

贴片元器件——回流焊工艺介绍

在电子制造行业中，回流焊工艺扮演着至关重要的角色，它不仅提高了生产效率，还确保了焊接质量的一致性。回流焊是一种在受控环境下进行的焊接过程，其中，焊料（通常为焊膏）被预先印刷或分配到 PCB 上的特定焊盘位置。随后，通过回流焊炉，PCB 经历一系列精确控制的温度变化，使得焊料熔化并形成稳定的焊点。

本介绍将详细阐述回流焊工艺的基本原理、关键步骤、温度曲线的重要性以及对焊接质量的影响。我们将探讨回流焊炉的工作原理，包括预热、热回流和冷却阶段，以及如何通过优化这些参数来提高焊接效果。此外，我们还将讨论回流焊工艺在不同电子组装应用中的实践，以及如何通过先进的设备和技术提升工艺性能。

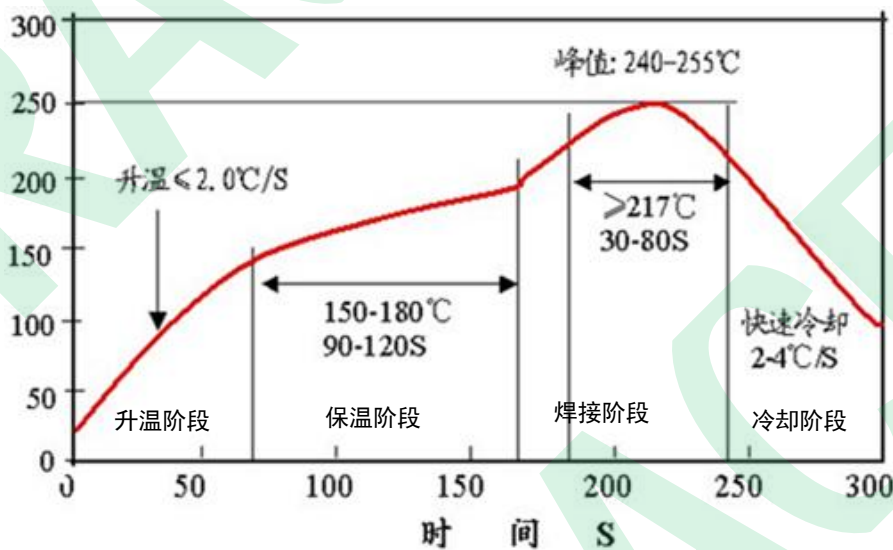


图 1 回流焊温度曲线图

在回流焊接过程中，印刷电路板（PCB）经历了一系列精确控制的温度变化，以确保焊膏正确熔化并形成可靠的焊点。以下是回流焊接过程中各个阶段的详细描述：

升温阶段：当 PCB 进入升温区，焊膏中的溶剂和气体开始蒸发。在这个过程中，焊膏中的助焊剂会在焊盘、元件端头和引脚上形成一层均匀的润湿膜，同时焊膏开始软化并覆盖焊盘，有效地将焊盘、元件引脚与氧气隔离，为接下来的焊接过程做准备。

在回流焊接过程中，印刷电路板（PCB）被送入回流焊炉，开始经历一系列精确控制的温度变化。初始阶段，PCB 从室温逐步加热至大约 150°C ，这一区域被称为升温区。在这个阶段，

时间的设定通常在 60 至 90 秒之间，而温度上升的速率（斜率）则控制在 2 至 4℃/秒。这样的设置确保了 PCB 上的元器件能够以相对均匀的速率升温，同时焊膏中的低沸点溶剂开始逐步挥发。

如果升温速率过快，即斜率过大，将导致焊膏中的低沸点溶剂迅速蒸发，可能引起焊膏飞溅，这会在焊炉后造成“锡珠”缺陷。此外，快速的温度变化还可能因热应力而导致机械损伤，如陶瓷电容微小裂纹、PCB 板变形或 BGA 内部损坏。

另一个潜在问题是焊膏在快速升温下可能发生塌陷，这可能是造成电路短路的原因之一。通过对制造厂的长期服务跟踪，发现许多厂商在 SMT 生产线上将升温区的斜率控制在 1.5 至 2.5℃/秒之间，能够获得满意的焊接效果。由于 PCB 上贴装的元器件尺寸和质量各异，升温区结束时，不同大小的元器件之间会出现较大的温度差异，这需要在焊接过程中予以考虑和补偿。

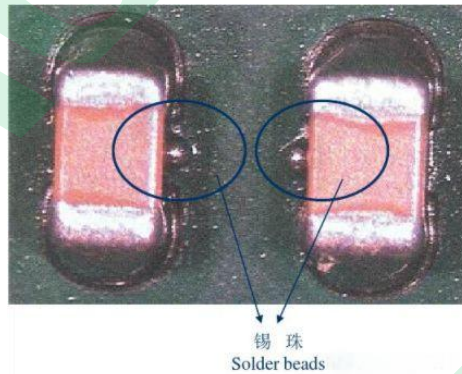


图 2 “锡珠”缺陷

保温阶段：随后，PCB 进入保温区，这个阶段的目的是让 PCB 和元件得到充分的预热。预热是为了防止 PCB 和元件在突然暴露于高温下而受到热冲击损伤，确保焊接过程的平稳过渡。

在保温区，焊膏中的有机溶剂继续挥发，同时，焊膏中的活性物质在温度的作用下被激活，开始清除焊盘表面、元件引脚以及锡粉合金粉末中的氧化物。这个阶段的平缓升温设计是为了确保 PCB 上不同尺寸的元器件能够均匀地升温，减少它们之间的温差，为接下来的熔融焊接阶段做好准备。这是预防“墓碑”缺陷的关键步骤。许多无铅焊膏，如 SAC305 合金焊膏，其活性剂的活化温度范围在 150-200℃ 之间，这也是为什么在这个温度区间内进行预热的原因之一。

在保温区的设置中，需要注意两个潜在问题：首先，如果预热时间过短，活性剂可能没有足够的时间与氧化物反应，导致焊物表面的氧化物未能有效清除，焊膏中的水分和低沸点溶剂未能完全蒸发，可能会在焊接时引起溶剂的猛烈沸腾和飞溅，产生“锡珠”。其次，如果预

热时间过长，活性剂可能会过度消耗，在熔融焊接阶段没有足够的活性剂来清除高温下产生的氧化物和助焊剂的残留物，这可能导致焊接后的“虚焊”、“残留物发黑”、“焊点灰暗”等缺陷。

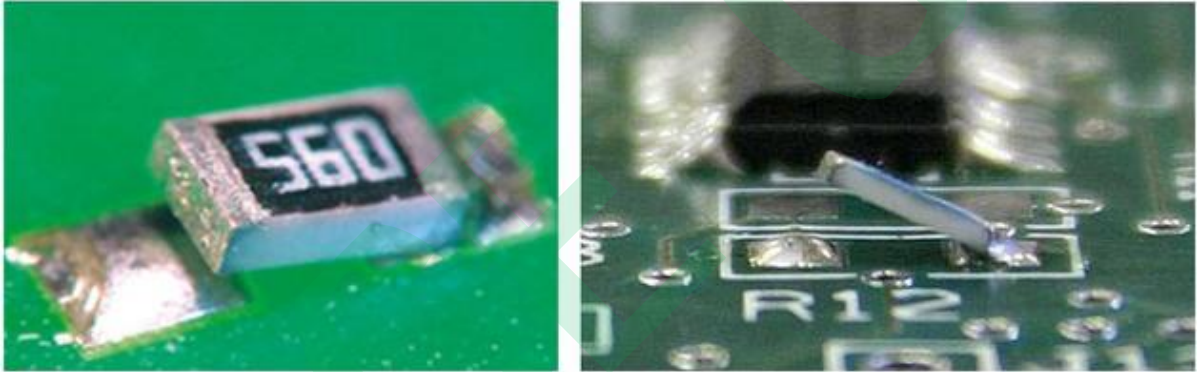


图3 “立碑”现象

焊接阶段：当 PCB 进入焊接区，温度迅速上升至焊膏的熔点。在这个高温下，焊膏完全熔化，液态焊锡开始润湿 PCB 上的焊盘、元件端头和引脚。焊锡通过扩散、流动或回流混合，最终形成均匀的焊点。

SAC305 合金的熔点位于 217°C 至 218°C 之间，因此在回流焊接过程中，焊料熔融阶段的温度应设置在 217°C 以上，峰值温度应控制在 245°C 以下，以确保焊料能够充分熔融并形成优质的焊点。这个阶段的时间窗口为 30 至 70 秒，以确保焊料有足够的时间流动并润湿焊盘，同时避免对电路板和元器件造成热损伤。

在焊接区，焊料开始熔融，焊膏中的各种组分开始发挥作用。松香或树脂在焊料周围形成保护膜，隔绝氧气。表面活性剂被激活，降低焊料与被焊面之间的表面张力，增强润湿力。活性剂继续与氧化物反应，清除高温下产生的氧化物和碳化物，直到反应结束。部分添加剂在高温下分解并挥发，不留残留物。高沸点溶剂随着时间挥发，在回焊结束时完全挥发。稳定剂均匀分布，保护焊点不受氧化。

焊料从固态转换为液态，并随着焊剂润湿扩展。在这个过程中，可能会发生少量不同的金属化学反应，形成金属间化合物，例如锡银合金中可能会生成 Ag_3Sn 或 Cu_6Sn_5 。

焊接区是温度曲线中最核心的区段，它对焊接质量有着决定性的影响。如果峰值温度过低或时间过短，液态焊料可能没有足够的时间流动并润湿焊盘，可能导致冷焊、虚焊、浸润不良、焊点不光亮和残留物多等缺陷。相反，如果峰值温度过高或时间过长，可能会导致 PCB

板变形、元器件热损坏、残留物发黑等缺陷。因此，需要在峰值温度、PCB 板和元器件能承受的
温度上限与时间、形成最佳焊接效果的熔融时间之间寻求平衡，以期获得理想的焊点。

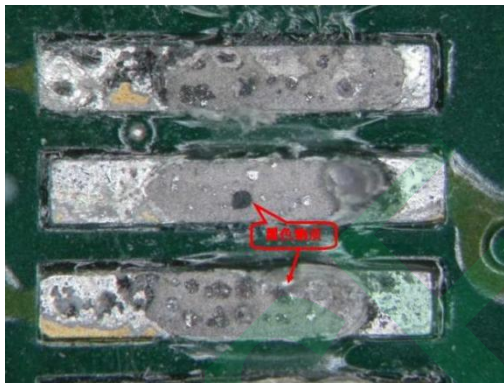


图 4 焊点处的黑色残留物

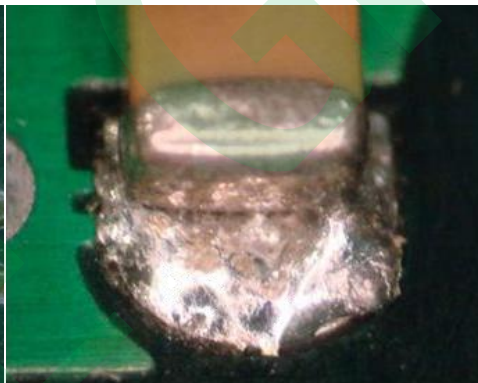


图 5 浸润不良



图 6 冷焊

冷却阶段：最后，PCB 进入冷却区，焊点迅速凝固，完成整个回流焊接过程。这个阶段对于确保焊点的质量和防止焊点在冷却过程中产生裂纹至关重要。

对于 SAC305 合金锡膏而言，冷却区通常定义在 217℃ 至 170℃ 之间的时间段。在这个区域，液态焊料开始凝固形成固态焊点，焊点的短期质量可能难以用肉眼判断，但焊点的长期可靠性与冷却速率密切相关，因此冷却区的设定不容忽视。

冷却区管理的关键在于控制冷却速率。多项焊接实验室的研究结果表明，快速冷却有助于获得稳定且可靠的焊点。这与人们的直觉相反，后者可能认为缓慢冷却可以减少对元器件和焊点的热冲击。然而，缓慢冷却可能导致焊点中形成较大的晶粒，以及在焊点界面层和内部产生较大的金属间化合物颗粒，如 Ag_3Sn 和 Cu_6Sn_5 ，这会降低焊点的机械强度和热循环寿命，有时还可能导致焊点表面光泽度低甚至无光泽。相反，快速冷却有助于形成平滑、均匀且薄的金属间化合物层，以及细小的富锡枝晶和锡基体中弥散的细小晶粒，从而显著提高焊点的力学

性能和可靠性。在生产应用中，冷却速率并非越大越好，需要综合考虑回流焊设备的冷却能力、电路板、元器件以及焊点能承受的热冲击。应在保证焊点质量的同时，避免对电路板和元器件造成损害。

在实际生产中，最小冷却速率应保持在 2.5℃/秒以上，以确保焊点质量。理想的冷却速率应在 3℃/秒以上，而最大冷却速率应控制在 6-10℃/秒以内，以适应元器件和电路板能承受的热冲击。因此，在选择回流焊设备时，选择具有水冷功能的设备可以提供更强的冷却能力储备，有助于实现最佳的冷却效果。

无限可能
可锐
锐意进取

GRACE

电路保护产品及解决方案提供商

www.gracevn.com