

IGBT 导热硅脂涂覆自动化控制在质量管理中的应用

姚艳芳 聂明珍 焦照旭 冯自豪

河南许继电力电子有限公司, 河南 许昌 461000

[摘要] 为保证大功率电力电子设备 IGBT 导热硅脂涂覆工序的质量, 通过开展行业对标、引入自动化设备、配备配套放置工装等方面进行改进提升, 在提升生产效率的同时, 完善相关质量过程管理文件, 提高 IGBT 导热硅脂涂覆工序的质量。

[关键词] 质量管理; 导热硅脂涂覆; 自动化控制

DOI: 10.33142/hst.v7i6.12491

中图分类号: TN322.8

文献标识码: A

Application of IGBT Thermal Conductive Silicone Grease Coating Automation Control in Quality Management

YAO Yanfang, NIE Mingzhen, JIAO Zhaoxu, FENG Zihao

He'nan Xuji Power Electronics Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

Abstract: In order to ensure the quality of the IGBT thermal conductive silicone grease coating process for high-power power electronic equipment, improvements have been made through industry benchmarking, introduction of automation equipment, and provision of matching placement fixtures. While improving production efficiency, relevant quality process management documents have been improved to enhance the quality of the IGBT thermal conductive silicone grease coating process.

Keywords: quality management; thermal conductive silicone grease coating; automation control

引言

随着“碳达峰”“碳中和”持续推进, 新能源产业迎来良好发展机遇, 随着各单位产能不断扩大, 各产业单位均面临不同程度人员短缺、产能饱和等一系列问题, 为适应快速发展, 采用先进自动化设备成为提升生产效率的有效措施。而 IGBT 模块作为大功率电力设备的关键部件, 生产效率的提升和质量的稳定是产品按期交付和稳定运行的关键, 通过引入自动化设备、配备相应的质量管控手段, 实现了生产效率提升和质量管控的目标^[1]。

1 基本概念

1.1 IGBT

IGBT, 即绝缘栅双极型场效应晶体管, 是一种常见的功率半导体器件。主要用于控制和调节电能, 如电力转换、电机驱动、逆变器和其他功率电子设备中^[2]。IGBT 是能源变换与传输的核心器件, 俗称电力电子装置的“心脏”, 作为国家战略性新兴产业, 在轨道交通、智能电网、航空航天、电动汽车、新能源装备等领域应用十分广泛。

1.2 导热硅脂

导热硅脂又称散热硅脂、导热胶, 它以硅油为原料, 并添加导热颗粒, 如氧化铝或氮化硼等, 经过加热减压、研磨等工艺之后形成的一种绝缘材料。导热硅脂热性能优异, 有卓越的稳定性, 耐温性和低渗出性。由于具有良好的导热性能, 被广泛用于电子器件的散热, 将电子器件产生的热量有效地传递到散热器或其他散热设备上。同时, 它作为绝缘材料, 还可以抑制大的浪涌电流通过, 从而避免电子元件之间短路。

1.3 导热硅脂工作原理

在散热与导热应用中, 即使是表面非常光洁的两个平面在相互接触时都会有空隙出现, 这些空隙中的空气是热的不良导体, 会阻碍热量向散热器传导。导热硅脂可以填充这些空隙, 使热量的传导更加顺畅、迅速。导热硅脂通过对粗糙和不平整的结合表面的填充, 来消除界面间的空气空隙, 用导热系数远高于空气的材料取代不传热的空气。通过减少结合面的热阻, 及时传递电子器件工作时产生的热量, 使电子器件的温度保持在一个可以稳定工作的水平, 进而延长电子器件的工作寿命。

而 IGBT 的散热, 主要通过将 IGBT 的热量传递至散热器实现。导热硅脂的作用就是在于将 IGBT 与散热器之间的空隙填充完全, 来实现散热的均匀性。如果硅脂使用过量, 在 IGBT 和散热器之间形成一个硅脂层, 则散热途径变为 IGBT—硅脂—散热片, 在此情况下硅脂成了阻碍传热的因素。因此导热硅脂的涂覆要适量(导热硅脂的厚度要求约 100~150 μm)。

2 IGBT 导热硅脂涂覆自动化应用及质量管理

2.1 IGBT 导热硅脂涂覆自动化应用

IGBT 是大功率电力电子产品的主要部件, 其使用寿命直接影响变频器产品的成本和寿命。因此, 延长 IGBT 的使用寿命至关重要。IGBT 的使用寿命取决于自身散热的好坏, 设计中把其底板与散热器相连接, 其间隙涂覆导热硅脂, 以填充或涂覆的方式, 能够有效地将 IGBT 产生的热量散出。

导热硅脂涂覆最初使用的是滚筒涂覆, 这种依靠人工、目测来确定涂覆的厚度、均匀度, 存在效率低、厚度不均

匀等各项问题,后续通过改进提升优化,借助筛网板涂覆,可实现厚度统一标准可控,解决人为的原因导致的涂覆不均匀的问题,实现操作效率翻倍。但是随着国家发布《质量建设纲要》以及新能源行业的不断发展,对产品的质量提出更高标准的要求,生产效率、交付周期提出更严格的要求,因此引入自动化的涂覆设备也是必然趋势。

2.1.1 自动化设备引入

通过与同行业对标分析,分析公司现有的问题,制定相应的解决方案,并开展涂覆设备选型,引入 G3088 导热硅脂涂覆自动化设备(见图 1),该设备具有以下特点:

(1) 采用精密上银直线导轨和三相无极变频马达来驱动刮刀座,可以确保印刷精度;

(2) 印刷刮刀可向上旋转 45 度固定,便于印刷网板及刮刀的清洗及更换;刮刀座可实现前后调节,准确定位印刷位置;

(3) 可设定单向及双向,多种印刷方式;

(4) 具有自动计数功能,方便生产产量的统计;

(5) 刮刀角度可调,钢刮刀,橡胶刮刀均适合;

(6) 人机界面具有屏保功能,保护人机界面使用寿命;

(7) 采用独特的程序设计,印刷刮刀座调节方便。



图 1 G3088 导热硅脂涂覆自动化设备

2.1.2 制作匹配工装

设备引入后,原先手动涂覆工装所用的放置 IGBT 的工装无法在自动化设备上使用,因此工艺设计人员介入,梳理公司现有的产品涉及的 IGBT 的情况,根据 IGBT 大小和所需数量,结合自动化放置的位置,设计可匹配使用的 IGBT 放置工装。通过利用 IGBT 两端的引脚,固定放置位置,底部预留一定的空间为所匹配的板卡预留放置位置,避免由于磕碰造成损坏。同时针对不同的情况设计不同的放置工装,实现定制化产品的不同需求。另外,为确保和验证涂覆的质量,通过购买第三方计量合格的湿膜测厚仪开展涂覆厚度的科学测量。

2.1.3 操作步骤

自动化设备投入使用前,首先进行归零设定,通过设

置面板设置工作模式、工作印刷方式、计划生产数、自动工作网板停留时间等参数,设定后按照以下步骤开始执行:

(1) 使用工业酒精和干净的无绒布清理工装,并晾干;

(2) 使用前先将导热硅脂搅拌均匀,使膏体充分混合;

(3) 在涂覆设备中加入适量的导热硅脂;

(4) 使用工业酒精和干净的无绒布清洁 IGBT 的安装面(包括安装器件接触面);

(5) 摆放工装,并将 IGBT 逐个摆放至工装上,涂覆面朝上;

(6) 启动设备涂覆;

(7) 取下 IGBT 进行涂覆厚度测试;

(8) 测试合格后,涂覆工序结束。

2.1.4 注意事项

(1) 自动化设备需每周进行一次维护保养,检查设备涂覆刮刀、面板设置、操作机构等方面的完好性。

(2) 每班开工前检查导热硅脂是否在有效期内,超过有效期的严禁使用。

(3) 每班次要根据使用情况,增加导热硅脂,每班次结束后对自动化设备刮刀未使用完毕硅脂进行清理,导热硅脂包装取用完毕后及时进行密封,严禁暴露在空气中。

(4) 每天生产前,操作人员需要佩戴防静电手环或手套,避免防静电损坏元器件。

2.2 过程质量管理

(1) 建立标准作业规范。IGBT 导热硅脂涂覆作为作业工序中的关键工序进行质量管控,通过建立《IGBT 导热硅脂涂覆作业指导书》《IGBT 导热硅脂涂覆检验指导书》,明确了关键工序的作业标准要求、检验频次、检验项目及检验标准,操作人员掌握关键工艺控制点,严格按照指导书进行作业并输出相应的点检表。作业人员每天按照规范要求每批次抽检 5 个 IGBT 进行 IGBT 涂覆厚度测试,确保设备的可靠稳定运行。

(2) 设置专人专岗。IGBT 导热硅脂涂覆工序作为产品线生产的关键工序,为确保 IGBT 导热硅脂涂覆质量的可靠性和一致性,梳理确定关键工序操作人员清单,建立关键岗位人员上岗制度,所有关键岗位人员上岗前必须经过严格的工艺培训考核合格后方可上岗,严禁未经培训上岗。

(3) 开展过程检查及督查。每天由关键工序所在班组的班组长进行质量巡检,检查关键工序人员的工艺执行情况,同时由安全质量部将关键工序的质量风险纳入年度质量管控计划,制定专项检查计划,按期对操作人员的执行情况、安全质量的检查情况进行督查,确保工艺按要求执行。

(4) 优化生产工序。为了平衡各工位节拍时间,打破原有工位分工,结合工作内容及节拍时间,重新分配工位,由 8 个工位减至 7 个工位。结合功率单元设计优化方案,不断测试调整工作内容,确定最优工位分配方案制作合理的装配工艺,并入库定型。

2.3 成效

通过对比手工工装涂覆及自动化设备涂覆的 50 个 IGBT 改进前后涂覆导热硅脂的厚度统计（见表 1）发现，使用自动化设备涂覆的导热硅脂厚度更均匀、更稳定，且满足工艺要求。

表 1 两种涂覆改进前后涂覆导热硅脂厚度统计表

自动化设备涂覆		手工工装涂覆	
序号	测量值 (μm)	序号	测量值 (μm)
1	100~125	1	125~150
2	100~125	2	100~125
3	125~150	3	100~125
4	100~125	4	100~125
5	100~125	5	100~125
6	100~125	6	100~125
7	100~125	7	125~150
.....
44	100~125	44	125~150
45	100~125	45	100~125
46	100~125	46	100~125
47	100~125	47	125~150
48	125~150	48	100~125
49	100~125	49	125~150
50	100~125	50	125~150

同时，对常使用 IGBT 导热硅脂涂覆的 3 种方式从人员的技能要求、工艺要求、涂覆厚度、导热效果等方面进行对比（见表 2）发现，自动化设备的引入可更好地确保涂覆的一致性，进而保证电力电子产品的稳定运。

表 2 涂覆方法对比

项目	手工滚筒涂覆	手工工装涂覆	自动化设备涂覆
操作工艺要求	简单	一般	一般
涂覆厚度的均匀度	一般	良好	优
作业设备操作要求	简单	一般	一般
导热效果	一般	良好	优
导热硅脂使用量	较多	少	少
人员技能要求	较高	一般	简单

最后，统计手工工装涂覆与自动化设备涂覆的涂覆时间发现，6 个 IGBT 手工工装涂覆耗时 20s，改进后自动化工装涂覆耗时 10s，涂覆时间节省了一半，大大提高了装配效率，缩短了产品的装配周期，提高了项目的交付周期以及客户的满意度。

3 自动化工装的安全操作规程

自动化设备除了确保稳定运行及质量的可靠性外，还需要确保操作人员的安全及物料的安全，特制定专项的安

全操作规程，具体内容如下：

3.1 开机前操作

- （1）作业前作业人员穿戴工装、工鞋；
- （2）上电前检查设备状态及周围环境；
- （3）检查气压源输入情况。

3.2 生产过程操作

- （1）未经培训者不得操作设备；
- （2）使用设备操作时，必须按照使用说明书进行操作，并熟悉设备性能、生产工艺要求。设备定人操作管理及保养；
- （3）设备运行时，禁止用手触摸刮刀。如需调整刮刀，设备需停机处理；
- （4）未经制造厂商许可，不得擅自改装机器或变更循环程序。

3.3 生产结束安全检查

- （1）将设备按钮复位；
- （2）关闭电源和压缩空气；
- （3）清理地面和设备、原材料、导热硅脂等；
- （4）定期对设备保养、润滑。设备长期不使用时，应将设备清理清洁，做好防尘处理。

3.4 应急处理措施

- （1）作业人员受到伤害或设备故障时，按下急停按钮；
- （2）按照公司《生产安全事故应急预案》中“机械伤害现场处置方案”应急处置。

4 结束语

通过采用自动化涂覆工艺，匹配相应质量管控手段后，在 IGBT 导热硅脂涂覆效率提升 1 倍，有效平衡了生产线各工序节拍时间，提高产品模块的线体平衡率，缩短项目交付周期的前期下，保证了导热硅脂涂敷厚度的均匀性和一致性，IGBT 运行质量更加稳定，进一步提高了 IGBT 散热效果和延长了 IGBT 使用寿命。

[参考文献]

[1] 吴红奎. IGBT 基础与应用实务[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[2] 赵善麒, 高勇, 王彩琳. 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 设计与工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.

作者简介: 姚艳芳 (1981.12—), 女, 经济师, 河南许继电力电子有限公司副总经理, 主要从事电力装备制造企业安全质量管理、生产测试管理工作; 聂明珍 (1989.7—), 女, 工程师, 河南许继电力电子有限公司质量工程师, 主要从事电力装备制造企业质量管理工作; 焦照旭 (1987.3—), 男, 工程师, 河南许继电力电子有限公司安全质量部主任, 主要从事电力装备制造企业安全质量管理、生产测试管理工作; 冯自豪 (1990.8—), 男, 工程师, 河南许继电力电子有限公司安全监督环保专责, 主要从事电力装备制造企业安全管理工作。