

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ. СООБЩЕНИЕ 1

В. П. ПИЩУЛИН

(Представлена научно-методическим семинаром кафедры ПМАХП ХТФ)

Концентрирование серной кислоты в промышленности в настоящее время производится в основном в барботажных концентраторах [1]. Необходимое количество тепла подводится топочными газами. Огромный перерасход топочных газов, большая разность температур между топочными газами и концентрируемым раствором, приводящая к разложению серной кислоты, невозможность получения серной кислоты концентрацией более 94—95%, значительный унос серной кислоты, значительное давление топочных газов, громоздкость малопроизводительного оборудования при большой коррозии послужили причиной многих исследований в этой области. Для устранения этих недостатков нами предложен прямой электрический нагрев в аппарате дефлегмационного типа.

Применение прямого электрического нагрева позволяет быстро и с высоким коэффициентом полезного использования энергии (96—98%) подводить необходимое количество тепла путем пропускания переменного электрического тока промышленной частоты (50 герц) через раствор серной кислоты с помощью плоскопараллельных электродов из угля или графита, практически устранить коррозию оборудования применением неметаллических коррозионностойких материалов, резко увеличить объемную производительность концентратора, устранить разложение и унос серной кислоты.

При прохождении электрического тока выделяется тепло прямо пропорционально его сопротивлению согласно закону Джоуля — Ленца. В нашем случае электрическое сопротивление системы складывается из сопротивления электродов, обладающих электронной проводимостью, сопротивления раствора с ионной проводимостью и сопротивления на границе электрод — раствор, обусловленного сопротивлением двойного электрического слоя и химическими реакциями на поверхности электродов [2]. Сопротивление электрода — величина относительно малая, поэтому выделяющееся тепло будет определяться сопротивлением раствора и граничным сопротивлением, причем сопротивление раствора зависит от удельной электропроводности раствора, формы, поверхности и расположения электродов; величина граничного сопротивления определяется удельным граничным сопротивлением и рабочей поверхностью электродов. Удельное граничное сопротивление зависит от материала электрода, состава и концентраций раствора, температуры и плотности тока и определяется экспериментально.

В данном сообщении приведены экспериментальные данные исследования удельного граничного сопротивления в зависимости от концентрации раствора серной кислоты, температуры, плотности тока для

электродов и электродного угля, электродного графита, сталей X18 H10T и ЭИ943.

В измерительную ячейку с плоскопараллельными электродами заливался определенный объем исследуемого раствора, к раствору с помощью электродов через амперметр, вольтметр и автотрансформатор подводился переменный электрический ток. При установившихся определенной плотности тока и температуре раствора замерялось общее падение напряжения на ячейке, а также с помощью щупа и высокоомного измерителя напряжения определялось падение напряжения электрического тока в растворе между электродами. Разность между значениями общего падения напряжения на ячейке и падением напряжения на растворе, деленная пополам, представляет граничное падение напряжения у одного электрода. Удельное граничное сопротивление рассчитывалось как частное от деления граничного падения напряжения на плотность тока.

Результаты исследования приведены в табл. 1.

Как показали исследования, удельное граничное сопротивление в большой степени зависит от материала электродов. Для угля и графита оно наименьшее и его величина не превышает  $1,1 \text{ ом} \cdot \text{см}^2$  в исследованном интервале температур, концентрации и плотности тока, причем зна-

Таблица 1

Влияние плотности тока на удельное граничное сопротивление для электродов из графита и стали ЭИ943 при температуре  $100^\circ \text{C}$  в серной кислоте концентрацией 94%

№ п/п	Плотность тока, $\text{а} \cdot \text{см}^2$	Графитовые электроды			Электроды из стали ЭИ943		
		падение напряжения на ячейке, вольт	граничное падение напряжения, вольт	удельное граничное сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}^2$	падение напряжения на ячейке, вольт	граничное падение напряжения, вольт	удельное граничное сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}^2$
1	0,50	6,75	0,55	1,10	28,6	13,0	26
2	0,75	10,20	0,75	1,00	32,8	14,0	18,7
3	1,00	13,10	0,96	0,96	36,00	14,6	14,6
4	1,50	18,00	1,30	0,87	41,2	16,0	10,7
5	2,00	23,40	1,50	0,75	48,4	16,4	8,2
6	2,50	27,40	1,65	0,60	56,0	20,4	8,16

чения удельного граничного сопротивления для угля и графита одинаковы при равных условиях. Для электродов из стали X18 H10T и ЭИ943 величина удельного граничного сопротивления примерно на порядок больше.

Увеличение плотности тока до 3—5  $\text{а} \cdot \text{см}^2$  со всеми материалами электродов приводит к значительному уменьшению удельного граничного сопротивления, при дальнейшем увеличении плотности тока значения удельного граничного сопротивления практически не изменяются.

С увеличением концентрации серной кислоты примерно до 83% для электродов из электродного графита наблюдается сначала возрастание удельного граничного сопротивления, а затем при дальнейшем увеличении концентрации до ~93% значения удельного граничного сопротивления снижаются до минимального значения с последующим ростом. Кривая изменения удельного граничного сопротивления в зависимости от концентрации серной кислоты аналогична таковой для величины, обратной удельной электропроводности, то есть удельному электросопротивлению.

С увеличением температуры раствора серной кислоты для угля и графита характерно плавное уменьшение удельного граничного сопротивления, что объясняется большей подвижностью ионов с ростом температуры. Для стали X18 H10T с увеличением температуры до  $150^\circ \text{C}$

Таблица 2

Зависимость удельного граничного сопротивления от температуры серной кислоты концентрацией 94% при плотности тока  $1,5 \text{ а/см}^2$  для электродов из графита, угля сталей X18 H10T и ЭИ943

№ п.п	Температура, °С	Удельное граничное сопротивление в $\text{ом}\cdot\text{см}^2$ для электродов из			
		графита	угля	стали X18 H10T	стали ЭИ943
1	75	0,93	0,93	12,90	11,94
2	100	0,87	0,75	14,35	10,70
3	150	0,56	0,55	19,50	10,70
4	200	0,50	0,51	6,27	8,34
5	298	0,47	0,49	3,40	2,54

Таблица 3

Влияние концентрации серной кислоты на удельное граничное сопротивление для электродов из графита при температуре  $100^\circ\text{C}$  и плотности тока  $1,5 \text{ а/см}^2$

Концентрация серной кислоты, %	65	73,2	78	83,3	93	97,5
Удельное граничное сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}^2$	0,72	0,83	0,87	1,0	0,87	1,2

наблюдается увеличение удельного граничного сопротивления до величины  $19,5 \text{ ом}\cdot\text{см}^2$  при плотности тока  $1,5 \text{ а/см}^2$ . При дальнейшем росте температуры происходит резкое уменьшение удельного граничного сопротивления до величины  $6,27 \text{ ом}\cdot\text{см}^2$  при  $200^\circ\text{C}$ . Такая зависимость удельного граничного сопротивления от температуры объясняется образованием сульфатной пленки на электроде при температуре ниже  $150^\circ\text{C}$ , обладающей высоким электрическим сопротивлением, которая при дальнейшем увеличении температуры переходит в растворимое состояние, в результате чего удельное граничное сопротивление уменьшается.

Аналогичный, но более сглаженный характер имеет зависимость удельного граничного сопротивления от температуры для стали ЭИ943, растворимость которой в виде электродов в серной кислоте значительно больше, чем стали X18 H10T.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Амелин. Производство серной кислоты. «Химия», 1967.
2. Исследования в области промышленного электронагрева. Труды ВНИИЭТО. Вып. 2. Под ред. А. П. Альтгаузена и А. Е. Никольского. «Энергия», 1967.