

在 HCl-H₂O₂ 体系中全湿法短流程高效分离回收 废旧银铜焊条中的铜银

卞国军

(安徽工业大学 冶金工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘要:含银二次资源的高效利用对于弥补我国银矿资源不足、缓解供需矛盾、保障国家战略金属供给安全具有重要意义。针对废旧银铜焊条,研究了在 HCl-H₂O₂ 体系中浸出分离铜银,并制备高纯 AgCl,考察了各因素对铜银分离效果的影响。结果表明:在 H₂O₂ 过量系数为 1.3、HCl 过量系数为 1.4、液固质量比为 11:1、浸出温度 40℃、浸出时间 3 h 优化条件下,铜浸出率达 99.38%;浸出渣为粒径 2~4 μm 不规则的球状颗粒,主要物相为 AgCl,主要成分为 Ag 和 Cl,总质量分数占 99% 以上。

关键词:废旧银铜焊条;银;铜;HCl;H₂O₂;分离;回收;氯化银

中图分类号:TF803.21;TF832

文献标识码:A

文章编号:1009-2617(2025)01-0032-08

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2025.01.005

银因具有良好的导电导热性、延展性和催化活性等理化特征,在电子^[1]、焊料^[2]、光伏^[3]和首饰^[4]等领域应用广泛。我国银矿资源储量仅占全球的 7.7%,白银消费量却占全球 17% 以上^[5],矿产银还不能满足需求,导致供求矛盾突出。银铜焊条是一种由银或银基固熔体构成的合金材料,具有优良的润湿填缝性和卓越的焊接能力,被誉为“工业万能胶”。废旧银铜焊条具有含银量高、成分相对简单等特点,是一种极其重要的含银二次资源,从中高效回收银对于缓解我国银矿资源不足、保障供给安全具有重要意义。

目前,国内外回收银的工艺主要有火法、湿法和电解法等。火法熔炼技术在处理铜^[6]、铅^[7]、镍^[8]等有色金属含银矿时,主要是通过熔炼—吹炼—精炼冶金单元将贵金属逐步富集在电解阳极泥中并加以回收,具有处理量大、效率高、成本低等优点,但也存在能耗高、环境污染严重等缺点。湿法工艺主要有氰化法^[9-10]、酸性硫脲法^[11-12]和硫代硫酸盐法^[13]等,该类工艺主要适用于处理银品位较低(一般<0.15%)的精矿或尾矿,由于金银被 S、As 和 Mn 等脉石成分包裹,通常需要通

过还原浸出^[9]、机械活化^[11]和氧化焙烧^[13]等方法进行预处理,在优化工艺条件下,银浸出率可达 70% 左右。电解法作为精炼银的另一种高效工艺,可将比银正电性强的金属留在阳极泥中,实现银与其他金属的高效分离;但由于铜电性比较负,在电解银过程中会在阴极与银共同析出,无法将二者直接分离^[14-15]。因此,开发一种能高效分离废旧银铜焊条中铜银的新工艺十分必要。

基于 Ag⁺ 与 Cl⁻ 能形成难溶 AgCl 沉淀原理,试验研究了采用 HCl-H₂O₂ 体系氧化溶解废旧银铜焊条,使 Ag⁺ 原位与 Cl⁻ 形成不溶性沉淀,实现银与铜的分离,浸出渣经酸性氯化氧化除杂后制得高纯 AgCl,净化后液作为浸出液循环使用。

1 试验部分

1.1 试验原料、试剂及设备

废旧银铜焊条来自某企业,型号为 BCu80PAg,呈银白色,剪成 3~5 mm 小段,并通过碘量法、火试金重量法和 ICP 检测等方法确定具体元素含量,实物图及主要化学成分分析结果如图 1 所示。

收稿日期:2024-05-09

基金项目:国家重点实验室开放基金资助项目(GZSYS-KF-2020-008)。

作者简介:卞国军(2002—),男,本科,主要研究方向为稀贵金属综合回收。

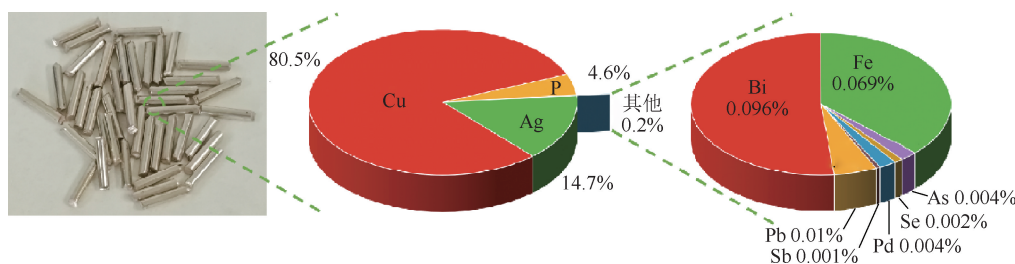


图 1 废旧银铜焊条及其主要化学成分分析结果

Fig. 1 Analysis results of waste Ag-Cu filler metal and its main chemical components

由图 1 可知,废旧银铜焊条主要由铜和银组成,质量分数分别为 80.5% 和 14.7%, 剩余 4.6% 为磷, 0.2% 为微量元素, 其作用是提升焊条性能。在浸出过程中, 磷可能会形成磷酸铜、磷酸银沉淀, 影响铜银分离; 微量元素可能难以净化去除, 影响产品纯度。

试验用主要试剂见表 1, 主要仪器设备见表 2。

表 1 试验用主要试剂

Table 1 Principal reagents for testing

试剂名称	化学式	纯度	厂家
盐酸	HCl	分析纯	国药集团化学试剂有限公司
过氧化氢	H ₂ O ₂	分析纯	国药集团化学试剂有限公司

表 2 试验用主要仪器设备

Table 2 Main instruments and equipments for testing

仪器设备名称	规格	厂家
千分位电子天平	WT2003	杭州万特
万分位电子天平	GL124-1SCN	德国塞得利斯
十万分位电子天平	AUW120D	日本岛津
数显恒温水浴锅	HH-1.9	江苏新瑞仪器
数显型悬臂式电动搅拌器	GZ120-S	上海垒固仪器
循环水式多用真空泵	SHZ-D(III)	上海秋佐科学仪器
电热鼓风干燥箱	101-2AB	德国塞得利斯
智能数显电热板	DFA-8000	力辰科技

1.2 试验原理

1.2.1 热力学分析

废旧银铜焊条是通过混合熔化、冷却凝固后形成的具有金属特性的固体产物, 利用 H₂O₂ 的强氧化性可将其氧化成离子态。在 HCl 体系中, Ag⁺ 能与 Cl⁻ 形成难溶性 AgCl 沉淀, 铜则与氯结合形成 CuCl₂ 进入溶液。此外, 磷被氧化成磷酸, 可能与铜、银结合生成磷酸铜、磷酸银沉淀, 对铜、

银分离造成不良影响。通过 HSC Chemistry 6.0 对试验过程中可能发生的反应进行热力学模拟计算, 再采用 Origin 2022 绘制各反应过程的 $\Delta G-T$ 关系式, 结果如图 2 所示。

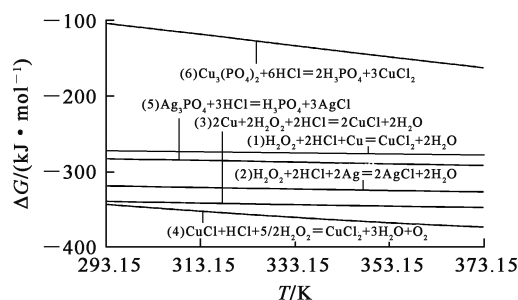


图 2 各反应过程的 $\Delta G-T$ 关系式

Fig. 2 Relation equations of $\Delta G-T$ for various reaction processes

由图 2 看出: 温度在 293.15~373.15 K 范围内, 反应式(1)~(4)的 ΔG 均小于 0, 表明反应均能自发进行, 铜和银可在 HCl-H₂O₂ 体系中转化为离子态, 游离在酸性高氯环境中, 且银会形成 AgCl 难溶性沉淀; 对比式(1)与(3)发现, 铜与 Cl⁻ 更倾向于形成 CuCl, 游离铜同时催化发生芬顿反应产生羟基自由基^[16], 其氧化性更强, 能促进 CuCl 进一步转化为 CuCl₂, 这可能也是式(4)的 ΔG 较负的原因; 结合式(5)、(6)可知, 磷酸铜、磷酸银固体沉淀在盐酸环境下会发生复分解反应重新生成磷酸, 并与 CuCl₂ 一同进入溶液中, 从而实现铜、磷与银的有效分离。

1.2.2 φ -pH 关系分析

Cu、Ag 及其化合物在 HCl-H₂O₂ 体系中的存在形态随溶液的氧化还原电势 φ 和 pH 不同而发生变化。根据 Cu、Ag 在 HCl-H₂O₂ 体系中的电

极反应式及电极电位,确定在 298 K、101.3 kPa 条件下, $[Ag^+] = [Cl^-] = 0.1 \text{ mol/L}$, $[Cu^{2+}] = 0.05 \text{ mol/L}$,氯化浸出和还原过程中 Cu、Ag 可能发生的电极反应,采用 Origin 2022 绘制 Ag-Cu-Cl⁻-H₂O 体系的 φ -pH 关系,结果如图 3 所示。

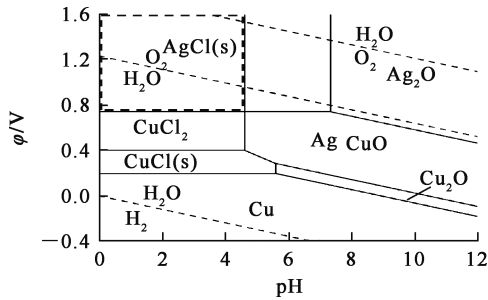


图 3 Ag-Cu-Cl⁻-H₂O 体系的 φ -pH 关系

Fig. 3 Relation of φ -pH in Ag-Cu-Cl⁻-H₂O system

由图 3 看出:在水溶液中,铜、银可以稳定存在,当 $pH < 4.60$ 、电位在 $0.1961 \sim 0.401 \text{ V}$ 时,铜以 Cu^+ 形式与 Cl^- 配合形成 $CuCl$ 固体;调整电位在 $0.401 \sim 0.740 \text{ V}$ 之间, Cu^+ 会转化为 Cu^{2+} , Cu^{2+} 与 Cl^- 形成 $CuCl_2$ 并进入溶液中,此时,Ag 仍为单质态;调整电位高于 0.740 V 时,Ag 会溶解并与 Cl^- 结合形成 $AgCl$ 沉淀。综上,控制试验条件为 $pH < 4.60$ 、电位 $> 0.740 \text{ V}$,此时能使铜、银有效分离。

1.3 试验方法及流程

量取一定体积蒸馏水、HCl 溶液于试管中,并将试管置于恒温水浴锅中,加热至设定温度;在搅拌条件下加入定量废旧银铜焊条,之后再缓慢滴加一定体积 H₂O₂,反应一定时间;待反应结束后,抽滤,固液分离,将滤渣洗净烘干称重,滤液定容,采用碘量法测定铜含量。浸出工艺流程如图 4 所示。

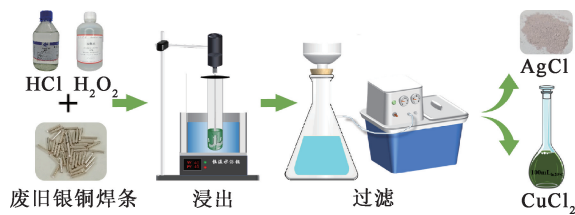


图 4 在 HCl-H₂O₂ 体系中浸出废旧银铜焊条的工艺流程示意

Fig. 4 Technical flow schematic diagram of leaching waste silver copper electrode in HCl-H₂O₂ system

1.4 分析方法

液体样品采用碘量法测定铜含量,固体样品选用日本岛津 ICPS-7510 PLUS 型电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP)确定元素含量;采用德国布鲁克 D8 Advance 型 X 射线衍射仪(XRD)分析物相组成;借助美国 FEI 公司 Nova Nano SEM430 型场发射电子扫描电子显微镜(SEM)观察微观形貌。

2 试验结果与讨论

2.1 H₂O₂ 过量系数对铜浸出率和渣率的影响

称取 10.00 g 废旧银铜焊条,在 HCl 过量系数为 1.5、液固质量比为 11 : 1、浸出温度为 85 °C、浸出时间为 3 h 条件下,考察 H₂O₂ 过量系数对铜浸出率和渣率的影响,试验结果如图 5 所示。

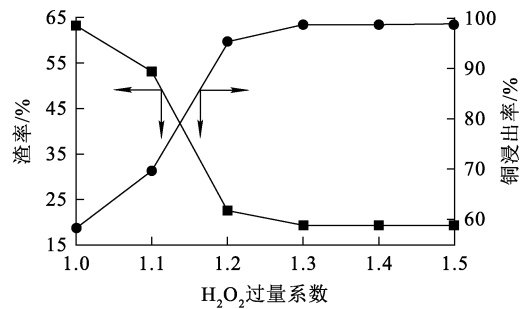


图 5 H₂O₂ 过量系数对铜浸出率和渣率的影响
Fig. 5 Effects of excess coefficient of H₂O₂ on leaching rate and residue yield of copper

由图 5 看出:H₂O₂ 过量系数低于 1.3 时,随 H₂O₂ 过量系数增加,铜浸出率升高,而渣率则降低;H₂O₂ 过量系数增至 1.3 时,铜浸出率和渣率分别达 98.50%、19.31%;之后继续增大 H₂O₂ 过量系数,铜浸出率和渣率均趋于稳定。这是因为 H₂O₂ 过量系数低于 1.3 时,可能由于搅拌不充足或 AgCl 脱落速度迟缓,导致银铜焊条被 AgCl 紧密包裹,无法与反应物充分接触,造成反应效率较低;同时,H₂O₂ 在反应过程中会生成多种具有极强氧化性的自由基,但因存在时间较短,未能迅速参与铜的反应转化为有效成分,造成铜浸出率偏低、渣率略高。综合考虑,选择适宜 H₂O₂ 过量系数为 1.3。

2.2 浸出时间对铜浸出率和渣率的影响

称取 10.00 g 废旧银铜焊条,在 H₂O₂ 过量

系数为 1.3、HCl 过量系数为 1.5、液固质量比为 11 : 1、浸出温度 85 °C 条件下,考察浸出时间对铜浸出率和渣率的影响,试验结果如图 6 所示。

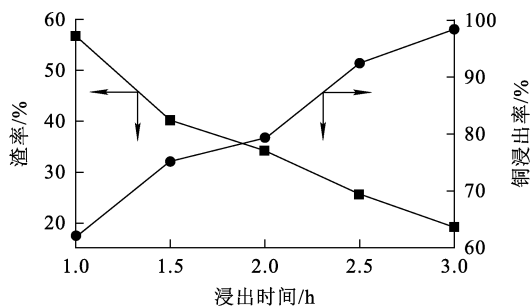


图 6 浸出时间对铜浸出率和渣率的影响
Fig. 6 Effects of leaching time on leaching rate and residue yield of copper

由图 6 看出:随浸出时间延长,铜浸出率呈升高趋势,从 1.0 h 的 61.99% 升至 3.0 h 的 98.50%; 而渣率随浸出时间延长呈下降趋势,与铜浸出率相反,从 1.0 h 的 56.84% 降至 3.0 h 的 19.31%。这是因为浸出时间较短时,反应不够充分,Cu 未能完全分离;但随浸出时间延长,反应更加充分,废旧银铜焊条被 H₂O₂ 彻底氧化分解溶解于 HCl 溶液中。综合考虑,选择适宜的浸出时间为 3 h。

2.3 HCl 过量系数对铜浸出率和渣率的影响

称取 10.00 g 废旧银铜焊条,在 H₂O₂ 过量系数为 1.3、液固质量比为 11 : 1、浸出温度为 85 °C、浸出时间为 3 h 条件下,考察 HCl 过量系数对铜浸出率和渣率的影响,试验结果如图 7 所示。

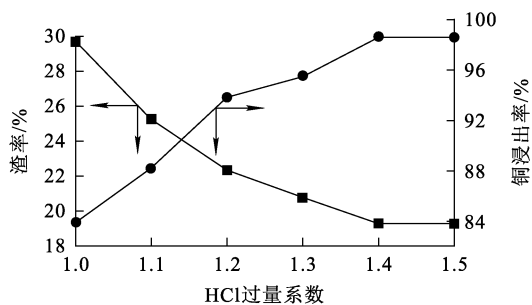


图 7 HCl 过量系数对铜浸出率和渣率的影响
Fig. 7 Effects of excess coefficient of HCl on leaching rate and residue yield of copper

由图 7 看出:铜浸出率随 HCl 过量系数增大缓慢升高,并在 HCl 过量系数增至 1.4 时趋于稳定,保持在 98.60% 左右;而渣率随 HCl 过量系数增大先降低后趋于稳定,在 HCl 过量系数增至 1.4 时降至 19.30%。这是因为当溶液酸度增加并处于图 3 中最佳溶解区域时,较高浓度的 H⁺ 有利于铜、银溶解,保持 HCl 过量系数为 1.4 时,能满足废旧银铜焊条的高效溶解。综合考虑,选择适宜的 HCl 过量系数为 1.4。

2.4 浸出温度对铜浸出率和渣率的影响

称取 10.00 g 废旧银铜焊条,在 H₂O₂ 过量系数为 1.3、HCl 过量系数为 1.4、液固质量比为 11 : 1、浸出时间为 3 h 条件下,考察浸出温度对铜浸出率和渣率的影响,试验结果如图 8 所示。不同温度下的滤渣照片如图 9 所示。

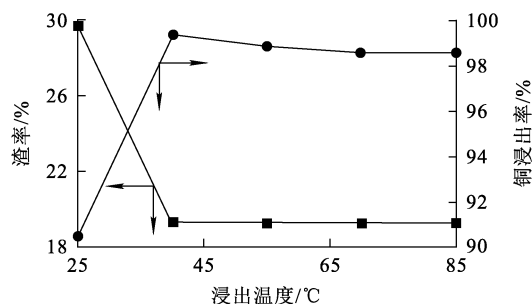
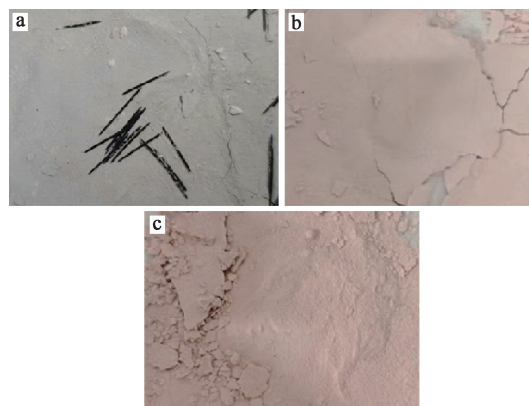


图 8 浸出温度对铜浸出率和渣率的影响
Fig. 8 Effects of leaching temperature on leaching rate and residue yield of copper



a—25 °C ; b—40 °C ; c—85 °C。

图 9 不同温度下的滤渣照片
Fig. 9 Images of filter residue at different temperatures

由图 8 看出:浸出温度为 25 ℃时,铜浸出率较低,为 90.50%;温度升至 40 ℃时,铜浸出率达 99.38%;之后继续升高温度,由于 H₂O₂ 受热分解导致铜浸出率缓慢下降;渣率则随浸出温度升高而降低,在温度升至 40 ℃降至 19.33%,之后随温度升高变化较小。

由图 9 看出:浸出温度为 25 ℃时,因温度过低,反应不够完全,导致滤渣中存在未反应完全的针状废旧银铜焊条;浸出温度升至 40、55 ℃时,渣中无针状废旧银铜焊条出现,说明温度大于 40 ℃时下反应较彻底。考虑到温度过高会使 HCl 挥发,造成酸雾污染环境,同时增加能耗,因此,选择适宜的浸出温度为 40 ℃。

2.5 液固质量比对铜浸出率和渣率的影响

称取 10.00 g 废旧银铜焊条,在 H₂O₂ 过量系数为 1.3、HCl 过量系数为 1.4、浸出温度 40 ℃、浸出时间 3 h 条件下,考察液固质量比对铜浸出率和渣率的影响,试验结果如图 10 所示。不同液固质量比下的滤渣颜色变化如图 11 所示。

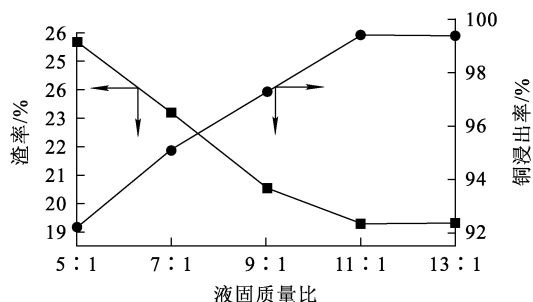
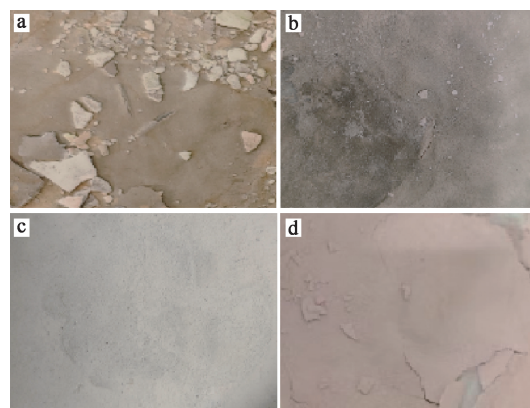


图 10 液固质量比对铜浸出率和渣率的影响
Fig. 10 Effects of liquid-solid mass ratio on leaching rate and residue yield of copper

由图 10 看出:随液固质量比增大,铜浸出率升高;在液固质量比增至 11 : 1 时,铜浸出

率达最大,为 99.38%;之后继续增大液固质量比,铜浸出率变化不大;而渣率随液固质量比增大呈先降低后趋于平稳趋势,在液固质量比增至 11 : 1 时,降至最低,为 19.33%。



a—5 : 1; b—7 : 1; c—9 : 1; d—11 : 1。

图 11 不同液固质量比下的滤渣颜色变化
Fig. 11 Color change of filter residue with different liquid-solid mass ratio

由图 11 看出:不同液固质量比条件下,滤渣颜色明显存在差异,这是由于随液固质量比增大,液固两相的传质得到强化;但液固质量比增至 11 : 1 时,反应速率不再变化,浸出达到动态平衡,此时滤渣颜色与 AgCl 颜色相近。综合考虑,选择适宜的液固质量比为 11 : 1。

2.6 优化试验

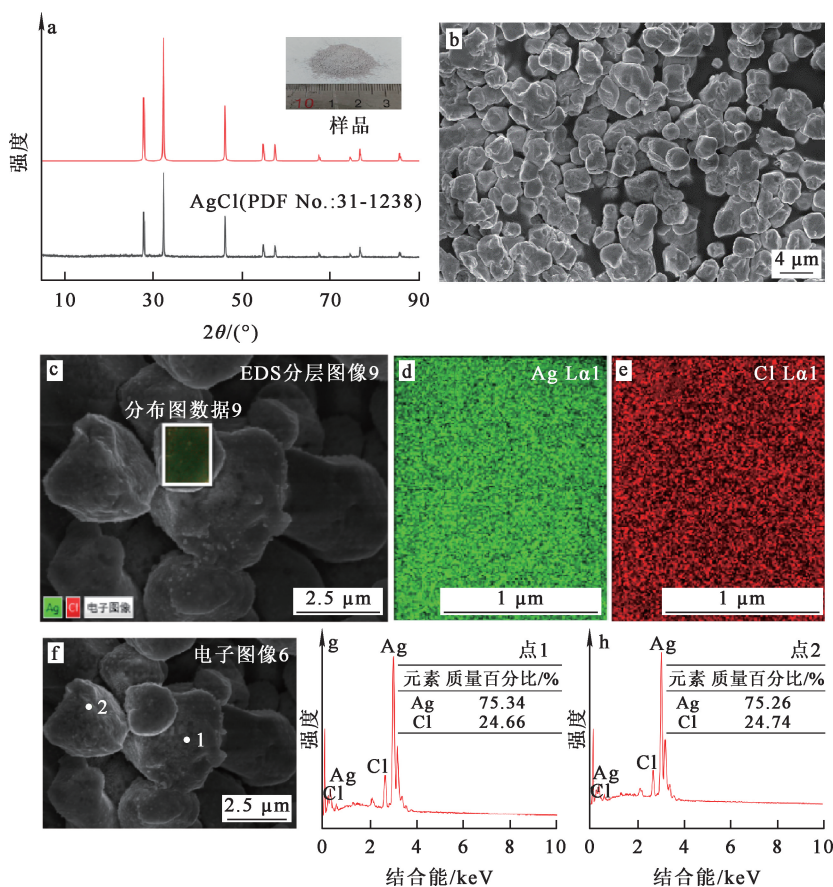
在 H₂O₂ 过量系数为 1.3、HCl 过量系数为 1.4、液固质量比为 11 : 1、浸出温度 40 ℃、浸出时间 3 h 条件下进行优化试验,净化浸出渣的成分含量与一级、二级 AgCl 标准要求的对比结果见表 3, XRD 物相分析与 SEM 微观分析结果如图 12 所示。

表 3 浸出渣成分含量与一级、二级 AgCl 产品标准要求的对比
Table 3 Comparison between composition content of leaching residue and requirements of primary and secondary AgCl product standards

项目	AgCl	Cu	As	Fe	Pb	Bi	%
浸出渣	≥99.99	0	0.000 3	0.002	0.001	0.000 8	
一级 AgCl	≥99.5	≤0.005	≤0.001	≤0.002	≤0.001	≤0.001	
二级 AgCl	≥99.0	≤0.010	≤0.005	≤0.005	≤0.005	≤0.005	

由表 3 看出:影响 AgCl 等级的元素有 Cu、As、Fe、Pb、Bi,净化浸出渣中各元素含量均符合一级 AgCl 产品标准要求;浸出渣中 Cu 质量分数

为 0%,AgCl 质量分数大于 99.99%,成功实现了铜、银的高效分离。



a—XRD;b—SEM,放大 2 410 倍;c—EDS,放大 10 760 倍;d、e—c 的面扫;
f—SEM,放大 10 760 倍;g、h—f 的点测。

图 12 XRD 物相与 SEM 微观分析结果

Fig. 12 Analysis results of XRD phase analysis and SEM microscopic

由图 12(a)看出:浸出渣的 XRD 图谱中出现了明显的 AgCl 衍射峰,峰型尖锐,峰强较大,具有较高的结晶度,与 AgCl 标准图谱(PDF No.: 31-1238)完全吻合,没有出现其他杂质峰,说明浸出渣主要物相为 AgCl。由图 12(b)看出:浸出渣呈粒径 2~4 μm 的不规则球状颗粒。由图 12(c)~(e)局部扫描结果看出:Ag、Cl 均匀分布于球状颗粒表面。对颗粒随机取点,由分析结果(图 12(f)~(h))可知,浸出渣仅由 Ag、Cl 组成。综上判断,在优化试验下制得了纯净的一级 AgCl 产品,其中 AgCl 质量分数大于 99.99%。

3 结论

在 HCl-H₂O₂ 体系中采用全湿法短流程分离回收废旧银铜焊条中铜、银是可行的。Cu、Ag 在 HCl 体系中 φ-pH 关系及相关热力学分析结果表明,溶液 pH<4.60、电极电位>0.740 1 V 为最佳溶解区域,适宜条件下,Cu、P 可分别以 CuCl₂ 和 H₃PO₄ 形式存在于溶液中,不影响 AgCl 的纯度。在 HCl 过量系数为 1.3、H₂O₂ 过量系数为 1.4、液固质量比为 11:1、浸出温度为 40 °C、浸出时间为 3 h 优化条件下,铜浸出率达 99.38% 以上,渣率降至 19.33%。优化净化浸出渣中 Ag、Cl 主要以

AgCl 相存在,为粒径 2~4 μm 的不规则球状颗粒,其中各元素含量符合一级 AgCl 产品标准要求。浸出渣中 Cu 质量分数为 0%,AgCl 质量分数大于 99.99%,说明该法可实现废旧银铜焊条中铜银高效分离,具有一定推广应用价值。

参考文献:

- [1] MOUSAVI S Z, POURABDOLI M. Silver-coated copper particles as a new raw material for manufacturing electrical contacts[J]. *Microelectronics Reliability*, 2022, 134. DOI: 10.1016/j.microrel.2022.114554.
- [2] 毕亚男,张乃千,魏明霞,等. AgCuInSn 钎料的研究进展综述[J]. *贵金属*, 2022, 43(增刊 1):37-41.
BI Yanan, ZHANG Naqian, WEI Mingxia, et al. Review on research progress of AgCuInSn solder[J]. *Precious Metals*, 2022, 43(Sup. 1):37-41.
- [3] TIAN J J, WU D D, LI S Y, et al. Effect of process variables on leaching behavior and kinetics of silver element from waste photovoltaic modules[J]. *Separation and Purification Technology*, 2024, 335. DOI:10.1016/j.seppur.2023.126062.
- [4] PAUL M, BHANJA N, DAR A B. On the similarities between precious metals, precious metal stocks and equities: international evidence for gold and silver[J]. *Resources Policy*, 2023, 83. DOI:10.1016/j.resourpol.2023.103629.
- [5] 潘昭帅,张照志,车东,等. 中国银矿资源特征及新能源背景下需求分析[J]. *中国地质*, 2024, 51(5):1554-1569.
PAN Zhaoshuai, ZHANG Zhaozhi, CHE Dong, et al. The characteristics and demand analysis of silver resources in China under the background of new energy[J]. *Geology in China*, 2024, 51(5):1554-1569.
- [6] GUO X Y, CHEN Y L, WANG Q M, et al. Copper and arsenic substance flow analysis of pyrometallurgical process for copper production[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2022, 32(1):364-376.
- [7] 宋锦波,郗文龙,牛丽萍,等. 铅精矿协同铅膏、铅玻璃吹氧熔炼脱硫试验研究[J]. *中国有色冶金*, 2022, 51(6):110-117.
SONG Jinbo, XI Wenlong, NIU Liping, et al. Experimental study on oxygen blowing co smelting and desulfurization of lead concentrate with lead paste and lead glass[J]. *China Nonferrous Metallurgy*, 2022, 51(6):110-117.
- [8] 田庆华,李中臣,王亲猛,等. 红土镍矿资源现状及冶炼技术研究进展[J]. *中国有色金属学报*, 2023, 33(9):2975-2997.
TIAN Qinghua, LI Zhongchen, WANG Qinmeng, et al. Present situation of laterite nickel ore resources and research progress of smelting technology[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2023, 33(9):2975-2997.
- [9] ZHANG K F, LIU Z Q, QIU X Y, et al. Hydrometallurgical recovery of manganese, gold and silver from refractory Au-Ag ore by two-stage reductive acid and cyanidation leaching[J]. *Hydrometallurgy*, 2020, 196. DOI: 10.1016/j.hydromet.2020.105406.
- [10] 高宇,和晓才,韩庆,等. 从铜阳极泥浮选尾矿中高效浸出金、银试验研究[J]. *湿法冶金*, 2023, 42(4):335-340.
GAO Yu, HE Xiaocai, HAN Qing, et al. High efficiency leaching of gold and silver from flotation tailings of copper anode slime[J]. *Hydrometallurgy of China*, 2023, 42(4):335-340.
- [11] GUO X Y, ZHANG L, TIAN Q H, et al. Stepwise extraction of gold and silver from refractory gold concentrate calcine by thiourea[J]. *Hydrometallurgy*, 2020, 194. DOI:10.1016/j.hydromet.2020.105330.
- [12] 何秉轩,梁勇,刘德刚,等. 铅分银炉渣中金属赋存状态分析及银的提取试验研究[J]. *湿法冶金*, 2023, 42(1):1-7.
HE Bingxuan, LIANG Yong, LIU Degang, et al. Analysis of metal occurrence in silver-separating slag and recovery of silver[J]. *Hydrometallurgy of China*, 2023, 42(1):1-7.
- [13] CHEN J N, XIE F, WANG W, et al. Leaching of gold and silver from a complex sulfide concentrate in copper-tartrate-thiosulfate solutions[J]. *Metals*, 2022, 12. DOI: 10.3390/met12071152.
- [14] AJI A T, HAMUYUNI J, AROMAA J, et al. Design of optimal electrolyte circulation based on the kinetic modeling of copper dissolution in silver electrorefining[J]. *Hydrometallurgy*, 2020, 196. DOI: 10.1016/j.hydromet.2020.105403.
- [15] FENG W Y, CAO H Z, SHEN Y K, et al. Migration regularity and control of silver inclusions during copper electrorefining process[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2023, 33(9):2853-2865.
- [16] JOMOVA K, CVIK M, LAURO P, et al. The role of redox active copper(II) on antioxidant properties of the flavonoid baicalin: DNA protection under Cu(II)-Fenton reaction and Cu(II)-ascorbate system conditions[J]. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2023, 245. DOI:10.1016/j.jinorgbio.2023.112244.

High Efficiency Separation and Recovery of Copper and Silver from Waste Ag-Cu Filler Metal in HCl-H₂O₂ System by Full Wet Short Process

BIAN Guojun

(School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

Abstract: The efficient utilization of secondary silver-containing resources is of great significance for making up for the shortage of silver ore resources in China, alleviating the contradiction between supply and demand, and ensuring the supply security of national strategic metals. For waste Ag-Cu filler metal, the leaching and separation of copper and silver in the HCl-H₂O₂ system was studied, and high-purity AgCl was prepared. The influence of various factors on the separation effect of copper and silver was investigated. The results show that under the optimized conditions of H₂O₂ excessive coefficient of 1.3, HCl excessive coefficient of 1.4, liquid-solid mass ratio of 11 : 1, leaching temperature of 40 °C, and leaching time of 3 h, the leaching rate of copper can reach 99.38%. The leaching residue is irregular spherical particle with particle size of 2~4 μm. The main phase is AgCl, and the main components are Ag and Cl, with total mass fraction of more than 99%.

Key words: waste Ag-Cu filler metal; silver; copper; HCl; H₂O₂; separation; recovery; silver chloride