

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА ДЛЯ ВЫПАРИВАНИЯ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

В. П. ПИЩУЛИН

(Представлена научным семинаром кафедры процессов, аппаратов
и кибернетики химических производств)

Травильные растворы, содержащие 14,9% FeCl_2 , 14,6% FeCl_3 и 9,06% CuCl_2 , образующиеся в результате взаимодействия раствора хлорного железа с медью в процессе травления плат, являются отходами, обезвреживаются в настоящее время известью и вывозятся в отвал, загрязняя грунтовые воды.

Выпаривание травильных растворов приводит к выделению хлоридов меди и железа в виде твердых кристаллогидратов, для чего необходимо выпарить из каждого литра травильного раствора около 560 г воды. Таким образом, путем выпаривания получают твердые соли $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, которые могут применяться для укрепления грунтов, и чистая вода в результате конденсации вторичного пара, которая может быть использована на нужды предприятия или сброшена в канализацию вместе с промывными водами [1].

Специфика предприятия, а также особенности и преимущества прямого электрического нагрева, так же как высокая интенсивность теплоподвода, отсутствие теплопередачи, высокий коэффициент использования электрической энергии, гибкое и тонкое регулирование тепловыделения, простота устройства и компактность установки, высокая культура производства способствовали выбору в качестве теплоносителя переменного электрического тока промышленной частоты [2].

В данном сообщении приведены результаты исследования электрофизических свойств системы электрод — травильный раствор — электрод, необходимых для расчета и конструирования выпарного аппарата электродного типа. Были определены удельная электропроводность травильного раствора в течение процесса выпаривания, граничные падения напряжения в системе электрод — травильный раствор, удельные граничные сопротивления, температуры кипения, состав раствора.

Исследования проводились в измерительной ячейке с плоскопараллельными электродами. В качестве материала электродов был выбран электродный графит, поскольку электродный графит обладает высокой электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошо механически обрабатывается. В измерительную ячейку заливался определенный объем исследуемого раствора. Электроды закреплялись в ячейке на определенном расстоянии. К ним через амперметр, вольтметр и автотрансформатор подводился переменный электрический ток. При установленных плотностях электрического тока и температуре раствора измерялось общее падение напряжения электрического тока на ячейке,

а также с помощью щупа и высокомерного измерителя напряжения ИВ-4 определялось падение напряжения электрического тока в растворе между электродами. Разность между значениями общего падения напряжения на ячейке и падением напряжения на растворе, деления 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.

Таблица 1

Влияние плотности тока, температуры и концентраций травильного раствора на граничное падение напряжения и удельное граничное сопротивление

№ пп.	Состав раствора, г/л	Температура, °С	Плотность тока, а/см ²	Граничное падение напряжения, в	Удельное граничное сопротивление, ом·см ²	Примечание
1	FeCl ₂ ·4H ₂ O — 343,	35	0,25	0,66	2,64	Электроды графитовые, рабочая поверхность 10 см ²
2			0,50	1,30	2,60	
3	FeCl ₃ ·6H ₂ O — 341,		0,75	1,90	2,53	
4	CuCl ₂ ·2H ₂ O — 161	55	0,25	0,35	1,40	
5			0,50	0,75	1,50	
6			0,75	1,10	1,47	
7			1,00	1,50	1,50	
8			0,25	0,27	1,08	
9			0,50	0,57	1,14	
10		0,75	0,83	1,11		
11		1,00	1,14	1,14		
12		0,25	0,16	0,64		
13		105	0,50	0,33	0,66	
14		(кипение)	0,75	0,50	0,66	
15			1,00	0,65	0,65	
16	FeCl ₂ ·4H ₂ O — 770, FeCl ₃ ·6H ₂ O — 766, CuCl ₂ ·2H ₂ O — 362	120 (кипение)	1,00	0,2	0,2	

Как видно из полученных данных, температура кипения исходного травильного раствора, содержащего 343 г/л FeCl₂ · 4H₂O, 341 г/л FeCl₃ × 6H₂O и 161 г/л CuCl₂ · 2H₂O, составляет 105° С, а выпаренного раствора, состоящего только из кристаллогидратов хлоридов железа и меди 770 г/л FeCl₂ · 4H₂O, 766 г/л FeCl₃ · 6H₂O и 362 г/л CuCl₂ · 2H₂O, — 120° С. Граничные падения напряжения прямо пропорционально возрастают с увеличением плотности тока и уменьшаются с температурой. Так, например, при увеличении плотности тока в 4 раза от 0,25 до 1 а/см² граничные падения напряжения также возрастают в 4 раза в исследованном интервале температур; а при плотности тока 0,75 а/см² с увеличением температуры с 35° С до температуры кипения 105° С граничные падения напряжения уменьшаются с 1,90 до 0,50 в. Удельное граничное сопротивление практически не зависит от плотности тока в исследованном интервале плотностей тока и уменьшается с увеличением температуры. Для выпаренного травильного раствора, состоящего практически из кристаллогидратов хлоридов меди и железа, при температуре кипения 120° С удельное граничное сопротивление составляет 0,2 ом·см². Выпаренный

раствор при температуре кипения представляет собой подвижную жидкость, которая при охлаждении полностью кристаллизуется.

По данным табл. 1 проведен расчет удельной электропроводности, поскольку весь раствор находится между плоскопараллельными электродами, установленными строго напротив друг друга. Значения удельной электропроводности рассчитывались по уравнению

$$\alpha = \frac{i \cdot l}{\Delta U_p}, \quad (1)$$

где α — удельная электропроводность раствора, $ом^{-1} \cdot см^{-1}$;

i — плотность тока, $а/см^2$;

l — расстояние между электродами, $см$;

ΔU_p — падение напряжения на растворе, $в$.

Расчетные значения удельной электропроводности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения удельной электропроводности травильного раствора

№ п. п.	1	2	3	4	5
Температура, °С	35	55	75	105 (кипение)	120 (кипение)
α , $ом^{-1} см^{-1}$	0,10	0,14	0,16	0,21	0,17

Примечание. Состав раствора опытов 1, 2, 3, 4 — $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ — 343 г/л, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ — 341 г/л; $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ — 161 г/л. Состав раствора опыта 5 — $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ — 770 г/л; $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ — 766 г/л; $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ — 362 г/л.

Как показали расчетные данные, удельная электропроводность линейно растет с температурой и может быть определена с точностью $\pm 2,5\%$ по уравнению

$$\alpha_t = \alpha_{20^\circ} + 0,153 \cdot 10^{-2} (t - 20), \quad (2)$$

где α_{20° — удельная электропроводность раствора при $20^\circ C$, равная $0,98 ом^{-1} \cdot см^{-1}$;

t — температура раствора, $^\circ C$.

На основании полученных данных предложена технологическая схема утилизации травильных растворов выпариванием в электродных выпарных аппаратах, выбрана оптимальная плотность электрического тока $1 а/см^2$, напряженность электрического поля — $6 в/см$, оптимальная температура упаренного раствора на выходе из аппарата $120^\circ C$, проведен расчет выпарного аппарата.

Выводы

1. Исследована возможность выпаривания травильных растворов в выпарных аппаратах с прямым электрическим нагревом.

2. Определены электрофизические свойства в системе электрод — травильный раствор — электрод, необходимые для расчета выпарных аппаратов.

3. Найден оптимальные условия проведения процесса выпаривания с применением прямого электрического нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

- С. А. Бабенко, В. П. Пищулин. Пути переработки травильных растворов. Известия ТПИ, т. 259, Томск, Изд-во Томского университета (в печати).
- Н. И. Гельперин. Выпарные аппараты. М., Госхимиздат, 1947.