

# Product Document

## LED 无铅回流焊的详细介绍

### 应用说明



适用范围：  
欧司朗光电半导体有限公司的所有 SMT LED

### 摘要

符合 RoHS 的 SMD 元件与无铅加工之间的相互作用可能导致复杂化，因为锡铅工艺技术知识仅部分适用于新的材料系统。

除了提供无铅回流焊工艺的一般说明外，本应用说明还详细展示并解释了创建焊接曲线的关键参数。为了应对不确定性和导致的问题，本应用说明还提供了加工 SMD 发光二极管 (LED) 的详细建议。

需要特别注意防止对使用的 SMD 元件和印刷电路板基板造成热损伤。

作者: Retsch Stefanie / Lang Kurt-Jürgen

## 目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| A. 简介 .....                    | 2  |
| B. IPC/JEDEC J-STD-020E .....  | 3  |
| C. 回流焊炉 .....                  | 5  |
| D. 温度曲线 .....                  | 6  |
| P1 预热区 .....                   | 7  |
| P2 浸润区 .....                   | 7  |
| P3 回流焊区 .....                  | 7  |
| P4 冷却区 .....                   | 8  |
| E. 回流焊曲线最重要参数的总结 .....         | 8  |
| F. 欧司朗光电半导体有限公司的建议和最大允许值 ..... | 8  |
| G. 回流焊曲线和其他回流焊错误导致的元件损坏 .....  | 10 |
| 接口断开 (模具-粘合剂-引线框架) .....       | 10 |
| 裂纹 .....                       | 11 |
| 焊接缺陷 .....                     | 11 |
| H. 可能优化回流焊曲线的措施 .....          | 12 |
| I. 总结 .....                    | 13 |
| J. 参考资料 .....                  | 13 |

## A. 简介

回流焊已被确定为适用于 SMD 元件接触和贴装的全球行业标准。

回流焊中的必要工艺步骤始终是在贯通式焊炉中对之前涂抹的焊料沉积物 (焊膏) 进行一致的熔化。在技术上, 通过热空气或氮气的强制对流实现最一致的电路板加热。

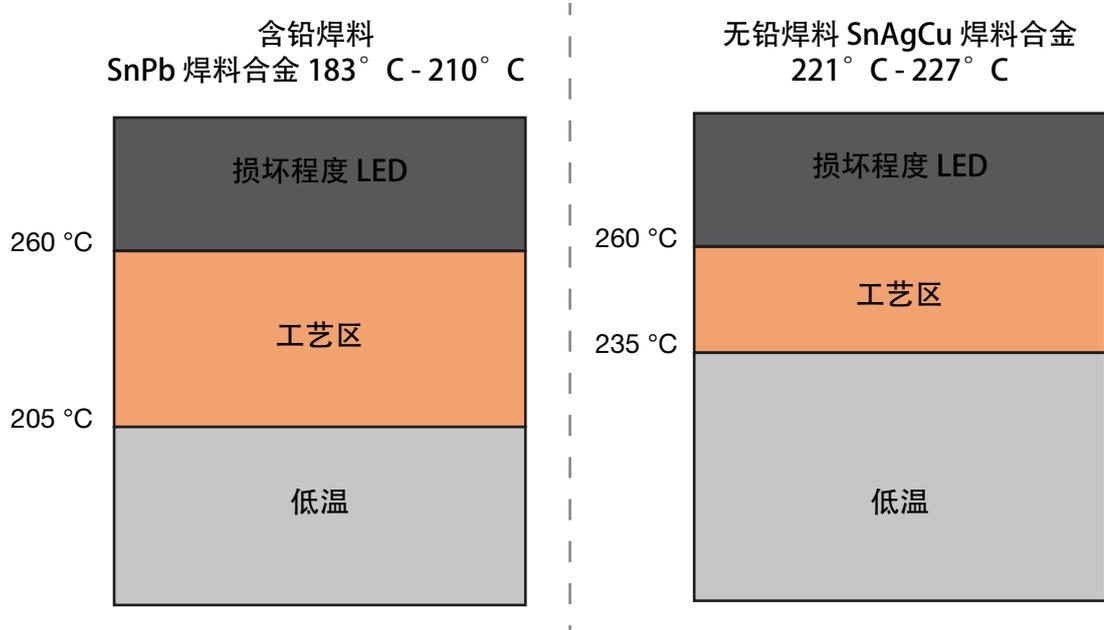
由于 RoHS 指令于 2006 年 6 月生效, 因此, 一直仅将无铅化合物 (通常为 SnAgCu) 用作焊料, 取代了之前的 PbSn 合金。

由于之前的含铅焊料专业知识不能直接应用到无铅材料系统中, 因此可能发生与元件相关的加工问题。

无铅合金具有更高的熔点。只通过改变焊料和增加相关工艺温度来调节到此熔点在程序上是不够的，不能产生期望的结果。

由于有条件地减小了无铅焊接材料的工艺窗口，因此必须对焊接设备（例如焊炉设计）和实际工艺控制多加注意。此外，还必须考虑应用特定和元件特定的特性。

图 1: 锡铅与无铅焊料的工艺窗口比较



如果没有精确的微调，则因热应力而导致元件损坏的风险将增加。最终，为了进行无铅焊接，必须在将所需热量减少到必要的最小值和在短时间内以最小温差传递必要热量的高效回流焊工艺之间找到折衷方案。

## B. IPC/JEDEC J-STD-020E

IPC/JEDEC 标准 J-STD 020E “非密封表面贴装器件湿度 / 回流焊敏感度分类” [1] 是 LED 所属类别的具有塑料或其他透湿封装的 SMD 的回流焊的主要基础和参考点。

这包括就湿度特性（MSL — 湿度敏感等级）对 SMD 元件进行分类的一般要求和限值以及由此产生的封装、储存和处理措施。这样做的目的是确保在使用回流焊进行生产的过程中避免损坏。

回流焊最重要的一点是根据元件的封装厚度和体积确定最高耐受温度（表 1）。在元件顶部测量的分类温度 TC 表示制造商通常已认证的最高封装温度，以及在指定的湿度敏感度下确保耐温性和加工性的最高封装温度。

封装温度定义为“封装峰值温度”(PPT),通常也被称为“封装回流焊温度”。由于术语“回流焊”,通常也会错误地认为该温度是指进行焊接的过程,即焊接温度。

表 1: 根据无铅加工的外壳厚度和体积确定的最高耐受温度  $T_c$  (J-STD-020E)

| 封装厚度            | 体积, 单位: $\text{mm}^3$<br><350 | 体积, 单位: $\text{mm}^3$<br>350 - 2000 | 体积, 单位: $\text{mm}^3$<br>>2000 |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| < 1.6 mm        | 260 ° C                       | 260 ° C                             | 260 ° C                        |
| 1.6 mm - 2.5 mm | 260 ° C                       | 250 ° C                             | 245 ° C                        |
| > 2.5 mm        | 250 ° C                       | 245 ° C                             | 245 ° C                        |

MSL 和 PPT 值仅用于产品特征描述,提供与半导体元件进行回流焊的坚固性相关的信息,或设置元件在加工(焊接)前需要额外的干燥过程前可以暴露于受控环境的时间窗口。

关于加工,JEDEC 标准包含相关关键数据和普遍适用的限值(表 2),还提供了回流焊工艺的通用基本温度 - 时间特性曲线(=焊接曲线)(图 2)。

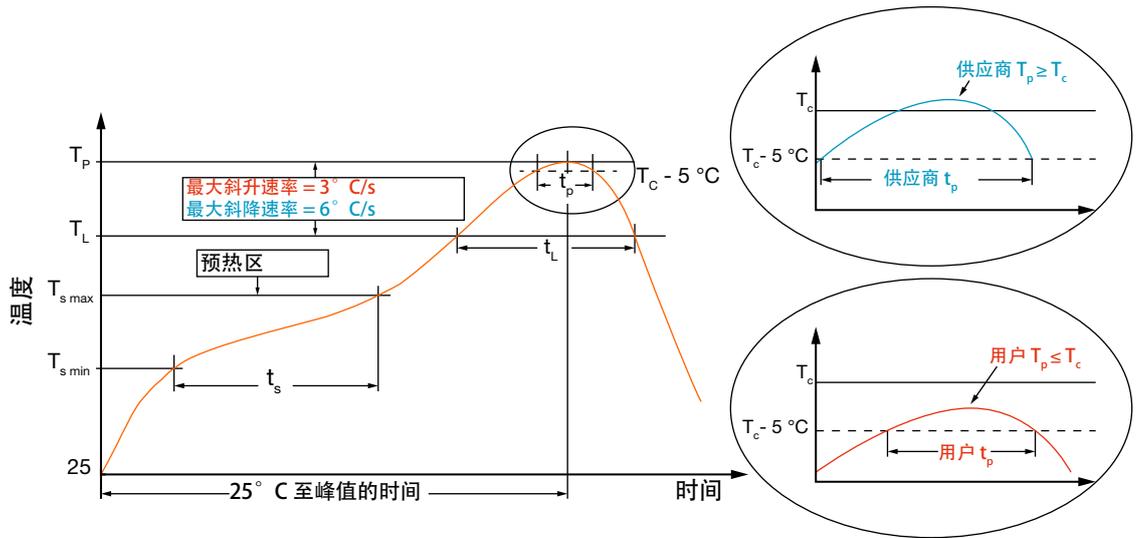
表 2: 回流焊曲线的相关关键数据和限值

| 曲线特性   | 无铅加工   |
|--|--|
| 预热 / 浸泡  |  |
| 最低温度 ( $T_{s \text{ min}}$ )                               | 150°C  |
| 最高温度 ( $T_{s \text{ max}}$ )                               | 200°C  |
| 时间 ( $t_s$ ) ( $T_{s \text{ min}}$ 至 $T_{s \text{ max}}$ ) | 60-120 秒   |
| 斜升速率 ( $T_L$ 至 $T_p$ )                                     | 最大 3°C/ 秒  |
| 液相线温度 ( $T_L$ )  | 217°C  |
| 保持高于 $T_L$ 的时间 ( $t_L$ )                                   | 60-150 秒   |
| 封装本体峰值温度 ( $T_p$ ) <sup>1</sup>                            | 对于用户, $T_p$ 不得超过分类温度<br>对于供应商, $T_p$ 必须等于或超过分类温度 |
| 与规定的分类温度 ( $T_c$ ) 之差在 5°C 内的<br>时间 ( $t_p$ ) <sup>1</sup> | 30 秒 <sup>2</sup>                                |
| 斜降速率 ( $T_p$ 至 $T_L$ )                                     | 最大 6°C/ 秒  |
| 25°C 至峰值温度的时间  | 最长 8 分钟  |

<sup>1</sup>曲线峰值温度 ( $T_p$ ) 的公差定义为供应商最小值和用户最大值

<sup>2</sup>曲线峰值温度 ( $t_p$ ) 时的时间公差定义为供应商最小值和用户最大值

图 2: 根据 J-STD 020E 进行回流焊的一般分类曲线



上图一方面再次显示了制造商如何测量和使用封装温度作为限制，另一方面显示了客户如何在加工过程中测量和使用封装温度。另外，JEDEC 标准规定所有温度指的是封装中心温度，应在焊接时朝上的封装表面区域上进行测量（“端子向下的封装”）。

### C. 回流焊炉

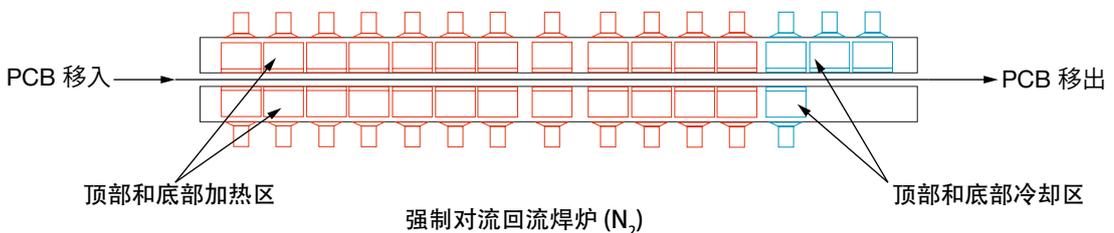
每个回流焊工艺的重点及显著影响因素是用于熔化焊膏的焊炉（图 3）。RoHS 指令和相关更高工作温度的引入意味着对现代回流焊炉的需求日益增加，包括要评估的新焊接工艺。

重点在于精确可调的温度曲线、精确的可重复性和最低能源需求，同时确保易于处理和最高产量。

在此情况下，最重要的目标是传热的稳定性和均匀性，以最大程度减小待焊接电路板的温差 ( $\Delta T$ )。

在现代对流回流焊炉中，通过流动的空气或氮气传递热量，根据区域的不同进行加热或冷却。

图 3: 欧司朗光电半导体有限公司使用的具有 12 个加热区和 3 个冷却区的回流焊炉示意图



电路板的有效能量传递由气体的流速决定。由于元件的尺寸和质量不同，必须设计流速，使其可调以避免偏移或元件被吹走。

即使焊炉的装载不同，工艺区的稳定性也通过分离各个加热区、使用强大的加热元件以及精确快速的温度控制实现。

为了确保稳定的焊接工艺，回流焊炉应具有以下特点：

- 单独控制的加热区（顶部和底部）
- 通过尽可能多的加热区实现可变曲线设置
- 不同区域的温度和流量没有相互影响
- 受控的流量和流速
- 整个工艺的温度和流动特性相同
- 无阴影效应
- 无元件偏移
- 快速升温
- 单独可控的冷却区，具有顶部和底部冷却

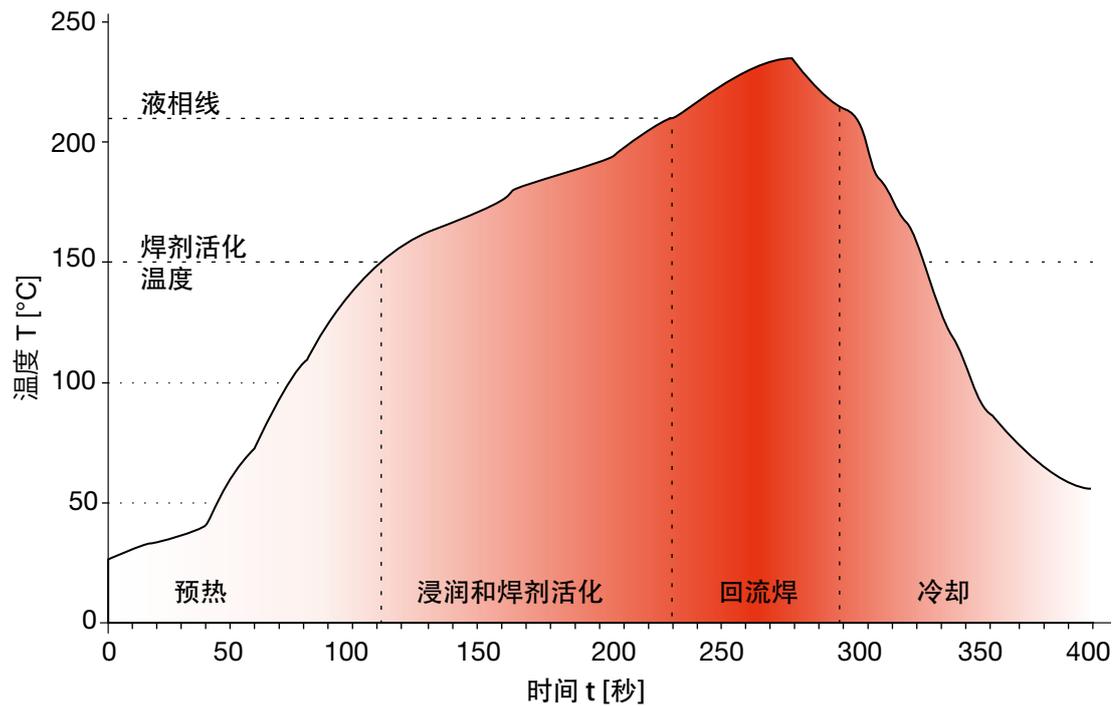
#### D. 温度曲线

为了创建理想的电子模块温度曲线，应已知并考虑涉及的所有影响因素（例如：焊膏、热质量、元件的数量和尺寸、电路板设计、印刷电路板的材料和构造、焊炉）（请参见技术应用文章“[在回流焊过程中测量温度曲线](#)”）。

焊膏制造商的建议应用作曲线创建的起点。此时，获得最佳结果的相关参数（或限值）通常已由制造商指定。与所用印刷电路板的可焊性相关的信息通常不可用，因此，焊接曲线创建的粗略估算只能基于材料（FR4 或 IMS）、设计（层数）和表面润湿性。应特别注意 SMD 元件的规定最大负载限值的曲线创建。通常，元件制造商参考 JEDEC J-STD-020、J-STD-075 和 IEC 60068-2-58 等相关标准。

回流焊曲线可以分为四个阶段（图 4）。了解这四个阶段对于创建回流焊温度曲线至关重要。

图 4: 回流焊曲线的 4 个阶段



### P1 预热区

在第一步中，将电路板、SMD 元件和焊料加热到特定的温度（取决于使用的焊膏，在 120°C 和 150°C 之间），在此温度下，焊膏中包含的溶剂和水分缓慢蒸发。加热梯度不得超过 2°C/s。更快的加热速度一方面会降低焊膏和焊球的轮廓稳定性，另一方面，大于或等于 3°C/s 的温度梯度可能会损坏元件和基板。还可能导致开裂和分层等缺陷。

### P2 浸润区

浸润区也被称为焊膏干燥区或活化区，必须在整个电路板上尽可能均匀地稳定温度。与此同时，该区域还用于活化焊剂，即焊剂变为液态，清洁待焊接的表面。浸泡时间应持续 60 - 120 秒，而许多无铅焊料产品制造商规定最长为 90 秒。与单纯的红处线炉相比，行业中主要使用的强制对流焊炉能够实现更均匀的传热。这样能够更加均匀地加热电路板，在达到液相线温度前产生更加线性的加热曲线，这取决于电路板尺寸、模块密度和尺寸以及焊炉效率。

### P3 回流焊区

在此区域进行实际熔化和焊接。到达回流焊区时，通常在达到峰值温度前以大约 2°C/s 的升温速率升高温度。峰值应为液相线温度以上 20°C 至 40°C，标准 SAC 焊料的峰值应为 217°C。在液相线以上的时间应限制为 30 - 90 秒，以减少过度增长的金属间相，同时限制可能降低焊点可靠性的不必要的溶解作用。在液相线和 / 或过高峰值温度以上保持的时间过长，一方面会导致热损坏或在极端情况下导致回流焊后残余物炭化，另一方面会损坏 SMD 元件和印刷电路板基板。一般情况下，建议使用焊膏制造商的建议值创建初始曲线，如有必要，根据电路板的特性调节曲线。

## P4 冷却区

在冷却区，应保持  $3^{\circ}\text{C/s}$  的冷却速率，以便均匀冷却元件、印刷电路板和焊料。这样能够最大程度减小对模块封装和焊点产生的应力。

应特别注意元件与印刷电路板基板之间具有截然不同的膨胀系数的电路板，例如陶瓷基 LED 和铝制 MCPCB。超过允许的冷却梯度将导致元件和基板损坏。同样，在焊料凝固期间，不再产生无松弛的张力。缓慢冷却 ( $\leq 0.5^{\circ}\text{C/s}$ )，尤其是在熔点周围的温度下，会使焊料产生较粗的颗粒结构，这可能影响焊点的可靠性并增加焊点出现结晶外观的可能性（哑光外观）。

## E. 回流焊曲线最重要参数的总结

根据上文的细分，可以使用以下参数充分描述回流焊曲线：

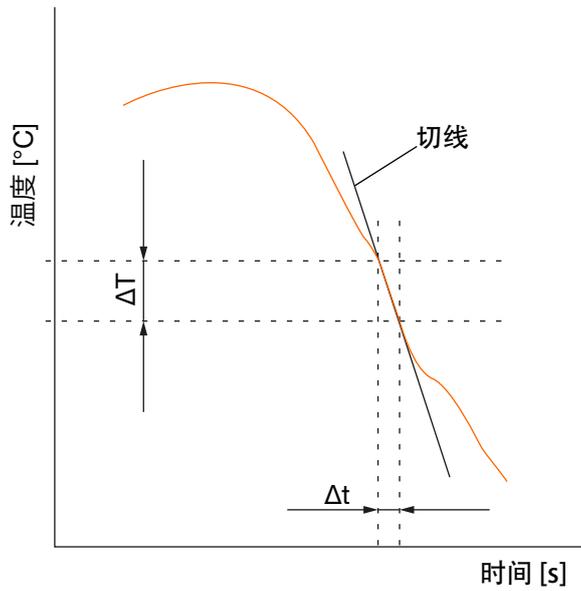
- 升温速率分为两个区域， $25^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$  和  $T_{\text{smax}} - T_{\text{p}}$
- 浸润时间
- 液相线以上的时间 TL
- 峰值温度  $T_{\text{p}}$
- 降温速率
- 温度为  $T_{\text{Peak}} - 5\text{K}$  时的时间
- 特殊特性（梯度跃迁）

## F. 欧司朗光电半导体有限公司的建议和最大允许值

虽然许多 SMD 元件制造商在早期就提供了无铅元件，而且部分制造商从 2002 年开始彻底使用符合 RoHS 的工艺，但是仍存在与在无铅工艺中加工 SMD 相关的问题或困难。

为了应对现有的不确定性和产生的问题，欧司朗光电半导体有限公司为在无铅焊接工艺中加工 SMT LED 提供了详细的建议。图 6 显示了建议的温度 - 时间曲线。表 3 也包含关键曲线参数列表，在该列表中，建议值表示合适的初始起点。必须根据待焊接元件的个性化需求调整这些参数。规定的温度值始终指的是封装峰值温度 (PPT)。加热和冷却阶段的梯度构成了一个同样重要的参数，以便评估和评价回流焊曲线。用于计算的时间间隔也至关重要。为了准确评估曲线，有必要确定整个时间的梯度。为了确定这些梯度，欧司朗光电半导体有限公司使用了以下计算方法 (图 5)。

图 5: 欧司朗光电半导体有限公司计算梯度的基础



$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \text{斜率} \quad (\Delta t = \text{最长 } 5 \text{ 秒})$$

此公式应用于加热 ( $25^{\circ}\text{C} - T_P$ ) 和冷却 ( $T_P - 100^{\circ}\text{C}$ ) 阶段。

表 3: 建议的回流焊工艺的曲线参数

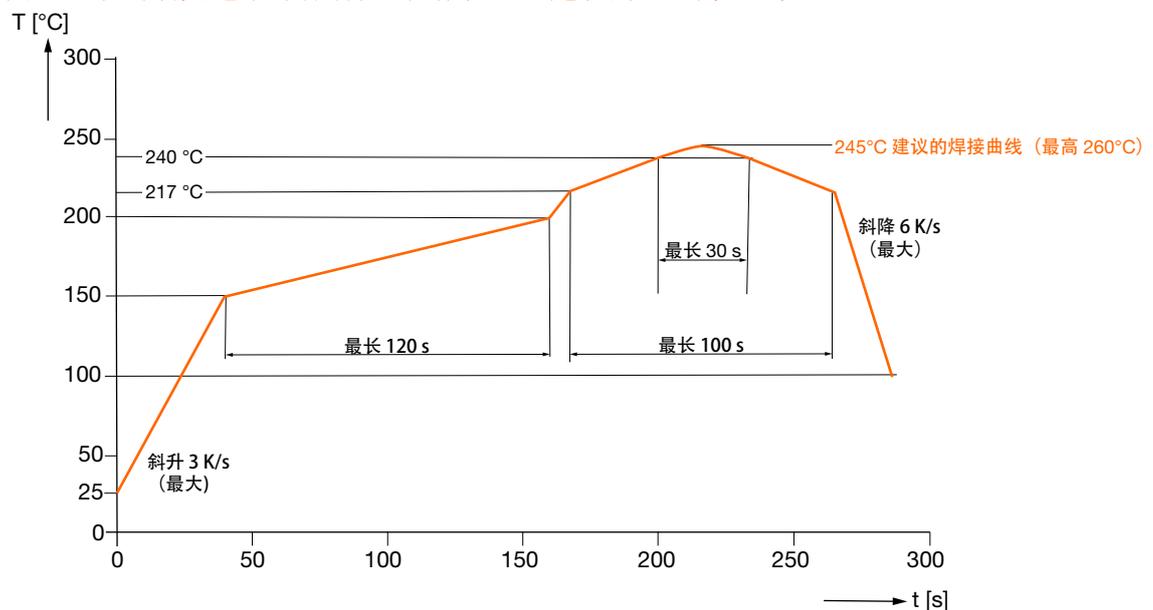
| 无铅组件 (SnAgCu)  |       |                           |
|--|-------|---------------------------|
| 曲线特征   | 建议    | 最大额定值                     |
| 预热的斜升速率<br><sup>1</sup> 25°C 至 150°C   | 2°C/秒 | 3°C/秒                     |
| 从 $T_{S \text{ min}}$ 到 $T_{S \text{ max}}$ 的时间 $t_S$<br>(150°C - 200°C)                       | 100 s | 最短 60 秒; 最长 120 秒         |
| 峰值的斜升速率<br><sup>1</sup> $T_{S \text{ max}}$ 至 $T_P$  | 2°C/秒 | 3°C/秒                     |
| 液相线温度 $T_L$  | 217°C |                           |
| $T_L$ 以上的时间 $t_L$  | 80 秒  | 最长 100 秒                  |
| 峰值温度 $T_P$   | 245°C | 最高 250°C/260°C<br>取决于封装类型 |
| 备注: 所有温度指的是在元件顶部测量的封装中心温度 <sup>1</sup> 斜率计算 $\Delta T/\Delta t$ : $\Delta t$ 最长 5 秒; 符合整个 T 范围 |       |                           |

表 3: 建议的回流焊工艺的曲线参数

| 无铅组件 (SnAgCu)  |                            |   |
|--|----------------------------|---|
| 曲线特征   | 建议                         | 最大额定值   |
| 与规定的峰值温度 $T_P - 5\text{ K}$ 之差在 $5^\circ\text{C}$ 内的时间 $t_P$ | 20 秒                       | 最短 10 秒; 最长 30 秒  |
| 斜降速率<br>$^1T_P$ 至 $100^\circ\text{C}$                        | $3^\circ\text{C}/\text{秒}$ | 最大 $4^\circ\text{C}/\text{秒}$ / $6^\circ\text{C}/\text{秒}$<br>取决于封装类型 |
| $25^\circ\text{C}$ 至峰值温度的时间                                  |                            | 最长 8 分钟   |

备注: 所有温度指的是在元件顶部测量的封装中心温度 <sup>1</sup>斜率计算  $\Delta T/\Delta t$ :  $\Delta t$  最长 5 秒; 符合整个 T 范围

图 6: 欧司朗光电半导体有限公司为 LED 建议的回流焊曲线



## G. 回流焊曲线和其他回流焊错误导致的元件损坏

通常，优化流水线等商业需求或基于回流焊炉之后电路板的最低输出温度后续测试过程的需求在创建回流焊曲线期间处于重要位置。

这些需求通常只能通过将相对较高的输送速度与冷却区内更高的峰值温度或极端冷却梯度相结合来满足。因此，经常会达到或超过元件的允许热应力限值，从而可能导致损坏，甚至是自发性故障。

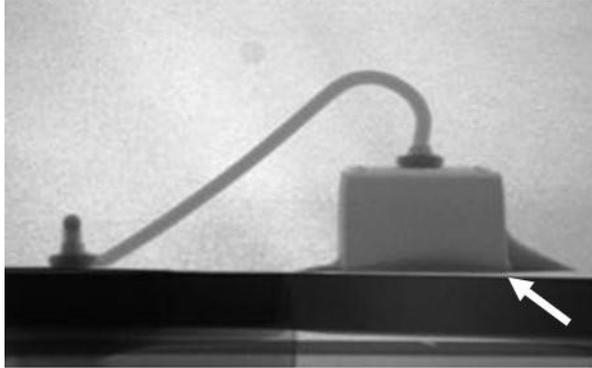
LED 的此类热过载可能导致的一些缺陷的示例图如下所示。

### 接口断开（模具 - 粘合剂 - 引线框架）

LED 可能出现的缺陷如图 7 所示。这是由于过高的峰值温度和极端冷却梯度产生的热机械过载导致的。

LED 的热致张力非常高，以致于引线框架与芯片粘合剂之间的连接点被撕开。在 X 射线图像中，可以清晰地看到分离的芯片，包括粘合剂。

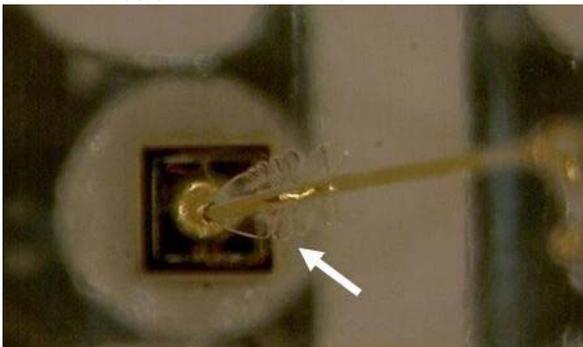
图 7: 元件损坏示例（引线框架与芯片胶之间裂开）



### 裂纹

“蛇形裂纹”（图 8）可能损害 LED 的光学特性。LED 铸造材料中的这些裂纹也是极端焊接曲线与使用过高水分含量加工的元件相结合导致的。

图 8: 元件损坏示例（裂纹）



### 焊接缺陷

这是一种常见的焊接缺陷，主要是小规模发生，通常发生在两个引线或芯片元件上，被称为元件立起。此时，由于焊接过程中焊盘上的力不平衡，因此元件的一侧被拉起，导致无法在同一个接线插脚上形成与焊盘的电气接触。

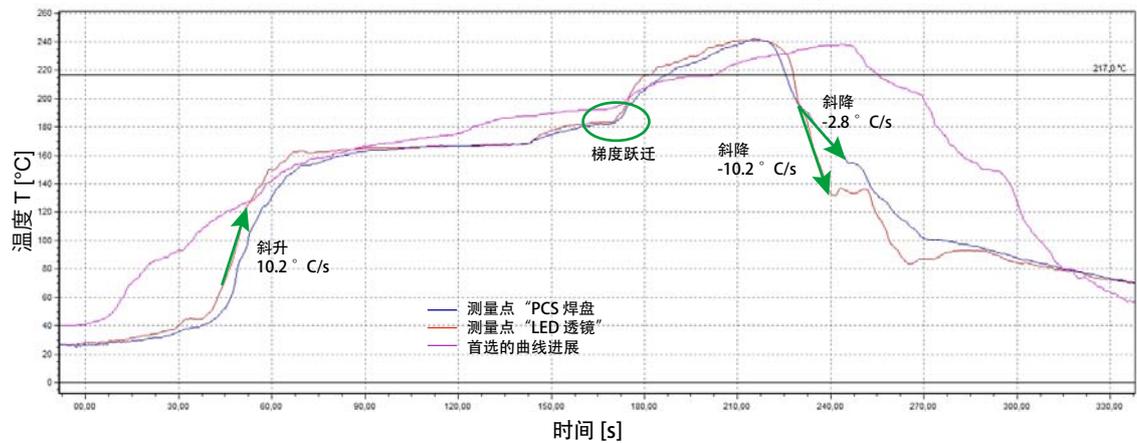
如果我们比较两种曲线：鞍形曲线和线性曲线，我们可以看出，鞍形曲线 [3] 产生这种缺陷的次数更多。这可以通过鞍形曲线中从浸泡阶段到回流焊阶段（焊料熔化阶段）的更明显的过渡加以解释。在此情况下，我们可以谈及梯度跃迁。温度突然出现这种升高时，元件损坏的风险也会增大。发生元件立起效应的可能性还会受到厂内大气（空气或氮气）、输送速度和所用焊膏的润湿特性以及焊盘不对称等其他因素的强烈影响。此外，这些因素始终相互作用。

例如，可用于产生上述缺陷类型的焊接曲线如下图所示（图 9）。

这种实际测量的曲线再次显示了焊盘上的温度测量点与元件封装上的测量点之间的明显差异。我们在此尤其可以看出冷却梯度的明显差异。

极端加热和冷却梯度以及明显的梯度跃迁可能导致焊接缺陷和 / 或过大的热应力，从而损坏元件。

图 9：具有突然加热或冷却曲线进展和梯度跃迁的不合适回流焊曲线示例

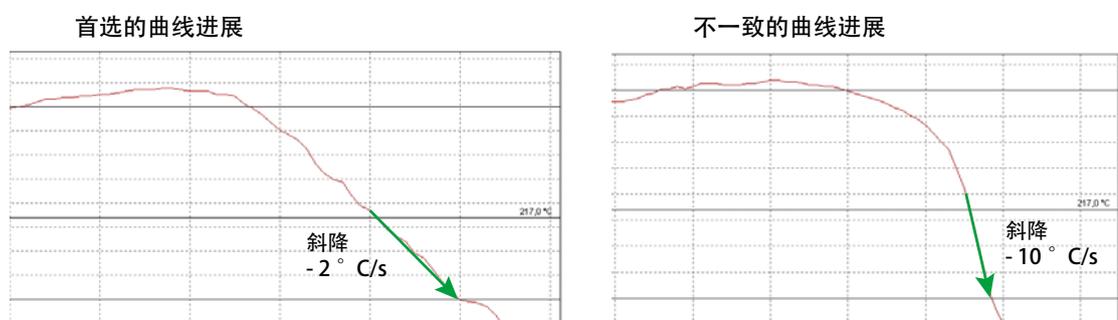


## H. 可能优化回流焊曲线的措施

如上文所述，错误地选择参数和建议会对待焊接的元件造成严重损坏。以下参考应有助于指出分别优化回流焊曲线的可能性，以尽可能实现几乎无需修改的 LED 友好焊接过程。

- 将峰值温度限制为大约  $240^{\circ}\text{C}$
- 线性加热
- 避免梯度跃迁（从浸泡区过渡到回流焊区）
- 液相线温度以上的时间间隔内峰值温度周围的曲线进展一致（图 10）
- 使用最后一个加热区进行缓慢冷却（大约  $170^{\circ}\text{C}$ ）
- 对于主动冷却区：增大冷却装置的工作点（通常只能由设备制造商完成）
- 冷却区：将风扇转速降至最小值
- 降低输送速度（可能需要同时调节 ↓ 所有加热区的温度）

图 10：液相线温度以上的时间段内不同曲线进展的示例



## I. 总结

本技术应用文章再次展示并详细说明了用于创建无铅回流焊曲线的关键参数。它的重点是防止对使用的 SMT 元件和 PCB 基板造成热致损坏。

最后提出的建议用作起点，始终必须根据电路板的不同情况和制造环境（焊炉等）进行调整。

无铅焊膏的工艺要求不断增加，同时工艺窗口减少，也迅速使回流焊炉达到了极限。因此，有必要应用焊炉的所有可能的技术机会以实现最佳曲线设置。

如 JEDEC 所述，本文显示的限值应被视为在元件鉴定中测试的数值的绝对上限，因此不得在制造过程中使用。

如众多研究和论文 [4] 所示，优化且受控的焊接过程不仅是电路板组件功能效率的先决条件，而且会显著影响焊点的质量及其可靠性。

## J. 参考资料

- [1] IPC/JEDEC J-STD-020E, 2014 年 12 月。
- [2] JEDEC 出版号 140。
- [3] Hans Bell 博士, Reflowfehler und Reflowprofile, Rehm Thermal Systems GmbH, 2007 年 9 月。
- [4] Hans Bell 博士, Reflowlöten Grundlagen, Verfahren, Temperaturprofile und Lötfehler, Eugen G. Leuze Verlag Bad Saulgau, ISBN 3-87480-202-7。
- [5] P. John Shiloh 和 John Malboeuf, 如何为 PCB 创建曲线, Novostar Technologies, 2005 年。



请牢记：LED Light for you 是您为 LED 照明项目寻找信息或全球合作伙伴时的理想之选。

[www.ledlightforyou.com](http://www.ledlightforyou.com)

#### 关于欧司朗光电半导体有限公司

德国慕尼黑的欧司朗是全球领先的两家照明灯制造商之一。位于雷根斯堡（德国）的欧司朗光电半导体有限公司是它的子公司，为客户提供基于照明、传感器和可视化应用半导体技术的解决方案。欧司朗光电半导体有限公司在雷根斯堡（德国）、檳城（马来西亚）和无锡（中国）设有生产基地。它的北美总部设在森尼韦尔（美国），亚洲总部设在香港。欧司朗光电半导体有限公司还在全球范围内设立了销售办事处。欲了解更多信息，请访问网站 [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com)。

#### 免责声明

在使用本档信息之前，请仔细阅读以下条款和条件。若您不同意这些条款或条件的，请勿使用本信息。本一般资料文件所载的信息系我司谨慎拟订，但仍基于德国欧司朗光电半导体有限公司“按现状”提供的信息基础上。欧司朗光电半导体有限公司不对该等信息承担任何保证或责任，无论明示或暗示，包括但不限于对任何正确性、完整性、市场性、适用性、所有权或不侵犯权利的保证。欧司朗光电半导体有限公司在任何情况下均不对因使用本信息而产生的任何直接、间接、特殊、附带、惩戒性、后果性或惩罚性损害赔偿承担任何责任（无论基于何种法律理论）。即使欧司朗光电半导体有限公司被告知可能存在损害，以上限制性声明仍应适用。若由于某些司法管辖不允许排除某些保证或责任限制，上述限制和排除可能不适用的，在这种情况下，欧司朗光电半导体有限公司的责任在法律允许的最大范围内仍应适用。

欧司朗光电半导体有限公司可随时更改其提供的信息，而无需通知用户，且没有义务提供与所提供信息相关的任何维护或支持。欧司朗所提供的资料是根据特殊条件提供的，这意味着不能排除发生变化的可能性。

本文件未明确授予的任何权利均予以保留。除使用本文件提供的信息的权利外，不授予任何其他权利，也不应推断存在任何需要授予进一步权利的义务。任何与专利和专利申请有关的权利和许可均被明确排除在外。

除非适用法律要求，未经欧司朗光电半导体有限公司的事先书面许可，禁止以任何形式复制、传输、分发或存储本文件的全部或部分內容。

欧司朗光电半导体有限公司 (OSRAM Opto Semiconductors GmbH)

总部:

Leibnizstr. 4  
93055 雷根斯堡  
德国  
[www.osram-os.com](http://www.osram-os.com)

**OSRAM**  
Opto Semiconductors