - n_{PЭ} \cdot m_{PЭ} - n_{ПЭ} \cdot m_{ПЭ})}, \quad (4)$$

где  $c$  – теплоемкость расплава, Дж/(кг·К) (для электролита всех аппаратов принята одинаковой);  $Q_{см,\tau_k}$  – теплота смешивания хлорида магния с электролитом, Дж;  $t_{MgCl_2}$  – температура хлорида магния, заливаемого в головной аппарат, К;  $m$  – расход хлорида магния, т;  $Q_{ном.,ГА,\tau_{(k-1)}}$ ,  $Q_{ном.,PЭ,\tau_{(k-1)}}$ ,  $Q_{ном.,ПЭ,\tau_{(k-1)}}$ ,  $Q_{ном.,PM,\tau_{(k-1)}}$  – дополнительные тепловые потери, связанные с изменением температуры электролита в головном аппарате, рафинировочных и проточных электролизерах, а также разделительном аппарате, Дж;  $n$  – порядковый номер электролизера, отсчитываемый от головного аппарата по направлению движения электролита;  $M_n$  – поток расплава, поступающий из последнего электролизера замкнутого цикла за вычетом хлорида магния, разложенного в предыдущих электролизерах, т/ч;  $M_n + P_{Э} - n \cdot m$  – масса электролита, протекающего через электролизер за период  $\tau_k$ , кг;  $\overline{M}_{\tau_k}$  – количество хлорида магния титанового производства, заливаемого в головной аппарат за время  $\tau_k$ , кг.

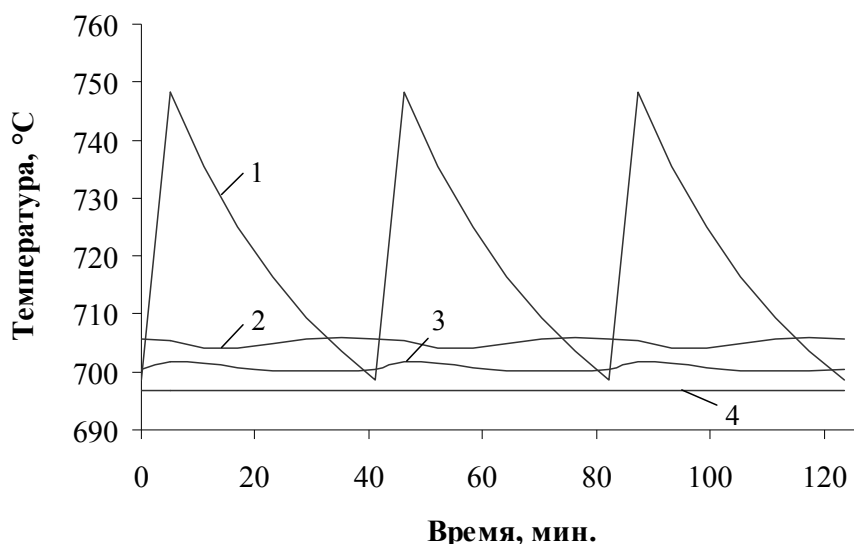
Следует отметить, что условием применимости уравнений (1)-(4) является равенство нулю величин  $\overline{M}_{\tau_k}$  и  $Q_{см,\tau_k}$  для всех промежутков времени, кроме времени подачи хлорида магния. Если каждый из промежутков времени  $\tau_k$  принять равным продолжительности заливки хлорида магния из одного ковша, то значения  $Q_{см,\tau_k}$  и  $\overline{M}_{\tau_k}$  будут учитываться при первой заливке, от которой начинается отсчет времени  $\tau_{k=0}$ , и в каждый последующий  $k$ -ый момент времени  $\tau_k = T$  (где  $T$  – время между заливками хлорида магния).

С использованием приведенной системы уравнений были рассчитаны температура-ные параметры поточной линии производства магния, состоящей из

тех же аппаратов и работающей при тех же условиях, что и при расчете, ранее выполненном для концентрационного режима [2]. Значение  $Q_{см,τк}$  определяли как энтальпию смешивания в тройной системе  $KCl-NaCl-MgCl_2$  по уравнению, предложенному в работе [3], с использованием термодинамических данных, взятых из источника [4].

При расчете величины тепловых потерь  $Q_{пот,τк}$  исходили из размеров и конструкции аппаратов поточной линии, спроектированной для одного из титано-магние-вых предприятий.

На рис. 2 представлена графическая зависимость изменения во времени температуры электролита в аппаратах поточной линии для условий ритмичной подачи хлорида магния. Видно, что при заданных условиях подачи хлорида магния температура электролита в головном аппарате поточной линии имеет более высокие значения, чем в остальных аппаратах и достигает 748 °С. Выравнивание температурного режима при оптимальных для электролиза значениях температуры электролита происходит после пятого проточного электролизера.



1 - головной аппарат; 2, 3 - соответственно, первый и второй рафинировочные электролизеры; 4 - пятый проточный электролизер

**Рисунок 2** – Изменение температуры электролита в аппаратах поточной линии в условиях ритмичной подачи сырья:

*Заключение.* Уравнения для расчета температурного режима могут быть использованы при проектировании поточных линий электролиза магния, а также для текущего анализа работы поточных линий, эксплуатируемых в составе титано-магние-вых предприятий. Они могут быть взяты за основу при разработке программного обеспечения системы АСУТП цехов электролитического производства магния, в которых применяют поточную технологию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуев, Н. М. Исследование и разработка поточной технологии электролитического производства магния [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / Н. М. Зуев. – Л., 1975. – 327 с.
2. Концентрационный режим поточной линии производства магния из хлорида магния титанового производства / Н. П. Криворучко, И. В. Забелин, Д. В. Бачурский и др. // *Металургія : наукові праці ЗДІА.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2009. – Вип. 20. – С. 56-62.

3. *Kohler, F.* Zur Berechnung der thermodynamischen Daten eines ternären Systems aus den zugehörigen binären Systemen [Text] / F. Kohler, G. H. Fidernegg // *Monatsh. Chem.* – 1965. – Vol. 96, № 4. – P. 1228-1251.
4. *Марков, Б. Ф.* Термодинамические свойства расплавов солевых систем [Текст]. Справочное пособие / Б. Ф. Марков. – К. : Наукова думка, 1974. – 158 с. – Библиогр. : с. 155-158.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2011 р.  
Рецензент, проф. Г.О. Колобов