

废弃线路板低温环境下弯曲性能的试验研究^{*}

潘永泰^{1, 2}, 路迈西¹, 陈茂和¹

(1. 中国矿业大学 (北京), 北京 100083 2 煤炭科学研究总院唐山分院, 河北 唐山 063012)

摘要: 针对废旧线路板常温下韧性强、难破碎的情况, 对线路板在低温环境下弯曲强度进行试验研究。试验结果表明, 线路板的弯曲强度在低温环境下呈现出先减小后增加的趋势, 在 -30℃ 附近达到最小值, 且随温度的降低脆性明显增强, 这一发现对于废旧线路板的破碎解离的研究提供了有力的基础支持。

关键词: 废弃线路板; 低温环境; 弯曲强度; 试验

中图分类号: X78 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) S2-0189-03

电子信息技术的迅猛发展和信息设备更新换代速度的加快, 产生了大量的电子废弃物, 印刷线路板 (PWB) 是各类电子产品的主要部分, 含有大量可回收的贵金属、有色金属、黑色金属、塑料、玻璃等, 有着很高的资源化价值^[1-2]。废弃印刷线路板资源化过程中破碎解离是至关重要的一环, 其重要性体现在: 首先, 要求破碎到一定的粒度 (一般 1.2 mm)^[3] 以达到回收有用成分的目的; 另外, 要尽量避免破碎过程中产生大量含玻纤和树脂的粉尘, 尤其是溴、呋喃等有害气体排出。

低温处理是国内外处理印刷线路板的技术趋势^[4]。线路板经低温处理后变的脆化再进行粉碎, 不但可以提高粉碎效果、提高粉碎速度和节约能源、优化粉碎产品的粒度特性和单颗粒的表面特性, 而且可减轻粉尘和有害气体的产生, 还可避免破碎过程中积累热和降解, 有利于后续的分选。

1 试验概述

目前的低温粉碎方法有: ①先使废物在低温下冷却, 达到低温脆化状态, 再投入常温态的破碎机进行粉碎。②废物为常温, 粉碎机内部温度为低温进行粉碎。③将废物用液氮 (-196℃) 冷冻至其脆化点, 同时将破碎机内部温度也保持在合适的低温状态而进行破碎^[5]。本文的研究方法是采用第三种, 即先将试样装入夹具, 用液氮和无水乙醇按一定配比混合在保温容器内调至实验所需温度, 然后将夹具连同试样浸泡在液体中进行实验。

1.1 主要试验器材

试验材料主要包括: 废旧线路板 (PWB)、液

氮一罐, 无水乙醇 (纯度不低于 99.8%) 等。试验设备为 DWZX 低温力学测量系统。

1.2 试验原理^[6]

试验采用三点静弯曲试验测定线路板的抗弯强度, 如图 1。根据材料力学的基本理论, 对于脆性

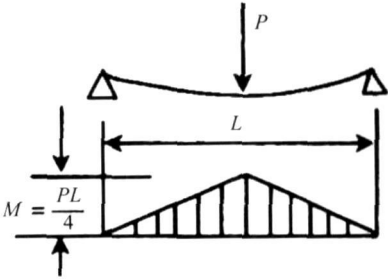


图 1 弯曲试验加载方式

Fig 1 Load mode of bending

材料, 其抗弯强度 σ_b 可由下式确定

$$\sigma_b = M_b/W \tag{1}$$

式 (1) 中, M_b 是试件断裂时的弯矩, 对于三点弯矩试件可根据弯曲图上的最大载荷 P_b 求得:

$$M_b = P_b L/4 \tag{2}$$

W 是试件的截面抗弯系数, 对于宽度和厚度为 b 和 h 的线路板等矩形截面试件 W 可求得:

$$W = bh^2/6 \tag{3}$$

将式 (2)、(3) 代入 (1) 得:

$$\sigma_b = 3 P_b L/2 bh \tag{4}$$

P_b 为断裂负荷, N; L 为支点距离, mm; b 为试样宽度, mm; h 为试样厚度, mm; σ_b 为弯曲强度, MPa

由于弯曲试件加工方便, 试验操作简单, 且不

^{*} 收稿日期: 2007-05-18

基金项目: 国家“十五”“211工程”建设资助项目; 科技部技术开发研究专项资金资助项目 (2005EG122115)

作者简介: 潘永泰 (1972年生), 男, 博士研究生, 高级工程师; Email: szjngcrush@yahoo.com.cn

会出现拉伸试验时加载偏心等，所以常用弯曲试验测定金属材料的强度性能。此外，由于陶瓷材料脆性大，测定抗拉强度很困难，因此，目前主要以其抗弯强度作为评价材料的性能指标。

2 弯曲强度试验结果与分析

2.1 常温下线路板各向弯曲强度对比

线（电）路板内部结构尤其是纤维的分布使得其弯曲强度表现出较明显的各向异性，所以在测试其在各冷却温度下的弯曲强度变化时，首先要确定其试验方向，对其横竖方向的弯曲强度值进行对比，针对强度较大的方向进行试验，以便使其试验结果有较好的统一性和可靠性。

表 1 常温（26℃）下线路板横、竖向弯曲强度
Tab 1 Transverse and vertical bending strength of PWB at room temperature (26℃)

方向	试样 序号	宽度 /mm	厚度 /mm	试样断 裂负荷 /N	弯曲强 度 /MPa	弯曲强 度平均值 /MPa
横向	1	2 509	0 159	797.16	546.688	531
	2	2 506	0 159	834.58	573.036	
	3	2 494	0 158	787.23	550.022	
	4	2 499	0 159	765.10	526.801	
	5	2 522	0 159	706.70	482.153	
	6	2 524	0 162	773.38	507.882	
竖向	1	2 480	0 159	690.45	479.044	492
	2	2 506	0 158	710.93	494.334	
	3	2 511	0 16	721.47	488.226	
	4	2 502	0 161	730.78	490.159	
	5	2 478	0 157	740.50	527.368	
	6	2 503	0 155	651.79	471.490	

从试验结果可以看出线路板的横向弯曲强度要大于其竖向弯曲强度，线路板弯曲强度的各项异性主要成因是在线路板的加工过程中因实际需要，增强纤维布置上的差异造成的。在下面的研究中线路板选取弯曲强度较大的横向进行试验。

2.2 线路板在不同冷却温度下弯曲强度的变化

由表 2 不同冷却温度下的线路板的弯曲强度及断裂负荷数值绘制图 2 对于线路板，总的趋势是随着温度的降低弯曲强度和断裂负荷逐渐增加。但有两个点值得注意，一是在 -30℃附近，线路板弯曲强度和断裂负荷达到最低点，且强度下降幅度较大，是进行弯曲破碎非常理想的结果；二是从室温冷却到 -30℃弯曲强度和断裂负荷没有呈现连续下降的趋势，而是在 0℃附近处出现极值，呈现出先增后降的变化趋势。

表 2 不同冷却温度下线路板的弯曲强度

Tab 2 Bending strength of PWB at different cryogenic temperature

温度 /℃	宽度 /mm	厚度 /mm	试样断 裂负荷 /N	平均断 裂负荷 /N	弯曲强 度 /MPa	弯曲强 度平均值 /MPa
-196	2 497	0 161	984.92	960	661.942	636
	2 486	0 165	982.85		631.695	
	2 509	0 162	966.10		638.235	
-110	2 508	0 160	904.89	842	613.081	579
	2 512	0 158	814.11		564.727	
	2 511	0 159	866.84		594.001	
-70	2 513	0 159	845.96	807	579.232	548
	2 518	0 162	819.07		539.169	
	2 506	0 159	779.99		535.554	
-30	2 510	0 158	823.21	721	571.494	501
	2 476	0 155	693.35		507.023	
	2 497	0 160	698.31		475.203	
0	2 510	0 160	770.89	794	521.877	567
	2 501	0 155	763.24		552.552	
	2 526	0 154	723.75		525.537	
26	2 488	0 158	803.77	777	562.933	531
	2 513	0 156	884.63		629.230	
	2 509	0 159	797.16		546.688	
	2 506	0 159	834.58		573.036	
	2 494	0 158	787.23		550.022	
	2 499	0 159	765.10		526.801	
	2 522	0 159	706.70		482.153	
	2 524	0 162	773.38		507.882	

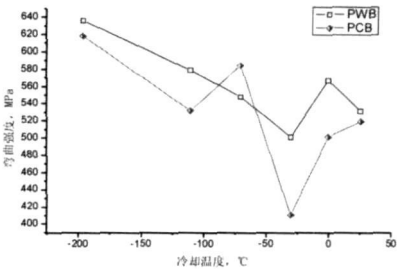


图 2 印刷线（电）路板弯曲强度随冷却温度变化趋势
Fig 2 Diagram of bending strength of PCB (PWB) with different cryogenic temperature

2.3 线路板随温度降低呈现脆性趋势

通过对线路板在各冷却温度下弯曲强度变化规律的试验，发现随着温度的降低线路板有着明显的脆化趋势，试验数据和加载曲线从不同角度反映了这种变化。弯曲强度测试过程中，加载载荷一时间曲线的变化明显的反映了线路板在不同的冷却温度处理后的脆性变化。从图 3(a)~(f)可以看出，线路板的弯曲断裂过程中在室温下加载载荷随时间逐渐增加，达到最大断裂载荷后，线路板达到屈服

点, 材料基本破坏, 但还保持一定的强度, 后随着加载时间的推移载荷缓慢下降, 直到试样完全断裂, 整个过程中, 被破碎物料表现出很强的韧性。在 0°C 、 -70°C 、 -110°C 的冷却温度下试样表现出韧性降低、脆性增强的趋势; 在 -30°C 的冷却状态下, 加载载荷达到最大值后, 一些试样立刻完全断裂, 其余经过很快的屈服振荡或直接快速断裂, 试样表现出较强的脆性, 而这种脆化趋势在 -196°C 的冷却状态下, 更加明显, 试样变得完全

脆化, 只要载荷达到最大值, 试样便立刻彻底断裂, 这些温度下的脆化特性对于该种物料的破碎无疑是非常有利的。

3 结 论

(1) 线路板的弯曲强度表现出较明显的各向异性, 试验数据显示, 其横向强度要大于其竖向强度; (2) 随冷却温度的降低, 线路板弯曲强度总的趋势逐渐增加, 在 -30°C 附近, 线路板弯曲强度和断裂负荷达到最低点, 且强度下降幅度较大, 是进行弯曲破碎非常理想的温度点; (3) 随着冷却温度的降低线路板有着明显的脆化趋势。

参考文献:

- [1] ZHANG Shunli, ERIC Forssberg, NORRED NE Menad. Metals Recycling from Electronic Scrap by Air Table Separation—Theory and Application [J]. The TMS Annual Meeting EPD Congress 1998 497—515.
- [2] 吴峰. 浅论废旧线路板综合利用的意义 [J]. 环境保护, 2000(12): 43—44.
- [3] 周翠红. 利用机械处理技术回收废旧印刷电路板的研究 [D]. 中国矿业大学 (北京校区), 2003.
- [4] 杨国清. 固体废物处理工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2000, 6—8.
- [5] 朱芬芬, 李金惠, 温雪峰. 废电路板资源化技术及其发展趋势 [J]. 2004 欧盟 WEEE 和 RfHS 两个指令和中欧电子电气产品回收技术交流与合作研讨会, 2004 145—153.
- [6] 刘孝敏. 工程材料的微细观结构和力学性能 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003 231—252.

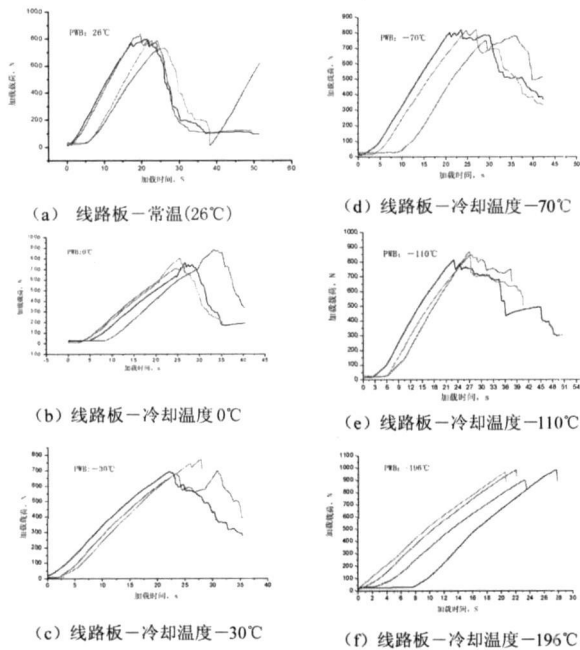


图 3 (a~f) 线路板在不同冷却温度下加载载荷—时间变化曲线图

Fig 3 (a~f) Diagram of load—time of PWB at different cryogenic temperature

Research on Bending Strength of Discarded PWB in Cryogenic Condition

PAN Yongtai¹, LIU Maji², CHEN Maohe

- (1. China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China)
- (2. China Coal Research Institute Tangshan Branch, Hebei Tangshan 063012, China)

Abstract: Aiming at the toughness of discarded PWB and the difficulty in comminution, some trial research on PCBs bending strength in cryogenic condition has been done. These tests indicate that PWB's bending strength decreases first and then increases with the declining of temperature, the bending strength minimum at -30°C , and discarded PWB become brittle with the temperature declining. These test results give a strong support to the research of discarded PWB comminution.

Key words: discarded PWB; cryogenic condition; bending strength; experiment