

# 重选法回收废旧印刷电路板中的有色金属

李丽, 宋永胜

(北京有色金属研究总院生物冶金国家工程实验室, 北京 100088)

**摘要:**废旧印刷电路板中含有多种有色金属,若将其随意丢弃或采用不恰当的处理方法,不仅会污染环境,还会造成资源流失。本文对采用重力分选技术实现废旧印刷电路板中有色金属富集的可行性进行了研究。结果表明:重选法(摇床)可以实现废旧印刷电路板中有色金属和玻璃纤维、树脂的分离;在实验的破碎粒度范围内,将废旧印刷电路板破碎到 $-0.5\text{mm}$ 时,摇床分选效果最好。

**关键词:**废旧印刷电路板;有色金属;重选;摇床

**中图分类号:**X705 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2008)03-0046-04

随着电子工业的飞速发展,电子产品的种类和数量迅猛增长,电子产品更新换代的周期不断缩短,废弃电子产品的数量与日俱增。来自中国家用电器协会的数据显示:目前我国仅电视机、洗衣机、电冰箱、空调器、电脑5种电器的年报废量就超过1.5亿台,而印刷电路板作为电子产品的重要组成部分,其废弃量也随之高速增长<sup>[1-4]</sup>。

印刷电路板是一种附着于绝缘基材表面、用于连接电子元器件(包括屏蔽元件)的导电图形,简称PCB。印刷电路板因其特定的功能要求而含有多种不同的金属,如贵金属金、银以及基本金属铜、铅、锡、锌、镍等。以个人计算机(PC)中使用的印刷电路板为例,其典型组成为:80g/t的金、3300g/t的银、26.8%的铜、1.0%的锡、2%的铅、0.47%的镍以及1.5%的锌<sup>[5]</sup>。因此,若将废旧印刷电路板随意丢弃、填埋,不仅会造成资源的浪费,还可能导致其中的大量有毒有害物质渗入地下,对土壤和地下水造成严重污染,给人类的生存环境及人体健康造成潜在的长期危害<sup>[6]</sup>。如果将废旧印刷电路板中的金属回收利用,则相对于从矿石中提取来说,所需要的能耗较少,回收过程中产生的废物量也较少<sup>[7]</sup>,不仅可以获得很好的环境和经济效益,而且可以达到节约资源、降低环境污染等多重目的。

目前,回收废旧印刷电路板最常用的方法主要有热处理、化学处理、生物处理、机械处理或几种处理技术相结合的方法。其中,热处理和化学处理技

术的发展相对比较成熟,但是这两种技术在处理废旧印刷电路板的过程中都会造成严重的二次污染:热处理过程中,若温度控制不当,可能会导致溴化阻燃剂热解,产生二噁英等剧毒物质;化学处理过程中,会产生大量具有腐蚀性和毒性的浸出液及残渣。生物处理技术起步较晚,目前尚未真正投入使用。与上述几种方法相比,机械处理技术具有成本低、投资少以及环境污染小等优点,有较强的适应性,符合当前的市场要求,正得到越来越广泛的应用<sup>[8-9]</sup>。

机械处理技术包括拆解、破碎、分选等步骤。其中,分选主要是利用废旧印刷电路板中材料的磁性、电性和密度等物理性质的差异实现不同组分的分离。目前常用的分选方法有静电分选、涡电流分选及气流分选等,这些分选方法均属于干式分选,当分选粒度较小的物料时,会产生大量的粉尘,对人体健康及周围环境造成一定的威胁;若要配备粉尘收集装置,则要在经济上再进行考虑。针对这种情况,本文研究了采用湿式摇床分选方法回收金属的可行性。

## 1 试 验

### 1.1 试验样品和试验设备

#### 1.1.1 试验样品

试验使用的废旧印刷电路板来自于实验室闲置的若干台废旧电脑,经查证这些电脑均是同年生产的同型号机。将废旧电脑中的印刷电路板拆下,从

收稿日期:2007-12-14

作者简介:李丽(1984-),女,硕士研究生,主要从事废旧印刷电路板回收方面的研究。

中选取一块完整的废旧印刷电路板,手工破碎成小于70mm的小块,然后送入破碎设备进一步粉碎,从破碎产物中取样进行分析,确定废旧印刷电路板中主要金属的含量,结果如表1所示。

表1 印刷电路板中主要金属元素的含量/%

Au*	Ag*	Sn	Cu	Pb	Zn	Ni
60	250	3.79	16.71	2.10	2.04	1.03

\* 含量单位为 g/t。

### 1.1.2 试验设备

由于废旧印刷电路板主要由强化树脂板和附着其上的铜线等金属组成,其硬度较高,韧性较强,采用普通的破碎设备难以达到较好的解离效果,因此需要采用以剪切为主的破碎设备。结合实验室的具体情况,破碎设备选用德国 Fritsch 公司生产的 pulverisette 19 Universal Cutting Mill/通用切割研磨机和 pulverisette 14 Variable Speed Rotor Mill/可变速高速旋转粉碎机。

其中,通用切割研磨机是利用研磨腔室内装有三把刀片的转子,通过切割作用以减小样品的尺寸,持续的气流作用使样品通过可变换的筛盘上的小孔进入收集器中。设备的漏斗开口最大值为70mm×105mm,最大进料尺寸为70mm×80mm,流量60L/min,可变换筛盘的筛孔尺寸为6mm、4mm、2mm、1mm和0.5mm。

可变速高速旋转粉碎机是通过带有锋利刀口的高速旋转的转子对样品进行切割,同时利用转子和筛圈之间的摩擦力和压力实现样品的粉碎,粉碎后的样品被收集在不锈钢收集盘中。设备的最大进样尺寸为10mm,流量0.5~5L/min,筛圈的筛孔尺寸为0.25mm和0.08mm。

重选设备选用6-S摇床,它是重力选矿的主要设备之一,床面尺寸1100mm×600mm×430mm,冲程9~17mm,冲次280~460次/min,横向坡度0~10,给矿浓度10%~30%。本研究中采用的分选条件是:冲程22mm,冲次25次/min,横向坡度3.0,给矿浓度15%。

### 1.1.3 试验流程

试验流程如图1所示。

通过变换通用切割研磨机中的可变换筛盘和可变速高速旋转粉碎机中的筛圈,获得-6mm、-4mm、-2mm、-1mm、-0.5mm、-0.25mm以及

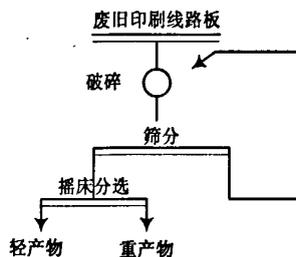


图1 试验流程

-0.08mm等七种不同粒级的破碎产物。

每种破碎产物称取同等重量的样品,分别进行摇床分选试验,通过摇床分选将破碎产物分为重产物和轻产物。由于金属与玻璃纤维、树脂等在密度上差异明显,因此在充分解离的前提下,理论上可以通过摇床分选实现金属与非金属分离。而后将各产物分别称重,并测定金属含量,计算产率、富集比和回收率。

### 1.2 试验评价指标

摇床分选效果的评价指标包括两方面:一方面是观察试验现象,另一方面是比较重产物中主要金属的富集比和回收率。

## 2 现象与结果

### 2.1 试验现象

观察各破碎产物的分选过程可以发现:

-6mm和-4mm的破碎产物在分选过程中,物料分带很不明显,重产物的产量比较大,且夹杂有大量的、粒度较大的塑料颗粒,轻产物中存在较多的细粒金属,分选效果较差。

其他各粒级破碎产物的分选过程中,分带比较明显,重产物的产量较小,且塑料颗粒的含量明显下降,轻产物中金属颗粒的含量也较少,分选效果较好。

通过对试验现象的观察对比可知:进行摇床分选时,必须将物料破碎到-2mm以下才能获得比较理想的分选效果。

### 2.2 试验结果

一次摇床分选的试验结果如表2所示。

由表2可知:

金(Au): -1mm、-0.5mm、-0.25mm和-0.08mm的破碎产物经过摇床分选后,Au在重产物实现富集;但是其中-1mm和-0.08mm重产物中Au

表 2 一次摇床分选结果

入选粒度	重产物选别指标	Au	Ag	Sn	Cu	Pb	Zn	Ni
-2mm	富集比	0.76	1.56	2.88	2.51	2.63	3.60	2.61
	回收率/%	35.41	71.42	90.75	84.1	89.33	95.99	84.17
-1mm	富集比	1.52	2.80	3.41	2.19	2.83	3.59	3.03
	回收率/%	50.25	79.12	87.39	67.23	79.54	90.06	83.36
-0.5mm	富集比	1.72	1.88	2.18	2.23	2.17	2.16	2.17
	回收率/%	71.86	78.42	90.98	92.79	90.11	89.87	90.25
-0.25mm	富集比	2.90	1.23	2.31	2.66	2.36	2.10	1.93
	回收率/%	72.64	35.94	59.52	66.93	60.22	55.32	50.43
-0.08mm	富集比	3.05	0.66	2.82	3.05	1.96	2.37	2.05
	回收率/%	49.17	23.94	46.03	51.22	34.77	43.54	37.72

的回收率比较低,仅有 50% 左右;而 -0.5mm 和 -0.25mm 重产物中 Au 的回收率较高,分别为 71.86% 和 72.64%。

银 (Ag): -2mm、-1mm、-0.5mm 和 -0.25mm 的破碎产物经过摇床分选后,Ag 在重产物实现富集,但是 -0.25mm 重产物中 Ag 的回收率比较低,仅有 35.94%;而 -2mm、-1mm 和 -0.5mm 重产物中 Ag 的回收率较高,分别为 71.42%、79.12% 和 78.42%。

锡 (Sn)、铜 (Cu)、铅 (Pb)、锌 (Zn) 和镍 (Ni): 通过摇床分选,均能够在重产物中富集。但是只有 -2mm 和 -0.5mm 重产物中各金属的回收率普遍较高。

综上所述可以得出结论,将废旧印刷电路板破碎到 -0.5mm 时,摇床分选效果最好。

### 3 结 论

1. 根据印刷电路板中金属与玻璃纤维、树脂的密度差异,可以利用摇床分选实现有色金属的富集,达到废旧资源回收、减少环境污染的目的。

2. 当废旧印刷电路板破碎至 -0.5mm 时,摇床分选指标最佳。这与物料的单体解离度和摇床的适宜分选粒度范围有关。

### 参考文献:

- [1] 施达彬,尹凤福,刘振宇,俞子达,王欢. 废旧印刷电路板机械处理技术[J]. 中国科技信息,2006(2):81~82.
- [2] 赵跃民,王全强,焦红光,温雪峰,曹亦俊. 废弃电路板选择性破碎基础研究[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(6):683~687.
- [3] 顾幅华,戚云峰. 废旧印刷电路板的粉碎性能及资源特征[J]. 中国有色金属学报,2004,14(6):1037~1041.
- [4] Jirang Cui, Eric orssberg. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review [J]. Journal of Hazardous Materials B99,2003:243~263.
- [5] 宋国勇,许涛,裴晓鸣. 电子废弃物的回收与利用[J]. 辽宁城乡环境科技,2003,23(5):50~52.
- [6] 白庆中,王晖,韩洁,聂永丰. 世界废弃印刷电路板的机械处理技术现状[J]. 环境污染治理技术与设备,2001,2(1):84~89.
- [7] 马俊伟,王真真,杨志峰,聂永丰,白庆中. 电选法回收利用废旧印刷电路板[J]. 环境污染治理技术与设备,2005,6(7):63~66.
- [8] Zhang Shunli, Rric Forssherz. Mechanical recycling of electronics scrap: The current status and prospects [J]. Waste Management & Research,1998,16(2):119~128.
- [9] 洪大剑,张德华,邓杰. 废旧印刷电路板的回收处理技术[J]. 云南化工,2006,33(1):31~34.

## Recycling of Non-ferrous Metals from Waste Printed Circuit Board Scrap by Gravity Concentration

LI Li, SONG Yong-sheng

(General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing, China)

**Abstract:** Waste printed circuit boards contain many kinds of non-ferrous metals. It will result in environmental

(下转 27 页)

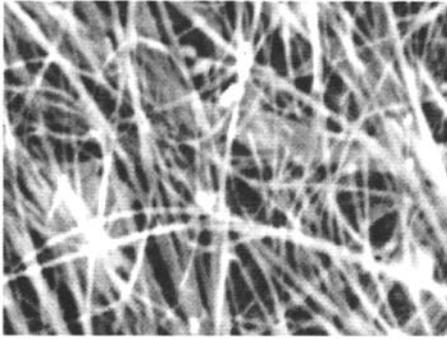


图6 300℃煅烧蛇纹石石棉纤维

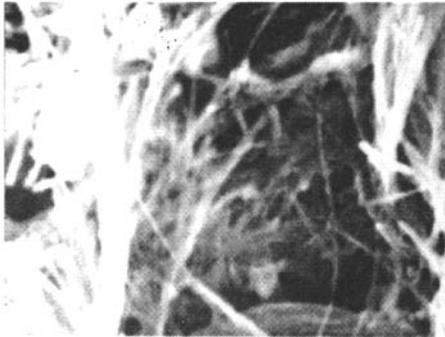


图7 1000℃煅烧蛇纹石石棉纤维

### 3 结 论

蛇纹石石棉煅烧烧失量随温度的增加而增加,煅烧改性在1h就基本完成。随着温度的升高,蛇纹石石棉的特征峰逐渐消失,在煅烧温度达到1000℃时,产物为较纯的镁橄榄石纤维。

根据蛇纹石石棉对人体危害的机理分析可知,羟基是蛇纹石石棉产生生理毒性的主要因素之一。换言之,减少羟基数量,就可以降低蛇纹石石棉的生理活性,减少蛇纹石石棉对人体带来的危害。研究结果表明,通过煅烧改性,可减少蛇纹石石棉纤维羟基数量,改变蛇纹石石棉的化学成分,从而达到降低或消除其毒性的目的。

#### 参考文献:

- [1] 朱自尊. 我国几种石棉矿物研究[J]. 矿物岩石, 1986(4): 7~9.
- [2] 邓海金, 李明, 白新桂, 等. 石棉纤维改性方法研究[J]. 非金属矿, 1996(5): 18~22.
- [3] 王丽娟, 鲁安怀, 王长秋, 郑喜坤, 赵东军, 刘瑞. 天然纤维蛇纹石管状特征及其改性研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2005(6): 515~520.

## Experimental Investigation on the Modification of Chrysotile Fiber by Calcination

LI Shi-qing, GONG Yuan-yuan, ZHAO Wen-juan

(Technology Center of Shougang Environmental Protection Industry Department, Beijing, China)

**Abstract:** The effects of calcination temperature and calcination time on modification of the chrysotile fiber were investigated. The test results showed that the loss on ignition is increased with the increase of calcination temperature. When the temperature is up to 1000℃, the modified product chrysotile fiber still keep similar shape of fiber, that is, the fiber of forsterite.

**Key words:** Chrysotile; Modification; Calcination

(上接48页)

pollution and resource waste without disposal or being disposed unsuitably. In this paper, the feasibility of enrichment of non-ferrous metals by gravity concentration was studied. The results show that the waste printed circuit boards can be separated by gravity concentration (shaking table) due to the different densities of metals, glass fiber and resin. And in the range of tested particle sizes, it is proved that this process can get satisfactory separation efficiency if the waste printed circuit boards are crushed to  $-0.5\text{mm}$ .

**Key words:** Waste printed circuit boards; Non-ferrous metals; Gravity concentration; Shaking table