

印制板 (PCB) 波峰焊接的工艺研究及应用

尹学博 许继公司工艺研究所 (461000)

【摘要】 本文对印制板 PCB (以下简称 PCB) 在采用波峰焊接时工艺参数对焊点内在质量、表面质量的影响进行了初步的分析与探讨, 同时对波峰焊接最佳工艺参数进行了较为深入的工艺试验, 提出了焊接整体质量与最佳波峰焊接的实用工艺参数。

【关键词】 印制板 波峰焊

波峰焊接是电子领域中传统的焊接工艺, 它是利用机械泵或电磁泵将熔化的焊锡产生波峰, 当 PCB 通过波峰峰面时完成器件引线与印制板焊盘的焊接。

在焊接的过程中焊接温度、倾斜角、运行速度、助焊剂比重、波峰高度、焊接时间、合金层厚度、预热温度等工艺参数是影响焊接质量和产品质量的主要因素。如果焊接工艺参数选择不当, 不但影响焊接的内在质量而且还会使焊接的表面质量受到影响。如何保证波峰焊接的内在质量和表面质量, 制定适合我公司静态电子产品中 PCB 波峰焊接的最佳工艺参数, 是我们探讨和研究的课题。

1 波峰焊接的内在质量分析

波峰焊接的内在质量可分为焊接强度和电气性能, 这两个方面决定了焊点的显微组织结构与可靠性。

电子产品 PCB 的 Sn-Pb 焊接属于软钎焊之一, 在焊接的过程中, 铜母材与焊料间要经历复杂的金属组织变化, 生成 ϵ 相和 η 相合金层, 使铜母材与焊料紧密牢固的结合在一起, 图 1 为优良焊点结构示意图。

一个优良的焊点在焊接的过程中, 铜母材必须与焊料之间生成合金层才能保证器件的焊接强度和电气性能, 否则焊接属于假焊或虚焊。

影响 PCB 波峰焊接强度和电气性能的主要工艺参数是焊接时间和焊接温度及金属层的结构与厚度。通过对焊接温度 (T_s) 和焊接时间 (τ) 的实验参数来分析研究, 看 T_s 和 τ 对焊接组织及焊接强度的影响, 并制定最佳的焊接工艺数据。

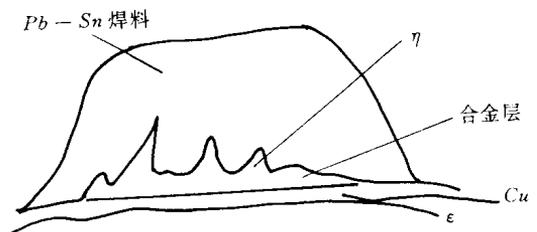


图 1 焊点结构示意图

1.1 试验方法

(1) 取焊接温度 T_s (220~340), 焊接时间 τ (2~7s) 作为可变极限工艺参数进行试验。

(2) 试样材料为: FR—4 印制板基材; 焊料 Sn63; 助焊剂 NSC—1; 金相试样为 THT 焊脚与 PCB 铜箔焊接部的横截面。

(3) 用金相显微镜进行显微观察, 配有 10X 测微目镜对 PCB 波峰焊接试样进行合金层厚度测量。

收稿日期: 1996—10—15

(4) 试验设备为 ML—2000 型波峰焊机。

1.2 试验结果与分析

(1) 焊接温度对焊接显微组织的影响

通过实验表明当焊接温度 < 240 时, 因铜原子尚处于低扩散激活能水平, 铜原子向 Sn—Pb 合金中的反应扩散能力很弱, 合金层断续分布在铜与焊料之间, 其厚度极薄, 由于未生成 $\epsilon + \eta$ 相的完整合金层, 铜母材与焊料间: 1) 没有形成契形状, 起不到钉扎作用, 2) 韧性差不能牢固的结合在一起。焊料与铜母材实际上是一种半附着性的结合, 因而强度很低, 导电性差。

当焊接温度上升到 $240 \sim 250$ 时, 铜原子扩散激活能大大增强, 反应扩散速率显著提高, 其合金层亦有了显著的变化, 呈现典型的 $\epsilon + \eta$ 相结构, 合金层苍劲、细密、分布连续无孔洞, 有明显的 $\epsilon + \eta$ 相的过渡; 合金层厚度约为 $1.7 \sim 3.6 \mu\text{m}$ 。由于 η 相呈楔形钉状, 嵌入 Sn—Pb 合金中, 起到了机械“钉扎”作用, 并且 ϵ 相韧性较好, 与 Cu 结合紧密, 所以这种以合金层为“粘合剂”的结合是一种非常优良的结合形式, 因而这种焊点的强度高, 导电性好。

当将焊接温度继续上升为 $270 \sim 320$ 时, 可以看出合金层厚度大大增加为 $6.4 \sim 10.5 \mu\text{m}$, 焊点微观组织聚集、长大, 并且粗化, 出现了伸长型胡须状 η 相和其他脆性相, 这样的组织状况导致焊点的脆化倾向, 使焊点强度降低。由于组织粗化则亦导致导电性下降。所以焊接温度取 $240 \sim 260$ 时, 焊点的强度高, 导电性好。

(2) 焊接时间对焊点显微组织的影响

取焊接温度 T_s 为 255 这一固定工艺参数时, 焊接时间 τ 分别取 2 、 3 、 5 、 7s 时看焊点显微组织发生的变化。

当焊接时间 $< 3\text{s}$ 时, 通过观察发现铜原子扩散速率很低, 铜与焊料的界面上只有很少量的合金产物, 不能构成合金层, 相结构不能分辨, 合金层分布相当断续, 仅仅是附着性的粘接, 其强度极差, 接触电阻大。

当焊接时间为 $3 \sim 5\text{s}$ 时, 此时铜原子扩散激活能增强, 界面上有剧烈的反应扩散, 合金层生成, 分布连续, 相结构为典型的 $\epsilon + \eta$ 结构, 合金层厚度为 $1.3 \sim 3.0 \mu\text{m}$, 无孔洞和其他脆性相生成, 这是一种牢固的连结, 强度高且导电性好。

当焊接时间超过 5s 时, 焊点的组织逐渐聚集粗化, 晶粒长大, 这是由于反应扩散速度过快所致, 因此强度随之降低。另外由于晶粒长大, 组织粗化使得自由电子活动受阻, 则导电性随之下降。所以焊接时间以 $3 \sim 5\text{s}$ 为宜。

(3) 焊接温度、焊接时间与合金层厚度对焊接强度的影响

对各试验工艺的焊接试样进行抗撕强度测定与合金层测量后, 绘制出焊接温度、焊接时间及合金层厚度对焊接强度的影响曲线如图 2、图 3、图 4 所示。(焊接强度是以三个试样的平均值表示, 厚度是以金相试样最具有代表性的焊点测定)

从图中可以看出, 使一个焊点的焊接强度和电气性能达到最佳状态时的焊接工艺参数应是:

焊接温度	$240 \sim 255$
焊接时间	$3 \sim 5\text{s}$
合金层厚度	$1.2 \sim 3.5 \mu\text{m}$

2 表面焊接质量的分析

PCB 表面焊接质量包括焊点的外观、形状及各种缺陷(如桥接、点焊、拉尖等), 内在的质

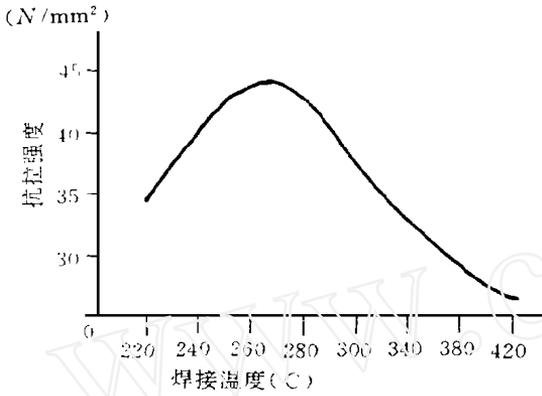


图 2 焊接温度对焊接强度的影响

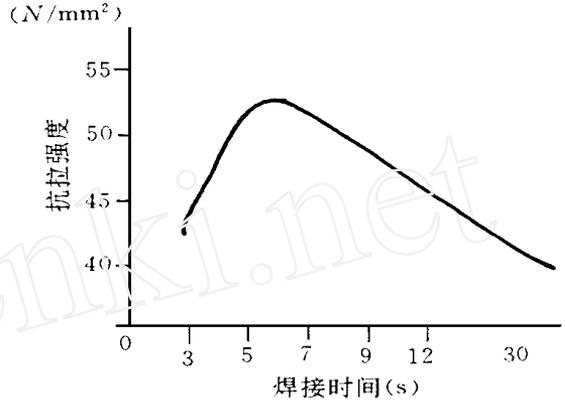


图 3 焊接时间对焊接强度的影响

量决定焊点的微观结构与可靠性，表面质量不但决定于工艺性，而且也是内在质量的一种反应，所以焊接的内在质量与表面质量即相互联系又相互制约。

影响表面焊接质量的主要工艺参数是焊接温度，预热温度，波峰高度，倾斜角及轨道运行速度。下面对影响表面焊接质量的主要工艺参数的实验情况分述如下。

2.1 实验设备与器件

试验用波峰焊机为 ML—2000 型波峰焊机，PCB 板为微机线路保护功能板及鼠标器功能板，板面布有各种型号规格电阻、电容、三极管、二极管、继电器、集成电路等。

2.2 试验方法

由于影响表面质量的工艺参数较多，我们把这些工艺参数分为固定工艺参数与可变工艺参数两种形式进行试验，固定参数为：助焊剂密度 ($0.8443\text{g}/\text{cm}^3$)，轨道运行速度 (根据上述工艺参数的依据选用 $1.1\sim 1.4\text{m}/\text{min}$)，波峰高度以 PCB 板厚吃锡深度的 ($1/2\sim 1/3$)，可变工艺参数为焊接温度、预热温度、轨道倾斜角。

我们分别取预热温度为焊接温度的 $30\% \sim 80\%$ ；焊接温度为 $225\sim 260$ ；轨道倾斜角为 $2\sim 6.5$ 进行实验。

2.3 试验结果与分析

(1) 实验结果

a. 取焊接温度为 225 ，轨道倾斜角为 2° ；预热温度为焊接温度的 30% 时；经波峰焊接的 PCB 其工艺性很差，焊点桥接、虚焊、毛刺等不良现象很严重。

b. 当焊接温度为 245 ，轨道倾斜角为 5° ；预热温度为焊接温度的 60% 时，此时波峰焊接的 PCB 焊点表面质量很好，焊点光亮、圆滑，无气泡、无连焊等不良现象。

c. 当焊接温度为 260 ，轨道倾斜角为 6.5° ；预热温度为焊接温度的 80% 时；此时经波峰焊接的 PCB 焊点挂锡量很少，且焊点发暗，并有桥接、毛刺等不良现象。

(2) 试验结果分析

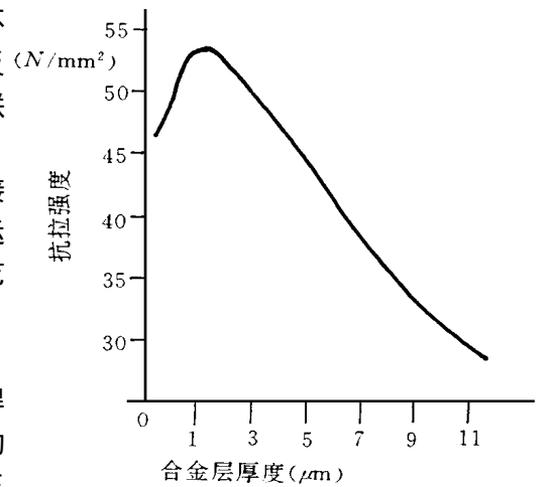


图 4 合金层厚度对焊接强度的影响

a 当 PCB 预热温度取焊接温度的 30% 时, 由于预热温度没有将助焊剂的活化度达到高峰值, 其溶剂中的气化焓变没有被消除, 在焊接的过程中很容易出现虚焊、连焊、假焊等现象。

b 当 PCB 预热温度取焊接温度的 60% 时, 此时 PCB 上元器件所受热冲击较小, 助焊剂的活化度处于高峰值, 十分有利于焊接。

c 当 PCB 预热温度取焊接温度的 80% 时, 助焊剂易干涸, 活化度降低, 在焊接的过程中易出现漏焊、虚焊等不良现象。所以预热的温度既不能过高也不能过低, 只有取得合适预热温度才有利于促进焊剂的活化, 提高焊料在铜母材上的扩展率及促使 PCB 焊剂中气体的挥发与排出。

d 轨道倾斜角对焊接效果的影响较为明显, 焊接高密度的器件时更是如此。当倾斜角太小时, 易出现桥接与连焊, 尤其是在焊接器件的“遮蔽区”时更易出现桥接, 这是因为当倾斜角过小时, 熔融焊料的回流力小, 在“脱皮区”焊点突然收缩, 没有足够的合力与时间打开桥结, 并使多余的焊料流失, 因而产生桥接等缺陷; 而倾斜角过大时, 虽利于桥接的消除, 但焊点吃锡量过少, 易产生虚焊。经实验表明, 当采用 $5 \sim 6.5$ 的倾斜角时可保证熔融焊料有足够的回流力, 既能够打开桥结又能使多余焊料流回锡槽, 达到消除桥接的良好焊接。实践证明它对于消除器件遮蔽区的桥接点非常有效。

e 焊接温度不但对于焊接内在质量, 而且对于焊接表面质量同样是一个重要的工艺参数, 焊接中焊接温度的高低对焊料的扩展率、润湿性及流动性影响很大, 焊接温度过低时, 焊料的扩展率和润湿性能变差, 使焊盘或元器件焊脚由于不能充分地润湿, 从而产生虚焊、拉尖、桥接等缺陷, 但焊接温度过高时, 则加速了焊盘、元器件焊脚及焊料的氧化, 氧化膜的快速生成使其润湿力 (Fgd) 大大降低, 同时由于焊剂挥发, 活性剂热稳定性丧失, 其去除氧化膜的能力大为减弱, 这样焊接中极易产生虚焊点。

根据上述分析并考虑到焊接各工艺参数对焊接内在质量的影响, 因此我们确定 PCB 表面质量最佳波峰焊接的工艺参数为:

焊接温度	(250 ± 2)
倾斜角	$5 \sim 6.5^\circ$
运行速度	1.1 ~ 1.4m /min
助焊剂比重	0.843g/cm ³
波峰焊高度	以压锡深度为 PCB 板厚 1/2 ~ 2/3 为佳
预热温度为焊接温度的	(60 ± 2)%

3 波峰焊接工艺在我公司产品中的应用

3.1 集成电路 PCB 的安装密度大, 引线的中心间距小, (插装式集成电路引线中心距为 2.54mm) 在焊接的过程中容易出现桥接、连焊、漏焊等表面质量问题, 所以在采用波峰焊的过程中除合理选择波峰焊接的工艺参数外还要对 PCB 的运行方向进行控制。PCB 的运行方向如图 5 所示。合理控制 PCB 的运行方向可以减少器件在焊接过程中的遮蔽效应和焊点的桥接、连焊等表面质量问题。

3.2 分离器件的波峰焊接

由于分离器件的体积较大, 引线粗、散热快, 所需焊接的温度高、时间长, 所以在焊接的过程中器件很容易出现虚焊、假焊等焊接强度不够的内在质量问题, 在焊接这些器件时可

以适当的调整波峰焊接的工艺参数,如增高焊接温度,预热温度或改变轨道运行速度等参数来保证焊接的内在质量。

目前我公司大部分静态电子产品 PCB 的焊接均采用波峰焊接工艺,并把上述实验的工艺参数作为我公司 PCB 波峰焊接的质量控制依据,已收到了良好的效果。由于波峰焊接的工艺参数较多,各工艺参数间既相互影响,又相互联系,一个工艺参数的调整与变更会影响到其他参数的变化,以致最后导致焊接效果的不同。

要达到良好的焊接质量必须根据实际焊接对象,科学合理地调整与控制各工艺参数,使其达到最优状态。由于焊接温度、预热温度、倾斜角等工艺参数的控制都有规律性,对于一个特定的焊接对象,应按工艺参数的规律性,提出适合与其相应的工艺参数与其配合,这样就能达到良好的焊接质量。

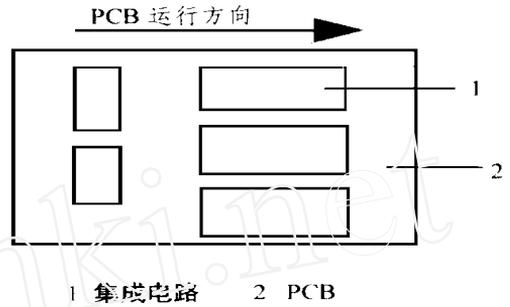


图5 波峰焊接中 PCB 的运行方向

参考文献

- 1 田中和吉. 钎焊技术. (日)电子技术, 1980. 6
- 2 蔡钧达. 锡焊质量与焊接温度的研究. 电子元器件引线可焊性资料汇编, 1982. 3
- 3 毛用圻. 可焊性与锡焊质量分析. 电子元器件引线可焊性资料汇编, 1982. 3

Development and Design of A M icrocomputer- Based Fault Starting Device

..... **Guo A ihua, Zhao Zh ihua** (36)

Application of GPS Satellite Synchroclock in Clock Synchronism of Power System

Li Qi et al(40)
The requirement and current state of clock synchronism of automatic devices in power system are analyzed and described, and a feasibility study is made on the application of GPS in clock synchronism. Linking with the concrete realization of clock synchronism in the development of W GX electric network fault information processing system, this paper introduces how GPS signals are used in clock calibration of microcomputer- based protective devices in power network. Now this application has been used on site with good result. It is getting more and more interests from power operational departments.

Key words: Automatic device of power system GPS Clock synchronism W GX

S ITE EXPER IENCE

Application of Set Value Memory Function of M icrocomputer- Based L ine Protection in Service

..... **Huang Wei in** (43)

Influence of Simple Electric Primary Wiring on the Differential Protection of Main Transformer and Its Improvement

Hong Tian x in, Wang Deyi(45)

A Try to Discr im in ate the D irection of D istance Protection under Transient Load

Li Ha in g(48)

The Improvement of Current L in iting Reactor Protection for 220kV Substation

Tan Qiong(50)

FOREIGN NFORMATON

Current State of Japan M icrocomputer- Based Protection and Supervision System

Xu Guangfan (52)
This article will introduce the current state of microcomputer- based protection and supervision system of Japan TOSH BA company and some questions to be noted when importing foreign product and technology.

Key words: Microcomputer- based protection Supervision

S TANDARD IZATION

Brief Introduction to Communication Interface Standard of Protection

Li Wen (54)
In recent years, microcomputer technology used in relay protection and integral automatic system is more and more involved with standardization of communication interface. Relative international communication interface standards are analyzed and classified in the article. Engineering technician can easily understand the up- to- date international communication standard situation and communication protocol from home and abroad.

Key words: Communication interface Communication protocol Standardization

S TRUCTURE AND TECHNOLOGY

Technology Study and Application of Crest Soldering on PCB

Y in Xuebo(58)
The influence of technology parameters on internal quality and quality of soldering- point during crest soldering on PCB (printed circuit board) were analyzed and discussed in this article. Meanwhile, deeper technology tests were made on the best technology parameters of crest soldering. Then the practical technology parameters of best crest soldering and whole soldering quality were presented.

Key words: PCB Crest soldering

English editor: Zhang Zhiqiang

