

电解法从废弃印刷线路板的碘化浸金液中沉积金

徐 渠, 陈东辉, 陈 亮, 黄满红

(东华大学 环境科学与工程学院, 上海 201620)

摘 要: 研究电解法从废弃印刷线路板的碘化浸金液中沉积金。结果表明, 电解法从废弃印刷线路板的碘化浸金液中沉积金的最佳工艺条件为: 碳棒作阴极, 钛板作阳极, 阴离子交换膜隔开电解槽, 阳极碘液中碘的质量分数为 0.1%~0.8%, $n(I_2):n(I^-)=1:10$, 槽电压为 10~14 V, 阴极碘化浸金液中金浓度为 15~50 mg/L, 电解时间为 1~4 h, 金的电解沉积率大于 95%。电解实验后, 阳极碘液可以重复作为电解质使用或再次用来从废弃印刷线路板中浸取金。

关键词: 电沉积; 废弃印刷线路板; 碘化法; 金

中图分类号: X 705 **文献标识码:** A

Electrodepositing gold of iodine leaching solution from waste printed circuit board

XU Qu, CHEN Dong-hui, CHEN Liang, HUANG Man-hong

(School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The technical process of electrodepositing gold of iodine leaching solution from waste printed circuit board (PCB) was investigated. The results show that the most optimized conditions of electrodepositing gold of iodine leaching solution from waste PCB are elicited that the cell carbon rods(cathode) and titanium plate (anode) are used as electrode, the cell is partitioned by anion exchange membrane, the iodine concentration in anode solution is 0.1%~0.8%, $n(I_2):n(I^-)=1:10$, the cell voltage is 10~14 V, the gold concentration in cathode solution is 15~50 mg/L, the electrolyzing time is 1~4 h, the electrodepositing rate of gold is more than 95%. After electrolytic experiment, the anode iodine solution can be recycled for electrolyte or leaching gold from waste PCB.

Key words: electrodeposit; waste printed circuit board; iodine process; gold

随着电子工业的发展, 作为电子产品的重要组成部分, 印刷电路板(Printed circuit board)的数量急剧增加。由于电子产品不断淘汰升级, 被废弃的印刷线路板的数量也急剧增加, 对其进行合理的处理和处置已成为急需解决的问题。印刷线路板的组成中含有大量的塑料和贱金属铜、铅、锌等, 另外还普遍含有稀贵金属金、银、钯等, 其中金的含量达到 80 g/t, 远高于一般金矿矿石中的金品位^[1]。因此, 对废弃印刷电路板进行资源化回收, 不仅可以获得宝贵的稀贵金属资源, 还可以有效防止其对环境的

严重污染。

目前从废弃印刷电路板中提取金等贵金属仍是其资源化研究的难点。已有的从线路板中回收金等贵金属的方法是借鉴火法冶金和湿法冶金技术, 其中火法冶金技术由于其有机物燃烧产生的有毒废气严重污染环境, 已经逐渐被淘汰。湿法冶金技术中常用的化学试剂有王水和氰化物。王水氧化性强、腐蚀性强, 且溶金过程有氮氧化物的生成, 易造成二次污染; 而氰化物的毒性大, 浸金时间长。近年来氰化物的环境污染事故时有发生, 鉴于环境保护和

基金项目: 上海市重点学科建设计划资助项目(B604)

收稿日期: 2008-10-10; **修订日期:** 2009-01-14

通讯作者: 陈东辉, 教授, 博士; 电话: 021-67792534; E-mail: chendh@dhu.edu.cn

安全方面的考虑,现有逐渐被非氰试剂所替代的趋势。

碘化法浸金技术是湿法冶金技术的一种,其作为一种很有前途的非氰浸金方法,已经引起了国内外的普遍关注。该方法具有药剂无毒、浸金时间短、金浸出率高、对环境无污染、能在中性条件下浸出以及可同金形成稳定配合物等优点^[2-5]。国内外学者在碘化法浸金的电化学、动力学、热力学和浸出条件优化方面开展了相关的研究^[6-10]。

从浸出液中回收金与金的浸出同等重要,目前工业中主要的应用技术包括锌置换法和电解沉积法等,而电解沉积法与锌置换法相比具有明显的优点:1)不需要加入其它金属或化学试剂;2)选择性好、回收率高、产物纯度高;3)流程简单、回收成本低,因此得到了广泛的研究与运用^[11]。YAP等^[12]研究了采用不同的阴极材料从含金的氰化液中电沉积回收金。实验在含阳离子交换膜的电解槽中进行。实验表明:使用铜板、不锈钢片、多孔石墨和网状玻璃碳做阴极,金的回收率都能达到90%以上,其中使用活性网状玻璃碳效果最好,其次是活性多孔石墨。REYES-CRUZ等^[13-14]研究了用网状玻璃碳材料作阴极分别从几种不同的含金氰化液体系中电沉积回收金。实验表明:电解过程中金属离子沉积的顺序是Au、Ag、Cu,而且在铜的浓度远高于金和银的浓度情况下,电解过程中也是按上述顺序选择性沉积。BARBOSA等^[15]研究了不同电解装置和不同三维阴极对氰化浸金液中金电沉积的影响。实验表明:加入电解液回流系统的电解装置显著增加了金的电解沉积率,可使其超过99%,另外,比起柔软的钢绒毛三维阴极,采用不锈钢网作三维阴极时,金的电解沉积率更高。JUAREZ等^[16]研究了在从硫脲浸金液中电沉积金的过程中,金、硫脲和二硫甲脒的浓度对阴极金电沉积的影响。实验表明:硫脲和二硫甲脒的浓度越低,金的电解沉积率越高,另外金在还原沉积之前还存在金吸附于电极的过程,该过程有助于金的沉积。

在贵金属资源稀缺而大量含金的废弃印刷线路板急需资源化回收的情况下,碘化法和电解沉积法作为很有前途的提金方法,却未见关于其用于从废弃印刷线路板中提取金的报道。因此,本文作者尝试采用碘化法从废弃印刷线路板中浸取金,然后从浸出液中电解沉积金、回收碘,希望为其工业化应用提供参考数据。

1 实验

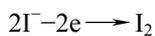
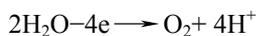
1.1 原理

电解法从碘化浸出液中沉积金,金在阴极沉积,

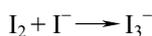
同时有氢气析出:



同时在阳极沉积碘,并有氧气放出:



本实验采用含有离子交换膜的电解槽,电解过程中阳极区的碘离子浓度会逐渐变高,所以沉积的碘又会被碘液溶解:



因此在电解结束后,阳极区基本没有碘沉淀,而是以碘液的形式存在。

1.2 试剂和材料

试剂:碘、碘化钾等均为分析纯。实验用水为去离子水。

材料:电解槽中使用的离子交换膜为聚乙烯异相离子交换膜,由上海上化水处理材料有限公司提供。作为电极的钛板,厚度为1 mm,由上海本钛特殊钢有限公司提供。

电解实验所用含金液是将废弃印刷线路板首先经过机械破碎、分离得到粒径为74~212 μm的金属颗粒。先用硝酸除去金属颗粒中的大部分铜和其他贱金属,然后将过滤得到的滤渣用碘-碘化钾溶液、并配以少量双氧水作为辅助氧化剂浸取其中的金。

从滤渣中浸取金是在通过实验得到的最佳工艺条件下进行:浸取溶液中碘的质量分数为1.1%,碘与碘离子的摩尔比 $n(\text{I}_2):n(\text{I}^-)=1:10$,双氧水的质量分数为1.5%,浸取时间4 h,滤渣与浸取溶液的固液比(g/mL)为1:10,浸取温度为常温(25 ℃),无需调节溶液pH值即为中性,此时金浸出率可达97.5%。

最后将碘化浸出液过滤,得到的滤液即为电解所用的含金液,经电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES法)测定其各金属元素的含量见表1。根据实验需要调配成不同的含金浓度。

表1 印刷线路板的碘化浸出液中各金属元素的浓度

Table 1 Metal concentration in iodine leaching solution from PCB

Concentration	Au	Ag	Cu	Fe
Concentration/(mg·L ⁻¹)	52.3	2.675	22.523	0.974
Element	Ca	Al	Mg	Sn
Concentration/(mg·L ⁻¹)	16.875	39.784	0.96	0.262

1.3 仪器和装置

仪器: 美国 Leeman 公司 Prodigy 型电感耦合等离子体发射光谱仪, AA320 原子吸收分光光度计, WSZ-100-A 振荡器, 上海棕虹 PS-1505D 直流稳压稳流电源。

装置: 实验用电解槽(见图 1)为自制的有机玻璃槽, 电解槽由阴离子交换膜隔开分成阴极区和阳极区。采用碳棒作阴极, 连接直流电源的负极, 碳棒表面不会有沉积层, 金泥沉到槽底^[17]。采用钛板作阳极, 连接直流电源的正极, 钛板的抗氧化性强, 耐腐蚀。

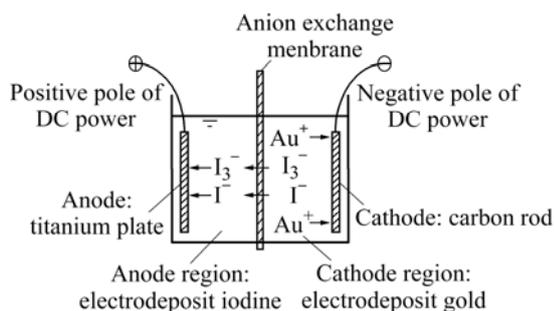


图 1 电解槽示意图

Fig.1 Schematic diagram of electrolytic cell

1.4 实验步骤

将废弃印刷线路板的碘化浸金液(50 mL)放入电解槽中的阴极区, 用碘和碘化钾新配制的碘液(50 mL)作为电解质放入阳极区。在特定槽电压下电解一定时间后取出阴极区溶液, 过滤得到的滤渣即为金泥。对滤液进行定容, 用火焰原子吸收分光光度法(FAAS)进行分析计算金的电解沉积率。阳极区的碘液可再次作为电解质或者直接用来从废弃印刷线路板中浸金。

2 结果与讨论

2.1 不同种类的离子交换膜对金电解沉积率的影响

离子交换膜按膜中活性基团种类可分为阴离子交换膜和阳离子交换膜, 实验比较了两种不同种类膜在电解槽中的使用对金电解沉积率的影响。实验在常温(25 °C)条件下进行, 随着电解过程的进行, 放热反应会使电解液有一定的升温。本研究中所有实验在电解时电解液的温度一般都在 25~30 °C 范围内。实验条件: 碳棒作阴极, 钛板作阳极, 阳极碘质量分数为 0.8%, $n(\text{I}_2):n(\text{I}^-)=1:10$, 槽电压为 14 V, 阴极金浓度为 15 mg/L, 电解时间为 1 h。实验结果见表 2。

表 2 不同种类离子交换膜对金电解沉积率的影响

Table 2 Influence of different ion exchange membranes on electrodepositing rate of gold

Ion exchange membrane	Electrodepositing rate of gold/%	Maximum current/A
Anion	93.2	0.12
Cation	62.8	0.05

由表 2 看出, 电解槽采用阴离子交换膜时金的电解沉积率更高, 相应的电解槽中产生的最大电流值也比采用阳离子交换膜时的大很多。这是因为在使用阴离子交换膜的情况下, 阴极区含金溶液中的 I^- 和 I_3^- 在电场作用下, 不断地通过阴离子交换膜进入阳极区, 而阳离子交换膜则阻止了 I^- 和 I_3^- 的通过。由此, 在使用阴离子交换膜的时候, 溶液中的离子迁移速度更大, 相应的电流值和金的电解沉积反应速率也会更高。另一方面, 由于阳离子交换膜阻止了 I^- 和 I_3^- 进入阳极区, 这使得阴极区中 I^- 和 I_3^- 的浓度始终很高, 沉积的金容易重新与 I^- 和 I_3^- 反应生成 AuI_2^- , 会出现沉积-溶解循环, 所以导致金的电解沉积率偏低。

2.2 不同种类阳极对金电解沉积率的影响

电解中使用不同种类的阳极, 其电沉积效果和抗氧化性会有不同。实验比较了使用两种不同种类的阳极对金电解沉积率的影响。实验条件: 碳棒作阴极, 采用阴离子交换膜, 阳极碘质量分数为 0.8%, $n(\text{I}_2):n(\text{I}^-)=1:10$, 槽电压为 14 V, 阴极金浓度为 15 mg/L, 电解时间为 1 h。实验结果见表 3。

由表 3 看出, 两种不同种类的阳极, 在电解时的最大电流值相差不大, 这说明钛板和不锈钢板的导电效果相似, 且电解槽中所发生的电解反应效率也相似, 但金的电解沉积率却有很大的差距。这可能是因为不锈钢板的抗氧化能力比钛板弱, 电解时在不锈钢板上发生了除碘沉积以外的其它副反应, 从而抑制了部分碘的沉积反应, 此时阴极区的 I^- 和 I_3^- 向阳极区迁移

表 3 不同种类阳极对金电解沉积率的影响

Table 3 Influence of different anodes on electrodepositing rate of gold

Anode	Electrodepositing rate of gold/%	Maximum current/A
Titanium plate	93.2	0.12
Stainless steel plate	51.5	0.10

扩散的速率也因为阳极区的碘浓度过大而相应地减小,阴极区过多的 I^- 和 I_3^- 又容易重新溶解沉积的金,所以降低了金的电解沉积率。

2.3 阴极金浓度对金电解沉积率的影响

实验条件:碳棒作阴极,钛板作阳极,采用阴离子交换膜,阳极碘质量分数为0.8%, $n(I_2):n(I^-)=1:10$,槽电压为10 V,电解时间为1 h,阴极金浓度对金电解沉积率的影响如图2所示。从图2可以看出,阴极金浓度为15 mg/L时,金电解沉积率达到最高90.6%,继续增大阴极溶液中的金的起始浓度,金的电解沉积率反而出现急剧下降。这可能是因为金的起始浓度变大,相应的阴极区溶液中碘质量分数也变大,从而需要更大的槽电压和更长的电解时间,才能达到好的金的沉积效果。

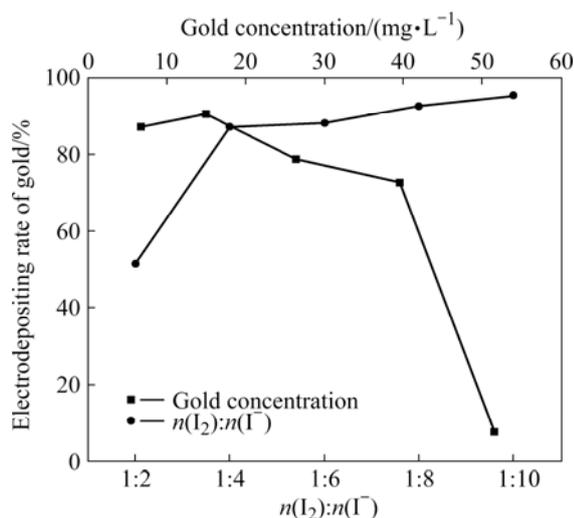


图2 阴极金浓度和阳极碘与碘化物摩尔分数比对金电解沉积率的影响

Fig.2 Influence of gold concentration in cathode solution and molar ratio of I_2 and I^- in anode solution on electrodepositing rate of gold

2.4 阳极碘与碘化物摩尔分数比对金电解沉积率的影响

实验条件:碳棒作阴极,钛板作阳极,采用阴离子交换膜,阳极碘质量分数为0.1%,槽电压为14 V,阴极金浓度为15 mg/L,电解时间为1 h,阳极溶液的碘与碘化物摩尔分数比对金电解沉积率的影响见图2。从图2可以看出,当 $n(I_2):n(I^-)=1:2$ 时,金的电解沉积率较低,原因是作为电解质的阳极溶液中含有较少的 I^- ,会直接导致阳极进行较少的碘的氧化沉积反应,从而使流入阴极的电流很小,这样阴极金的还原

沉积反应便受到了相应的限制。随着 $n(I_2):n(I^-)$ 比值的减小,金的电解沉积率逐渐提高,当 $n(I_2):n(I^-)=1:10$ 时,金的电解沉积率为95.5%。因此阳极碘液的 $n(I_2):n(I^-)$ 比值取1:10较为合适。

2.5 槽电压对金电解沉积率的影响

实验条件:碳棒作阴极,钛板作阳极,采用阴离子交换膜,阳极碘质量分数为0.1%, $n(I_2):n(I^-)=1:2$,阴极金浓度为15 mg/L,电解时间为3 h,槽电压对金电解沉积率的影响如图3所示。从图3可以看出,当槽电压为3 V时,金的电解沉积率只有约50%,随着槽电压的升高,金的电解沉积率也逐渐增大,但是当槽电压超过10 V以后,金的电解沉积率增幅趋缓,槽电压为14 V时,金的电解沉积率达到90%以上。该组实验特地选择了阳极液中 $n(I_2):n(I^-)=1:2$,希望初步了解电解时间对电解效果的影响,实验中电解时间增大到了3 h,最后依然可以得到较好的电解沉积效果,可见增加电解时间可以弥补电解液中 I^- 浓度偏小的不足,因此可知电解时间也是一个需要考虑的影响因素。从电能消耗方面考虑,在该实验条件下,槽电压的取值为10~14 V比较合理。

2.6 阳极碘质量分数对金电解沉积率的影响

实验条件:碳棒作阴极,钛板作阳极,采用阴离子交换膜,阳极碘液 $n(I_2):n(I^-)=1:10$,阴极金浓度为15 mg/L,槽电压为14 V,电解时间为1 h,阳极碘质量分数对金电解沉积率的影响见图3。从图3可以看出,阳极区溶液中没有碘时(即只加入去离子水),金

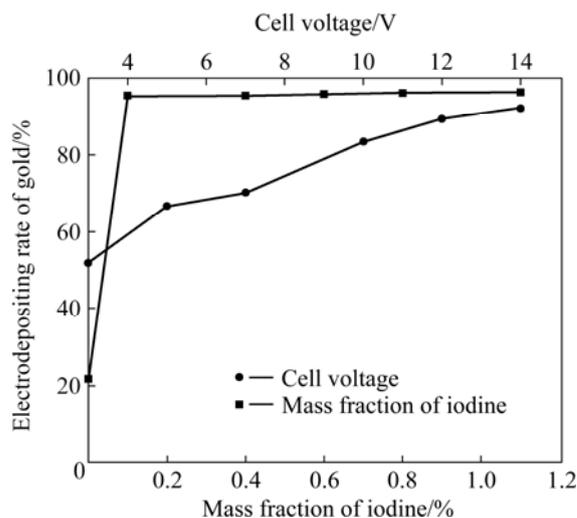


图3 槽电压和阳极碘质量分数对金电解沉积率的影响

Fig.3 Influence of cell voltage and mass fraction of iodine in anode solution on electrodepositing rate of gold

的电解沉积率很低,这是由于在阴极区的 Γ 迁移到阳极区之前,阳极没有 Γ 发生氧化反应,导致流入阴极的电流很小,直接限制了阴极金的电解沉积。当阳极碘质量分数为0.1%时,金的电解沉积率即可达到95.5%,继续增大碘质量分数,金的电解沉积率增加量不大。可见,在阳极的碘液可以回收的情况下,阳极碘质量分数可以取0.1%~0.8%。在实际应用时,阳极的碘液可以不断重复当作电解质使用,直到其碘质量分数增大到一定值时,便可再次用来从废弃印刷线路板中浸取金。

2.7 电解时间对金电解沉积率的影响

实验条件:碳棒作阴极,钛板作阳极,采用阴离子交换膜,阳极碘质量分数为0.8%, $n(I_2):n(\Gamma)=1:10$,槽电压为14 V,在阴极金浓度分别为15和50 mg/L的情况下,电解时间对金电解沉积率的影响如图4所示。从图4可以看出,当阴极金浓度为15 mg/L时,电解1 h就可以有较高的金的沉积率;而当阴极金浓度为50 mg/L时,金的电解沉积速率则相对较慢,要电解3~4 h才能有较好的电解沉积效果。在实际应用时,应该根据溶液中金浓度大小,适当调整电解时间,以做到节约电能消耗。

2.8 最佳沉积金的工艺条件

通过对电解各影响因素的实验结果分析,得到电解法从废弃印刷线路板的碘化浸金液中沉积金的最佳工艺条件为:碳棒作阴极,钛板作阳极,采用阴离子交换膜,阳极碘质量分数为0.1%~0.8%, $n(I_2):n(\Gamma)=1:10$,槽电压为10~14 V,阴极金浓度为15~50 mg/L,

表4 电解沉积金的最佳实验条件

Table 4 Suitable experiment conditions of electrodepositing gold

Experiment No.	Gold concentration in cathode solution/(mg·L ⁻¹)	Electrolyzing time/h	Iodine concentration in anode solution/%	Cell voltage/V	Electrodepositing rate of gold/%
1	15	1	0.1	12	97.0
2	30	2	0.8	10	96.6
3	50	4	0.4	14	95.3

表5 采用电解后的阳极碘液和新配制的碘液从废弃印刷线路板中浸金的实验结果

Table 5 Experiment results of leaching gold from waste PCB using anode solution and new iodine solution

Comparison 1	Leaching rate of gold/%	Comparison 2	Leaching rate of gold/%
Anode solution of experiment No.2 (initial iodine concentration 0.8%)	93.8	Anode solution of experiment No.3 (initial iodine concentration 0.4%)	84.4
New iodine solution (iodine concentration 0.8%)	85.0	New iodine solution (iodine concentration 0.4%)	77.6

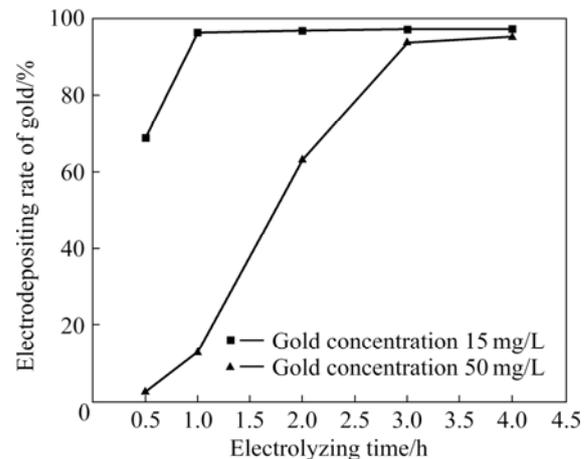


图4 电解时间对金电解沉积率的影响

Fig.4 Influence of electrolyzing time on electrodepositing rate of gold

电解时间为1~4 h。

选取最佳工艺条件进行3组实验,结果如表4所列,其共同的实验条件是:碳棒作阴极,钛板作阳极,阴离子交换膜,阳极碘液 $n(I_2):n(\Gamma)=1:10$ 。由表4可以看出,在最佳控制条件范围内,金的电解沉积率均可大于95%,实现了金的高效沉积。

2.9 电解槽阳极碘液的回收利用

在最佳工艺条件下,实验2和3的电解过程结束后,取两者的阳极碘液用于从废弃印刷线路板中浸金。另外,用新配制的碘质量分数分别为0.8%和0.4%的碘液从废弃印刷线路板中浸金,分别与实验2和3的阳极碘液浸金率比较,实验结果见表5。其相同的浸

金条件为:使用去铜后线路板粉末0.5 g,碘液 $n(I_2):n(I^-)=1:10$,固液比为1:10,双氧水的用量为1.5%,浸取时间为4 h,浸取温度为常温(25 °C)。

由表5可以看出,实验2和3的阳极液的浸金效果均好于对应的新配制的碘液。本文作者经研究发现,碘液对废弃印刷线路板的浸金率随着其碘质量分数的增大而增大,当电解实验结束时,实验2和3的阳极碘液中最终碘质量分数已分别大于0.8%和0.4%,即分别大于电解实验开始前两者的起始碘质量分数。再结合电解实验中阴极区溶液颜色逐渐变浅(碘浓度下降),而阳极区溶液颜色则逐渐变深(碘浓度上升)的现象,可以证实电解实验中,阳极区汇集了从阴极区迁移过来的碘离子,达到了回收碘的目的。

4 结论

1) 通过实验得到了从废弃印刷线路板的碘化浸金液中电解沉积金的最佳工艺条件:碳棒作阴极,钛板作阳极,阴离子交换膜隔开电解槽,阳极碘质量分数为0.1%~0.8%, $n(I_2):n(I^-)=1:10$,槽电压为10~14 V,阴极碘化浸金液的金浓度为15~50 mg/L,电解时间为1~4 h。在上述条件下,金的电解沉积率大于95%。

2) 在电解槽的阴极区高效沉积金的同时,阳极区也汇集了从阴极区迁移过来的碘离子,达到了回收碘的目的。在实际应用时,阳极区的碘液可以不断重复当做电解质使用,直到其碘质量分数增大到一定值时便可再次用来从废弃印刷线路板中浸取金。

REFERENCES

- [1] LEHNER T. Integrated recycling of non-ferrous metals at Boliden Ltd. Ronnskir Smelter[C]// EEE International Symposium on Electronics & the Environment, 1998: 42-47.
- [2] DAVIS A, TRAN T, YOUNG D R. Solution chemistry of iodide leaching of gold[J]. Hydrometallurgy, 1993, 32(2): 143-159.
- [3] 李桂春, 卢寿慈. 非氰化提金技术的发展[J]. 中国矿业, 2003, 12(3): 1-5.
LI Gui-chun, LU Shou-ci. The development of non-cyanidation gold lixiviating technology[J]. China Mining Magazine, 2003, 12(3): 1-5.
- [4] 李桂春, 卢寿慈. 碘化浸金试验研究[J]. 中国矿业, 2004, 13(7): 66-68.
LI Gui-chun, LU Shou-ci. Experimental investigation for iodide leaching of gold[J]. China Mining Magazine, 2004, 13(7): 66-68.
- [5] KRYLOVA G S, IBRAGIMOVA N V. Investigation of the regularities of gold dissolution in the iodine-iodide system[J]. Rudy I Metally, 2003(4): 69-71.
- [6] QI P H, HISKEY J B. Electrochemical behavior of gold in iodide solutions[J]. Hydrometallurgy, 1993, 32(2): 161-179.
- [7] QI P H, HISKEY J B. Dissolution kinetics of gold in iodide solutions[J]. Hydrometallurgy, 1991, 27(1): 47-62.
- [8] 王治科, 陈东辉, 陈亮. 碘化物浸金过程的热力学分析[J]. 稀有金属, 2006, 30(2): 193-196.
WANG Zhi-ke, CHEN Dong-hui, CHEN Liang. Thermodynamic analysis for gold leaching with iodide[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2006, 30(2): 193-196.
- [9] ANGELIDIS T N, KYDROS K A, MATIS K A. A fundamental rotating disk study of gold dissolution in iodide-iodine solutions[J]. Hydrometallurgy, 1993, 34(1): 49-64.
- [10] 李桂春, 卢寿慈. 含炭难处理金矿石碘法浸出[J]. 北京科技大学学报, 2003, 25(6): 501-503.
LI Gui-chun, LU Shou-ci. Iodine leaching of gold from lean gold ore with charcoal[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2003, 25(6): 501-503.
- [11] 张建武, 张桂珍, 吴仙花, 盛桂云. 从稀贵液中直接电沉积金的研究[J]. 黄金, 2006, 27(10): 36-38.
ZHANG Jian-wu, ZHANG Gui-zhen, WU Xian-hua, SHENG Gui-yun. The study of direct gold electrowinning from dilute cyanide solutions[J]. Gold, 2006, 27(10): 36-38.
- [12] YAP C Y, MOHAMED N. An electrogenerative process for the recovery of gold from cyanide solutions[J]. Chemosphere, 2007, 67(8): 1502-1510.
- [13] REYES-CRUZ V, GONZÁLEZ I, OROPEZA M T. Electro-recovery of gold and silver from a cyanide leaching solution using a three-dimensional reactor[J]. Electrochimica Acta, 2004, 49(25): 4417-4423.
- [14] REYES-CRUZ V, PONCE-DE-LEÓN C, GONZÁLEZ I, OROPEZA M T. Electrochemical deposition of silver and gold from cyanide leaching solutions[J]. Hydrometallurgy, 2002, 65(2/3): 187-203.
- [15] BARBOSA L A D, SOBRAL L G S, DUTRA A J B. Gold electrowinning from diluted cyanide liquors: Performance evaluation of different reaction systems[J]. Minerals Engineering, 2001, 14(9): 963-974.
- [16] JUAREZ C M, DUTRA A J B. Gold electrowinning from thiourea solutions[J]. Minerals Engineering, 2000, 13(10/11): 1083-1096.
- [17] 李桂春, 纪守峰, 王会平. 碘化浸金时从浸出液中提金及碘再生方法研究[J]. 矿冶工程, 2006, 26(3): 42-44.
LI Gui-chun, JI Shou-feng, WANG Hui-ping. Research of cementing gold out from iodide leaching liquor and recovering of iodide liquor[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2006, 26(3): 42-44.

(编辑 何学锋)