

面向电子产品的点胶加固工艺与可靠性研究

孔晓刚, 杨晓平, 项艳丽, 白 刚, 原 勇

(内蒙动力机械研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘 要 电子设备向小型化、高性能方向发展, 元器件的集成度提高, 对其稳定性要求也逐步提高。点胶工艺是施加底填环氧胶、UV 胶、导热胶等材料, 在产品表面进行填充、灌封、滴胶等操作, 从而实现加固、密封、绝缘、防潮、防震、导热等功能。在高温、高湿等复杂场景下, 点胶加固既能提高元器件的机械稳定性, 防止外力导致的结构松动和引脚脱焊, 又能有效减少信号干扰, 提升电子产品的整体性能和安全性。本文针对面向电子产品的点胶加固工艺与可靠性展开探讨, 旨在为提升产品质量提供有益参考。

关键词 电子产品; 点胶加固工艺; 元器件; 引脚脱焊

中图分类号: TN6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.001

0 引言

电子产品的芯片处理器与主板之间的焊接并非绝对牢固, 在长期使用或遭受跌落、冲击、挤压等外部应力作用时, 焊点可能会松动, 导致设备运行不稳定甚至失效。而点胶工艺能有效提高芯片的抗震抗摔性能, 还能减少引脚脱焊、松动等常见故障, 提高整体可靠性。在智能手机、可穿戴设备等高度集成化的电子产品中, 点胶技术的应用已成为行业标准。同时, 点胶材料还能提供防尘、防潮、绝缘等附加保护作用, 进一步提升电子产品的耐久性。

1 电子产品点胶加固的基础理论

1.1 点胶加固的概念与原则

点胶加固是指在电子元器件与基板等结合部位施加胶黏剂进行固定和封装, 以增强机械支撑并提高环境防护能力。胶黏剂固化后形成附加的机械连接, 能够分担焊点或引脚所承受的应力, 防止元件松动或焊点开裂。举例来说, 对电解电容、大型连接器等较大型或较重的元件施加胶水锚定, 可防止其在振动或跌落中松动断裂; 对 BGA、CSP 等高密度封装芯片进行底部填充或角部加固, 可缓解热循环引起的焊点应力, 使器件在手持设备等需经受跌落实验的应用中稳定可靠^[1]。

为确保电子元器件的可靠固定, 需遵循以下点胶加固规范: 对于轴向引线器件, 单根引脚承重超过 0.070 N 时需进行固定; 非轴向引线器件在承受超过 0.035 N 载荷或采用侧装 / 倒装方式时同样需要点胶处理。大尺寸、高重量组件 (如功率电感、中央处理器及可编程逻辑芯片等) 以及可能因机械应力产生位移的元件都必须实施加固措施。此外, 通过缩短引脚长度来增

强分立器件的机械强度, 采用贴装焊接与点胶相结合的方式。在严苛振动或冲击环境下工作的电路组件, 可考虑采用整体硅橡胶灌封工艺提升结构稳定性。

1.2 点胶材料的分类与性能分析

在电子产品制造中, 点胶材料的选择直接决定了加固效果与产品的可靠性。不同类型的点胶材料在性能上各有优势, 需根据具体应用场景进行选择。环氧树脂 (Epoxy) 是目前电子封装领域应用最广泛的点胶材料之一, 能牢固附着于 PCB、芯片等电子元器件表面, 提供高强度的机械加固作用。固化后可承受较高的温度, 适用于需要高温工作环境的电子产品, 同时能够抵抗酸碱、溶剂等化学物质的侵蚀, 适用于恶劣环境中的电子产品。

硅胶即使在极端温度条件下 (-50 ℃ 至 200 ℃), 仍能保持良好的弹性, 不易开裂, 能长期抵御紫外线、湿气和氧化作用, 特别适用于户外电子设备。同时, 适用于高冲击、高振动的应用场景, 如汽车电子、可穿戴设备等, 特别适用于高频电子电路的封装。但硅胶类点胶材料的固化时间较长, 机械强度相对较低, 且与某些塑料和金属表面的粘附性较弱, 因此在应用时常需额外的底涂处理或搭配其他结构胶使用。

聚氨酯点胶材料因其良好的综合性能, 固化后形成韧性较强的保护层, 能有效抵抗湿气、油污及部分溶剂的侵蚀。这一材料可在较宽的温度范围内保持稳定性能, 适用于柔性电路板 (FPC) 等应用场景。但聚氨酯材料的固化过程受湿度影响较大, 可能出现固化不完全或气泡等问题, 因此在点胶工艺中需要严格控制环境条件^[2]。

1.3 影响点胶加固质量的关键因素

点胶加固质量受材料、工艺参数及环境等多因素影响。选对胶种是关键,不同胶黏剂性能差异大,如环氧胶强度高但脆,热循环或冲击下可能传递应力致焊点失效;硅酮胶柔软有弹性,可吸能但强度有限,不宜固定重型器件。振动冲击为主的设备中,可用增韧环氧或丙烯酸胶平衡强度与韧性,有时还会综合运用多种材料,如BGA芯片用环氧底填、大型电解电容旁用硅胶加固。点胶时,胶层厚度要适中,需均匀铺展、充满间隙,无中断或气泡。过高温度可能使胶开裂或粘接界面受损,过长时间则降低效率并引入热应力,需在性能和效率间取得平衡。

2 电子产品点胶加固工艺分析

2.1 点胶加固工艺流程

1. 点胶前处理。在点胶前,需要对待粘接表面进行清洁预处理,除灰尘、油污、氧化层和焊接残留物等。如果杂质未清除,可能会导致胶层附着不良或产生界面缺陷。因此,常采用溶剂清洗、等离子体清洗等方法净化表面,必要时还会使用底胶来提高胶黏剂对低表面能材料的附着力。此外,控制元件和PCB表面的平整干燥也很重要,避免潮气或溶剂残留影响胶水固化^[3]。

2. 胶黏剂点胶。根据元件尺寸、胶材性质和加固要求选择适当的点胶方式。常见的点胶方式主要有针式点胶和喷射点胶两大类。针式点胶是接触式点胶,借助针头或针管将胶液按设定轨迹挤出并沉积在目标位置上。在微电子封装和Mini/Micro LED封装中,经常采用细针头进行逐点点胶,以形成高精度的三维胶点或胶线。喷射点胶是非接触式点胶,利用高速电磁阀或压电驱动装置将胶液以液滴形式“喷”出,无需针头接触表面即可完成施胶。因为省去了Z向接触动作,喷射点胶速度极快,可在极短时间内连续喷出胶点。

为确保电子元器件的稳固安装,点胶加固需根据不同结构采取差异化处理。对于水平安装的无护套圆柱形器件,胶体应覆盖本体长度的50%~100%和高度25%~50%,同时保持顶部可见;带护套的同类元件则需控制胶体高度在25%~50%范围内,并严格避免胶液污染引线封装区及焊盘。垂直安装的矩形元件需施加高度50%~100%、长度50%~100%的胶体,同样需避开关键电气连接部位。当多个矩形元件并排垂直安装时,两端的元件需按独立安装标准处理,而中间相邻元件的间隙则应充分填充胶液以保证整体结构强度。所有点胶操作均需在保证机械稳固性的前提下,避免对元器件的电气性能和可视检查造成影响。

2.2 胶黏剂固化工艺

1. 热固化。加热使胶黏剂发生化学固化反应。环氧树脂等多采用热固化,一般需在一定温度下保持数分钟到数小时不等,胶层才能完全固化并达到高性能。在典型SMT工艺中,底部填充环氧胶常在涂布后送入烘箱于125℃固化30~60分钟;而一些改性快固化胶可以在更短时间内完成。比如某单组分环氧胶在150℃下约2~3分钟即可完全固化定型。

2. 光固化。利用紫外线或可见光引发胶黏剂中的光引发剂,使胶液在数秒内固化。光固化主要针对丙烯酸酯类或改性环氧类胶黏剂,常用于需要瞬时固化的场合。固化速度极快,如某UV胶在波长405 nm、强度250 mW/cm²光照下约15秒即可完成固化。同时,光固化方便实现自动化,仅需在点胶后增加一道UV照射工序就可以实现^[4]。

2.3 点胶加固工艺要点

1. 线缆加固工艺。为确保线缆安装的可靠性,推荐采用GD-414胶进行固定处理。在敷设过程中需注意以下要点:线缆布置不宜出现未固定的大跨度走线,尤其要避免仅依靠分线焊点作为支撑。实际操作时,应将游离的线缆紧贴结构件侧壁或其他相邻部件进行布线,并使用胶粘剂实现可靠固定。导线焊接后,需在距焊点15~20 mm范围内的邻近结构件或PCB处设置首个固定位,后续每隔20~30 mm采用GD-414胶进行分段点胶固定,以保持线束结构的整体稳定性。

线缆的固定可采用多种方式,如锦丝线捆扎、聚四氟乙烯薄膜包裹或热缩套管定型,但应避免使用尼龙扎带。在点胶操作前,可借助纸胶布临时固定线束位置,确保其贴合底面或侧壁,待胶体固化后移除临时材料。针对半刚性电缆,需沿结构件表面敷设,并在靠近腔体等部位以GD-414胶按20~40 mm间隔加强固定。此外,同一区域的射频电缆需进行互连固定,以消除振动导致的位移风险。另外,对于走线环境较为复杂的部位,如靠近机箱壁、支撑杆、支架以及结构件的棱角、凸台或尖角区域,需采取二次绝缘和保护措施,防止导线因摩擦或应力集中而损伤^[5]。

2. 连接器加固工艺。对于各类D型连接器的接线端,采用GD-401胶进行点胶加固,其点胶长度一般控制在10 mm至15 mm。在点胶过程中,必须保证产品处于水平状态,避免因垂直放置导致硅橡胶渗透至接触端,进而影响插头与座的顺利配合。为防止此类问题,也可先在插头上安装一只匹配的插座,在插头接线端完成点胶作业,并待硅橡胶完全凝固后再将插座取下。

同时,紧固件安装完毕后,在连接器尾部也应点一圈 GD-414 胶进行加固,确保整体连接的牢固性。

3. 紧固件加固工艺。紧固件的加固主要分弹垫的使用和紧固件自身的胶固防松工艺两部分。一方面,装配在产品上的弹垫必须符合相关标准(如 QJ2963.2 《专用弹簧垫圈·标准型不锈钢弹簧垫圈》),且每只弹垫仅限使用一次,返修时拆下的弹垫不再重复使用。正装紧固件时,需要在线程处点 222 胶,同时在紧固件与安装面之间点 GD-414 胶(通常点半圈,且应注意避免覆盖产品表面标识的红漆),而所有螺母与螺钉结合处也应完整点上一圈 GD-414 胶。另一方面,对于如某些电源模块正面若加装弹垫可能引起短路、背面可能存在盲孔或其他构件干涉等因结构限制无法安装弹垫的特殊场合,则不能采用通用工艺。在此情况下,一般需在线程上点 222 胶后,在螺纹与螺母结合处点上一圈 GD-414 胶防松。如果这一工艺仍不适用,则建议在线钉螺纹上点用 DG-3S 环氧胶进行防松加固,以确保紧固件在振动及其他机械应力下的稳固性。最后,紧固件在安装前应先用定力矩扳手进行复查,确认紧固到位后,再在连接器尾部点一圈 GD-414 胶,进一步提高整体结构的可靠性。

3 点胶加固工艺优化与可靠性提升策略

3.1 点胶材料优化策略

材料的改进是提升点胶加固可靠性的途径之一。在胶黏剂中引入纳米填料是近年来提高材料性能的有效方法。纳米材料典型尺寸 1~100 nm,如纳米二氧化硅、氧化铝、纳米纤维、石墨烯等,小于胶体网络的尺度,能够均匀分散并在低填充量下显著改变胶黏剂的宏观性能。少量纳米填料后有助于提升胶层的机械强度、耐久性和尺寸稳定性均有提升。纳米增强环氧体系的疲劳寿命和抗冲击性能明显改善,同时热膨胀系数(CTE)和固化收缩率降低,硬度和韧性均有所提高。当前一些商业化产品已采用纳米填料技术,如纳米硅填充的底部填充胶可在保持低黏度便于点胶的同时,提供高填充度以降低 CTE,从而减轻热循环中对焊点的拉扯。

此外,电子器件可靠性对胶黏剂材料提出了更高的要求,如更低的热膨胀失配、更强的界面附着力等。为此,材料研发人员一方面在化学结构设计方面降低胶黏剂本身的热胀冷缩特性,例如开发低 CTE 树脂,其固化后 CTE 接近 PCB 基材,从源头上减少热循环造成的应力。另一方面,提升胶黏剂对各种难黏基材,在胶黏剂配方中加入偶联剂、黏结增进剂等,可以在

固化时于界面形成化学键或强极性相互作用,从而提高界面结合力。

3.2 点胶工艺优化策略

除了材料本身外,不断优化点胶加固的工艺过程也是提高可靠性的重要途径。合理的点胶路径设计和参数设置可确保胶黏剂精确且充分地施加,从而实现最佳加固效果并避免缺陷。在 PCB 布局和元件模型确定后,应规划每个需要加固元件的点胶路线。例如:对矩形芯片进行角胶加固时,可采用“四角点胶留一缺口”的路径设计——在芯片四角各打一点胶,唯独留出一角不点胶,以给热胀冷缩留出空间,有助于避免胶层约束导致的焊点过度应力。而对于长条形连接器,可沿其两侧连续打胶形成胶梁,并在中部加间隔胶点防止局部应力集中。路径确定后,需实验微调点胶参数使胶形达到设计要求,包括针头行进速度、出胶压力/速度、胶阀开闭时序等,找到最佳速度匹配出胶量。

4 结束语

合理的点胶加固能够有效提升产品的机械强度、抗振抗冲击能力及环境适应性。随着电子制造向高精度、高可靠性和智能化发展,点胶加固技术也在不断地优化。未来,纳米增强复合材料、低温快速固化技术、智能化点胶系统和自动化质量检测技术将进一步推动点胶工艺的精确性和效率。同时,在绿色制造理念的引导下,环保型胶黏剂与可循环点胶方案将成为行业发展的重要方向。技术人员对点胶加固工艺进行持续创新与优化,将在电子产品制造中发挥更大价值,助力行业可持续发展。

参考文献:

- [1] 陈艳,王宣,代少君,等.电力网络设备 CCGA 加固工艺可靠性测试[J].自动化技术与应用,2025,44(04):111-115.
- [2] 屈云鹏,张小龙,李逵,等.温循与振动条件下三种加固方式的 BGA 焊点可靠性评估[J].半导体技术,2023,48(12):1137-1144.
- [3] 王海超,彭小伟,郭帆,等.航天电子产品 CCGA 加固工艺可靠性分析[J].焊接学报,2022,43(07):102-107,119-120.
- [4] 王顺,张瑞锋,王连春,等.板卡元器件点胶加固工艺自动化的实现[J].自动化博览,2020(11):68-70.
- [5] 廖希异,邓丽,高振奎.表面贴装元件粘胶加固工艺质量优化[J].微电子学,2021,51(02):240-245.