

无铅回流焊工艺的先进曲线技术

Bjorn Dahle, KIC

当今世界越来越关注铅带来的环境和健康危险。尽管电子方面的铅只占世界总铅量中极其微小的一部分，人们所关注的是大部分的电子元器件将最终将流入地下，污染地球和水资源。虽然每年只有一万吨的锡铅合金焊料用于这一领域，但是这些焊料几乎没有得到回收。相反，其他很多产品使用大量的铅，但是在世界大部分市场都得到了严格的控制和有效的回收。

欧洲已经采用许多的法律手段来禁止和限制电子行业使用铅。比如说，WEEE 表示：“必须去除任何生活类电子或电气设备中含有以下成分（铅）的元器件，这些设备最终将埋入地下，被焚烧或重新利用。”尽管本法令含有很多例外，但仍将于 2006 年 1 月 1 日生效。不管那些含铅的产品是在哪里生产的，这创始性的第一步将影响到这些产品进入欧洲市场。

事实上，早在 1998 年，日本电子工业协会就决定主动去除电子装配中的铅。他们的目标是到 2004 真正作到“无铅”。

美国目前还没有这样的法令。有些公司推崇铅的回收利用，认为它是一种比“无铅”更好的解决办法。总之，业界已经广泛接受“无铅”趋势。

有竞争性的考虑要求

许多使用无铅焊接的预言家们觉得法律手段是可以讨论的，而在不久的将来，市场要求本身就将促使电子组装业的无铅化。Iwona Turnik 博士，摩托罗拉高级技术中心总裁在 IPC99 年的市场调查中表明：

1. 20%的消费者在购买时会积极考虑环境问题。
2. 45%的消费者已购买产品的原因是因为它环保安全。
3. 50%的消费者更换品牌是因为发现它有害环保。
4. 76%的消费者将在价格和质量相当的情况下选择环保产品。

例如，日本所有的大型消费电子公司都在大量生产无铅电子产品，推销时使用“绿色产品”作为竞争卖点，特别是消费电子市场。松下 1998 年推出了无铅微型 CD 播放机，使用环保安全标志的绿叶包装，市场份额增长显著：从 4.7% 增长到 15%。

自动化产品将是“无铅”趋势的主要动力。这一领域不仅对环保利益感兴趣，而且无铅焊接焊点也改善了温度特性。大部分自动化电子产品都被安装在发动机分隔间，因此要承受更高的操作温度（高达摄氏 150 度）和更强的温度变化。竞争的压力，害怕被排挤出国际大市场，二者综合考虑使大部分世界主要电子生产厂家开始为无铅产品做准备。

无铅合金

目前市场有许多种无铅合金。而其中最前景的是锡/银/铜合金和锡/银/铋合金。现在的趋势是二者选其一。锡/银/铜合金焊膏的焊点比现在的锡/铅合金要牢固，但是当温度达到 217℃ 时会有水蒸气。例如，美国 NEMI 已选择 95.5 锡/3.9 银/0.6 铜的焊膏。

铋合金，在温度 206℃ 到 213℃ 之间出现水蒸气，尽管人们认为对于消费电子产品来说，它的焊

点有足够的可靠性,但性能还是不如现在焊膏的焊点性能优良,主要因为众所周知的焊点起皱现象。有人选择铋合金是因为它们是含铅合金最接近的替代品。他们深受日本人的青睐,目前也被使用于许多无铅电子组装业。它们要比锡/银/铜合金昂贵许多,并且也有人关注世界是否有足够的铋资源满足整个市场需求。

将来不可能有一种所谓“标准”的无铅焊膏,而是会有几种不同的焊膏,各有利弊。对于它们的选择将很可能取决于产品的特殊的要求。

对制造工艺的影响

1. 丝网印刷: 很小的影响 (如果有的话)。
2. 贴片: 很小的影响。也有人认为,因为使用了无铅焊膏,使贴片元件的“自定位效应”减弱,需要提高贴装的精度。
3. 回流: 由于熔化温度高出 20℃ 到 50℃,对制造工艺有重要影响。
4. 波峰焊: 有一定的影响。助焊剂和合金成分变得很重要。工艺问题包括“锡须”和“焊点起皱”,可能需要氮气。
5. 检测: 与无铅焊接焊点表面晦涩相关的最大的变化,可能需要重新设置自动光学检测系统。还需要额外的操作员培训。最后一个更感性的因素是无铅焊膏焊点不如含铅焊膏焊点光亮,但是不影响组装质量。
6. 返修: 耗时且难度大。与锡/铅组装相比,返修需要更高的温度和更长的加热时间。然而,实验证明,无铅组装的良好返修是可以实现的。

无铅回流工艺

无铅焊接给电子组装带来的首要挑战就是更高温度,标准的含铅焊膏的工艺窗口很宽,典

型的最高温度限度介于 208℃ 到 235℃。但是锡/银/铜焊膏建议最高温度介于 242℃ 到 262℃。印制板上的敏感元件可能只能承受 240℃,因此这些元件来说,这种工艺是不可能运用的。(参见西门子对这些元件的解决方案一章)。还有许多其他元件的最高温度限度都低于 262℃。对于这些组装,相对于含铅产品来说,通用的工艺窗口极大的缩小了。另外,无铅焊膏的不良润湿需要更好的工艺控制最高温度。这个工艺窗口不可能很快变宽。可能需要元件制造商许多年时间发明一代新的抗高温元件,而这种元件也许将因价格更高而告终。

温度更高和高温下更长的滞留时间将导致氧化影响可焊性的可能性更大。惰性气体将极大的减小这种影响,许多工艺专家和公司极力推荐这种方法。但是,有必要提及的是,不是每个人都相信无铅产品使用惰性气体的必要性。由于氮气成本高,再加上有些无铅产品使用正常气体成功的例子,人们仍在讨论是否需要使用惰性气体。

随着元件密度增加的日趋复杂的组装的趋势,工艺窗口狭窄的问题将变得越来越突出。但是很难找到一个可以适应这些组装,特别是可以承受线路板上大的最高温度 DELTAS 的曲线。在更加狭窄的无铅工艺窗口进行这项工作需要使用更高级的工艺优化工具。

有些公司在转向无铅产品过程中犹豫不决的原因,除了质量问题,另一个原因是产品成本更高。一个最大的担心是生产线的生产量和生产率将下降。在生产线上回流炉显然不是最慢的机器。但是在安装无铅产品的炉子是,由于狭窄的工艺窗口,传送带的速度必须极大的调慢。这样,回流炉可能成为整个生产线的瓶颈,而且降低产量。对于生产多种产品的生产线,使炉子的转换时间最小化是关键,在整个生产线上,炉子往往是最慢准备就绪进入新产品的生产。在含铅工艺中的宽的工艺窗口中,很容易找到生产多种产品的炉子。显然在将来却很困难。

有一个好消息就是上述的质量和生产率的问题都可以解决，并且证据显示甚至针对于现在的水准也是可以的。为了取得成功，需要新的思维和工艺方法，还需要使用更高级的工艺工具。生产者需要着重于促进更好的工艺，在生产中不断的控制它们。

工艺发展

含铅组装宽的温度工艺窗口使生产者远离肮脏的工艺。很多组装者几乎不知道确切的工艺限度，很少给他们的回流炉和波峰炉设置温度曲线。更糟糕的是，当决定他们的工艺设置的质量时，许多工艺工程师更多的依赖于他们对于工艺数据的主观解释，而不是客观而科学的方法。为了建立一个适合于无铅产品的温度工艺发展方案，事实证明以下三步方法是有效的。

限定规格（工艺窗口）

在这个工艺中，限定工艺窗口是一个重要部分。产品的质量基本上依赖于恰当的窗口内的生产板。而这有特别地基于焊膏的性质，还要考虑许多其他的因素。敏感元件需要和普通焊膏性质不同的工艺窗口。板上和板下的温度可能要不同。元件可能被放置在某一指定的区域，如果温度升高到足以回流到那些元件密集区域时，留出板可能焦化的区域。

恒量工艺

通过测量曲线的结果，决定在指定的工艺窗口下一种工艺方法或炉子的装配是否适合于生产产品。我们必须决定每个元件上每个热电偶的结果是否符合每个已建立的数据。这个可能耗时，主观，而且还需要以前的回流工艺知识。一个有用的设想叫做工艺窗口指数 (PWI)。给出一个曲线，它计算出现有的工艺窗口有多少用于它的工艺规格。高于100%的表明超出曲线范围，等于100%的 PWI 显示曲线包括了整个工艺窗口。这是一个不稳定的工艺，任何沉积物都将导致曲线超出它的限度。只要在温度曲线范围内，曲线越低，位置越好，曲线将指向工艺窗口的中间。

改善提高（优化工艺）

一旦决定了一种方法是好还是坏，就必须改善或优化工艺。在一台典型的回流炉上，可能有无数种可供选择的配置。现代的曲线工具和特殊化的软件能够在几秒钟内搜索到所有的配置并选择出最适合的。“最适合”的可能是指向工艺窗口中间的那条曲线，或者可能是产量最快，或者是二者的综合。这极大的影响到无铅产品的质量和生产率。

工艺控制 (CPK)

一旦电子制造商彻底采用无铅工艺就会开始生产。由于狭窄的无铅工艺曲线，留给不可避免的有温度、导轨速度、速率变化等引起的工艺堆积物的空间就很小了。统计工艺控制(SPC)数据可能对工艺控制有帮助，但是难度较大。所幸目前市场上有几种连续控制系统，这种系统提供实时工艺数据（每块PCB板上真实曲线的数据，而不是来自炉子的数据）。当超出曲线范围时，这种连续控制系统就会即时报警。它还可以控制每个操作部分的 CPK 层次。这样通过在超出曲线范围之前就对失控工艺实时报警，可以保证产品的零缺陷。

结论

现在有些公司，特别是日本的一些消费电子产品公司，正在大量生产无铅产品，并且成效卓著。另外，国际上在不同的实验室和生产线，广泛的进行了无数的有一定产量、强度和终生测试的无铅实验。也许这些测试会出乎意料地真正证明：在正确的工艺操作下，无铅焊点比标准的含铅焊点更牢固，有更长期的可靠性。

西门子 Dematic 电子对锡/银/铜焊膏进行的一个突破性的研究推论说，最高温度为 232℃ 的润湿性和焊点强度和最高温度 257℃ 时一样。这一发现意义重大，因为它说明对于现在那些温度不能超过 240℃ 的敏感元件，只要工艺发展和控制适当，就可以用于无铅工艺。我们还需要对无铅最高温度低

于 240℃ 作另外研究, 但是如果这一发现得到证实, 就不需再等待新的抗高温元件了。

可喜的是, 尽管制造商需要操作更狭小的工艺窗口, 却不会带来什么额外的成本。除了一些非常陈旧, 短, 而且设计糟糕的回流炉, 现在炉子都能够进行无铅工艺操作。但是可能需要工艺发展和控制的工具。那些积极转换无铅产品的 OEM 公司, 很快将不仅受益于焊点更牢固, 而且在市场上也有竞争力。同样, CMS 公司将给客户在这个竞争极其激烈的行业提供新的赢得市场的能力。

F. Baldwin, Philip Kazmierowicz, 《消除无铅回流烦恼》, Apex 2003。

考

1. Greg Jones, Ph.D., 《作好无铅组装的准备了吗?》表面贴装杂志, JUNE 2000。
2. Robert Pfahl, Ph.D. 环境意识电子学杂志, 《无铅在北美 TWG 的地》。Nov. 2002。
Brian Richards, Ph.D, 《无铅焊接是独立的部分吗?》英国国家物理实验室, 2003。
3. Jasbir Bath, 《可制造的无铅表面组装工艺》Jan. 2003, 电路组装杂志
4. Dongji Xie, Minna Arra, Hoang Phan, Dongkai Shangguan, David Geiger, Sammy Yi, 《手工产品无铅焊点的生命预示》May 15, 2002, Telecom Hardware Solution conference。
5. Arun Gowda, 《无铅返修的挑战》。Feb. 5, 2002, 泛太平洋研讨会。
6. Phil Zarrow, 《无铅——行动, 而不要反应!》电路组装杂志, June 2000。
7. Hyoryoon Jo, Ph.D., Benjamin E. Nieman, Ning-Cheng Lee, Ph.D., 《微孔无铅焊接空洞》。
8. Hemant Belbase, 《无铅焊接材料、可靠性和工艺优化》。UML Graduate Student Thesis, 2000。
9. Paul M. Harrison, Brian J. Lewis, Daniel