

T/CPCA

中国电子电路行业团体标准

T/CPCA XXX.3—20XX

电子电路检测方法：物理性能测试方法

Test methods of electronic circuits: Physical testing

(征求意见稿)

2026.6.11

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国电子电路行业协会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 通用试验要求	1
4.1 试验条件	1
4.1.1 试验的标准大气条件	1
4.1.2 仲裁试验的标准大气条件	2
4.2 试样	2
4.3 结果报告	2
5 物理性能测试方法	2
5.1 附着力	2
5.1.1 阻焊附着力	2
5.1.1.1 目的	2
5.1.1.2 试样	2
5.1.1.3 设备和材料	3
5.1.1.4 步骤	3
5.1.1.5 报告	3
5.1.2 镀层附着力	3
5.1.2.1 目的	3
5.1.2.2 试样	3
5.1.2.3 设备和材料	3
5.1.2.4 步骤	3
5.1.2.5 报告	3
5.1.3 标识附着力	3
5.1.3.1 目的	4
5.1.3.2 试样	4
5.1.3.3 设备和材料	4
5.1.3.4 步骤	4
5.1.3.5 报告	4
5.2 阻焊硬度测试（铅笔法）	4
5.2.1 目的	4
5.2.2 试样	4
5.2.3 设备和材料	4
5.2.4 步骤	4
5.2.5 报告	5
5.3 翘曲度	5
5.3.1 印制板弓曲和扭曲（塞规/塞尺）	5
5.3.1.1 目的	5
5.3.1.2 试样	5

5.3.1.3	设备和材料	5
5.3.1.4	步骤	5
5.3.1.5	报告	7
5.3.2	印制板弓曲和扭曲（测高仪法）	7
5.3.2.1	目的	7
5.3.2.2	试样	7
5.3.2.3	设备和材料	7
5.3.2.4	步骤	8
5.3.2.5	报告	11
5.3.3	共面度（常温，高温）	11
5.3.3.1	目的	11
5.3.3.2	原理	11
5.3.3.3	试样	11
5.3.3.4	设备和材料	11
5.3.3.5	步骤	11
5.3.3.6	报告	12
5.4	剥离强度	12
5.4.1	刚性印制板剥离强度（标准大气压下，再流焊后）	12
5.4.1.1	目的	12
5.4.1.2	试样	13
5.4.1.3	设备和材料	13
5.4.1.4	步骤	13
5.4.1.5	报告	13
5.4.2	挠性印制板剥离强度	14
5.4.2.1	目的	14
5.4.2.2	试样	14
5.4.2.3	设备和材料	14
5.4.2.4	步骤	14
5.4.2.5	报告	15
5.4.3	增强层的粘合强度	15
5.4.3.1	目的	15
5.4.3.2	试样	15
5.4.3.3	设备和材料	16
5.4.3.4	步骤	16
5.4.3.5	报告	16
5.4.4	多层板内层粘合强度	16
5.4.4.1	目的	16
5.4.4.2	试样	16
5.4.4.3	设备和材料	16
5.4.4.4	步骤	16
5.4.4.5	报告	17
5.5	拉脱强度	17
5.5.1	非支撑孔连接盘的拉脱强度	17
5.5.1.1	目的	17
5.5.1.2	试样	17

5.5.1.3	设备和材料	18
5.5.1.4	步骤	18
5.5.1.5	报告	19
5.5.2	表面安装连接盘的粘合强度	19
5.5.2.1	目的	19
5.5.2.2	试样	19
5.5.2.3	设备和材料	19
5.5.2.4	步骤	19
5.5.2.5	报告	20
5.5.3	无焊盘镀覆孔的拉脱强度	20
5.5.3.1	目的	20
5.5.3.2	试样	20
5.5.3.3	设备和材料	21
5.5.3.4	步骤	21
5.5.3.5	报告	21
5.6	挠性印制板耐挠曲性	21
5.6.1	目的	21
5.6.2	试样	22
5.6.3	设备和材料	22
5.6.4	步骤	22
5.6.5	报告	23
5.7	挠性印制板耐弯折性	23
5.7.1	目的	23
5.7.2	试样	23
5.7.3	设备和材料	23
5.7.4	步骤	24
5.7.5	报告	24
5.8	可焊性	24
5.8.1	印制板可焊性（摇摆浸焊法）	24
5.8.1.1	目的	24
5.8.1.2	试样	24
5.8.1.3	设备和材料	25
5.8.1.4	步骤	26
5.8.1.5	报告	26
5.8.2	印制可焊性（手工浮焊法）	27
5.8.2.1	目的	27
5.8.2.2	试样	27
5.8.2.3	设备和材料	27
5.8.2.4	步骤	27
5.8.2.5	报告	27
5.9	模拟返工	27
5.9.1	目的	27
5.9.2	试样	27
5.9.3	设备和材料	27
5.9.4	步骤	28

5.9.5 报告	28
5.10 金属线键合盘性能	28
5.10.1 剪切力	28
5.10.1.1 目的	28
5.10.1.2 试样	28
5.10.1.3 设备和材料	28
5.10.1.4 步骤	28
5.10.1.5 报告	29
5.10.2 拉力	29
5.10.2.1 目的	29
5.10.2.2 试样	29
5.10.2.3 设备和材料	29
5.10.2.4 步骤	29
5.10.2.5 报告	30
5.10.3 表面粗糙度-白光干涉仪	30
5.10.3.1 目的	30
5.10.3.2 原理	30
5.10.3.3 试样	30
5.10.3.4 设备和材料	30
5.10.3.5 步骤	30
5.10.3.6 报告	31
5.10.4 表面粗糙度-激光共聚焦显微镜	31
5.10.4.1 目的	31
5.10.4.2 原理	31
5.10.4.3 试样	31
5.10.4.4 设备和材料	31
5.10.4.5 步骤	31
5.10.4.6 报告	32
5.11 印制插头插拔测试	32
5.11.1 目的	32
5.11.2 试样	32
5.11.3 设备和材料	32
5.11.4 步骤	32
5.11.5 报告	32
5.12 表面张力测试	32
5.12.1 目的	32
5.12.2 试样	33
5.12.3 设备和材料	33
5.12.4 步骤	33
5.12.4.1 接触角测量法	33
5.12.4.2 标准测试液法	33
5.12.5 报告	33
5.13 超声波扫描	33
5.13.1 目的	34
5.13.2 试样	34

5.13.3 设备和材料	34
5.13.4 步骤	36
5.13.5 报告	37
5.14 铜箔纯度测试	37
5.14.1 目的	37
5.14.2 试样	37
5.14.3 设备和材料	37
5.14.4 步骤	38
5.14.5 报告	38
5.15 铜箔的抗拉强度和延伸率测试	38
5.15.1 目的	38
5.15.2 试样	38
5.15.3 设备和材料	39
5.15.4 步骤	39
5.15.5 报告	39
5.16 X-射线荧光检测	40
5.16.1 目的	40
5.16.2 试样	40
5.16.3 设备和材料	40
5.16.4 步骤	40
5.16.5 报告	40

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是T/CPCA XXX《电子电路检测方法》的第3部分。T/CPCA XXX还包括以下部分：

- 第1部分：外观和尺寸检验方法；
- 第2部分：电气性能测试方法；
- 第4部分：化学性能测试方法；
- 第5部分：环境试验方法。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电子电路行业协会（CPCA）提出。

本文件由中国电子电路行业协会（CPCA）标准化工作委员会归口。

本文件主起草单位：安捷利美维电子（厦门）有限责任公司、深圳市美信检测技术有限公司、广东生益科技股份有限公司、广州广合科技股份有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、黄石广合精密电路有限公司。

本文件主要起草人：朱云、霍发燕、陆新宇、郑道远、招淑玲、张伟、彭璟、吴琼芳、罗云浩、王建平、陈锡强、何毅、李志斌、刘申兴、冯椿婷、黎钦源、黄欣、杨颖、周咏。

本文件参与起草单位：深南电路股份有限公司、生益电子股份有限公司、东莞广合数控科技有限公司、电子科技大学、龙南鼎泰电子科技有限公司、四川英创力科技股份有限公司、深圳市深联电路有限公司、广东微谱标准技术有限公司、苏州维嘉科技股份有限公司、江苏苏杭电子有限公司、广州安费诺诚信软性电路有限公司、汕头超声印制电路板公司、江西旭昇电子股份有限公司、江西鼎华芯泰科技有限公司、重庆方正高密电子有限公司、珠海焕新方正科技有限公司、中电科普天科技股份有限公司、博敏电子股份有限公司、竞陆电子（昆山）有限公司、广州兴森快捷电路科技有限公司、尼得科精密检测设备（浙江）有限公司、中兴通讯、深圳市大族数控科技股份有限公司、重庆航凌电路板有限公司、深圳华秋电子有限公司、中认南信（江苏）检测技术有限公司。

本文件参与起草人：戴炯、任尧儒、潘冬梅、王正非、陈苑明、王敬永、张仁军、余条龙、张盘新、汪嵩庆、孟凡辉、叶宗顺、杨存杰、孙该贤、黄凤艳、马步霞、周洪根、何忠亮、曹磊磊、王锋、李超谋、陈世金、黄志宏、胡梦海、何涛、曾福林、王寿桥、赵勇、李晓锋、张乃红。

本文件为首次制定。

电子电路检测方法

物理性能测试方法

1 范围

本文件规定了电子电路，刚性印制板、挠性印制板、刚挠结合印制板的物理性能测试方法。

本文件适用于电子电路，刚性印制板、挠性印制板、刚挠结合印制板包括附着力、铅笔硬度测试（铅笔法）、翘曲度、剥离强度、拉脱强度、挠性印制板耐挠曲性、挠性印制板耐弯折性、可焊性、模拟返工、金属键合盘性能、印制插头插拔测试、表面张力测试、超声波扫描、铜箔纯度测试、铜箔的抗拉强度和延伸率测试、X-射线荧光检测的物理性能测试方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 228.1-2021 金属材料拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 2423.10-2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 4677-2026 印制电板测试方法

GB/T 4722-2017 印制电路用刚性覆铜箔层压板试验方法

GB/T 4937.22-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第22部分：键合强度

GB/T 6739-2006 色漆和清漆. 铅笔法测定漆膜硬度

GB/T 13557-2017 印制电路用挠性覆铜箔材料试验方法

GB/T 16921-2005 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 X射线光谱法

GB/T 29847-2025 印制电路板用铜箔测试方法

IEC 61189-2-2006 电气材料、印制电路板及其他互连结构和组件的测试方法 第2部分：互连结构材料的测试方法

T/GPCA 001-2018 印制电路用高反射型覆铜板层压

T/GPCA 009-2022 电子电路术语

T/GPCA XXX. 1-20XX 电子电路检测方法-外观、尺寸和显微剖切检验方法

T/GPCA XXX. 4-20XX 电子电路检测方法-化学性能测试方法

3 术语和定义

T/GPCA 009界定的术语和定义适用于本文件。

4 通用试验要求

4.1 试验条件

4.1.1 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件应符合以下要求：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：45%～75%；
- c) 气压：86 kPa～106 kPa。

4.1.2 仲裁试验的标准大气条件

仲裁试验的标准大气条件应符合以下要求：

- a) 温度：(23±1) °C；
- b) 相对湿度：48%~52%；
- c) 气压：86 kPa~106 kPa。

4.2 试样

除非另有规定，试验应使用在制或成品印制板。

对于特定的测试，要使用附连测试板。

为了使试样能代表成品板，附连测试板可以包含在成品板的在制板上，或者采用与成品板相同的材料和加工工艺生产的单独的综合测试板。生产单独的综合测试板时，测试板应与在线批量生产的成品板（可包含其他型号）在同一生产流程中同步完成，测试板数量需足够覆盖测试项目，以得到比较完备的综合评定。

4.3 结果报告

结果报告应至少包括以下内容：

- a) 测试方法编号及版本号；
- b) 样品描述：如名称、型号、批号、制造日期、制造单位等；
- c) 试验设备的型号和名称；
- d) 试样处理及环境条件；
- e) 试验日期；
- f) 试验人员；
- g) 试验结果；
- h) 与本方法的任何偏离。

5 物理性能测试方法

5.1 附着力

5.1.1 阻焊附着力

5.1.1.1 目的

本方法用于评定印制板基材表面、金属表面和合金表面（焊料热处理后实际形成的是以某一组分为主的金属合金）的附着能力。

5.1.1.2 试样

按阻焊剂供应商推荐的参数涂覆并固化，可应用在基材和铜箔上都有涂层的在制板、成品板或综合测试板，标准测试图形见图1，其中白色方格表示有金属层，黑色方格表示无金属层，试样表面都涂覆阻焊剂。

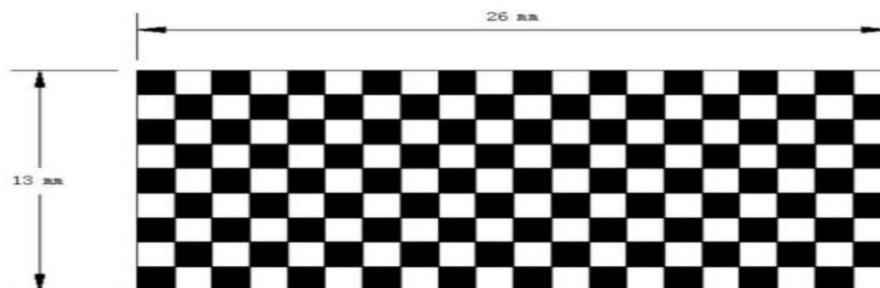


图1 标准测试图形

5.1.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 十字切割机：含有6个平行刀刃、刀刃间距2 mm的十字切割机、或其他具有同等功能的切割工具；
- b) 胶带：宽度为12.5 mm的压敏胶带或等效材料，胶带粘结力为2 N/cm~3.5 N/cm（与铜箔的结合）
- c) 软毛刷。

5.1.1.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 使用十字切割机或等效切割工具在层压板和导体表面上的阻焊膜上交叉进行切割（交叉角为90°），切割长度25 mm，应使用足够的压力保证刀刃切透阻焊膜；
- b) 用软毛刷在阻焊膜切割区域轻轻地刷动，去除划出的阻焊膜粉末；
- c) 将50 mm长的压敏胶带紧紧地压在切割后的阻焊区域，并排除所有滞留的空气；
- d) 在1 min内用与试样表面垂直的力将胶带快速拉起；
- e) 每次测试应使用新的胶带；
- f) 目检胶带和试样表面，检查是否有阻焊膜黏附在胶带上，检查层压板和导体表面上是否有阻焊膜分离、破裂的现象。

5.1.1.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 待测阻焊膜要求；
- b) 待测基材和金属表面要求；
- c) 目检胶带和试样表面结果。

5.1.2 镀层附着力

5.1.2.1 目的

本方法用于测试印制电板上镀层的附着能力。

5.1.2.2 试样

成品板、在制板或者在覆铜板上电镀的试样，每次评定应至少进行三次试验。

5.1.2.3 设备和材料

- a) 12.5 mm宽、粘结力范围为2 N/cm~3.5 N/cm的压敏胶带；
- b) 压辊：重量（2000±50）g，橡胶面硬度（肖氏A）80±5。

5.1.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 在一个长度至少为50 mm的带状测试区，覆盖上压敏胶带，用压辊以恒定速度来回压覆3次（约10s），以排除所有滞留的空气；
- b) 按压10 s后，在1 min中内用与镀层表面垂直的力将胶带快速拉起；
- c) 每次测试都应使用新的胶带；
- d) 目检胶带和试样表面，是否有镀层部分脱落的迹象，胶带是否有镀层颗粒或图形粘附；

注：如果突沿（镀屑）粘附到胶带上，只证明有突沿而不是镀层附着力失效。

5.1.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 镀层类型及基体材料；
- b) 测试区域描述。

5.1.3 标识附着力

5.1.3.1 目的

本方法用于印制板上标识的附着能力。

5.1.3.2 试样

按成品板或在制板上有标识的试样，每次评定应至少进行三次试验。

5.1.3.3 设备和材料

- a) 12.5 mm宽、粘结力范围为2 N/cm~3.5 N/cm的压敏胶带；
- b) 压辊：重量(2000±50) g，橡胶面硬度（肖氏A）80±5。

5.1.3.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 在一个长度至少为50 mm的带状测试区，覆盖上压敏胶带，用压辊以恒定速度来回压覆3次（约10 s），以排除所有滞留的空气；
- b) 按压10 s后，在1 min中内用与标识面垂直的力将胶带快速拉起；
- c) 每次测试都应使用新的胶带；
- d) 目检胶带和试样表面，是否有标识部分脱落的迹象，胶带是否有标识颗粒或图形粘附。

5.1.3.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 标识类型；
- b) 胶带上是否有标识脱落的迹象。

5.2 阻焊硬度测试（铅笔法）

5.2.1 目的

本方法用于评定印制板用永久性有机表面涂层（阻焊膜）的硬度。

5.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 在制板、成品板或综合测试板；
- b) 最少三个，尺寸不小于(100±10) mm × (100±10) mm；
- c) 按阻焊剂供应商推荐的参数涂覆并固化，涂层应在基材上和铜箔上。

5.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 铅笔架（见图2）或按 GB/T 6739—2006 中 6.1 的规定或等效装置；
- b) 测试用铅笔，如硬度从4B（软）到8H（硬）的一组标准铅笔或按GB/T 6739—2006 中6.2 的规定；
- c) 400 #水砂纸。

注：用本试验方法测得的结果具有主观性，为限制这种主观性，推荐使用专业级绘图铅笔。如果不同测试机构间存在争议，测试应使用同一来源的铅笔。

5.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 将试样置于一个坚固水平面上；
- b) 所有铅笔顶端都应削尖，如图2所示；
- c) 在承载架上放置最硬的铅笔，按图2所示方向施加均匀的推力推动承载架划出20 mm ~30 mm 的痕迹，由于试样支架的重量约为(750±25) g，将会在笔尖产生向下(7.65±0.25) N的力。用下一支较软的铅笔继续试验直到所用的铅笔不会切入或者刮伤涂层材料；

d) 每次试验后，应重新削尖铅笔。

注：硬度是一种属性，不是变量，只能作定性描述。

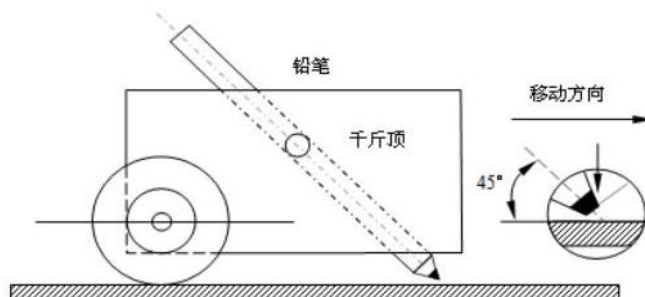


图2 铅笔支架

5.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 合格判据；
- b) 所用铅笔的描述及其供应商（要求时）。

5.3 翘曲度

5.3.1 印制板弓曲和扭曲（塞规/塞尺）

5.3.1.1 目的

本方法采用塞规或塞尺测定印制板对平面的偏差。

5.3.1.2 试样

成品印制板（包括单面、双面、多层刚性印制板和刚挠印制板的刚性部分）。

5.3.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 平面度公差为 ± 0.010 mm的精密平台；
- b) 厚度测量工具（塞尺或塞规）；
- c) 适当精度的线性测量设备；
- d) 千分尺，精度至少 0.002 mm。

5.3.1.4 步骤

5.3.1.4.1 弓曲

测试步骤如下：

- a) 将试样放置在平台上，使用适当的压力压平，用千分尺测量试样的长度（ L ）和宽度（ W ），如图3所示；

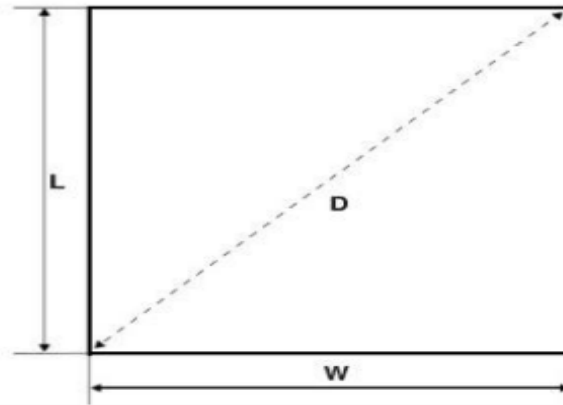


图3 试样尺寸测量

注：L=长度，W=宽度，D=对角线长度。

b) 将试样凸面朝上，使试样一边的两角与平台表面接触，如图4所示；

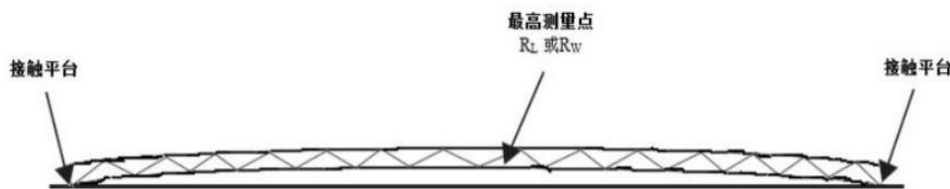


图4 弓曲塞规法测量示意图

- c) 选择合适的塞尺或塞规从试样与平台之间最大空隙处滑动塞入；
 d) 然后逐步增加塞尺或塞规的尺寸，直到获得试样能够塞入的最大塞尺或塞规尺寸；
 e) 重复b)、c)和d)的操作，分别获取长度方向两条边和宽度方向两条边能够塞入的最大塞尺或塞规尺寸，取较大值，并记录其中长度方向的塞尺或塞规尺寸为 R_L ，宽度方向的塞尺或塞规尺寸为 R_W ；
 f) 按公式(1)和公式(2)计算弓曲百分数；

$$B_L = \frac{R_L}{L} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$B_W = \frac{R_W}{W} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- B_L ——长度方向弓曲百分数，单位为百分数（%）；
 B_W ——宽度方向弓曲百分数，单位为百分数（%）；
 R_L ——长度方向最大塞尺/塞规尺寸，单位为毫米（mm）；
 R_W ——宽度方向最大塞尺/塞规尺寸，单位为毫米（mm）；
 L ——试样长度测量值，单位为毫米（mm）；
 W ——试样宽度测量值，单位为毫米（mm）。

5.3.1.4.2 扭曲

测试步骤如下：

- a) 将试样放置在平台上，使用适当的压力压平试样，测量对角线长度D；
 b) 使试样的三个角接触平台表面，当需要时，在试样的其中一角施加足够的压力使试样保持三个角与平台表面接触，如图5所示；

- c) 如果不能通过约束一个角使试样保持三个角同时接触平台表面, 则该测试方法不适用, 应使用 5.3.2.4.3 进行仲裁试验;
- d) 选择合适的塞尺或塞规从试样翘起的一角滑动塞入;
- e) 逐步增加塞尺或塞规的尺寸, 直到获得不使试样任何三个角脱离平台表面的最大塞尺或塞规尺寸;
- f) 记录塞尺厚度或塞规的直径为 R , 按公式(3) 计算扭曲百分数:

$$T = \frac{R}{2 \times D} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- T —— 扭曲百分数, 单位为百分数 (%);
- R —— 最大塞尺/塞规尺寸, 单位为毫米 (mm);
- D —— 试样对角线长度, 单位为毫米 (mm)。

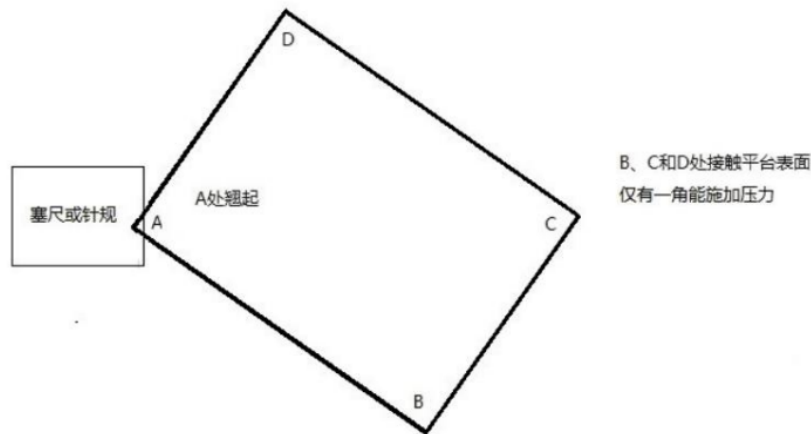


图5 扭曲测量

说明:

- A——翘起的角;
- B, C, D——接触平面的角。

5.3.1.5 报告

除了4.3规定外, 结果报告还应包括:

- a) 不规则外形印制电板的测量要求;
- b) 分别结果报告弓曲和扭曲结果。

5.3.2 印制板弓曲和扭曲(测高仪法)

5.3.2.1 目的

本方法采用测高仪测定印制板对平面的偏差。

5.3.2.2 试样

成品印制板(包括单面、双面、多层刚性印制板和刚挠印制板的刚性部分)。

5.3.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下:

- a) 平面度公差为 ± 0.010 mm的精密平台;
- b) 标准测高仪;
- c) 水平千斤顶;

- d) 适当厚度的垫片；
- e) 线性测量精度为±0.025 mm的设备；
- f) 千分尺，精度至少为0.002 mm。

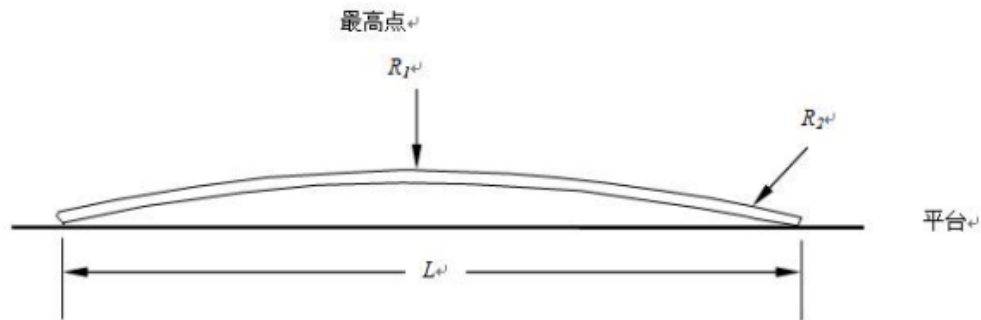
5.3.2.4 步骤

5.3.2.4.1 弓曲

测试步骤如下：

- a) 将待测试样凸面朝上放在平台上，用足够的压力压住试样条边的两个角，以确保试样的边与平台接触，读取测高仪所测最大垂直位移（包括试样厚度），如图6所示；

单位为毫米



说明：

- R_1 ——试样与平台之间的最大垂直位移；
- R_2 ——试样厚度；
- L ——弓曲边长。

图6 测高仪测量示意图

- b) 重复上述步骤，测完试样的四条边。如有必要，可翻转试样。确定四条边中与平台垂直位移最大的边，把偏离平台最大垂直位移记作 R_1 ，精确到0.05 mm；
- c) 用测高仪或其它等效测量仪器测出与平台表面接触的试样角的高度，或用千分尺测量试样厚度，测量结果记作 R_2 ；
- d) 施加足够的压力使试样整条边与平台接触，测量此边的长度并记作“ L ”；
- e) 按公式（4）计算弓曲百分数：

$$B = \frac{R_1 - R_2}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

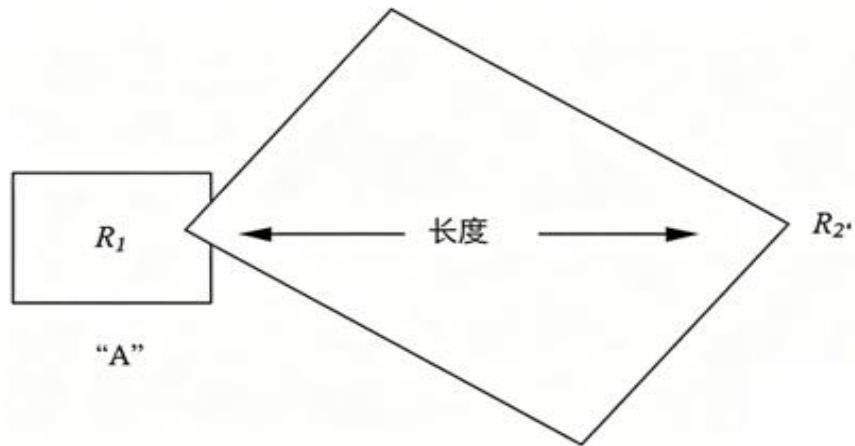
式中：

- B ——弓曲百分数，单位为百分数（%）；
- R_1 ——试样与平台之间的最大垂直位移，单位为毫米（mm）；
- R_2 ——试样厚度，单位为毫米（mm）；
- L ——弓曲边长，单位为毫米（mm）。

5.3.2.4.2 扭曲

测试步骤如下：

- a) 将待测试样放在平台上，施加足够的压力使试样三个角与平台面接触；
- b) 在试样翘起角下插入适当的块规，直到其恰好支起这个角。当使用的块规厚度合适时，不用施加任何压力，三个角即可与平台面接触，如图7所示；



说明:

R_1 ——试样的最大垂直位移;

R_2 ——试样厚度;

“A” ——翘起的角。

图7 扭曲测试试样设置示意图

- c) 对试样不施加任何额外压力的条件下,用测高仪测量翘起角与平台最大垂直位移(含板厚),记作 R_1 ;
- d) 用千分尺测量试样的厚度 R_2 ;
- 注:对成品板,两个读数都应在基材上测得。
- e) 测量试样(长方形)对角线长度(长度如图7所示)并记录测量值。对于非长方形的板,测量垂直位移最大的角到对角之间的长度;
- f) 计算:从 R_1 中减去 R_2 ,用垂直位移除以对角线长度再乘以100%。计算公式(5)如式所示:

$$T = \frac{R_1 - R_2}{2L} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中:

T ——扭曲百分数,单位为百分数(%);

R_1 ——试样的最大垂直位移,单位为毫米(mm);

R_2 ——试样厚度,单位为毫米(mm);

L ——试样对角线长度,单位为毫米(mm)。

5.3.2.4.3 扭曲(仲裁法)

测试步骤如下:

- a) 将试样放置在平台上,使用适当的压力压平试样,测量对角线长度(D),如图7所示;
- b) 使试样最低的两个对角接触平台表面或与平台表面平行的等高基准面,如图8所示;

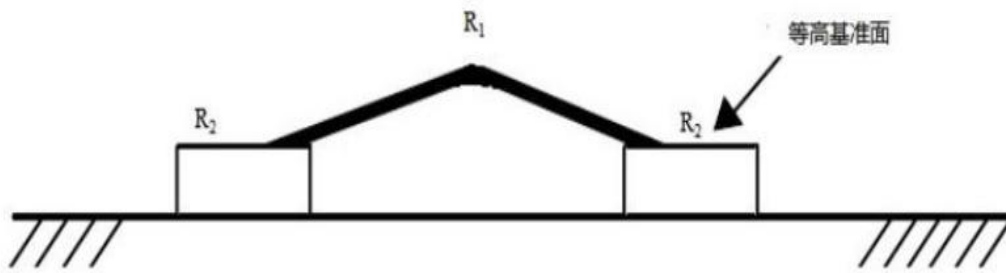


图8 试样放置

- c) 使用水平千斤顶或其他等效设备支撑试样的另外两个对角，确保这两处相对于平台表面等高，可以使用标准测高仪进行确认，如图9所示；

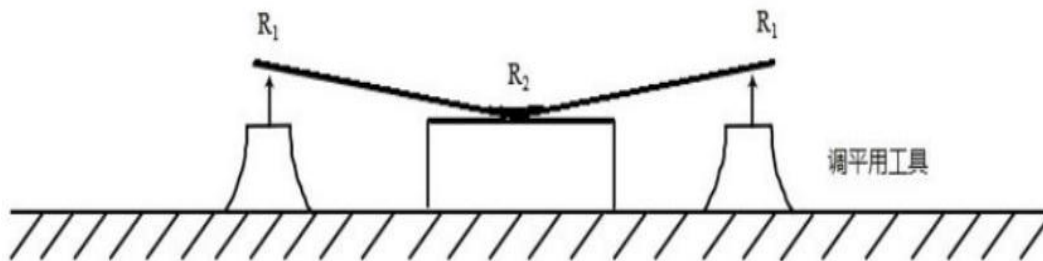


图9 板角支撑

- d) 使用标准测高仪测量试样的最高点与平台的距离，记为 R_1 ，测量基准面与平台的距离，记为 R_2 ，如图10所示；

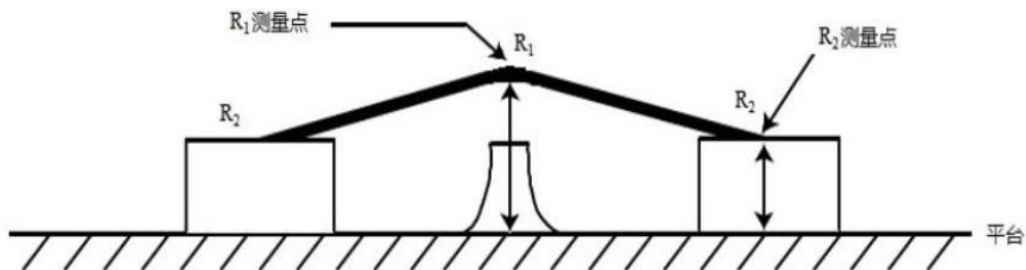


图10 数据测量

- e) 按公式(6)计算试样扭曲百分数。

$$T = \frac{R_1 - R_2}{D} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- T ——扭曲百分数，单位为百分数（%）；
 D ——试样对角线长度测量值，单位为毫米（mm）；
 R_1 ——试样的最高点与平台的距离，单位为毫米（mm）；
 R_2 ——基准面与平台的距离，单位为毫米（mm）。

5.3.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 不规则外形印制板的测量要求；
- b) 分别结果报告弓曲和扭曲结果。

5.3.3 共面度（常温，高温）

5.3.3.1 目的

本方法用于测定试样在常温或者模拟再流焊温度曲线下的共面度。

5.3.3.2 原理

测试原理如下：

a) 常温原理：

- 1) 采用三坐标测量仪（CMM）：在常温条件下，在试样待测区域内采集若干离散点的 Z 向（垂直方向）坐标值。通过选取待测区域附近三个参考点建立基准平面，以此作为高度参考零位。比较该区域内所有测量点相对于基准平面的高度值，其最大值与最小值的代数差即为该区域的共面度。
- 2) 采用投影波纹技术(Shadow moiré)测量，Shadow moiré条纹使用参考光栅与其阴影之间的几何干涉，产生摩尔云纹分布，计算出各像素位置中的相对垂直位移在室温下印制板局部区域翘曲位移，计算共面度。

- b) 高温原理：在温控腔中模拟SMT再流温度曲线，同时采用Shadow moiré条纹使用参考光栅与其阴影之间的几何干涉，产生摩尔云纹分布，计算出各像素位置在各温度点的相对垂直位移，评估热循环中共面度的变化。

5.3.3.3 试样

本方法所用试样如下：

- a) 成品印制板（包括单面、双面、多层刚性印制板和刚挠印制板的刚性部分）保留实际铜皮、阻焊、表面涂覆；
- b) 测试区域为关键器件印制插头或焊盘区（如BGA/FCBGA），采用投影波纹技术(Shadow moiré)测量的尺寸不小于 10 mm × 10 mm；
- c) 采用投影波纹技术(Shadow moiré)测量时，应至少对 6 个试样完成完整模拟再流曲线的测量，以评估同一装配批次内的变差；
- d) 采用投影波纹技术(Shadow moiré)测量时，若在该数量试样中出现明显偏离的异常数据点，应增加试样测试，直至有足够把握判定该点为真实异常值，或属于试样的正常离散范围。在试样数量或测试资源受限的个别情况下，可用更少试样表征印制板设计在温度再流曲线下的行为，但对板间变差的评估精度会降低。

5.3.3.4 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 热变形测量仪：采用光源、相机、烤炉及电脑工作站的结合，可达到模拟回流焊工艺和操作环境条件，同时捕捉一个完整的历史翘曲位移的效果；
- b) 高温温控腔：温度范围室温至300℃，可实现0.5℃/s ~2℃/s的升温速率范围，及1℃/s ~2℃/s的降温速率范围，温度均匀性±5℃；
- c) 热电偶：直径0.254mm的热电偶；
- d) 显像漆；
- e) 三坐标测量仪（CMM），X/Y轴精度(2.5 + 8L/1000) μm，Z轴精度(2.5 + 8L/1000) μm。

5.3.3.5 步骤

5.3.3.5.1 常温测试

5.3.3.5.1.1 三坐标光学测量法 (CMM)

测量步骤如下:

- 将试样平放在测试光台上, 试样表面不应覆盖玻璃等外来物体整平板面;
- 打开三坐标设备测试软件, 在试样待测位置附近选取 3 个测试点建立基准平面;
- 在待测位置上选取相应测试点, 记录各点的 z 向高度值;
- 数据分析: 最大与最小高度值的差值即为试样的平整度数值;
- 报告试样的平整度;
- 该方法可测量板边插头的线性度, 也可测量大尺寸球栅阵列 (BGA) 的高度差

5.3.3.5.1.2 投影波纹技术测量法(Shadow moiré)

测试步骤如下:

- 试样在 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 、 $(50 \pm 5)\% \text{RH}$ 环境放置 $\geq 2 \text{ h}$;
- 所有测量都应在印制板上进行, 且需将感兴趣的局部区域 (例如BGA焊盘区域) 朝上, 以有效收集数据;
- 对测量表面进行涂漆, 以提高光反射率;
- 进行试验结果报告。

5.3.3.5.2 高温测试 (投影波纹技术测量法(Shadow moiré))

测试步骤如下:

- 测试样品应当在烤箱 $105 ^\circ\text{C} \sim 125 ^\circ\text{C}$ 的温度下至少干燥 6 h 以去除潮气, 随后在 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 、 $(50 \pm 5)\% \text{RH}$ 环境放置 $\geq 2 \text{ h}$;
- 所有测量都应在印制板上进行, 且需将感兴趣的局部区域 (例如BGA焊盘区域) 朝上, 以有效收集数据;
- 对测量表面进行涂漆, 以提高光反射率;
- 热电偶布置: 将同批次的温度监控试样装入温控腔, 贴装热电偶, 热电偶应贴装在试样紧邻感兴趣区域的位置 (如紧邻封装焊盘区域的位置), 以及板的最边缘位置同时监测温度, 以表征再流过程中任意温度点下存在的温度梯度。采用导热环氧树脂或高温胶带将热电偶固定, 建议在热电偶与测试样品表面之间涂抹导热膏, 以降低热接触电阻, 从而获得更准确、更一致的本体温度测量结果;
- 设置温度升温速率: 加热和冷却过程中的温度升温速率可能会影响平整度测试结果。理想的温度升温速率应与实际表面贴装技术 (SMT) 印制板组装过程中的热曲线吻合。如果设备限制导致无法达到与再流焊相匹配的升温速率, 则应将设备配置为在不使试样顶部和底部之间以及整个印制板上产生显著温度梯度的前提下, 尽可能实现最快的升温速率;
- 设置测量温度: 测试温度应包括但不限于加热前的环境温度、层压玻璃化转变温度、焊料熔化温度、焊料凝固温度、冷却时的环境温度, 具体温度值由供需双方商定;
- 每个温度点恒温稳定后, 采集共面度数据或形貌;
- 进行试验结果报告。

5.3.3.6 报告

除了4.3规定外, 结果报告还应包括:

- 样品厚度、材料、测试区域;
- 温度曲线参数;
- 设备校准状态;
- 常温: 共面度、形貌、数据列表;
- 高温: 各温度点共面度、温度-共面度曲线、形貌、数据列表等。

5.4 剥离强度

5.4.1 刚性印制板剥离强度 (标准大气压下, 再流焊后)

5.4.1.1 目的

本方法规定了印制板中导体（导线）与基材之间，以及多层板层间粘合界面在不同条件（标准大气压、再流焊后）下的剥离强度的测试方法。

注：金属箔厚度与镀层厚度将影响剥离强度。

5.4.1.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 试样应取自无阻焊层或防氧化层的印制板，或无阻焊层的专用附连测试板；
- b) 待测导体应平直、无缺陷，宽度符合要求（通常为3 mm），长度至少75 mm；
- c) 对于多层板内层粘合强度测试，试样应专门设计有可剥离的导体结构。

5.4.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 再流焊炉：用于模拟再流焊过程，其温度曲线应可监控和记录；
- b) 拉力试验机应具备足够的载荷容量和精度，精度等级不低于1级，应能控制恒定的横梁移动速度，速度控制精度应在设定值的±5%以内；且配备自动记录剥离力曲线的装置；
- c) 上夹具：应能牢固夹持剥离端的导体，确保在剥离过程中不会打滑或断裂；
- d) 游标卡尺：用于精确测量导体宽度，精度不低于0.02 mm。
- e) 抗剥仪或等效拉力试验机，能准确测量至 0.05 N，夹具必须能夹住每个铜箔剥离条的整个宽度；
- f) 抗蚀绝缘胶带，或等效物，具有一定宽度；
- g) 蚀刻系统；
- h) 量具分辨率为 0.025 mm。

5.4.1.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 测试样品准备如下：
 - 1) 标准大气压下测试，试样在标准大气条件下调节至少 24 h 后直接测试；
 - 2) 再流焊后测试试样，需经过至少三次模拟再流循环。再流焊峰值温度应为 (260 ± 5) °C，液相线 217 °C 以上时间 120 s~150 s，255 °C 以上停留时间 20 s~30 s；或按产品规范规定。再流焊后，试样在标准大气条件下恢复至少 1 h，然后按标准条件进行剥离测试
- b) 样品测试步骤如下：
 - 1) 使用游标卡尺在待测导体上均匀测量三个位置的宽度，取算术平均值作为导体宽度 (W_s)；
 - 2) 试样需经过至少三次模拟再流焊循环。再流焊峰值温度应为 (260 ± 5) °C 或按产品规范规定。
 - 3) 再流焊后，试样在标准大气条件下恢复至少 1 h，然后按标准条件进行剥离测试；
 - 4) 将试样牢固地安装在试验机上。确保剥离端的导体被上夹具夹紧，基板部分被下夹具固定；
 - 5) 调整试样位置，使剥离角度为 (90 ± 5) °；
 - 6) 设置剥离速度为 (50 ± 5) mm/min；
 - 7) 启动试验机，开始剥离。有效剥离长度应至少为 25 mm（不包括初始峰值区域），或金属箔拉断或撕裂；
 - 8) 连续记录剥离力-位移曲线；
 - 9) 根据公式（7）计算剥离强度：

$$P_s = \frac{L_m}{W_s} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

P_s ——剥离强度，单位为牛顿每毫米 (N/mm)；

L_m ——剥离力，单位为牛顿 (N)；

W_s ——剥离条宽度，单位为毫米 (mm)。

5.4.1.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 试样的完整描述（材料类型、结构、导体宽度、厚度、制造信息等）；
- b) 测试条件（标准大气压、再流焊条件等）；
- c) 试验设备信息（试验机型号、夹具类型、环境装置）；
- d) 最小剥离强度；
- e) 铜箔厚度。

5.4.2 挠性印制板剥离强度

5.4.2.1 目的

本方法规定了挠性印制板（FPC）及刚挠结合印制板中导体与基材之间剥离强度的测试方法。

5.4.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 按试样应取自挠性印制板在制板或专用附连测试板；
- b) 待测导体应平直、无缺陷，宽度推荐为 (3 ± 0.1) mm；
- c) 导体长度应不小于75 mm，确保有效剥离长度不少于25 mm；
- d) 试样应无折痕、皱褶或其他可能影响测试结果的缺陷。

5.4.2.3 设备和材料

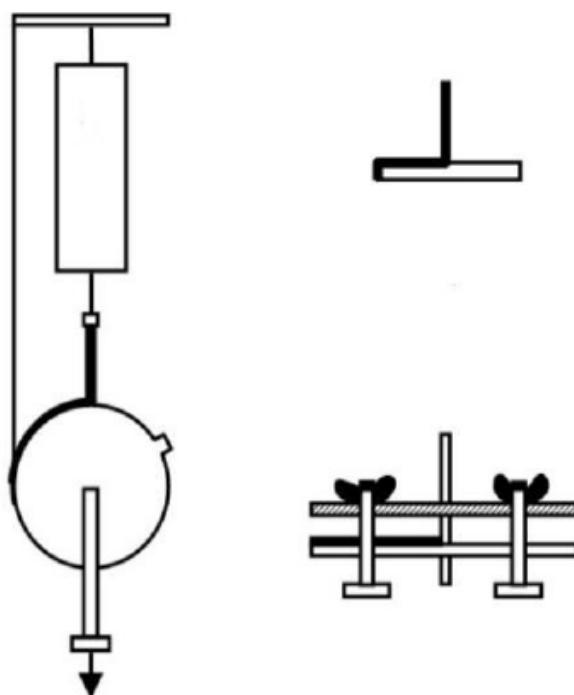
本方法所用设备和材料如下：

- a) 材料试验机；
- b) 专用夹具；
- c) 千分尺：精度为0.002 mm；
- d) 游标卡尺：用于精确测量导体宽度，精度不低于0.02 mm
- e) 自由旋转滚筒，以保持拉力方向与印制板面水平方向呈 $(90 \pm 5)^\circ$ ；
- f) 高温试验箱：用于样品预处理，控温精度 $\pm 5\%$
- g) 恒温恒湿箱：用于样品预处理，控温精度 $\pm 5\%$ ，控湿精度 $\pm 3\%$ 。

5.4.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 样品预处理，如将试样在规定的测试温度（如85℃、125℃等）下预处理30 min、或试样在85℃和85%RH规定的老化时间下（如168 h、500 h等）在标准大气压下恢复24 h；
- b) 使用游标卡尺在待测导体上均匀测量三个位置的宽度，取算术平均值作为导体宽度 (W_s) ；
- c) 将试样基板部分平整固定在下夹具中；
- d) 将剥离起始端的导体夹持在上夹具中；
- e) 调整试样位置，确保剥离角度为 $(90 \pm 5)^\circ$ ；
- f) 检查确认试样安装正确，无初始应力，如图 11 所示；



- 注1：挠性试样的滚筒装置：将试样沿自由旋转滚筒的表面固定好，拉力施加在滚筒主轴和测试条之间，转动滚筒以保持剥离所需的角度。为确保滚筒平稳旋转，可以用一根绳子系于滚筒圆周，并与固定点垂直。
- 注2：挠性试样的安装：可将试样粘合在刚性材料背面测试。
- 注3：挠性试样用支撑夹具：可用夹具固定试样以防扭曲，剥离导线从夹具上的一个槽孔穿出，槽孔大小应足够导线无阻碍穿过。

图11 挠性印制板剥离强度测试仪器夹具示例图

- g) 设置剥离速度为 (50 ± 5) mm/min;
- h) 启动试验机，开始剥离；
- i) 有效剥离长度应不少于25 mm，记录剥离力-位移曲线；
- j) 剔除初始10 mm和最后5 mm的数据，取中间稳定段的力值进行计算；
- k) 按标准条件进行剥离测试；
- l) 根据公式（8）计算剥离强度。

5.4.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 试样详细信息（材料类型、结构、导体宽度和厚度、制造批号等）；
- b) 测试条件（温度、湿度、剥离速度、剥离角度等）；
- c) 试验设备信息（试验机型号、夹具类型、校准状态）。

5.4.3 增强层的粘合强度

5.4.3.1 目的

本方法规定了挠性印制板及刚挠结合印制板中增强层与基材之间粘合强度的测试方法。

5.4.3.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 按试样应取自挠性及刚挠结合印制电路板成品板或专用测试板；
- b) 增强层尺寸推荐为25 mm×25 mm或 ϕ 25 mm圆形；
- c) 挠性基材尺寸应不小于50 mm×50 mm；

- d) 试样上允许有分层、起泡等缺陷，但缺陷的位置、大小及程度应不足以对最终测试结果产生实质性影响；
- e) 增强层与基材应对中放置。

5.4.3.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 材料试验机；
- b) 剥离法夹具；
- c) 恒温恒湿箱：控温精度 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，控湿精度 $\pm 3\%$ ；
- d) 高温试验箱：控温精度 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 用于试样老化处理。

5.4.3.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 样品预处理，如将试样在规定的测试温度（如 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等）下预处理30 min、或试样在 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和85%RH规定的老化时间下（如168 h、500 h等）在标准大气压下恢复24 h；
- b) 将试样安装到夹具中，确保剥离角度为 $(90\pm 5)^{\circ}$ ；
- c) 设置剥离速度为 $(50\pm 5)\text{ mm/min}$ ；
- d) 启动试验机，记录剥离力-位移曲线；
- e) 有效剥离长度应不少于25 mm；
- f) 根据公式（8）计算剥离强度。

5.4.3.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 试样详细信息（材料类型、增强层规格、粘合剂类型、厚度等）；
- b) 测试方法和条件（测试方法、温度、湿度、速度等）；
- c) 试验设备信息（试验机型号、夹具类型、校准状态）；
- d) 最小剥离强度；
- e) 铜箔厚度。

5.4.4 多层板内层粘合强度

5.4.4.1 目的

本方法规定了多层印制板内层导体与半固化片之间，以及多层板层间介质材料粘合强度的测试方法。旨在评估多层板在制造过程及使用环境下层间结合的可靠性。

5.4.4.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 按试样应取自多层板成品板、在制板或专用测试板；
- b) 试样尺寸应为 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 或 $\phi 50\text{ mm}$ 圆形；
- c) 测试区域应包含完整的层压结构，无缺陷、分层等异常；
- d) 对于不同层间位置（如L1-L2、L2-L3等），应分别取样测试。

5.4.4.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 材料试验机：载荷容量应与预期测试力值匹配，推荐使用1 kN~10 kN量程；
- b) 拉脱法夹具：直径推荐为10 mm、15 mm、20 mm系列；
- c) 恒温恒湿箱：控温精度 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，控湿精度 $\pm 3\%$ ；
- d) 超声波扫描显微镜：用于检测分层缺陷；
- e) 金相显微镜：放大倍数100倍~500倍，用于观察失效界面。

5.4.4.4 步骤

测试步骤如下:

- a) 样品预处理, 如将试样在恒温恒湿箱中85 °C和85%RH规定的老化时间下(如168 h、500 h等)在标准大气压下恢复24 h;
- b) 确认样品无缺陷, 如用超声波扫描显微镜进行分层等异常缺陷的检测;
- c) 将拉脱夹具安装到试验机上夹具;
- d) 试样固定在下夹具中, 确保测试区域位于拉脱头正下方;
- e) 调整对中装置, 确保拉力垂直;
- f) 设置拉伸速度为50 mm/min;
- g) 启动试验机, 记录力值-位移曲线;
- h) 直至剥离全部完成或撕裂发生, 取测试过程中的最小拉力作为剥离力, 测量测试条的实际宽度并记录;
- i) 如用金相显微镜观察测试条没有完整剥离或数据无规律, 则测试结果无效, 应用其它试样重新测试;
- j) 根据公式(8)计算粘合强度。

$$P_B = \frac{F_M}{w_s} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

P_B ——粘合强度, 单位为牛顿每毫米(N/mm);

F_M ——剥离力, 单位为牛顿(N);

w_s ——测试条实测宽度, 单位为毫米(mm)。

5.4.4.5 报告

除了4.3规定外, 结果报告还应包括:

- a) 试样详细信息(材料类型、层压结构、厚度、制造批次等);
- b) 测试方法和条件(测试方法、温度、湿度、速度、预处理条件等);
- c) 试验设备信息(试验机型号、夹具类型、校准状态);
- d) 最小粘合强度;
- e) 取值区间。

5.5 拉脱强度

5.5.1 非支撑孔连接盘的拉脱强度

5.5.1.1 目的

用于评定在反复焊接操作应力作用下焊盘与基材的粘结质量; 五次焊接循环测试是为了模拟印制板在焊接和返修时遭受的应力。

5.5.1.2 试样

试样应符合以下要求:

- a) 试验应在有关规范规定的成品板、附连测试板或综合测试板上的圆形焊盘上进行;
- b) 表1为焊盘、孔径和金属丝尺寸的优选值。有关规范可能规定其他的焊盘、金属丝和孔径尺寸。

表1 焊盘、孔径和金属丝的尺寸优选值

单位为毫米

焊盘直径	孔径	金属丝直径
4.0±0.1	1.3±0.1	0.9~1.0
2.0±0.1	0.8±0.1	0.6~0.7

5.5.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- 刻刀、手术刀等刀具；
- 读数显微镜，精度为 0.02 mm；
- 拉力试验机，可按50 mm/min的速率提供垂直拉力；
- 引线，铜丝或搪锡引线，直径比非支撑孔直径小0.1 mm~0.5 mm；
- 热风循环烘箱，能够保持温度在（120±5）℃范围内；
- 温控电烙铁：60 W，能使烙铁头温度达到260℃~270℃；
- 焊料，含无腐蚀性松香的锡铅合金，并且焊料丝的直径应不大于1.5 mm；
- 低活性或非活性水溶性助焊剂：由25%（质量比）的松香与75%（质量比）异丙醇混合而成；
- 干燥器。

5.5.1.4 步骤

测试步骤如下：

- 如果有导线与连接盘相连，先用刀具将导线切断。先将刀锋置于距离连接盘至少6 mm 的位置切断导线，再将刀锋置于导线与连接盘相接处，按住刀具的同时将导线向连接盘的方向剥离，保证导线剥离后对连接盘部分无损坏；
- 用读数显微镜测量焊盘的尺寸，计算并记录焊盘的面积；
- 样品预处理：试样放置在（120±5）℃的烘箱中至少烘烤 6 h，在干燥器中冷却至室温；
- 焊盘涂覆助焊剂，然后用烙铁蘸少许焊料在 3 s~5 s 内将焊盘均匀地涂上焊料；
- 将引线插入所选择连接盘的孔中，通过手动焊接至连接盘，导线不可折弯，避免将烙铁头直接施压到焊盘上，在 3 s~5 s 内熔化焊料并完成焊接，并将试样冷却到室温；
- 在焊接和冷却过程中，都不允许移动测试引线，必要时，可将试样固定在焊接平台上；
- 每次解焊引线都应从孔内完全取出；
- 重复进行五次焊接-解焊循环测试。焊接操作中，非支撑孔连接盘的松动为失效试样，应在结果报告中指出；
- 完成最后一个焊接和解焊周期后，待试样在大气条件下冷却 10 min 后，用拉力试验机夹具夹紧焊接引线；
- 启动拉力机以 50 mm/min 的速度对试样图形面的导线施加拉力，直至把连接盘从基材上拉脱，荷载必须垂直施加于连接盘表面，取拉脱时所需的最小拉力为拉脱力；
- 引线断裂或引线被拉出应当视为试验失败，应将引线再次焊接重新测试；
- 至少测试 10 个焊盘，以所测拉脱强度的最小值作为印制板焊盘的拉脱强度；
- 按公式（9）计算并记录拉脱强度；

$$P = \frac{4F}{\pi(D_2^2 - D_1^2)} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

P —— 拉脱强度，单位为牛顿每平方米（N/mm²）；

D_1 —— 孔直径，单位为毫米（mm）；

D_2 —— 连接盘直径，单位为毫米（mm）；

F ——拉脱力，单位为牛顿（N）。

- n) 本试验中的焊接和解焊操作由经过培训或通过焊接技能认证的人员实施，测试结果会因测试中焊接和拆焊操作人员的技术水平的不同而出现很大差异。

5.5.1.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 待测孔孔径；
- b) 10个有效值；
- c) 其它焊接方法；
- d) 其它焊接循环次数；
- e) 最小拉脱强度。

5.5.2 表面安装连接盘的粘合强度

5.5.2.1 目的

评定经历焊接后的表面安装盘与基材的粘合质量。

5.5.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 附连测试板或综合试验板。
- b) 成品板，每种尺寸的连接盘最少测试三个。

5.5.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 拉力试验机：可按50 mm/min的速率提供拉力；
- b) 热风循环烘箱：能够保持温度在 (120 ± 5) °C范围内；
- c) 引线，铜丝或搪锡引线，直径比非支撑孔直径小0.05 mm~0.15 mm；
- d) 温控电烙铁：60 W，能使烙铁头温度达到260 °C~270 °C；
- e) 读数显微镜：精度为0.02 mm；
- f) 清洗液：体积比为75%的异丙醇水溶液
- g) 低活性或非活性水溶性助焊剂；
- h) 干燥器。

5.5.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 用读数显微镜测量表面安装盘的尺寸，计算并记录表面安装盘的面积；
- b) 试样放置在 (120 ± 5) °C的热风循环烘箱中至少烘烤6 h，在干燥器中冷却至室温；
- c) 用清洗液清洗待测样品和测试引线；
- d) 焊盘涂覆助焊剂，将引线头置于表面安装盘中间位置进行焊接，并保证引线于连接盘表面垂直，不可有弯折现象，见图12；

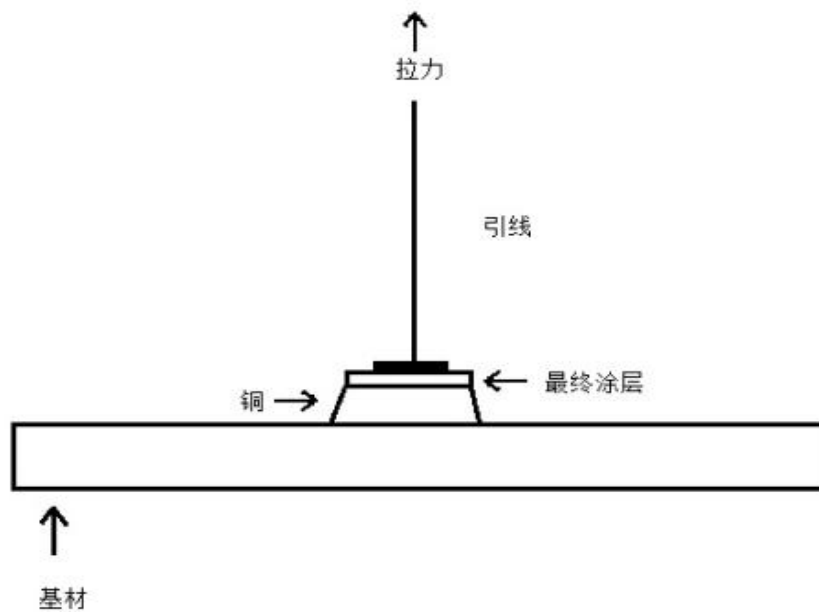


图12 焊接到连接盘上的引线

- e) 用烙铁蘸少许焊料在 3 s~5 s 内熔化焊料并完成焊接，并将试样冷却到室温；
- f) 焊接过程中，烙铁应始终置于引线上，不能接触表面安装盘，表面安装连接盘的松动为失效样品，应在结果报告中指出；
- g) 完成焊接后，待试样在大气条件下冷却 10 min 冷却后，用拉力试验机夹具夹紧焊接引线，夹持端与连接盘在板面同侧，连接盘平面与拉力线垂直；
- h) 启动拉力机，以 50 mm/min 的速度均匀施加拉力，直至把连接盘从基材上拉脱，取拉脱时所需的最小拉力为拉脱力；
- i) 引线断裂或引线被拉出应当视为试验失败，应将引线再次焊接重新测试；
- j) 检查试样键合连接盘相对基材的松动，当其中的一个连接盘松动，则判定为失效；
- k) 按公式（10）计算并记录粘合强度：

$$P = \frac{F}{S} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

P —— 粘合强度，单位为牛顿每平方米（N/mm²）；

S —— 连接盘面积，单位为平方毫米（mm²）；

F —— 拉脱力，单位为牛顿（N）。

l) 以所测的最小值作为表面连接盘的粘合强度。

5.5.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 待测安装盘尺寸；
- b) 每种焊盘三个有效值；
- c) 最小粘合强度。

5.5.3 无焊盘镀覆孔的拉脱强度

5.5.3.1 目的

评定无焊盘金属化孔承受反复焊接操作应力的能力。五次焊接循环测试是为了模拟印制板在焊接和返修时遭受的应力。

5.5.3.2 试样

试验应在有关规范规定的成品板、附连测试板或综合测试板上无表面焊盘和内层连接盘的镀覆孔上进行。待测孔的直径应不小于成品板中最小插装元件孔的直径。

5.5.3.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 刻刀、手术刀等刀具；
- b) 读数显微镜，精度为 0.02 mm；
- c) 拉力试验机，可按 50 mm/min 的速率提供垂直拉力；
- d) 引线，铜丝或搪锡引线，直径比非支撑孔直径小 0.1 mm~0.5 mm；
- e) 热风循环烘箱，能够保持温度在 (120 ± 5) °C 范围内；
- f) 温控电烙铁：60 W，能使烙铁头温度达到 260 °C~270 °C；
- g) 焊料，含无腐蚀性松香的锡铅合金，并且焊料丝的直径应不大于 1.5 mm；
- h) 低活性或非活性水溶性助焊剂：由 25%（质量比）的松香与 75%（质量比）异丙醇混合而成；
- i) 干燥器。

5.5.3.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 试样放置在 (120 ± 5) °C 的热风循环烘箱中至少烘烤 6 h，在干燥器中冷却至室温；
- b) 在镀覆孔内涂上助焊剂，然后将测试引线置于镀覆孔中，引线应与印制板垂直，并伸出镀覆孔 1.5 mm；
- c) 用烙铁蘸少许焊料在 3 s~5 s 内熔化焊料并完成焊接，再将试样冷却到室温；
- d) 在焊接和冷却过程中，都不允许移动测试引线，必要时，可将试样固定在焊接平台上；
- e) 每次解焊引线都应从孔内完全取出；
- f) 焊接过程中，电烙铁尖端只能接触引线，为使电烙铁对镀覆孔的破坏降至最低，应避免压力过大和持续接触；
- g) 焊接操作中，镀覆孔与基材之间出现开裂、松动为失效试样，应在结果报告中指出；
- h) 重复进行五次焊接-解焊循环测试，焊接操作中，非支撑孔连接盘的松动为失效试样，应在结果报告中指出；
- i) 完成五个焊接和解焊周期后，待试样在大气条件下冷却 10 min 后，用拉力试验机夹具夹紧焊接引线，试样平面与拉力线垂直；
- j) 启动拉力机，以 50 mm/min 的速度均匀施加拉力，直至把镀覆孔镀层与基材分离，取拉出时所需的最小拉力为拉出力；
- k) 如果引线断裂或引线被拉出，而镀覆孔镀层未与基材分离，应将引线再次焊接重新测试；
- l) 至少试验 10 个镀覆孔，以最小拉出力作为该孔径镀覆孔的拉出强度；
- m) 本试验中的焊接和解焊操作由经过培训或通过焊接技能认证的人员实施，测试结果会因测试中焊接和拆焊操作人员的技术水平的不同而出现很大差异。

5.5.3.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 待测孔孔径；
- b) 待测板板厚；
- c) 10 个有效值；
- d) 其它焊接方法；
- e) 其它焊接循环次数；
- f) 最小拉脱强度。

5.6 挠性印制板耐挠曲性

5.6.1 目的

本方法用于评定挠性印制板在使用过程中承受弯曲变形的能力。

5.6.2 试样

成品板或综合测试板，标准图形详细见图 13，其中线宽为 (1.5 ± 0.1) mm，线距为 (1 ± 0.1) mm，试验前需要检查导电图形是否有针孔、缺口等缺陷，若发现缺陷，应重新选择试样。

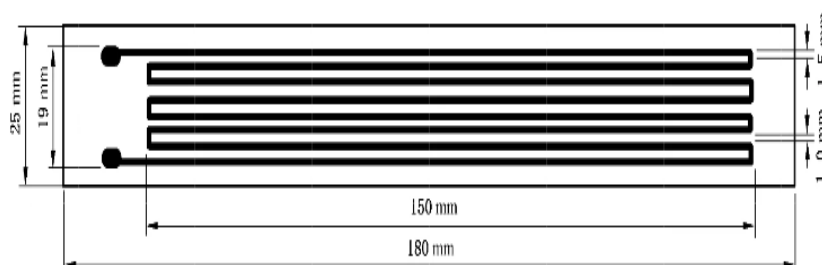


图13 标准测试图形

5.6.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- 有相互平行的样品夹板，可以用绝缘板将试样的两端固定在两块夹板上，将试样弯成 180° ；
- 一块夹板可以通过调节固定支架上的固定器使两夹板平行，并可以调节平行夹板间的距离而改变试样的弯曲；
- 第二块夹板可以以不大于 10 r/min 或由供需双方商定的速率往复移动约 30 mm；
- 装置应有一个控制继电器，以控制试验电路中有任何超过 10 ms 的中断时，使带动装置往复运动的电机停机，试验时，应有计数器记录完成的周期次数；
- 能提供 12 V 电压、100 mA 电流的直流电源，用于控制继电器监控试样试验时的断裂。

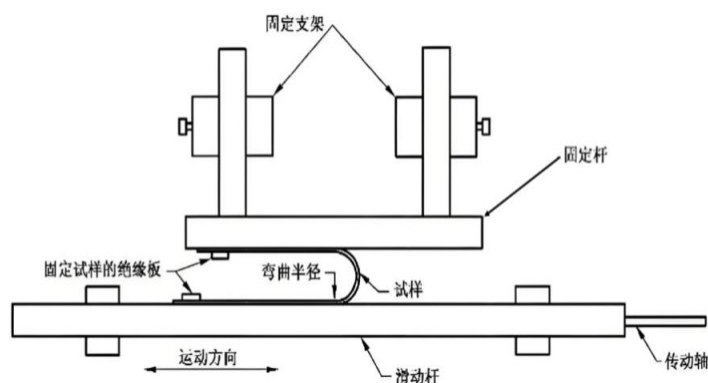


图14 耐挠曲装置示意图

5.6.4 步骤

测试步骤如下：

- 用绝缘导线将试样中导电图形和控制电路相连；
- 按图 14 中将试样安装到弯折疲劳试验装置的两平行绝缘杆之间，导电图形面在内圈，内圈弯曲半径可以选择以下之一或者由供需双方商定，典型的弯曲半径有： (3.2 ± 0.2) mm、 (2.0 ± 0.1) mm、 (1.0 ± 0.1) mm；
- 调节往复运动的速率不大于 10 r/min 或由供需双方商定。往复运动的行程使得试样弯成的弧圈至少移动 30 mm 的距离；

- d) 将试样的往复运动精细到试样电气中断引起继电器动作而停机，或进行到规定的五十小周期数；
- e) 用正常视力或校正后 1.0/1.0 的视力检查失效试样的导线断裂情况，如有针孔及缺口等异常情况导致样品过早破裂，应使用新的试样重新进行试验；
- f) 每个覆铜箔面 3 块试样试验完成后，计算试验周期数的平均值作为弯曲疲劳的评定值。

5.6.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 弯曲半径；
- b) 弯曲疲劳的评定值。

5.7 挠性印制板耐弯折性

5.7.1 目的

本方法用于评价挠性印制板在使用过程中承受弯折变形的能力。

5.7.2 试样

成品板或综合测试板，标准图形详细见图 13，其中线宽为 (1.5 ± 0.1) mm，线距为 (1 ± 0.1) mm，试验前需要检查导电图形是否有针孔、缺口等缺陷，若发现缺陷，应重新选择试样。

5.7.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下，如图 15 所示：

- a) 夹头与折曲装置的转动轴应垂直，安装试验面和转动轴应在同一平面上，施加拉力范围为 0 N~14.7 N。施加拉力时，夹头与转动轴的距离为 50 mm~70 mm；
- b) 折曲装置应具有可平行平滑的折曲面、且对转动轴始终保持对称。转动轴的位置，应位于两个折曲面正切的平面上，且在中央位置。折曲装置，应配有夹头，并能在无折曲位置的左右作 $(135 \pm 5)^\circ$ 的折曲运动。除非另有规定，折曲面的曲率半径为 2 mm，宽度为不大于 19 mm。折曲面的间隙，应略大于试样厚度，但与无压缩试样的间隙不应超过 0.25 mm；
- c) 可赋予折曲装置作来回转动的动力驱动装置；
- d) 折曲次数的指示装置；
- e) 装置应有一个控制继电器，以控制试验电路中有任何超过 10 ms 的中断时，使驱动装置停机。

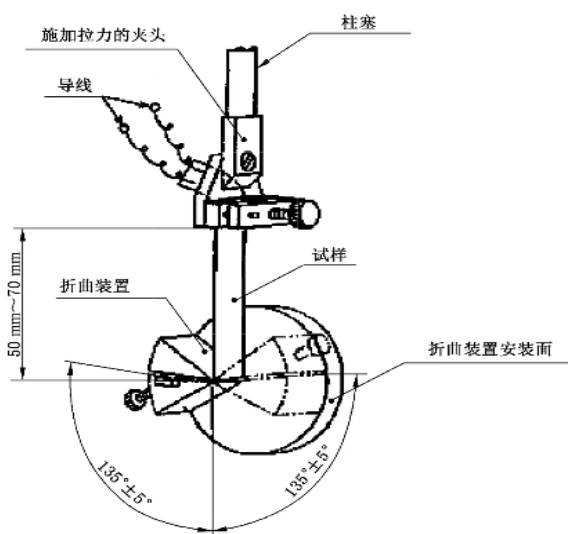


图15 耐弯折设备示意图

5.7.4 步骤

测试步骤如下：

- 将试样放置在温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $(50 \pm 5)\%$ 的条件下至少用绝缘导线将试样中的导电图形和控制电路互连；
- 在非折弯状态将试样安装到图 15 的折曲装置中，试样夹紧后应呈一平面，试验过程中不得接触折曲面；试样安装过程中不得用手触摸试样的折弯部位；
- 将 4.9 N 的重力以适当的方式施加到试样的长度方法，注意重力不得使试样破坏；
- 接通试样设备电源，将试样设备以 175 r/min 的速率做折弯运动；
- 当试样出现超过 10 ms 的电气中断时引起继电器动作而停机，记录折弯次数。

5.7.5 报告

除了 4.3 规定的内容外，还应该在结果报告增加每个方向的平均弯折次数。

5.8 可焊性

5.8.1 印制板可焊性（摇摆浸焊法）

5.8.1.1 目的

采用摆动浸焊的方法评定印制板镀覆孔和焊盘与焊料的润湿性及经受装配工艺的能力。

5.8.1.2 试样

试样应符合以下要求：

- 有代表性的附连测试板、待测印制板的一部分，试样应能代表批产品或在制板；
- 印制板可接受性检验的试样数量应在相关规范中规定；
- 图 16 和图 17 为推荐的附连测试板试样。试样宽度应保证到焊锡槽各边留有 13 mm 的余隙；

单位为毫米

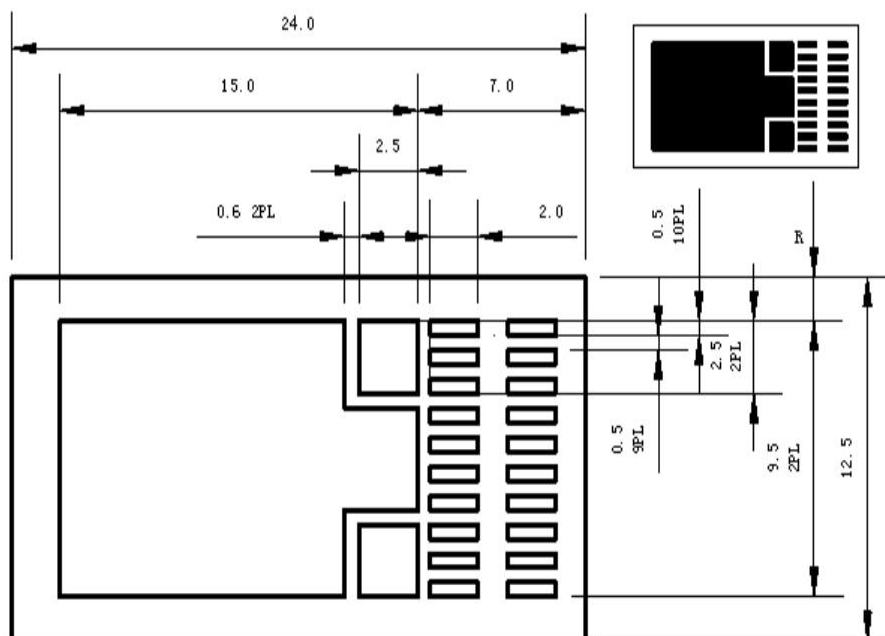


图16 表面安装试样图形示例

单位为毫米

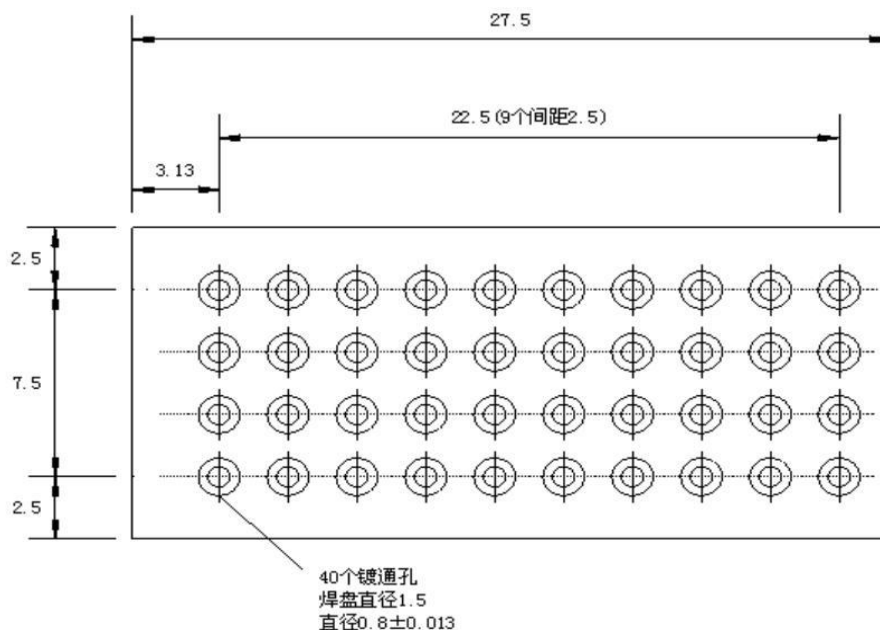


图17 镀覆孔试样图形示例

- d) 如果测试镀覆孔，每批待测孔数量至少为30个，每个试样的镀覆孔或者是相连的焊盘数量至少应为六个，试样应能代表成品板；
- e) 在试样行进方向测试面的暴露长度为 (25 ± 5) mm；
- f) 测试之前，应对试样进行预处理，规定的预处理和助焊剂种类见表2。

表2 预处理和助焊剂要求

分类	特性	预处理	助焊剂
1类（最低耐久性）	待用印制板在制造后30 d内进行焊接，可承受最低程度的热或焊料加工	不老化	生产类型
2类（最低耐久性）	待用印制板在制造后可能经过6个月的贮存期，可能承受适度的受热或焊料加工	不老化	松香
3类（最低耐久性）	待用印制板在制造后可能经过长时间贮存（超过6个月），可能承受严酷的受热或焊接加工	8 h 老化，按照GB/T 4677-2026 试验20a 进行	松香

- g) 试样按表2中规定进行测试前准备，并防止待测表面受到污染（油脂，汗水或其它）。在供需双方协商一致的情况下，待测试样也可采取其它方式进行预处理，比如除油、水洗、或者烘烤等：
- 无镀覆层保护（裸铜）的印制板：试样应浸入室温中性有机溶剂（如：无水乙醇中5 min）去油，干燥，浸入盐酸溶液15 s（1份密度为 1.180 g/cm^3 的浓盐酸和4份水（体积）），然后用去离子水清洗和热空气干燥；
 - 导线和孔有镀覆层保护的印制板：试样应浸入中性溶剂中（如：无水乙醇）1 min 去油，并用热空气干燥；
 - 预涂焊剂的印制板：不用任何清洁程序。
- h) 试验过程中必须小心持拿试样，以使被测试样表面的氧化和污染最小。

5.8.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 摆动沾锡设备：可以使试样在一个圆形路径移动，并且摇摆速度可调，能以恒定的速率与焊料接触，试样中心与摇摆中心间距为 (100 ± 5) mm。设备的夹具具有低导热性，焊渣刮应能在试样浸入焊料槽前完全去除表面的熔融焊料氧化物和焊渣；
 - b) 焊料槽：能自动调温控制，容纳足够焊料，在试验过程液面 25 mm 下，有铅焊料温度保持 (235 ± 5) °C，无铅焊料温度保持 (255 ± 5) °C；
 - c) 有铅焊料：应为 Sn63/Pb37 或者 Sn60/Pb40 合金。其它合金可在供需双方商定情况下使用。焊料中锡含量应在所用标称合金的 $\pm 1\%$ 以内，铜，金，镉，锌，铝的总含量不应超过 0.52%；
 - d) 无铅焊料：应为 Sn96.5/Ag3.0/Cu0.5 (SAC305)，其它无铅焊料可在供需双方商定情况下使用；
 - e) 助焊剂：由 25%（质量比）的松香与 75%（质量比）异丙醇混合而成。其它助焊剂仅在供需双方商定情况下使用；
- 注：为了维持固体含量并避免污染，应谨慎储存可焊性测试用的助焊剂。
- f) 清洁剂：在可焊性评定之前，用于清洁试样的材料应能去除可见的助焊剂残留物；
 - g) 光学检测仪器：一般情况下用正常视力或矫正为 1.0/1.0 的视力目视观察试样，必要时，可用放大倍率 10 倍光学仪器检查；
 - h) 适合的自动计时器，精度满足试验方法的极限要求；
 - i) 不锈钢材质夹具，可夹持试样边缘的夹具或其它特殊设计的夹具。

5.8.1.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 搅拌使焊料分布均匀，焊料温度应在 (235 ± 5) °C（有铅）或 (255 ± 5) °C（无铅）范围内；
- b) 清理熔融焊料的表面，彻底去除熔融焊料表面的浮渣和焦化/残留的助焊剂；
- c) 将试样浸入助焊剂中停留 5 s~10 s，再将试样取出垂直滴流 60 s；
- d) 用夹具固定试样，按照图 18 进行摆动沾锡试验，使试样浸入焊料深度不超过试样厚度的 50%，停留规定的时间；
- e) 重新夹取试样从焊料槽中取出，保持水平状态在空气中冷却；
- f) 完成后取下试样，放置于空气中冷却；
- g) 清洁试样表面；
- h) 使用 10 倍放大镜目检焊料对表面及镀覆孔内镀层的润湿状态。

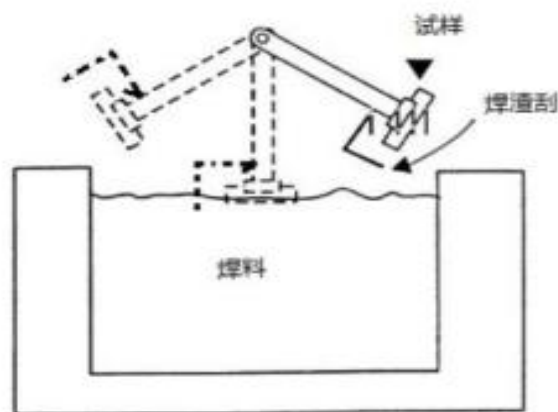


图18 摆动沾锡可焊性测试装置

5.8.1.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 测试试样描述；

- b) 使用的焊料和焊剂；
- c) 加速老化，（当适用时）；
- d) 润湿和半润湿（浸入和离开）时间；
- e) 评定结果。

5.8.2 印制可焊性（手工浮焊法）

5.8.2.1 目的

采用浮焊方法评定印制板镀覆孔和焊盘与焊料的润湿性及经受装配工艺的能力。

5.8.2.2 试样

同5.8.1.2。

5.8.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料同5.8.1.3 b)~ i)。

5.8.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 搅拌使焊料分布均匀，焊料温度应在 $(235 \pm 5)^\circ\text{C}$ （有铅）或 $(255 \pm 5)^\circ\text{C}$ （无铅）范围内；
- b) 清理熔融焊料的表面，彻底去除熔融焊料表面的浮渣和焦化/残留的助焊剂；
- c) 将试样浸入助焊剂中停留 5 s~10 s，再将试样取出垂直滴流 60 s；
- d) 夹持试样边缘到熔融焊料上方，松开夹具使试样水平轻轻落到熔融焊料上，可用夹具轻轻触碰试样使试样浸入焊料深度不超过试样厚度的 50%，停留规定的时间；
- e) 重新夹取试样从焊料槽中取出，保持水平状态在空气中冷却；
- f) 清洁试样表面；
- g) 使用 10 倍放大镜目检焊料对表面及镀覆孔内镀层的润湿状态。

5.8.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 测试试样描述；
- b) 使用的焊料和焊剂；
- c) 加速老化，（当适用时）；
- d) 润湿和半润湿（浸入和离开）时间；
- e) 评定结果。

5.9 模拟返工

5.9.1 目的

本方法通过反复进行手工焊接，模拟焊接、解焊、再焊接的过程，评定返工对印制板上镀覆孔和导体的质量及完整性的影响。五次焊接循环测试是为了模拟印制电路板在焊接和返修时遭受的应力。

5.9.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 含镀覆孔及终端区域可用于元件安装的成品板、附连测试板或综合测试板；
- b) 选定的镀覆孔应包含最大内层连接数，待测孔直径应不小于通常元件安装孔的直径；
- c) 导通孔或其它仅用作导通的小孔，不用于本测试；
- d) 试验前试样应进行预处理，并目检试样无影响试验的其它缺陷；

5.9.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 空气循环箱，能控制温度 $(125 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；

- b) 温控电烙铁：60 W,能使烙铁头温度达到 260 °C~280 °C；
- c) 镀锡铜线，测试线的直径为 0.25 mm~0.70 mm,小于测试孔的直径；
- d) 焊料，含无腐蚀性松香的锡铅合金，并且焊料丝的直径应不大于 1.5 mm；
- e) 低活性或非活性水溶性助焊剂：由 25%（质量比）的松香与 75%（质量比）异丙醇混合而成。

5.9.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 样品预处理：将试样放置在带空气循环的温度为 (125 ± 5) °C 的烘箱中，时间应不少于 6 h 或按相关规范的规定；再将试样放置在温度 (23 ± 2) °C，相对湿度 (45 ± 5) % 的标准大气条件下冷却至温度低于 35 °C，任何情况下，恢复时间不得超过 8 h。
- b) 焊盘涂覆助焊剂，将镀锡铜线垂直插入待测镀覆孔中手工焊接，用烙铁蘸少许焊料在 3 s~5 s 内熔化焊料并完成焊接，再将试样冷却到室温；
- c) 在焊接和冷却过程中，都不允许移动测试引线，必要时，将试样固定在焊接平台上；
- d) 待焊盘冷却后，用烙铁在 3 s~5 s 内将测试引线从镀覆孔中移除，并将试样冷却至室温；
- e) 然后使用新的测试引线重复 5.9.6 a)~c) 进行焊接和解焊；
- f) 如果用规定的方法不能在 5 s 之内完成焊接和解焊，应使用上述方法对其它镀覆孔重新进行操作；
- g) 第一个焊接循环包括焊接——解焊——焊接三个步骤，而后续每个循环包括解焊——焊接两个步骤；
- h) 完成五次焊接循环次数后，冷却至室温；
- i) 焊接过程中，电烙铁尖端只能接触引线，为使电烙铁对镀覆孔的破坏降至最低，应避免压力过大和持续接触；
- j) 清洁试样（需要时）；
- k) 第五个循环后，按 T/CPCA 5XXX.1-20XX 7 进行显微剖切的制备及符合性检验。

5.9.5 报告

除了 4.3 规定外，结果报告还应包括：

- a) 镀覆孔的要求；
- b) 要求时，其它焊接循环的次数；
- c) 显微剖切符合性检测结果。

5.10 金属线键合盘性能

5.10.1 剪切力

5.10.1.1 目的

本方法本测试旨在评估金属线键合点（通常为球焊点）与键合盘（焊盘）之间结合的机械强度及其界面完整性。通过测定使键合点发生失效所需的最大剪切力，并结合失效模式分析，用以验证键合工艺的可靠性。

5.10.1.2 试样

“键合球”本身及其所依附的焊盘和基底。

5.10.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 键合强度测试仪，精度不低于 $\pm 1\%$ FS；
- b) 符合 GB/T 4937.22-2018 要求的剪切工具。工具刃口应平整、光滑，其高度应高于球形键合点的中心，宽度应小于键合球直径；
- c) 光学显微镜（放大倍数 3 倍-100 倍）。

5.10.1.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 将试样牢固、水平地固定在测试仪的工作台上；
- b) 在显微镜下确认键合点位置，并将剪切工具的刃口对准键合点靠近中心一侧的根部，确保刃口与键合盘表面平行且间隙最小（通常 $\leq 25\ \mu\text{m}$ ）；
- c) 设置剪切速度为 $0.1\ \text{mm/s}\sim 1.0\ \text{mm/s}$ 。启动测试，推动剪切工具直至键合点被完全剪切掉或发生界面分离；
- d) 记录整个过程中施加的最大力值，即为该点的键合剪切力；
- e) 使用显微镜观察并记录失效模式：
 - 1) 界面脱落（粘附失效）：键合点从键合盘镀层上完全或大部分脱落，界面清洁；
 - 2) 镀层内聚失效：键合点带着部分镀层脱落，露出下层材料；
 - 3) 镀层拉起（镍层腐蚀）：镍层从下层（如铜或化学镍浸金工艺中的化学镍）剥离；
 - 4) 键合球自身变形或破裂；
- f) 每个试样至少有效测试 15 个键合点。

5.10.1.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 最小剪切力；
- b) 试验验证。

5.10.2 拉力

5.10.2.1 目的

本方法旨在评估金属引线及其与键合盘（焊盘）之间第一、第二键合点的结合强度与引线自身的抗拉性能。通过测定使引线或键合点发生失效所需的最大拉力，用以验证引线键合工艺的可靠性，监控封装或基板组装过程中的质量控制，确保器件在后续制造工序（如塑封、切筋成型）及实际应用中能够承受相应的机械应力。

5.10.2.2 试样

“键合球”本身及其所依附的焊盘和基底。

5.10.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 拉力测试仪，精度不低于 $\pm 1\%FS$ ；
- b) 符合 GB/T 4937.22-2018 要求的拉力钩；
- c) 夹具材料：铝或钢制夹具，表面可贴附防滑材料
- d) 体视显微镜（放大倍数 30 倍~100 倍）。

5.10.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 使用体视显微镜检查待测键合点，确认金属丝无损伤、无过度弯曲、键合点形态完整；
- b) 记录试样的键合工艺参数和材料信息；
- c) 开启拉力测试仪，预热至少 30 min。根据键合丝直径和类型选择合适的拉力钩。安装并校准拉力钩，确保其与测试平台垂直；
- d) 设置测试参数：
 - 1) 拉伸速度： $0.1\ \text{mm/s}\sim 1.0\ \text{mm/s}$ （推荐 $0.5\ \text{mm/s}$ ）；
 - 2) 数据采集频率：不低于 100 Hz；
 - 3) 终止条件：力值下降至峰值力的 50%或位移超过设定值。
- e) 试样安装，将试样牢固固定在测试平台上。调整平台位置，使待测键合点位于拉力钩正下方。使用显微镜辅助定位，确保拉力钩与金属丝对中；
- f) 钩丝法操作。

- 1) 操纵拉力钩上升，使钩尖接触金属丝中点；
- 2) 轻微调整，确保拉力钩与金属丝接触良好且无预紧力；
- 3) 启动测试程序，开始拉伸；
- 4) 观察并记录测试过程，直至发生失效。记录整个过程中施加的最大力值，即为该点的键合拉力。

5.10.2.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 最大拉力值和对应的位移值；
- b) 试验验证。

5.10.3 表面粗糙度-白光干涉仪

5.10.3.1 目的

本方法用于评估印制板上金属丝键合连接盘（以下简称“键合盘”）、铜箔表面或表面处理后的表面等表面粗糙度的测试方法。

5.10.3.2 原理

表面粗糙度是指表面具有的较小间距和微小峰谷的不平度。本方法基于光学干涉扫描原理，是指光源发出的光经扩束准直后经分光棱镜后分成两束，一束经被测表面反射回来，另外一束经参考镜反射，两束反射光最终汇聚，并发生干涉，显微镜将被测表面形貌特征转化为干涉条纹信号，通过测量干涉条纹变化来测量表面三维形貌。通过测量表面轮廓的微观起伏，计算一系列表征参数，如算术平均偏差（Ra）、轮廓最大高度（Rz）、均方根偏差（Rq）等。这些参数能够定量描述表面的光滑程度、纹理特征，从而评估表面处理工艺的均匀性、清洁度，以及预测其与键合丝界面的机械互锁与结合性能。白光干涉仪的垂直分辨率高，平面识别的微小凸起，在垂直方向上识别精度更高，一般对样品要求较高，针对测量表面较平，粗糙度较小的样品，测试更精准。

5.10.3.3 试样

在制/成品印制板：试样表面应完好，无肉眼可见的划痕、污染、氧化斑点、指纹或明显异物。待测区域应平整，无明显翘曲或起伏。应在有效区域内进行测量，通常为中心区域，避免边缘、通孔或邻近导线的影响。对于非圆形键合盘，应在预期的键合球覆盖区域内选取。

5.10.3.4 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 白光干涉仪：
 - 1) 垂直分辨率：优于 0.1 nm。
 - 2) 横向分辨率：取决于物镜倍数，通常优于 1 μm 。
 - 3) 测量范围：垂直方向至少 10 μm ，满足常见粗糙度范围。
 - 4) 重复性：对同一特征重复测量的 Ra 值偏差应小于 3%。
- b) 校准器具。

5.10.3.5 步骤

测试方法如下：

- a) 根据仪器类型选择合适的模式（如垂直扫描干涉、相移干涉等）；
- b) 视场/测量长度：选择能覆盖代表性区域且分辨率足够的物镜或设置。测量长度应至少包含 5 个主要粗糙度轮廓起伏；
- c) 滤波设置：按照 GB/T 3505 规定，设置合适的截止波长（ λ_c ）；
- d) 取样间距：横向分辨率应至少是预期最小表面特征尺寸的 2 倍；
- e) 利用仪器的内置光学系统或外接显微镜，找到待测键合盘并精确定位到第一个测量位置。应避免选择有宏观缺陷的区域；

- f) 在选定的测量位置上执行单次测量，仪器自动采集表面形貌数据；
- g) 检查实时采集的图像或轮廓曲线，确保数据质量（无异常噪声、失步、边界效应等）；
- h) 在同一键合盘上，移动样品台至其他预定位置，重复测量，直至完成该表面的所有预定测量点；
- i) 对每个测量位置的原始数据，应用设定的滤波条件进行处理；
- j) 软件自动计算并记录每个测量位置的关键粗糙度参数，至少包括：
 - 1) Ra（算术平均偏差）：轮廓偏差绝对值的算术平均值；
 - 2) Rz（轮廓最大高度）：在一个取样长度内，最大轮廓峰高与最大轮廓谷深之和；
 - 3) Rq（均方根偏差）：轮廓偏差的均方根值，对峰值更敏感。

5.10.3.6 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 每个测量位置的关键粗糙度数值；
- b) 数据统计分析。

5.10.4 表面粗糙度-激光共聚焦显微镜

5.10.4.1 目的

本方法本规定了印制板上金属丝键合连接盘（以下简称“键合盘”）、铜箔表面或表面处理后的表面等表面粗糙度的测试方法。

5.10.4.2 原理

本方法基于激光共聚焦显微镜的光学断层扫描原理，即利用放置在光源后部的照明针孔和放置在探测器前的探测针孔实现点照明和点探测。当光通过照明针孔聚焦在样品表面的一点时，该点以外的任何发射光都被探测针孔阻挡，此被探测点即共焦点。由扫描系统在焦平面上快速扫描，从而产生完整的共焦图像。通过激光点扫描表面并逐层获取高度信息，可以重建三维表面形貌，计算一系列表征参数，如算术平均偏差（Sa）、表面最大高度（Sz）、均方根偏差（Sq）等。在量测铜箔及镀铜表面粗糙度时，铜箔表面颗粒陡峭角度强烈，激光共聚焦可以获得更真实的波峰波谷信息。

5.10.4.3 试样

在制/成品印制板：试样表面应完好，无肉眼可见的划痕、污染、氧化斑点、指纹或明显异物。待测区域应平整，无明显翘曲或起伏。应在有效区域内进行测量，通常为中心区域，避免边缘、通孔或邻近导线的影响。对于非圆形键合盘，应在预期的键合球覆盖区域内选取。

5.10.4.4 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 激光共聚焦显微镜：
 - 1) 激光光源：波长范围 405 nm~785 nm，功率稳定性优于±1%。
 - 2) 物镜系统：配备多种放大倍率物镜（如 20 倍、50 倍、100 倍），数值孔径（NA）≥0.8。
 - 3) 轴向（Z 轴）分辨率：优于 0.5 nm。
 - 4) 横向（XY 平面）分辨率：取决于物镜倍数，100 倍物镜下应优于 0.2 μm。
- b) 校准器具。

5.10.4.5 步骤

测试方法如下：

- a) 试样固定：使用真空吸附样品台固定试样，确保键合盘表面与测量平面平行；
- b) 初始定位：在低倍率（10 倍或20 倍）下快速找到待测表面；
- c) 精确对焦：切换至高倍率物镜（50 倍或100 倍），使用自动对焦功能找到最佳焦平面；
- d) 测量区域选择：在有效区域内避开明显缺陷点，选择代表性测量区域（推荐80 μm×80 μm至200 μm×200 μm）；
- e) 激光共聚焦测试：三维扫描、表面重建、多位置测量；

f) 软件自动计算并记录每个测量位置的关键粗糙度参数，至少包括：

- 1) Ra (算术平均偏差)：轮廓偏差绝对值的算术平均值；
- 2) Rz (轮廓最大高度)：在一个取样长度内，最大轮廓峰高与最大轮廓谷深之和；
- 3) Rq (均方根偏差)：轮廓偏差的均方根值，对峰值更敏感。

5.10.4.6 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- c) 每个测量位置的关键粗糙度数值；
- d) 数据统计分析。

5.11 印制插头插拔测试

5.11.1 目的

本方法用于模拟实际使用场景，通过反复插拔来评估印制插头（金手指）的耐磨性、机械寿命以及电气连接的稳定性。测试旨在确认其能否在整个产品生命周期内保持可靠的电气接触，防止因镀层磨损、接触电阻增大或机械损伤导致连接失效，这对于确保服务器、工业控制卡、内存模块等需要高频插拔的设备可靠性至关重要。

5.11.2 试样

试样为带有金手指的印制板或专门的测试板。金手指应完成规定的表面处理，常见为电镀镍金（Ni/Au），其中镀镍层作为阻挡层，镀金层提供良好的导电性和耐腐蚀性。

5.11.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 金手指插拔试验机：实现自动化插拔动作，且可对插拔速度、插拔次数等进行设置；
- b) 夹具，固定试样，确保金手指与测试槽精准对准；
- c) 控制系统与软件，设定参数，包含插拔行程、速度、循环次数等；
- d) 放大镜或显微镜，通常需要30倍以上的放大倍率；
- e) 微欧计，用于金手指表面接触电阻。

5.11.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 初始检测，试样应进行目视检查，确保金手指表面无划伤漏基材、镀层脱落等不良缺陷，如有必要，可进行电气性能的检测，如用微欧表测量其初始的接触电阻；
- b) 设备设置：将试样固定在测试机的夹具上，保证金手指与测试槽可以准确对准，依据产品规格或者双方协商方式，确定测试参数，主要的包括：插拔速度：通常设定在（10~20）次/min；
- c) 插拔行程：确保完全插入和拔出，避免过度机械应力；插拔总次数：依据产品要求或双方协商；
- d) 启动测试机，循环自动插拔当达到指定的插拔次数后，停机检查试样外观，并测量其接触电阻
- e) 测试后评估，外检检查。采用目视或者使用（30~50）倍的放大镜观察金手指的表面，确认是否有明显的漏基材刮伤、凹陷、镀层磨损等不良；
- f) 再次测试其接触电阻，并与初始值进行比较。

5.11.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 金手指镀层方式；
- b) 失效判定依据；
- c) 测试前后的接触电阻。

5.12 表面张力测试

5.12.1 目的

本方法通过测定表面张力,评估其是否适用于焊接、导电胶粘接、芯片键合及三防涂覆等后续工艺。

5.12.2 试样

试样应取自成品板、在制板或专用工艺监控板。取样位置应具有代表性,避开划伤、污渍、氧化等明显缺陷区域。试样尺寸应满足测试要求,通常不小于25 mm × 25 mm。

5.12.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下:

- a) 接触角测量仪: 主要由精密样品台、高分辨率CCD相机与长焦镜头、均匀背光源、自动微量进样系统以及图像分析软件组成,测定范围 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$,测试分辨率 0.1° ,测定精度 $\pm 1^{\circ}$;
- b) 测试液体: 超纯水(电阻率 $\geq 18.2 \text{ M } \Omega \cdot \text{cm}$ @ 25°C)。根据需要,可使用乙二醇、二碘甲烷等高纯度试剂;
- c) 清洗剂: 分析纯异丙醇(IPA,纯度 $\geq 99.5\%$)或分析纯乙醇,以及无尘布、镊子等工具;
- d) 标准表面张力测试液: 应使用经认证的、已知精确表面张力值的测试液系列,覆盖范围通常为30 mN/m至72 mN/m。测试液应色泽鲜明,便于观察;
- e) 涂抹工具: 专用棉签、毛刷或达因笔,必须洁净无污染;
- f) 计时器: 精度0.1 s。

5.12.4 步骤

5.12.4.1 接触角测量法

测试步骤如下:

- a) 仪器校准: 按照设备制造商的操作规程对接触角测量仪进行校准;
- b) 放置试样: 将处理好的试样水平、稳固地固定在测量仪的样品台上;
- c) 滴加液滴: 使用微量注射器在试样表面选定位置滴加一滴超纯水,液滴体积推荐为 $(2.0 \pm 0.5) \mu\text{L}$ 。液滴下落点与试样表面的距离应尽可能小;
- d) 图像采集与测量: 液滴稳定后(通常为滴下后3 s~5 s内),通过CCD相机采集液滴图像,并利用软件自动拟合液滴轮廓,计算左、右接触角,取其平均值作为该测量点的接触角值;
- e) 重复测试: 在同一试样上至少选择3个不同的有效位置进行测试,计算其算术平均值作为该试样的最终接触角结果。

5.12.4.2 标准测试液法

测试步骤如下:

- a) 选择测试液: 从低于预期表面张力值的测试液开始测试(例如,预期值为42 mN/m,可从38 mN/m开始);
- b) 涂抹液膜: 用洁净的棉签蘸取足量测试液,在试样表面平稳、快速地涂抹一个面积约 $1.5 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$ 的薄液膜;
- c) 观察与判定: 立即启动计时器,观察2 s内液膜状态;
- d) 通过: 液膜在2 s内保持完整、连续,无收缩或破裂成小液珠。表明试样表面张力等于或高于该测试液标称值;
- e) 不通过: 液膜在2秒内发生收缩、破裂。表明试样表面张力低于该测试液标称值;
- f) 确定表面张力值: 更换更高或更低标称值的测试液在相邻区域重复步骤b)和c),直至找到能形成连续液膜2 s的最高测试液标称值。此值即为试样表面张力的判定值;
- g) 重复测试: 每个标称值测试液应在同一试样上至少测试两个不同位置,结果一致方为有效。

5.12.5 报告

除了4.3规定外,结果报告还应包括:

- a) 任何可能影响结果的现象或偏离本文件规定的细节。

5.13 超声波扫描

5.13.1 目的

本方法用于超声波扫描的无损检测和评估印制板内部结构及缺陷，并评估其位置、大小、分布等情况。

5.13.2 试样

成品板、在制板。

5.13.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 主要硬件包括：三轴运动控制平台、超声激励接收仪、数字化仪、超声波换能器（探头）及工控机等组成；
- b) 超声波扫描显微镜按信号接收模式可分为反射模式和透射模式。反射式又称为脉冲回波法，即利用反射波成像，可以具体的聚焦到某一层，从而可以判断缺陷深度。脉冲回波主要包括 A 扫描、B 扫描、C 扫描；
- c) A 扫描：点扫描模式（幅度扫描），对当前界面的某一个点进行扫描，可以用于确认当前界面的异常位置确认，见图 19 所示；
- d) B 扫描：横截面扫描模式（亮度显示模式），观察样品的横截面，可用于确认纵向方向上的位置和深度，见图 20 所示；
- e) C 扫描：剖面扫描模式（恒定深度扫描），观察样品的剖面，通过时间窗口选择剖面的位置和宽度，可以得到缺陷的数量和尺寸，见图 21 所示。
- f) T 扫描：又称透射扫描，在样品底部增加一个接收探头，在 C 模式下可以同步进行 T 模式。可以用来确认 C-扫描图像中的无法判明的缺陷，见图 22 所示。
- g) 反射扫描和透射扫描的区别，见图 19 和 20 所示；
- h) 反射式声学显微系统主要包括以下几个部分：
 - 1) 超声波脉冲发生器；
 - 2) 回波振幅和相位/极性随时间变化的显示（A 模式显示）；
 - 3) 一种用于图像显示（B 模式和 C 模式）、存储、检索和显示的计算机控制的显示系统；
 - 4) 一种 X-Y-Z 方向（通常由计算机控制）扫描电机系统，用于在设备上移动声波探测，并在设备内设置焦平面；
 - 5) 流体介质浴，如去离子水，用于设备和传感器之间的声耦合；
 - 6) 中心频率在（5~400）MHz 范围内的宽带声学换能器成像；
- i) 透射式声学显微系统主要包括以下几个部分
 - 1) 包含上文中反射式显微系统的所有部分；
 - 2) 超声波脉冲发生器（脉冲发生器/接收器）；
 - 3) 单独的接收换能器或超声波检测系统。

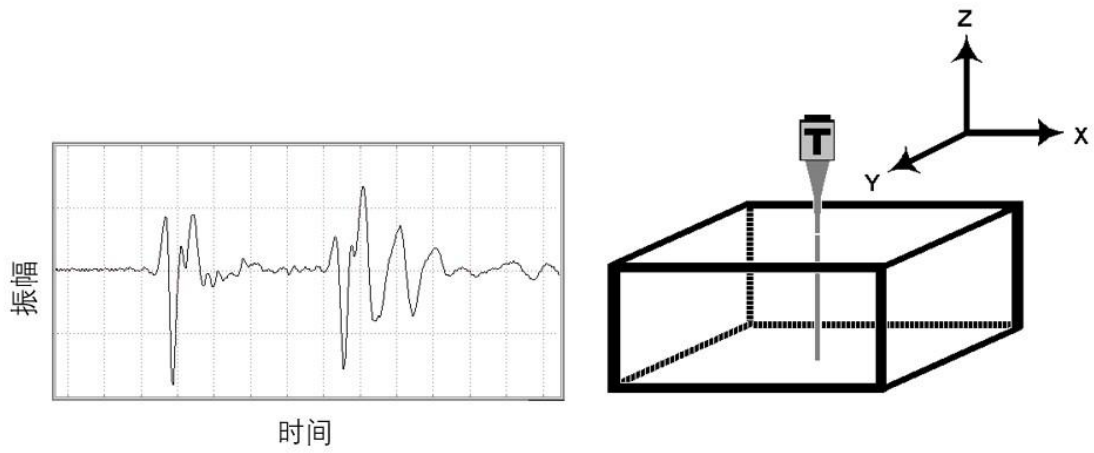


图19 A 扫描示意图

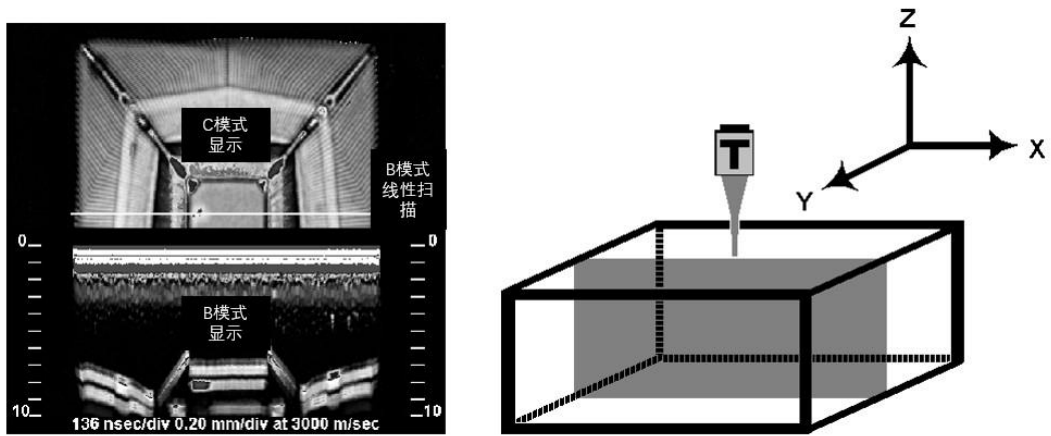


图20 B 扫描示意图

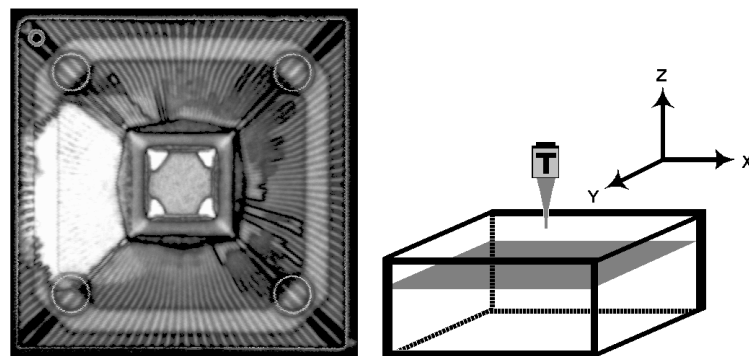


图21 C 扫描示意图

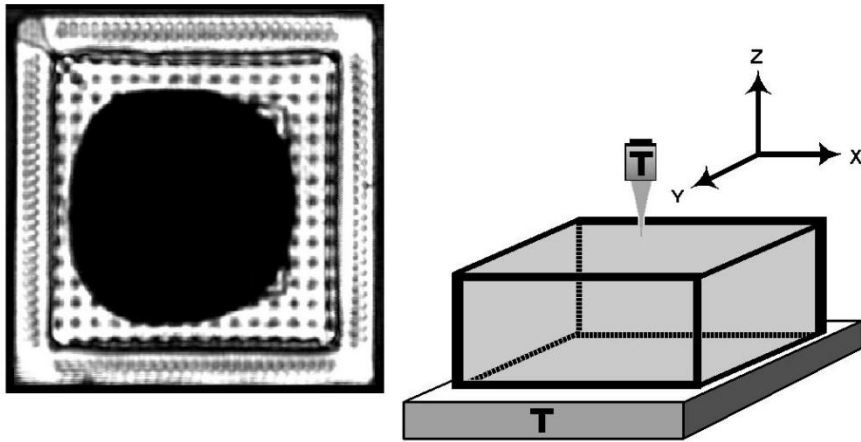


图22 T扫描示意图

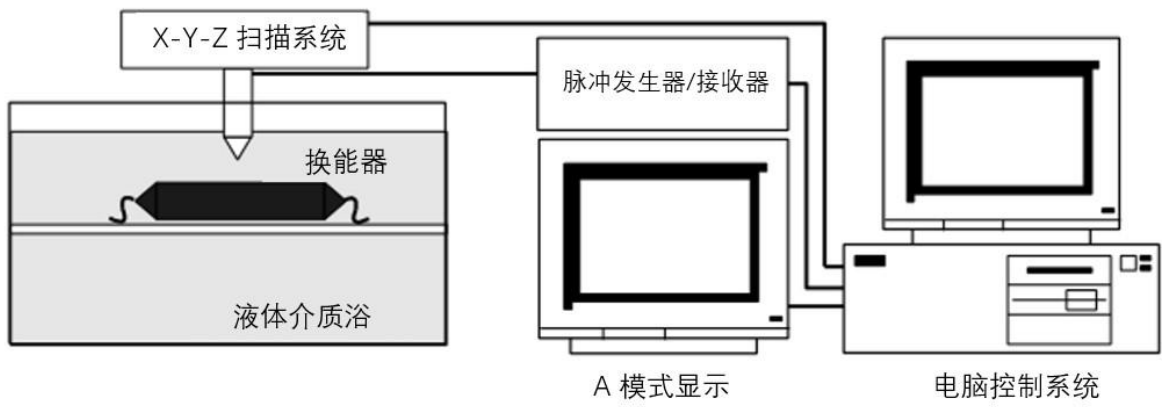


图23 反射扫描设备示意图

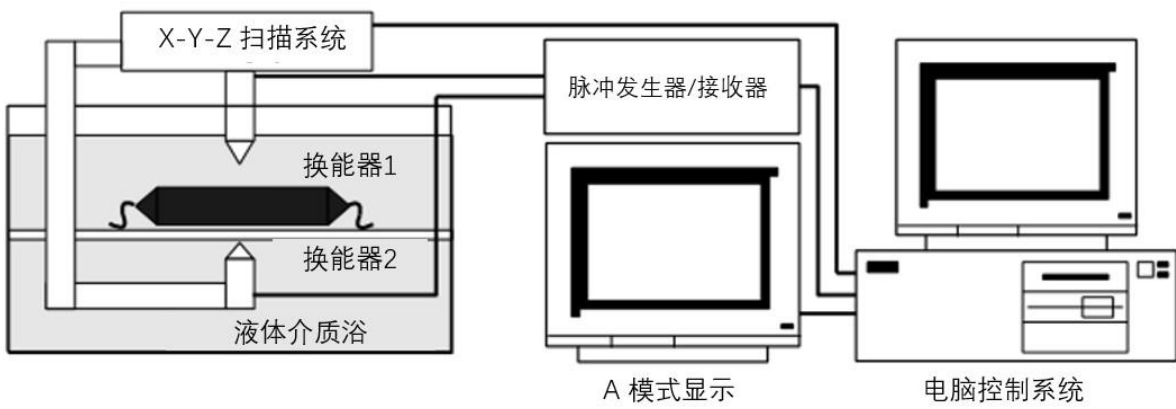


图24 透射扫描设备示意图

5.13.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 选择换能器，选择最高可用频率的超声波换能器，该频率需受介质厚度、声学特性、封装配置及换能器可用性的限制，以分析目标界面。所选的换能器频率应足够低，以确保从目标界面获得清晰信号；同时频率应足够高，以清晰分辨目标界面的细节。透射模式可能比反射模式需要更低的频率和/或更长的焦距。透射模式适用于设备的初步检测，以判断是否存在缺陷；
- b) 验证设置，使用参考包或标准以及适用于以下情况的设置验证设置的传感器，以确保感兴趣界面处的关键参数相互关联以所使用的参考标准；
- c) 放置样品，将设备放置在耦合介质中的样品架中，使每个设备的上表面与声换能器的扫描平面平行；
- d) 换能器对准，在固定距离（Z轴方向）上，调整换能器和/或载物台，使从器件上表面反射的回波振幅达到最大值。换能器必须与器件表面垂直；
- e) 聚焦，通过调整换能器与器件之间的Z轴距离，使A扫描模式下指定成像界面的反射回波振幅最大化，从而完成聚焦；
- f) 执行扫描与伪影排除：
 - 1) 执行C扫描，获取样品指定深度层的声学图像；
 - 2) 检查声学图像中的任何异常，确认该异常是样品内部缺陷还是成像过程产生的成像伪影；
 - 3) 为排除成像伪影，应对C扫描发现的每个疑似缺陷位置，切换至A扫描模式进行点测验证。A扫描波形中，真实缺陷通常表现为界面回波幅值显著下降或相位反转，而伪影则波形特征不明显或不稳定；
 - 4) 对于关键或无法通过A扫描确认的异常，可采用B扫描从截面视角观察，进一步确认缺陷的深度位置和形态；
- g) 考虑潜在缺陷，分析可能存在的误判风险（如伪影、界面回波干扰等）。必要时调整设备参数（如换能器频率、聚焦深度或扫描模式）以优化结果，并重新扫描可疑区域；
- h) 评估，依据适用标准中规定的失效判据（如分层、空洞的尺寸与位置要求），对声学图像进行定性或定量评估，判定样品内部结构（如封装界面、粘结层）的完整性是否符合标准；
- i) 记录，保存扫描图像及最终设备设置参数（如探头频率、时间门控、增益值等），确保检测过程的可追溯性与结果复现性。

5.13.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：缺陷类型和图片。

5.14 铜箔纯度测试

5.14.1 目的

本方法通过纯度的测试确保材料满足最终产品性能和可靠性要求。

5.14.2 试样

镀铜层试样，质量为5 g。

5.14.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 电重量分析用电极（铂网阴极、旋转铂网阳极或螺旋铂线阳极）；
- b) 通风柜；
- c) 加热板；
- d) 分析天平，分辨率为0.1 mg；
- e) 烘箱，可控温度为 (110 ± 3) °C；
- f) 供电电源，输出电流密度至少为0.6 A/dm²；
- g) 180 mL~300 mL的烧杯；
- h) 溶解试样用的混合酸，将300 mL浓硫酸在搅拌下缓慢加入750 mL水中，冷却后再加入210 mL硝酸；

- i) 清洗试样用5%的硫酸溶液；
- j) 稀硝酸溶液，硝酸与去离子水的体积比为1: 3；
- k) 无水甲醇；
- l) 蒸馏水或去离子水。

5.14.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 室温下将铜箔浸入5%的硫酸中清洗，然后用自来水冲洗，蒸馏水彻底冲洗、无水甲醇或等效有机溶液淋洗。在110℃烘箱中干燥3 min~5 min, 在干燥器中冷却至室温。称量铜箔试样的质量 m_{c0} , 准确至0.1 mg；
- b) 将试样放入180 mL~300 mL的烧杯中，加入45 mL硫酸-硝酸混合酸，用玻璃盖盖住烧杯口，直至反应基本停止；
- c) 稍冷却后，用蒸馏水仔细冲洗玻璃盖、电极及烧杯壁。冲洗的目的是确保烧杯壁和玻璃盖上的铜离子全部进入溶液中。将溶液用蒸馏水稀释至能盖住阴极；
- d) 让溶液冷却至室温；
- e) 称量阴极质量 m_{k1} , 准确到0.1 mg；
- f) 将电极插入溶液，用玻璃盖住烧杯，以防止溶液溅出或蒸发。在电流密度为0.6 A/dm²下进行电解；
- g) 当溶液变成无色时，将电流密度减至0.3 A/dm², 用蒸馏水冲洗烧杯内壁，电极及玻璃盖；
- h) 继续电解，直至电解溶液液位升高，而电极不再能镀上新的铜层时，表示电解完成；
- i) 不间断电流下，从溶液中移出阴极；
- j) 用蒸馏水冲洗阴极。再将阴极浸入无水甲醇或同等溶液，取出后在110℃烘箱中迅速干燥约5 min, 在干燥器中冷却至室温，称量阴极质量 m_{k2} , 准确至0.1 mg；
- k) 关掉电源开关；
- l) 计算，用式（11）计算铜的纯度：

$$C_u = \frac{m_{k2} - m_{k1}}{m_{c0}} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中：

C_u ——铜的纯度，%；

m_{k1} ——阴极的质量，单位为毫克（mg）；

m_{k2} ——阴极的质量与沉积铜的质量之和，单位为毫克（mg）；

m_{c0} ——初始铜试样的质量，单位为毫克（mg）。

m) 要进行两次测定，两次测量的结果偏差不应超出0.015%，否则应重新测定。

5.14.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：铜的含量。

5.15 铜箔的抗拉强度和延伸率测试

5.15.1 目的

本方法规定印制板用金属箔（主要包括电解铜箔与压延铜箔）的抗拉强度与延伸率（伸长率）的测试方法。通过本测试，可评估铜箔材料的机械性能与延展性。

5.15.2 试样

本方法所用试样如下：

- a) 试样类型：采用带头哑铃型或条状不带头试样。推荐采用条状不带头试样；
- b) 试样尺寸：应符合表3的规定；
- c) 试样取样：应明确记录取样方向（纵向或横向），并在结果报告中说明。

表3 条状不带头试样推荐尺寸

单位为毫米

参数	符号	推荐尺寸	公差
总长度	L	≥ 150	—
平行段宽度	b_0	12.5	± 0.25
原始标距	L_0	50	± 0.5
夹头间自由长度	L_1	≥ 87.5	—

注1: 夹头间自由长度应不小于 $L_0 + 3b_0$, 即当 $b_0=12.5$ mm、 $L_0=50$ mm 时, L_1 应不小于 87.5 mm。
注2: 试样应确保断裂发生在平行段内。对于厚度小于 0.1 mm 的超薄箔材, 可协商确定试样尺寸。

5.15.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下:

- 材料试验机, 应能控制恒定的横梁移动速度或应变速率, 精度等级不低于1级;
- 气动平推夹具或带有细齿面的机械式楔形夹具, 确保夹持力均匀分布, 且与试样对中;
- 千分尺: 用于测量试样厚度, 分辨率至少为0.002 mm;
- 游标卡尺: 用于测量试样宽度, 分辨率至少为0.02 mm。

5.15.4 步骤

测试步骤如下:

- 试样尺寸测量: 厚度: 在试样的平行段内, 至少均匀分布地测量3个点的厚度, 取算术平均值作为试样厚度 (d), 精确到0.001 mm。测量点应避开标距标记。宽度: 测量试样平行段的宽度 (b), 精确到0.01 mm;
- 安装试样: 调整试验机上下夹具之间的距离, 确保试样安装后其纵轴与拉力中心线重合。将试样对称地放入夹具中, 确保标距标记区完全在夹具之外。夹头间自由长度应不小于 $L_0 + 3b_0$ 。平稳地施加夹持力, 既要防止试样打滑, 也要避免在夹持部位压坏试样;
- 设置测试速率:
 - 推荐采用应变速率控制方法(方法A):
 - 弹性阶段: 应变速率 $0.00025 \text{ s}^{-1} \sim 0.0005 \text{ s}^{-1}$;
 - 塑性阶段: 应变速率 $\leq 0.005 \text{ s}^{-1}$ 。
 - 采用固定速度控制方法(方法B)时: 弹性阶段按应力速率控制(对于铜箔, 推荐 $10 \text{ MPa/s} \sim 30 \text{ MPa/s}$), 塑性阶段切换为固定夹头分离速度, 推荐为 $50 \text{ mm/min} \pm 10\%$ 。
- 启动试验机, 按设定的速率施加拉伸载荷;
- 连续记录或采集载荷-位移数据, 直至试样完全断裂;
- 断裂有效性判定:
 - 观察并记录试样的断裂位置;
 - 如果断裂发生在夹持部位或距夹头小于3 mm的范围内, 或发生在标距标记处, 则该次试验结果无效, 应重新取样测试;
 - 使用条状不带头试样时, 断裂应在标距中间1/2范围内(即距两端均不小于 $L_0/4$)。
- 断裂后测量, 试样断裂后, 小心地将两段试样拼合。使用分辨率不低于0.02 mm的量具测量断裂后标距两端标记点之间的距离 (L_u)。

5.15.5 报告

除了4.3规定外，结果报告还应包括：

- a) 试样的完整描述（铜箔类型、牌号、标称厚度、状态-如“来料”或“层压后”、取样方向）；
- b) 测试条件（环境温湿度、拉伸速率、是否使用引伸计）；
- c) 试验设备信息（试验机型号、夹具类型、校准状态）；
- d) 每个有效试样的抗拉强度（TS）和延伸率（A）；
- e) 每个方向的平均抗拉强度和平均延伸率；
- f) 如有要求，提供标准偏差；
- g) 任何可能影响结果的现象或偏离本文件规定的细节。

5.16 X-射线荧光检测

5.16.1 目的

本方法利用X-射线荧光检测法对电子电路的金属涂镀层厚度、组分进行检测。

5.16.2 试样

成品板或在制品板。

5.16.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

X射线荧光镀涂层测量仪，用于测量厚度及组分，应配置适用于镀涂层金属的不同系列厚度、组分的标准样片。

5.16.4 步骤

5.16.4.1.1 测镀涂层厚度测试步骤如下：

- a) 按仪器操作说明书规范进行操作；
- b) 打开测厚仪电源开关，预热十五分钟以上后开启高压电源开关；
- c) 调整确定好X-射线测试仪测试准直头孔径；
- d) 将带有铜基体需测试金属标准样品片放置于测试平台上；
- e) 平行移动放置有标准样品片的测试平台使被测标准样品中心正对测试准直头垂直下方；
- f) 打开测试开关检测标准样品片矫正仪器测试数据曲线，在测试不同测试样前都要矫正一次（一般情况下，一天需测试较大数量同样测试试样前可只校准一次）；
- g) 取出测试校准好的标准样品片并同时放置需测试样于测试平台上；
- h) 平行移动测试平台使被测试样所需测量的中心位置正对测试准直头垂直下方；
- i) 打开测试开关测量被测试样，仪器应自动打印试样的检测数据；
- j) 重复放置需测试样于测试平台上，按g)至h)步骤重复测试试样即得相关测试数据。

5.16.4.1.2 测镀涂层组分、成分、纯度测试步骤如下：

- a) 按仪器操作说明书规范进行操作；
- b) 按5.16.4.1 a)至i)测试步骤测试相关被测镀涂层试样即得相应的组分测试数据和图形曲线并打印出测试结果。

5.16.5 报告

按4.3规定编制检测结果报告。

参 考 文 献

- [1] JEDEC JESD22-B112B Surface Mount Integrated Circuit Package Warpage Measurement Methodology at High Temperature
- [2] GB/T 5095.5- 1997 电子设备用机电元件 基本试验规程及测量方法 第5部分：撞击试验（自由元件）、静负荷试验（固定元件）、寿命试验和过负荷试验
- [3] EIA-364-09 TP-09D - Durability Test Procedure for Electrical Connectors and Contacts
- [4] GB/T 30447-2013 纳米薄膜接触角测量方法
- [5] IPC/JEDEC J-STD-035A-2022 Acoustic Microscopy for Non-Hermetic Encapsulated Electronic Devices
-