



ASSOCIATION CONNECTING  
ELECTRONICS INDUSTRIES®

IPC-SM-785 CN

# 表面贴装焊接连接加速可靠性 测试指南

If a conflict occurs  
between the English  
and translated versions  
of this document, the  
English version will  
take precedence.

本文件的英文版本与翻  
译版本如存在冲突，以  
英文版本为优先。

本标准由IPC产品可靠性委员会表面贴装焊接加速可靠性  
测试技术组（6-10b）开发。由IPC TGA Asia 6-10bCN技术组  
翻译。

鼓励本标准的使用者参加未来修订版的开发。

联系方式：

IPC

IPC 中国

# 目 录

|                              |   |                                     |    |
|------------------------------|---|-------------------------------------|----|
| <b>1.0 范围</b> .....          | 1 | 3.1.31 磨损 .....                     | 4  |
| 1.1 目的 .....                 | 1 | 3.1.32 Weibull分布 .....              | 4  |
| 1.2 文件构成 .....               | 1 | 3.2 可靠性概念及理解 .....                  | 4  |
| <b>2.0 适用文件</b> .....        | 2 | 3.3 可靠性保证 .....                     | 6  |
| 2.1 IPC .....                | 2 | 3.3.1 对焊接连接技术的一般理解 .....            | 6  |
| 2.2 联合工业标准 .....             | 2 | 3.3.2 设计 .....                      | 8  |
| 2.3 军事 .....                 | 2 | 3.3.3 制造工艺评定 .....                  | 8  |
| 2.4 其他出版物 .....              | 2 | 3.3.4 工艺验证 .....                    | 10 |
| <b>3.0 要求</b> .....          | 2 | 3.4 损伤/失效机理 .....                   | 10 |
| 3.1 术语和定义 .....              | 3 | 3.4.1 热循环损伤机理 .....                 | 10 |
| 3.1.1 加速可靠性测试 .....          | 3 | 3.4.2 振动损伤机理 .....                  | 12 |
| 3.1.2 可接受的累积失效概率 .....       | 3 | 3.4.3 热冲击损伤机理 .....                 | 12 |
| 3.1.3 浴盆曲线 .....             | 3 | 3.4.4 焊点蠕变断裂 .....                  | 13 |
| 3.1.4 老化测试 .....             | 3 | 3.5 应用注意事项 .....                    | 13 |
| 3.1.5 蠕变 .....               | 3 | 3.5.1 服务环境 .....                    | 13 |
| 3.1.6 Coffin-Manson模式 .....  | 3 | 3.5.2 服务寿命 .....                    | 14 |
| 3.1.7 循环不均匀膨胀 .....          | 3 | 3.5.3 可接受的累积失效概率 .....              | 14 |
| 3.1.8 循环温度范围/幅度 .....        | 3 | <b>4.0 表面贴装焊接连接疲劳模式及可靠性预测</b> ..... | 15 |
| 3.1.9 设计服务寿命 .....           | 3 | 4.1 通用疲劳寿命模型 .....                  | 15 |
| 3.1.10 环境应力筛选 (ESS) .....    | 3 | 4.2 焊点疲劳 .....                      | 16 |
| 3.1.11 预期设计寿命 .....          | 3 | 4.3 焊点疲劳模式 .....                    | 16 |
| 3.1.12 疲劳延展性指数 .....         | 4 | 4.3.1 失效定义 .....                    | 18 |
| 3.1.13 高加速应力测试 (HAST) .....  | 4 | 4.3.2 多重循环负载历史 .....                | 18 |
| 3.1.14 滞回环 .....             | 4 | 4.3.3 警告1-焊点质量 .....                | 18 |
| 3.1.15 早期失效期 .....           | 4 | 4.3.4 警告2-大的温度偏移 .....              | 19 |
| 3.1.16 跛行模式能力 .....          | 4 | 4.3.5 警告3-高频/低温 .....               | 19 |
| 3.1.17 Manson-Coffin图表 ..... | 4 | 4.3.6 警告4-局部CTE不匹配 .....            | 19 |
| 3.1.18 最大循环应变范围 .....        | 4 | 4.3.7 警告5-有引线焊料CTE不匹配 .....         | 19 |
| 3.1.19 平均疲劳寿命 .....          | 4 | 4.3.8 警告6-高硬度引线/高膨胀不匹配 .....        | 19 |
| 3.1.20 机械冲击 .....            | 4 | 4.4 加速因子/加速转换 .....                 | 20 |
| 3.1.21 工艺评定 .....            | 4 | 4.5 统计考虑因素 .....                    | 21 |
| 3.1.22 工艺验证 .....            | 4 | <b>5.0 焊接连接可靠性设计</b> .....          | 23 |
| 3.1.23 随机稳定状态 .....          | 4 | 5.1 主要设计参数 .....                    | 23 |
| 3.1.24 可靠性 .....             | 4 | 5.1.1 元器件尺寸 .....                   | 23 |
| 3.1.25 焊接连接 .....            | 4 | 5.1.2 连接类型 .....                    | 23 |
| 3.1.26 应力松弛 .....            | 4 | 5.1.3 焊点高度 .....                    | 23 |
| 3.1.27 热循环 .....             | 4 | 5.1.4 焊点面积 .....                    | 23 |
| 3.1.28 热冲击 .....             | 4 | 5.1.5 引线硬度 .....                    | 23 |
| 3.1.29 振动 .....              | 4 | 5.1.6 热膨胀系数 .....                   | 24 |
| 3.1.30 粘塑性应变能密度 .....        | 4 | 5.1.7 热膨胀系数不匹配 .....                | 24 |

|           |                                                                                      |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.8     | 循环温变 .....                                                                           | 24 |
| 5.1.9     | 循环膨胀不匹配 .....                                                                        | 24 |
| 5.2       | 二阶设计参数 .....                                                                         | 24 |
| 5.2.1     | 焊料/基材CTE不匹配 .....                                                                    | 24 |
| 5.2.2     | 焊点形态/填充/体积 .....                                                                     | 24 |
| 5.2.3     | 焊点均匀性 .....                                                                          | 24 |
| 5.2.4     | 初始焊点晶粒组织 .....                                                                       | 24 |
| 5.2.5     | 敷形涂覆 .....                                                                           | 24 |
| 5.2.6     | 基板表面的应力缓冲层 .....                                                                     | 25 |
| 5.2.7     | 焊料成分 .....                                                                           | 25 |
| 6.0       | <b>制造/工艺</b> .....                                                                   | 25 |
| 6.1       | 过程控制和验证 .....                                                                        | 25 |
| 6.2       | 缺陷后果 .....                                                                           | 25 |
| 6.2.1     | 润湿缺陷 .....                                                                           | 25 |
| 6.2.2     | 表面污染的影响 .....                                                                        | 25 |
| 6.2.3     | 焊料污染的影响 .....                                                                        | 26 |
| 6.2.4     | 焊料体积 .....                                                                           | 26 |
| 6.2.5     | 焊点修版，印制板组件（PBA）返工，<br>维修的影响 .....                                                    | 26 |
| 6.3       | 材料特性 .....                                                                           | 29 |
| 6.3.1     | 焊料特性 .....                                                                           | 29 |
| 6.3.2     | 敷形涂覆材料 .....                                                                         | 29 |
| 6.3.3     | 元器件性能 .....                                                                          | 30 |
| 6.3.4     | 印制板材料 .....                                                                          | 30 |
| 7.0       | <b>加速可靠性测试</b> .....                                                                 | 31 |
| 7.1       | 可靠性项目/策略 .....                                                                       | 31 |
| 7.2       | 通用损伤机理研究 .....                                                                       | 31 |
| 7.3       | 热循环 .....                                                                            | 32 |
| 7.3.1     | 功能循环 .....                                                                           | 32 |
| 7.3.2     | 温度循环 .....                                                                           | 32 |
| 7.3.3     | 热冲击循环 .....                                                                          | 32 |
| 7.4       | 机械循环 .....                                                                           | 33 |
| 7.5       | 振动 .....                                                                             | 34 |
| 7.5.1     | 振动环境 .....                                                                           | 34 |
| 7.5.2     | 振动加速 .....                                                                           | 34 |
| 7.6       | 蠕变断裂测试 .....                                                                         | 35 |
| 7.7       | 机械冲击测试 .....                                                                         | 35 |
| 7.8       | 焊点疲劳测试失效标准 .....                                                                     | 36 |
| 7.9       | 加速寿命测试方案 .....                                                                       | 37 |
| 7.9.1     | 测试变量 .....                                                                           | 37 |
| 7.9.2     | 测试方案 .....                                                                           | 37 |
| 7.9.3     | 抽样方法 .....                                                                           | 37 |
| 7.9.4     | 测试板 .....                                                                            | 38 |
| 7.9.5     | 样本条件 .....                                                                           | 38 |
| 7.9.6     | 温度循环选择和监控 .....                                                                      | 38 |
| 7.9.7     | 腔体内的样本定位和放置 .....                                                                    | 39 |
| 7.9.8     | 数据分析 .....                                                                           | 40 |
| 7.10      | 失效模式分析 .....                                                                         | 40 |
| 7.10.1    | 光学显微镜 .....                                                                          | 40 |
| 7.10.2    | 金相制备 .....                                                                           | 40 |
| 7.11      | 报告结果 .....                                                                           | 43 |
| 附件A       | <b>分步示例</b> .....                                                                    | 45 |
| 附录B       | <b>参考文献</b> .....                                                                    | 47 |
| 附录C       | <b>文献目录</b> .....                                                                    | 48 |
| <b>图片</b> |                                                                                      |    |
| 图1        | 可靠性流程图 .....                                                                         | 5  |
| 图2        | 电子元器件和表面贴装焊接组件通用<br>可靠性“浴盆”曲线 .....                                                  | 7  |
| 图3        | 电子元器件和表面贴装焊接组件通用<br>累计失效概率 .....                                                     | 8  |
| 图4        | 表面贴装焊接连接可靠性保证流程图 .....                                                               | 9  |
| 图5        | 累积疲劳损伤 .....                                                                         | 11 |
| 图6        | 热冲击中热梯度造成表面贴装组件热<br>机械形变 .....                                                       | 14 |
| 图7        | 焊料热循环/疲劳损伤机理 .....                                                                   | 19 |
| 图8        | 60:40锡铅焊料剪切强度随温度和应变<br>率的变化关系 .....                                                  | 29 |
| 图9        | 焊料蠕变行为 .....                                                                         | 36 |
| 图10       | 电路布局示例 .....                                                                         | 38 |
| 图11       | 引线数是奇数的元器件面内部引线连接<br>方案 .....                                                        | 39 |
| <b>表格</b> |                                                                                      |    |
| 表1        | 常见类型表面贴装电子产品的最严酷使用<br>环境及表面贴装焊接连接依据最常用<br>类型推荐的加速测试（需要通过热分析<br>或测量建立应用中的实际热环境） ..... | 15 |
| 表2        | 表1中使用类型的表面贴装焊接组件的等<br>效平均加速测试周期（若无其他说明，<br>使用条件按表1所示） .....                          | 22 |
| 表3        | 热膨胀系数典型数值（PPM/°C） .....                                                              | 30 |
| 表4        | 印制线路板基材特性 .....                                                                      | 33 |
| 表1A       | 加速可靠性测试结果 .....                                                                      | 45 |

## 表面贴装焊接连接加速可靠性测试指南

### 1.0 范围

本文件为表面贴装焊接连接加速可靠性测试，以及这些加速可靠性测试结果在电子组件的实际应用环境中的评价和推断提供了指南。本文件所提供的背景和设计信息是为了更好地理解加速测试问题。

**1.1 目的** 加速可靠性测试的目的是为了确保设计及制造/组装工艺能够满足产品性能的预期目标。这些指南可以使加速可靠性测试具有更好的通用性和有效性：

- 允许对不同测试项目的结果进行对比
- 为可靠性设计必须考虑的基本因素提供通用的技术指南
- 允许对基于通用数据库和技术指南的可靠性进行分析预测
- 减少反复设计的测试成本及时间消耗
- 对那些暴露在严酷使用环境下或要求低失效率的产品所必需的过长测试周期，建立有效的替代方案，以验证其可靠性

**1.2 文件构成** 本文件为读者提供了有关可靠性各个方面的信息，还确定了一些需要考虑的参数。每一章节阐述可靠性的一个具体主题。在适当的情况下，提供了相关的参考文献，以获得一些其他信息。

#### • 第3章，“要求”

本章描述了可靠性概念以及产品设计验证过程需要考虑的所有特性。不但包括了相关的术语，还涵盖了疲劳寿命和失效概率，制造工艺流程，使用环境和测试方法的通用模型。

#### • 第4章，“表面贴装焊接连接疲劳模式及预测”

本章讨论了焊点的疲劳寿命模型，包括在大温差变换或低温高频率循环期间承受多重循

环负载所产生的反应。同时也讨论了加速因子，加速转换，以及统计所需考虑的因素。

#### • 第5章，“焊点可靠性设计”

本章详细阐述了对焊接疲劳可靠性产生主要影响的不同设计参数。涉及到焊点构成的各个方面，包含元器件尺寸、引线硬度、热膨胀系数、焊点匀称性、以及焊料成分、晶粒组织和敷形涂覆或应力缓冲层起到的作用。

#### • 第6章，“制造工艺”

本章展示了组装和连接工艺之间的关系，包括控制和验证，以及因最初工艺或“修版”、返工或维修产生的缺陷或潜在缺陷。探讨了焊料（包括焊料量）、元器件、印制电路板、粘合剂、敷形涂覆的材料性能和他们之间的相互关系以及这些物理特性对制造工艺产生的影响。

#### • 第7章，“加速可靠性测试”

本章讨论了加速测试的目标，即通过技术手段模拟使用环境，在最短时间之内产生失效，以建立产品的可靠性级别。审视了各种类型的应力循环，并找出其与失效机理的相关性。此外还讨论了开发一个包括测试计划、抽样方法、测试板以及失效模式分析策略的必要性。

#### • 附录A，“分步示例”

本章给出了如何应用本文件原理的实例。所提供的实例强调了各参数之间的关系。

#### • 附录B，“参考文献”

本章提供了有关焊点可靠性的出版文献资料，并在本文的正文中引用。列出了标题、作者以及出版商。

#### • 附录C，“参考书目”

本章为专业人员提供了其他实用的出版物。这些参考书目主要分为三类：