

## ФАКТОРИ ПРИ ПРОЦЕСА НА ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦИЯ НА МЕД ОТ ПРОДУКЦИОННИ РАЗТВОРИ ПОЛУЧЕНИ СЛЕД БАКТЕРИАЛНО ИЗЛУГВАНЕ НА СУЛФИДНА МЕДНА РУДА

**Анатолий Ангелов, Стоян Грудев**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, tonyagev@hotmail.com*

**РЕЗЮМЕ.** Конструирана е лабораторна инсталация за изследване процеса на електроекстракция на мед от сулфатни електролити. Проведени са изследвания за установяване влиянието на различни фактори при процеса на електролиза на катодна мед от продукционни разтвори получени след бактериално излугване на сулфидна медна руда.

Установено е влиянието на температурата, вид на използваните електроди, плътност на катодният ток, концентрация на  $\text{Cu}^{2+}$  йони и сярна киселина в разтвора. Експериментите са осъществени при работен обем от  $1,5 \text{ dm}^3$  на електролизната камера и катодна площ -  $100 \text{ cm}^2$ . Установени са оптималните условия за провеждане на процеса при независимо вариране на всеки един от изследваните фактори.

### FACTORS AFFECTING THE PROCESS OF COPPER ELECTROREFINING FROM PREGNANT SOLUTIONS AFTER BACTERIAL LEACHING OF SULFIDE COPPER ORE

*Anatoli Angelov, Stoyan Groudev*

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria, tonyagev@hotmail.com*

**ABSTRACT.** An efficient copper refining by electrolysis from pregnant solutions, after bacterial leaching of sulfide copper ore was made in laboratory installation. We fulfill a study for determination the influence of various factors on the process for copper refining electrolysis. For that purpose we applied production solution from bacterial leaching of sulfide copper ore.

There are ascertain the influence of temperature, the kind of used electrodes, the density of cathode current,  $\text{Cu}^{2+}$  ion concentration and the sulfuric acid in the solution. The experiments are accomplished at working volume of  $1,5 \text{ dm}^3$  of the electrolysis camera and cathode area of  $100 \text{ cm}^2$ . It was found also the optimum conditions for the process performance at independent variation of each investigated factor.

### Въведение

Електроекстракцията на мед от сулфатни електролити е електрохимичен процес изискващ строго контролиране на технологичните параметри – плътност на катодния ток, температура, интензивност на разбъркването, съдържание на  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в електролита, съдържание на неразтворени вещества, концентрация на медни йони и присъствие на йони други метали в електролита и други (Biswas & Davenport, 2002). Други съществени фактори оказващи въздействие върху процеса са подходящия подбор вида на електродите в електролизера, геометрична конфигурация на работната камера, разстоянието между електродите, възможност за използване на реверсивни режими на запазване, добавяне на различни вещества подобряващи проводимостта на електролита, пречистване на електролита и други (Knuttila et al., 1987). Когато процеса се провежда при спазване на технологичните изисквания се постига висока ефективност и полученият продукт е със съдържание на чиста  $\text{Cu}$  от 98.9% до 99.8%. Електролизата се провежда в сярно-кисели водни разтвори при начално съдържание на мед  $30\text{-}50 \text{ g/dm}^3$  и съдържание на  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в диапазона  $120\text{-}200 \text{ g/dm}^3$  (Popov & Grigorov, 2002).

### Материали и методи

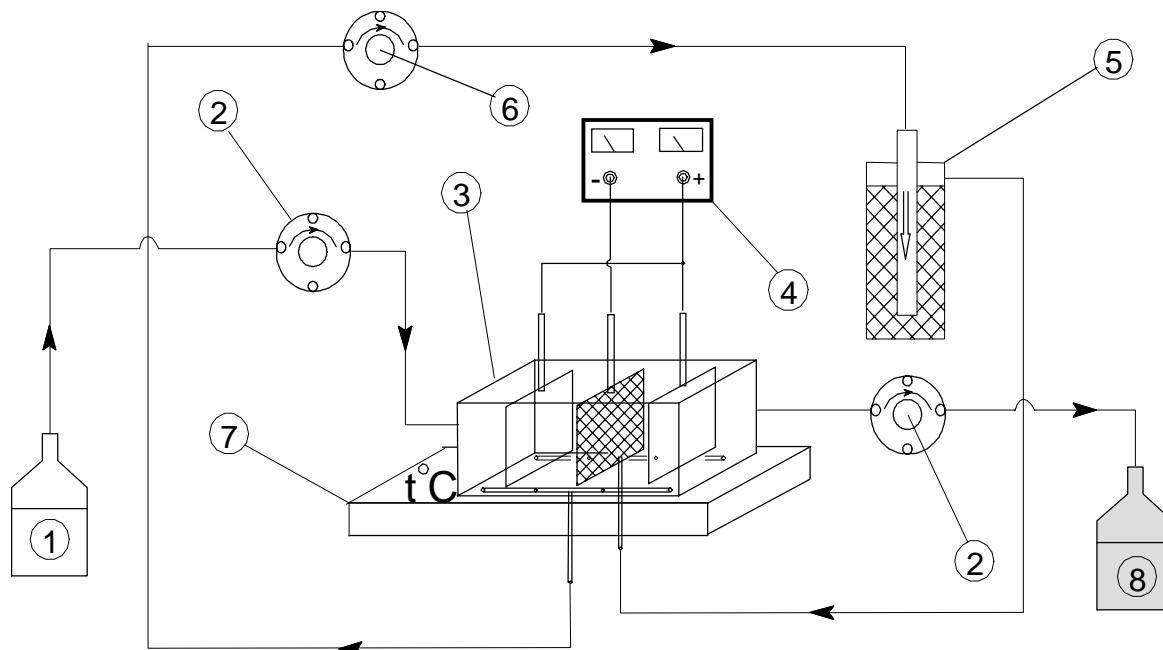
Конструирана е лабораторна инсталация за изследване процеса на електроекстракция на мед от сулфатни електролити. Основното предназначение на инсталацията е да осигури възможността за провеждане на различни изследвания при процеса на електроекстракция на мед от продукционни разтвори получени след бактериално излугване на сулфидна медна руда.

Лабораторната инсталацията за електролиза включва – съд със запазващ разтвор (1), перисталтична помпа за дозиране на постъпващ и изходящ разтвор (2), електролитна вана с електроди (3), регулируемо токозапазващо устройство (4), филтър за неразтворими вещества (5), перисталтична помпа за разбъркване на електролита (6), водна баня за регулиране на температурата (7) и колекторен съд (8).

Електролизната клетка е поставена в стъклена вана с геометричен обем  $1.8 \text{ dm}^3$ , работната катодна площ е  $100 \text{ cm}^2$ . В инсталацията е осигурена възможност за работа с четири различни вида комбинации на двойките електроди (Графит-Стомана (неръждаема)-Графит,  $\text{Pb-Al-Pb}$ , Графит-

Al-Графит и Pb- Стомана (неръждаема)-Pb). Посредством перисталтична помпа(6) с дебит  $0.5 \text{ dm}^3/\text{min}$  е обезпечено подходящо разбъркване на електролита в четири различни зони на клетката. Регулируемото токозахранващо устройство(4) осигурява плътност на катодния ток от 50 до  $500 \text{ A/m}^2$  при непрекъснато регистриране и контрол на електрическите параметри. За пречистване на електролита е предвиден филтър (5) за отстраняване на

неразтворените вещества – отделени утайки в камерата при процеса на електролиза. Чрез двуканална перисталтична помпа (2) има възможност за регулиране на контактното време при непрекъснат режим на работа на електролизната клетка. Водната баня(7) позволява регулирането на температурата в електролизера от 20 до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Фиг.1. Схема на лабораторната инсталация за електроекстракция на мед

Проведени са различни варианти на електролиза на продукционни разтвори, получени след бактериално излугване на сулфидна медна руда. Експериментите са осъществени при работен обем от  $1.5 \text{ dm}^3$  на електролита в електролизера, и катодна площ  $100 \text{ cm}^2$ . По време на опитите е осигурено непрекъснато разбъркване и регулиране на температурата в камерата.

## Резултати и обсъждане

Основни цели и задачи поставени в изследването са да се установи влиянието на редица фактори върху процеса - вида на електродната двойка, температурата, плътността на катодния ток, началната концентрация на медни йони и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в електролита. Друга основна задача в изследването, беше при вече установените оптимални условия, да се проведе електроекстракция на мед с реални разтвори получени, след бактериално излугване и установяване чистотата на получената катодна мед.

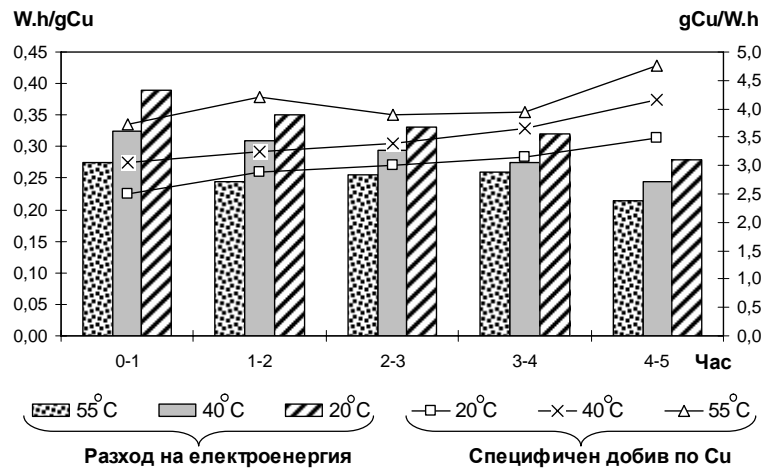
Химичният състав на изходния синтетичен електролит използван при различните изследвания варираше в диапазоните -  $37.4 \div 41.7 \text{ g/l Cu}$ ,  $1.1 \div 2.0 \text{ g/l Fe}$ ,  $0.1 \div 0.5 \text{ g/l Mn}$ ,  $0.1 \div 0.5 \text{ g/l Zn}$  и  $120 \div 200 \text{ g/l H}_2\text{SO}_4$ . Избраният състав на синтетичния електролит е аналогичен със състава на

реални разтвори получени след бактериално излугване на сулфидна медна руда (Kucharska-Giziewicz & Mackinnon, 1994).

За установяване влиянието на различните фактори върху процеса са осъществени серия от електроекстракции на мед в периодичен режим с продължителност от 5 до 6 часа.

За изследване зависимостта от температурата се проведе електролиза с електродната двойка Pb-AL-Pb, при три различни температури -  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и постоянна плътност на катодния ток от  $300 \text{ A/m}^2$ . Установи се най-голям специфичен добив по мед и най-малък разход на електроенергия при температура от  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  (фиг.2 ). При останалите три варианта на електродните двойки се получават сходни резултати.

При изследвания с цел установяване на най-подходящата електродна двойка при процеса са тествани четири варианта - А(Графит-Стомана-Графит), В(Графит-Al-Графит), С(Pb-Стомана-Pb), D(Pb-Al-Pb). Условиата на провеждане на електроекстракцията бяха - температура  $20^\circ\text{C}$ , плътност на катодния ток -  $200 \text{ A/m}^2$ , съдържание на  $\text{Cu}^{2+}$  йони в електролита  $40.07 \text{ g/l}$  и  $160 \text{ g/l H}_2\text{SO}_4$ .



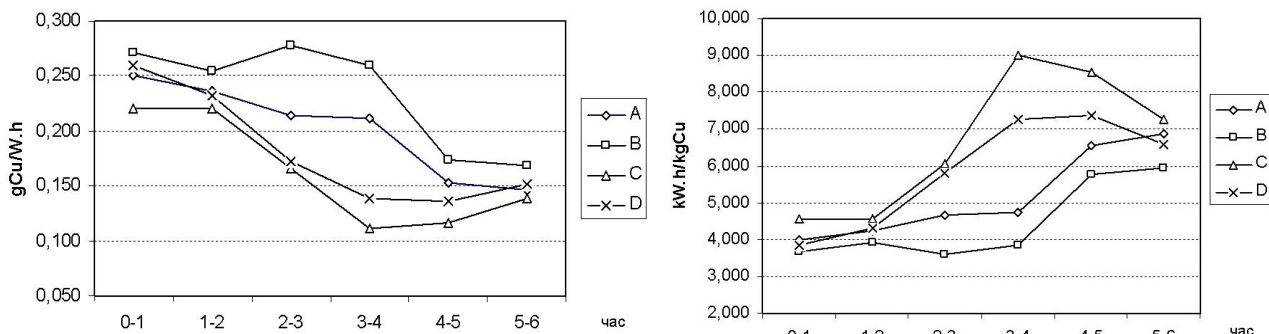
Фиг. 2. Специфичен добив на Cu и разход на електроенергия в зависимост от температурата

Получените резултати (фиг. 3) показват най-ефективна реализация на процеса при вариант В (Графит-Al-Графит). Графитните аноди имат по-стабилна работа по време на процеса в сравнение с оловните и за разлика от тях те не се пасивират, освен това и не замърсяват допълнително електролита с примеси на метали включени в състава на оловната сплав (Chen & Dutrizac, 1991). Недостатък при графитните електроди е наблюдаваното изронване на повърхността на електрода при многократно повтарящ се процес и отделящата се утайка от електропроводим материал на дъното на електролизната камера.

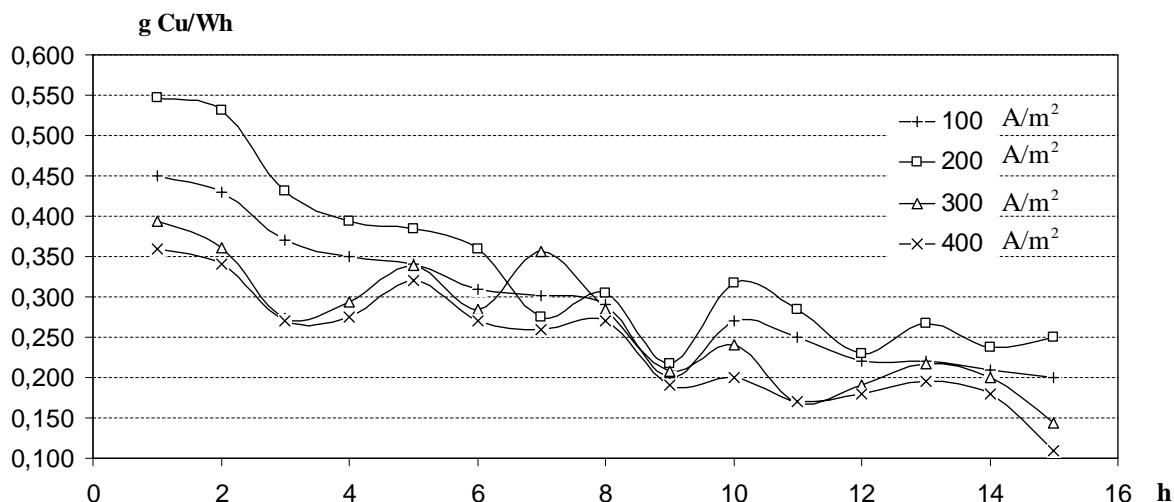
За установяване на оптималната плътност на катодния ток е реализиран експеримент при четири различни плътности на катодния ток съответно -100, 200, 300 и 400 A/m<sup>2</sup>, температура 20°C, за време от 15h, с електродна двойка Графит-Al-Графит и начален разтвор с 41.7 g/l Cu<sup>2+</sup> и 160g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Установява се оптимална плътност на катодния ток от 200 A/m<sup>2</sup> при която показателите - специфичен добив на мед и разход на електроенергия на грам катодна мед имат най-атраaktivни стойности (фиг. 4). Концентрацията на медни йони в електролита при така установената оптимална плътност на катодния ток варираше от 41.7 до 18.5 g/dm<sup>3</sup>, като най-добри резултати са получени за първите 6 часа от началото на процеса.

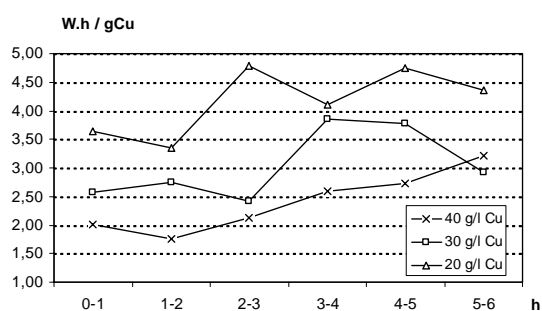
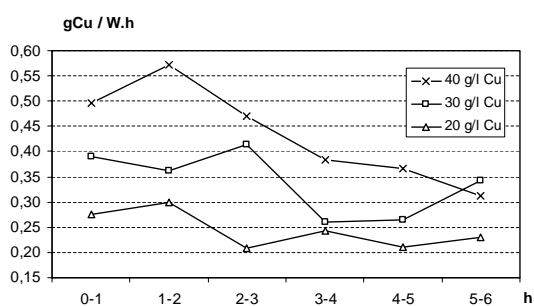
В потвърждение на тези резултати е и установеното влияние на началната концентрация на медни йони в електролитния разтвор върху ефективността на процеса. При по-високите начални концентрации от 40 и 30 g/l Cu, специфичния добив и разхода на електроенергия имат подобри стойности (фиг. 5) в сравнение с началната концентрация от 20 g/l Cu. В случаи когато концентрацията на медта в електролита спадне под 12 g/l, същата започва да се отлага на катода неравномерно и лесно се изронва от него, като пада във вид на утайка на дъното на електролизната клетка.



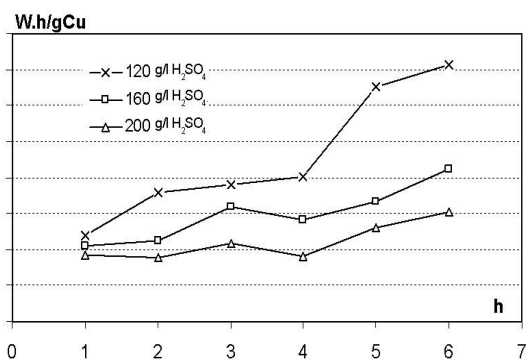
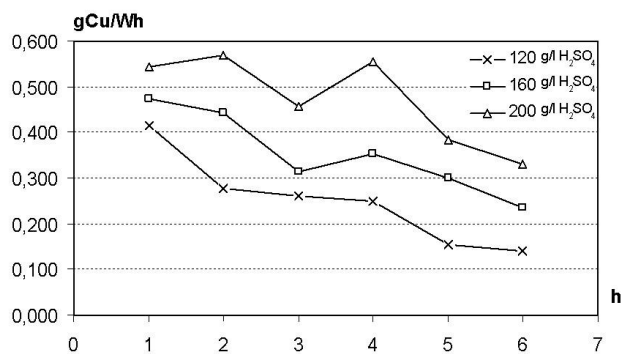
Фиг. 3. Специфичен добив на Cu и разход на електроенергия на грам катодна Cu при четири различни варианта на електродните двойки. А - Графит-Стомана-Графит; В - Графит-Al-Графит; С - Pb-Стомана-Pb; D - Pb-Al-Pb



Фиг.4. Специфичен добив на Cu при четири различна плътност на катодния ток



Фиг.5. Специфичен добив на мед и разход на електроенергия на грам катодна мед при плътност на катодния ток 200 A/m² и различни начални концентрации на Си в електролита



Фиг.6. Специфичен добив на мед и разход на електроенергия на грам катодна мед при три различни начални концентрации на H₂SO₄ в електролитния разтвор

При изследване влиянието на концентрацията на H₂SO₄ върху проводимостта на електролита, са проведени серия от електроекстракции за три различни концентрации на H₂SO₄ съответно 120, 160 и 200 g/l. Установява се значително по-нисък разход на електроенергия при концентрацията на H₂SO₄ от 200 g/l (в сравнение с 120 g/l) в електролитния разтвор (фиг.6). От технологична гледна точка диапазона 150-200 g/l е най-подходящ за ефективно водене на процеса. Експеримента е извършен при температура 20°C,

време 6 часа, електродна двойка Графит-Al-Графит, плътност на катодния ток от 200A/m² и начално съдържание на Cu²⁺ в електролита 40.9 g/l.

Проведени са и електроекстракции с реални разтвори получени след бактериално излугване на сулфидна медна руда. Същите са третирани в йоннообменна смола тип Amberlite IRC 748 и концентрирани при последващо елюиране на смолата. Реалните електролитни разтвори са означени условно - EL1÷EL5. Електроекстракция е

проведена при вече установените оптимални условия на електролизата. Получената чистотата на катодната Cu варира от 96.91 до 98.04 % (Табл.1). Установените специфичен добив по Cu е диапазона 0.15 - 0.77

gCu/W.h, а разходът на електроенергия на грам катодна Cu в границите 1.3 – 4.7 W.h/gCu.

Табл. 1. Основни технологични параметри при електроекстракцията на електролити EL1÷EL5.

Параметри	EL1	EL2	EL3	EL4	EL5
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , g/l	175	175	150	160	160
Начална концентрация на Cu <sup>2+</sup> , g/l	32.05	28.02	28.9	27.2	25.1
Крайна концентрация на Cu <sup>2+</sup> , g/l	16.3	16.6	20.1	18.5	14.5
Специфичен добив на Cu, gCu/W.h	0.17-0.77	0.15-0.45	0.23-0.62	0.26-0.42	0.21-0.68
Разход на електроенергия, W.h/gCu	1.3-5.9	2.15-6.7	1.6-4.3	2.3-3.9	1.5-4.7
Чистота на катодната Cu, %	96,90	97,54	97,92	96,96	98,10

## Заклучение

В лабораторна инсталация са проведени серия от експерименти за установяване на оптималните условия при процеса на електроекстракция на мед от сулфатни електролити, получени след бактериално излугване на сулфидна медна руда. Установено е влиянието на вида на електродната двойка, температурата, плътността на катодния ток и началните концентрации на Cu<sup>2+</sup> и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в електролита.

Получените резултати успешно могат да се прилагат при реални условия. При електроекстракции с реални електролити е достигната висока степен на чистота на катодната мед достигаща от 96,9 до 98,1 %.

## Литература

Biswas, A.K., and Davenport, W.G., 2002, Extractive Metallurgy of Copper, 4rd Edition, Elsevier Science Press, New York, NY.

Chen, T.T., and Dutrizac, J.E., 1991, A mineralogical study of anode passivation in copper electrorefining, In Copper 91-Cobre 91 Proceedings of the Second International Conference, Vol.111 Hydrometallurgy and Electrometallurgy, ed. Cooper, W.C., Kemp. D.J., Lagos, G.E. and Tan, K.G., Pergamon Press, New York, NY, pp. 369-389.

Kucharska-Giziewicz, E. A. and Mackinnon, D. J., 1994, Factors affecting the electrochemical behaviour of copper anodes under simulated electrorefining conditions, Journal of Applied Electrochemistry, 24, pp. 953-964.

Knuttila, K., Forsen, O., and Pehkonen, A., 1987, The effect of organic additives on the electrocrystallization of copper, In The Electrorefining and Winning of Copper, ed. Hoffmann, J.E., Bautista, R.G., Ettel, V.A., Kudryk, V., and Wesely, R.J., TMS, Warrendale, PA, pp. 129-143.

Popov B.N., Grigorov K.I., 2002, Fundamental aspects of electrometallurgy, Kluwer Academic Publishers, New York, NY.

Препоръчана за публикуване от катедра „Инженерна геоecология“, МТФ