

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ МЕДНОГО ПОРШКА ИЗ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ст. преп. Васильев И.Д., ст. преп. Ковчур А.С., инж. Трутнев А.А. (ВГТУ)

В работах [1-4] описана технология извлечения медного порошка из отходов гальванического производства. Она основана на реагентном методе осаждения меди из растворов, не требует больших затрат энергии и является экологически чистой. Данная статья посвящена оптимизации процесса осаждения. В лабораторных условиях был проведен ряд экспериментов, направленных на выявление оптимальных параметров проводимых процессов, позволяющих получить максимальный выход меди и при этом до минимума сократить затраты на реагент-осадитель.

Требуется разработать технологию, которая позволяет наиболее полно извлекать ионы меди из жидких промышленных отходов. В то же время важное значение имеет скорость осаждения и изменения объема реакционной смеси, который не должен значительно увеличиваться.

Для достижения этих целей исследовалась зависимость изменения массы образующегося в 10 мл жидких отходов, содержащих 160 г/л ионов  $\text{Cu}^{2+}$  за время равное 5 минутам, осадка гидроксида меди (II) при добавлении объема, равного 35 мл, растворов гидроксида натрия с различными концентрациями. Добавление проводилось при постоянном перемешивании. Через 5 минут раствор фильтровался. Затем осадок высушивался на воздухе в течении 4-х часов при комнатной температуре и, после этого, отделялся на фильтре и взвешивался на аналитических весах. Для раствора каждой концентрации проводилось по 5 параллельных определений, после чего делалась статистическая обработка результатов и определение доверительных границ. Результаты представлялись в виде:

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

где  $\bar{x}$  — среднее значение, подсчитанное после проверки результатов по Q-критерию;  $t$  - коэффициент нормированных отклонений, взятый при доверительной вероятности  $P=0.95$ ;  $S$  - стандартное отклонение;  $n$  - число измерений.

Результаты опытов с учетом статистической обработки приведены в таблице 1. Исходя из этих результатов было проведено математическое моделирование и оптимизация процесса осаждения гидроксида меди. В качестве варьируемых факторов процесса осаждения взяли концентрацию  $C_{\text{NaOH}}$  в г/л (обозначили  $x_1$ ). В качестве критерия оптимизации приняли массу осадка  $m_{\text{Cu(OH)}_2}$  в граммах.

На стадии предварительного эксперимента (табл. 1) выделили зону, определяющую положение нулевой точки и возможного варьирования фактора. Исходя из этого составили таблицу варьирования фактора (табл. 2) и матрицу планирования полного однофакторного эксперимента, которая представлена в таблице 3. Зависимость массы осадка от концентрации реагента при следующих условиях:  $V_{\text{NaOH}}=35$  мл,  $C_{\text{Cu(II)}}=160$  г/л,  $V_{\text{р-ра Cu(II)}}=10$  мл,  $T_{\text{осажд.}}=5$  мин.

Реализация матрицы планирования и оптимизация выполняются по разработанной программе на ЭВМ. Математическую модель составляем как линейную зависимость, вида:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1,$$

(2)

где  $b_0$  - свободный член;  $b_1$  - коэффициент фактора.

В результате реализации этой матрицы были определены коэффициенты регрессии, которые являются значимыми по Фишера и адекватными по Стьюдента [86]:  $b_0=1.41$ ;  $b_1=0.098$ .

Исходя из этих коэффициентов получили математическую модель:

$$\hat{y} = 1.41 + 0.098 x_1, \quad (3)$$

где  $y$  — расчетное значение критерия оптимизации.

Оптимизация математической модели выполнялась при следующих условиях и ограничениях:  $-2 \leq x_1 \leq 2$ ,  $\hat{y} \Rightarrow \max$ . Оптимальное значение  $\hat{y} = 1.606$  г имеет, когда  $x_1=+2$  при  $P=0.95$ . По таблице 2.2 находим концентрацию NaOH, соответствующую уровню варьирования +2:  $C_{\text{NaOH}} = 80$  г/л. Максимальное экспериментальное значение  $y_{\text{экс}}=1.5957$  г. Относительную ошибку  $O_o$  расчетного значения от экспериментального находим из соотношения:

$$O_o = (\hat{y}_{\max} - y_{\text{экс}}) / y_{\text{экс}} \cdot 100 \% . \quad (4)$$

После подстановки указанных значений получаем, что относительная ошибка  $O_o=0.64$  %. Таким образом установлено, что для полного осаждения меди из растворов, в которых концентрация  $C_{Cu^{2+}} = 150-170$  г/л, рекомендуется использовать растворы NaOH с концентрацией 75-85 г/л. Обязателен контроль pH в интервале 8-10.

Таблица 1

Концентрация NaOH г/л	Масса осадка, г						Стандартное отклонение S	Доверительные границы $t^*S/\sqrt{n}$ , г
	№ опыта					Среднее значение		
	1	2	3	4	5		6	7
5	0.0436	0.0442	0.0454	0.0448	0.0440	0.0444	$7.07 \cdot 10^{-4}$	$8.79 \cdot 10^{-4}$
10	0.1010	0.1122	0.0991	0.0984	0.1076	0.1037	$5.99 \cdot 10^{-3}$	$7.46 \cdot 10^{-3}$
15	0.1524	0.1496	0.1518	0.1480	0.1502	0.1504	$1.76 \cdot 10^{-3}$	$2.36 \cdot 10^{-3}$
20	0.2320	0.2351	0.2360	0.2296	0.2334	0.2332	$2.54 \cdot 10^{-3}$	$3.16 \cdot 10^{-3}$
25	0.3280	0.3296	0.3319	0.3328	0.3274	0.3299	$2.36 \cdot 10^{-3}$	$2.93 \cdot 10^{-3}$
30	0.4110	0.4136	0.4091	0.4124	0.4082	0.4109	$2.24 \cdot 10^{-3}$	$2.78 \cdot 10^{-3}$
35	0.5211	0.5174	0.5165	0.5197	0.5228	0.5195	$2.59 \cdot 10^{-3}$	$3.22 \cdot 10^{-3}$
40	0.6114	0.6085	0.6133	0.6124	0.6079	0.6107	$2.39 \cdot 10^{-3}$	$2.97 \cdot 10^{-3}$
45	0.7212	0.7236	0.7189	0.7221	0.7192	0.7210	$1.98 \cdot 10^{-3}$	$2.46 \cdot 10^{-3}$
50	0.8312	0.8324	0.8341	0.8296	0.8333	0.8321	$1.77 \cdot 10^{-3}$	$2.38 \cdot 10^{-3}$
55	0.9614	0.9581	0.9569	0.9621	0.9574	0.9592	$2.40 \cdot 10^{-3}$	$2.98 \cdot 10^{-3}$
60	1.0961	1.0951	1.0948	1.0956	1.0944	1.0956	$3.71 \cdot 10^{-3}$	$4.61 \cdot 10^{-3}$
65	1.2194	1.2185	1.2236	1.2212	1.2221	1.2210	$2.05 \cdot 10^{-3}$	$2.55 \cdot 10^{-3}$
70	1.3994	1.4031	1.3976	1.4013	1.4007	1.4000	$2.06 \cdot 10^{-3}$	$2.56 \cdot 10^{-3}$
75	1.5108	1.5076	1.5122	1.5085	1.5091	1.5096	$1.85 \cdot 10^{-3}$	$2.30 \cdot 10^{-3}$
80	1.5996	1.5966	1.5942	1.5951	1.5938	1.5957	$1.96 \cdot 10^{-3}$	$2.44 \cdot 10^{-3}$
85	1.5870	1.5844	1.5882	1.5837	1.5854	1.5857	$1.85 \cdot 10^{-3}$	$2.30 \cdot 10^{-3}$
90	1.5761	1.5727	1.5780	1.5778	1.5783	1.5765	$2.33 \cdot 10^{-3}$	$2.90 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2

Значения фактора оптимизации и интервала варьирования

Фактор	Размерность	Обозначение	Уровни варьирования				
			- 2	- 1	0	+ 1	+ 2
концентрация NaOH	г/л	$x_1$	60	65	70	75	80

Таблица 3

Матрица планирования однофакторного эксперимента

№ п/п	Факторы		Среднее значение критерия оптимизации $\bar{y}$
	$x_0$	$x_1$	
1	+	- 2	1.0956
2	+	- 1	1.2210
3	+	+ 1	1.5096
4	+	+ 2	1.5957

Образуется аморфный осадок с большой общей поверхностью, которая способствует соосаждению из растворов ионов аммония, присутствующих там в небольшом количестве. Ионы  $\text{NH}_4^+$  адсорбируются на поверхности осадка  $\text{Si}(\text{OH})_2$ . Явление соосаждения в данном случае облегчают дальнейшую переработку фильтрата так как туда не попадают ионы аммония.

Полученные данные можно экстраполировать на растворы гидроксида калия KOH, т.к. механизм образования осадка аналогичен, но в этом случае следует учитывать, что концентрация KOH должна быть 100-110 г/л.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковчур А.С., Тимонов И.А., Сироткин А.Л., Потоцкий В.Н. Разработка безотходной технологии утилизации отходов гальванического производства.// Проблемы качества и надежности машин. Тез. докл. республ. науч.-техн. конф.- Могилев, 1994.-С. 11.

2. Медный порошок, полученный из отходов гальванического производства /С.С. Клименков, В.В. Пятов, А.С. Ковчур, П.В. Лавшук //Там же.- С. 80-81.

3. Ковчур А.С., Васильев И.Д., Сироткин А.Л. Переработка медьсодержащих нитратных растворов// Научное обеспечение республиканской комплексной программы охраны окружающей среды. Сборник статей по РНТП 75.02р "Охрана природы".-Минск: Изд-во АН РБ, 1995 г.-С.92-94.

4. Ковчур С.Г., Васильев И.Д., Двоеглазов Г.В., Ковчур А.С., Ольшанский В.И., Сироткин А.Л. Разработка, оптимизация и внедрение технологий извлечения меди из жидких промышленных отходов// Там же.-С. 107-112.