

文章编号: 1000-5692(1999)03-0297-06

# 玻璃化转变温度对层压板性能的影响

刘 涛

(国际层压板材有限公司, 浙江临安 311300)

**摘要:** 探求层压板的玻璃化转变温度( $t_g$ )对层压板性能的影响, 对研制开发层压板新产品和选择适用层压板制作印刷电路板有重要的理论意义和实际意义。对不同  $t_g$  的层压板的耐热性、抗弯强度和热膨胀性等 8 项性能进行了比较。结果表明层压板的  $t_g$  升高, 层压板的机械和电气性能明显提高。图 6 表 1 参 2

**关键词:** 层压板; 印刷电路板(材料); 玻璃化转变温度

**中图分类号:** TN41      **文献标识码:** A

为适应电子工业的发展, 提高印刷电路板(PCB)基板的性能, 近年研究开发了FR-4等阻燃型高性能的覆铜箔层压板。目前在玻璃布基覆铜箔板总量中FR-4板生产量占90%以上。电脑、通讯工具和家电产品由于向轻、薄、小、多功能和高性能方向发展, 也大量地应用PCB。

层压板生产中使用的树脂在常温时是一种无定形结晶的玻璃状物质, 到达一定高温它将转变成一种橡胶状的弹性体。由“玻璃态”明显转变成“橡胶态”的温度称为玻璃化转变温度( $t_g$ )。由于层压板玻璃化转变温度对性能有重要影响, 本文将对此作一探讨。

## 1 层压板生产工艺和 $t_g$ 的测定方法

层压板由树脂等粘接材料和玻璃布等增强材料构成, 树脂含量一般为50%~80%。FR-4层压板所用的树脂是含溴双酚A型的环氧树脂。它由环氧氯丙烷和二酚基丙烷在碱性催化剂作用下缩聚而成。配制树脂胶液需加固化剂、催化剂和溶剂。固化剂是双氰胺; 催化剂是苄基二甲基甲胺或者2-甲基咪唑; 溶剂为甲基溶纤素、二甲基酰胺等中沸点或高沸点的溶剂。一般FR-4板所用的树脂选用环氧当量为 $400 \sim 500 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的溴化环氧树脂, 其含溴量约为18%~20%<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 1998-11-24; 修回日期: 1998-12-30

作者简介: 刘涛(1966-), 男, 浙江临安人, 工程师, 从事层压板胶粘剂研究。

### 1.1 层压板生产工艺

层压板的生产工艺流程如图1所示。树脂的配制是在釜中进行，要严格控制各个组分投料量、溶解时间和温度，以达到合适的粘度、比重和胶液的凝胶时间。玻璃布的上胶是在立式上胶机中进行的。为保证上胶的质量，上胶机烘箱横向温度差应在 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，传送速度和张力的波动不超过3%。在浸渍过程中要严格控制浸渍树脂的浸润性、含量和浸渍的均匀性。在烘干时要控制好烘箱温度和上胶速度，为此在生产中要监控树脂含量、凝胶时间和树脂流动度等指标。上胶布烘干后加以裁切得到半固化片。

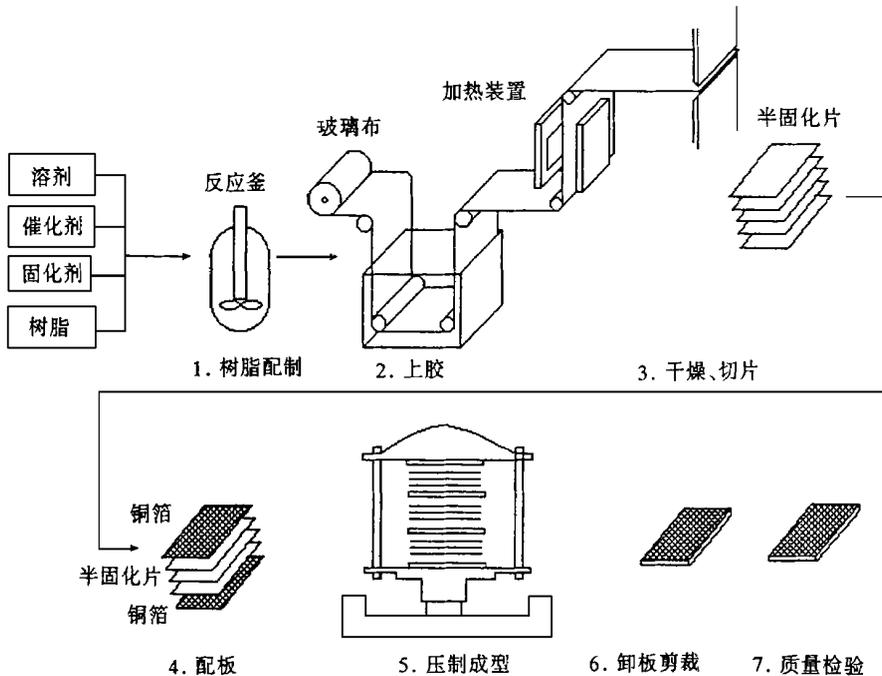


图1 层压板的生产工艺流程

Figure 1 Process flow diagram of laminated boards

层压板的成形压制是在半固化片的叠层上覆上铜箔，再用不锈钢板做模板，然后在热压机中经高温高压压制成型。叠板和配板在净化室进行。压制过程采用计算机程序控制（加温、加压和降温等）。现在一般均采用真空压制技术。真空压制可使树脂更紧密地填在玻璃纤维间隙中，板内的气隙和气泡基本被清除，使板的各部分树脂含量均匀，板的厚度精度提高。同时，由于所使用的压强比非真空压制小，减小了板材的内应力，板材抗翘曲性较好。

### 1.2 层压板 $t_g$ 的测定方法

$t_g$  的测定通常采用热膨胀法。它是以专用热

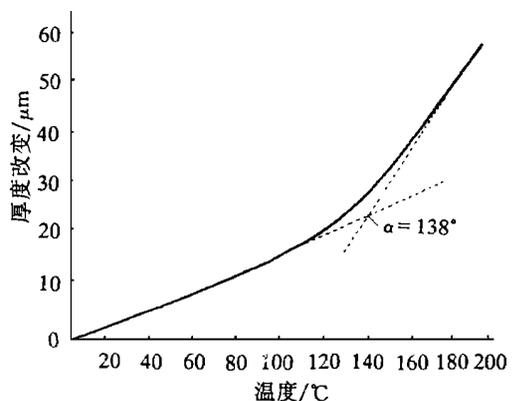


图2 测定一层压板  $t_g$  的图谱

Figure 2 The  $t_g$  measurement of a certain laminated board

分析仪, 通过温度等速上升(例如  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ), 测出材料热膨胀情况急剧变化时的温度, 以确定  $t_g$ 。图 2 为一测定层压板  $t_g$  的图谱, 由 2 段不同斜率的直线(对应于不同热膨胀系数)的延长线交点确定  $t_g$  为  $138\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2 $t_g$ 对层压板性能的影响

在层压板的环氧树脂配方中加入部分可以提高高分子交联密度的树脂或者采用交联密度高的树脂, 可以提高树脂的耐热等级, 使层压板  $t_g$  得以提高。目前世界上通常将玻璃布覆铜箔层压板按  $t_g$  分为 4 档: 第一档的  $t_g$  为  $125\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 其树脂为环氧-双氰胺树脂, 一般的 FR-4 层压板属于此类; 第二档的  $t_g$  为  $135\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 在树脂中加入部分多官能团或酚醛环氧树脂; 第三档的  $t_g$  为  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右, 除加入多官能团或酚醛环氧树脂, 也可使用 PPO 等改性环氧树脂。第二、第三档的 FR-4 板称改性 FR-4 板; 第四档的  $t_g$  为  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上, 它用聚酰亚胺树脂 (PI), 基层压板称 PI 板。近年来, 国外使用第一档的层压板逐渐减少, 而以第二档层压板代之, 美、日和西欧各国正越来越多采用第三、第四档层压板<sup>[2]</sup>。

经过我们生产试验, 并参考有关文献资料, 发现层压板的  $t_g$  对性能的影响是多方面的。

### 2.1 耐热性

由于印刷电路板上有可能安装高温电子元器件(如变压器、功率管等), 除了采取散热措施外, 板材的耐热性也应予考虑。同时, 在印刷电路板加工和组装时也会遇到热冲击产生的高温(如高速钻孔、波峰焊、表面贴装等)。所以层压板的耐热性是一个重要参数。

层压板的耐热性好坏对它在高温下的物理性能影响很大。耐热性差的层压板其树脂在温度不太高时会产生软化或熔融, 同时机械和电气特性急剧下降。

表 1 为 3 种不同  $t_g$  值 FR-4 板试样一些主要性能的测试结果。由表 1 可知第二档 FR-4 板比一般 FR-4 板耐热性好, 而第三档 FR-4 板的耐热性更佳。耐热性的好坏可以用  $t_g$  来表征和测定。 $t_g$  越高, 层压板的耐热性越好, 最高连续工作温度也越高。

### 2.2 抗湿性

由表 1 可知  $t_g$  高, 层压板的抗湿性也好。由于环境的相对湿度对层压板的表面电阻率有影响, 如层压板吸湿性好(抗湿性差)其表面电阻率明显降低, 会影响印

表 1 3 种不同  $t_g$  的 FR-4 板试样一些主要性能的测试结果

Table 1 Principal properties of FR-4 sample board at 3 kinds of  $t_g$

试样	$t_g / ^{\circ}\text{C}$	吸水率/ % (吸湿处理 4 h)	绝缘电阻/ $\Omega$	介电常数(1 MHz)
一般 FR-4 板	130	0.70	$1.0 \times 10^{15}$	4.82
第二档 FR-4 板	135	0.68	$1.2 \times 10^{15}$	4.80
第三档 FR-4 板	170	0.33	$1.4 \times 10^{15}$	4.89

制电路的电气性能。一般 FR-4 板在环境湿度增加 20%, 其表面电阻率大约降低 9/10, 而  $t_g$  高的层压板抗湿性好, 这种影响会明显降低。

### 2.3 热态抗弯强度

图 3 为层压板弯曲强度随温度的变化曲线。由曲线可知, 层压板的  $t_g$  高, 其热态抗弯强度高, 改性 FR-4 板和 PI 板弯曲强度较一般 FR-4 板高, 而且在温度高时, FR-4 板(包括改性板)弯曲强度降幅较大, PI 板降幅较小。弯曲强度高, 其抗弯曲、翘曲和扭曲性能都较好, 在加工时其机械加工性能(如钻孔等)较好, 组装时的变形小(特别在有重负荷或承受强

力情况下)。

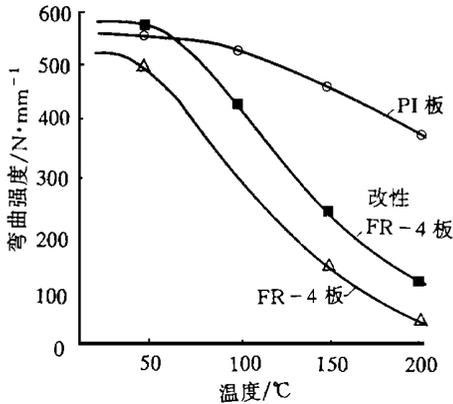


图3 层压板弯曲强度曲线

Figure 3 Flexure strength curves of laminated boards

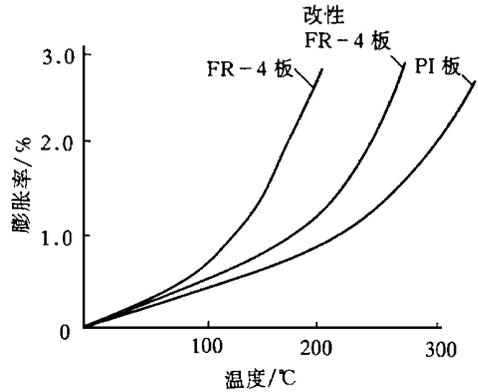


图4 层压板Z轴热胀率的变化曲线

Figure 4 Thermal expansion rate curves of laminated boards at Z axis

## 2.4 Z轴的热膨胀性

由于层压板内玻璃纤维的牵制作用,使得在平面内的热膨胀系数较小,而垂直于平面的Z轴(厚度方向)比平面内X轴和Y轴的热膨胀系数大得多,因此设法减少Z轴方向热膨胀系数较为重要。图4为层压板Z轴热膨胀率变化曲线。显然在140~200°C间改性FR-4板、PI板热膨胀度尚在1%以内,而一般FR-4板的热膨胀率甚至高达2%以上。可见,层压板的 $t_g$ 越高,在热态时Z轴的热膨胀系数较小。一般FR-4板在温度低于 $t_g$ 时热膨胀系数为 $80 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ,而铜的热膨胀系数仅为 $17.2 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ,由于两者差异较大,在层压板加工、使用时易造成变形、分层等不良现象。以焊接而言,当温度从室温(25°C)上升至215°C(焊接温度)时,金属化孔在Z轴方向将被拉长 $76 \mu\text{m}$ (以板厚2.5mm计)。假如孔壁铜层的延展性太小,其铜层有可能被拉断。如选用 $t_g$ 高的PI板,在温度低于 $t_g$ (200°C甚至更高)时,热膨胀系数为 $40 \sim 50 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ,与铜的热膨胀系数较为相近,上述不良现象可以避免或减少。

## 2.5 铜箔抗剥强度

试验表明层压板铜箔抗剥强度随温度而变化。FR-4板的 $t_g$ 低,热态下铜箔抗剥强度降幅较大。这是由于在高温下铜箔与基板的粘接力明显下降。PI板耐热性高,在热态下抗剥强度较高,能经受焊接等热冲击而不致使铜箔剥落和分层。

## 2.6 通孔故障率

印刷电路板都要按照设计的图形在一些地方钻孔,孔壁经过工艺处理后在电镀时形成铜层,称金属化孔。如金属化孔的孔体损坏会使印制电路某些部分导通中断,造成故障。改性FR-4板和PI板热膨胀系数小,板材和金属铜的热膨胀系数较为匹配,其通孔可靠性比一般FR-4高。图5是层压板通孔故障率的温度曲线。其试样是8层板,试验条件为125°C, 300 min ↔ 室温, 5 min ↔ 65°C, 300 min为一周期。在多周期试验中测出金属化孔故障而得出上述曲线。曲线表明:一般FR-4在120周期内故障率为0,120周期以上故障急剧增加;改性FR-4在300周期内故障接近0,300周期以上才明显增加; $t_g$ 更高的PI板在多周期情况都

为 0, 金属化孔的可靠性最佳。因此  $t_g$  高的层压板 (特别是多层板) 通孔故障率较小。

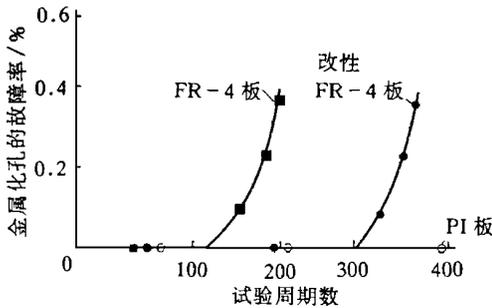


图 5 层压板通孔故障率曲线

Figure 5 Breakdown rate curves of metallized hole

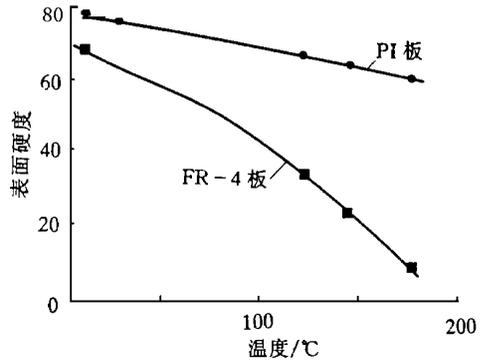


图 6 表面硬度曲线

Figure 6 surface hardness curves of laminated boards

## 2.7 表面硬度

图 6 为层压板表面硬度曲线。由曲线可知: 一般 FR-4 板表面硬度受温度变化影响较大, 温度较高时表面硬度下降较为明显; 而 PI 板表面硬度较高, 且受温度影响很小。因此, 用 PI 板等  $t_g$  高的层压板其机械性能较好, 在钻孔等高温情况下不易变形, 同时高速钻孔时能减少胶渣, 提高孔壁精度, 有利于保证金属化孔的质量。

## 2.8 耐金属离子迁移性

层压板的耐金属离子迁移性是用在高湿条件下长时间处理后的金属化孔间绝缘电阻表示, 它可以表征板基介质的绝缘性能。耐金属离子迁移性的试验条件为: 温度  $85^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 90%, 施加 100 V 直流电压, 在此条件下测出孔径 0.9 mm, 孔间距为 0.35 mm 的金属化孔平行层向绝缘电阻。在试验中, 处理时间不同其绝缘电阻是有变化的。试验结果表明: 一般 FR-4 板在上述高湿条件下, 处理时间不太长其绝缘电阻就急剧下降。而改性 FR-4 板和 PI 板的绝缘电阻基本上可保持不变, 说明其中金属离子迁移运动不强, 且迁移运动受长期潮湿环境的影响不大。因此在加工印刷电路板后它在潮湿环境下抗漏电和抗击穿等电气性能较好, 电路可靠性有保障。

## 3 结语

综上所述, 层压板的  $t_g$  值对耐热性、抗弯强度、热膨胀性和通孔故障率等有重要影响。这些性能的提高不仅对印刷电路板加工和组装等过程至关重要, 而且也为产品的正常运用提供可靠的质量保证。

随着电器、仪表、电子和信息产业的飞速发展, 现已研制生产了多种高性能层压板。这些层压板都要求  $t_g$  较高。例如: 高频下使用的通讯工具要求低介电常数层压板, 高密度安装技术要求超精细图形的印制电路的层压板等。

## 参考文献:

- 1 卢凤才. 耐高温胶粘剂 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- 2 祝大同. 覆铜箔板技术基础 [J]. 印刷电路信息, 1998, (1): 41~45.

## Effects of glass transition temperature on properties of laminated boards

LIU Tao

(International Laminate Material Company Limited, Lin'an 311300 Zhejiang, China)

**Abstract:** It is great important in theory and practical production to research effects of glass transition temperature ( $t_g$ ) on laminated boards. At different  $t_g$ , thermal expansion, heat resistance, flexure strength of laminated boards were compared. The results showed that mechanical and electronic features of laminated boards were greatly improved as  $t_g$  arise.

**Key words:** laminated boards; printed circuit plates (materials); glass transition temperature