Application Note

MSL 等级和回流焊曲线

Allan Webber and Bernhard Lange *Semiconductor Products*

摘要

本应用报告解释了 MSL 等级与 TI 半导体的客户生产车间寿命和表面贴装回流焊温度的关系。

内容

1 简介.....2
2 应用湿敏等级 (MSL).....3
3 MSL 分级峰值回流焊温度.....4
4 无铅焊接的 MSL 分类回流焊曲线.....5
5 客户电路板组件无铅焊接的回流焊曲线.....6
6 波动焊接.....6
7 参考资料.....6
8 修订历史记录.....6

插图清单

图 1-1. Ti.com 上的元件 MSL 等级、峰值回流和最长车间寿命示例.....2
图 1-2. 纸板箱上的 MSL 1、2、3 等级及峰值回流焊标签示例.....2
图 4-1. TI 对 J-STD-020 分类曲线的表示（非按比例绘制）.....5

表格清单

表 2-1. 30°C 时的工厂车间寿命.....3
表 3-1. 基于封装尺寸的峰值回流焊分类 (Tc).....4

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: SPRABY1
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 简介

所有 TI 表面贴装 IC 都具有湿敏等级及峰值回流焊分类。此信息显示在 http://www.ti.com（请参阅图 1-1）以及卷带和包装盒上。图 1-2 显示框标签示例。

Quality & environmental data

Part #	Eco Plan*	Lead / Ball Finish	MSL Rating / Peak Reflow
TMS320F28035PAGQ	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

图 1-1. Ti.com 上的元件 MSL 等级、峰值回流和最长车间寿命示例



图 1-2. 纸板箱上的 MSL 1、2、3 等级及峰值回流焊标签示例

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 应用湿敏等级 (MSL)

IC 的 MSL 额定值决定了其在打开干燥包装（MSL2 和更高的额定值）后进行板安装之前的车间寿命。每个干燥包装袋都包括一个干燥剂和一张湿度控制卡，打开干燥包装袋后应立即检查其当前的 IC 封装状态。

IPC/JEDEC J-STD-033 是电子行业处理、包装、运输和使用湿气、回流和过程敏感器件的标准。此标准包括 30°C 的工厂车间寿命表，具体取决于组件 MSL 等级，如表 2-1 所示。

表 2-1. 30°C 时的工厂车间寿命

MSL	车间寿命	相对湿度
1	无限	85% RH
2	1 年	60% RH
2a	4 周	
3	168 小时	
4	72 小时	
5	48 小时	
5a	24 小时	
6	使用前烘烤，并在标签上所注的时间内进行回流焊	

大多数半导体产品的等级为 MSL3 或者更高。MSL 1 是被认为即使在 85% RH 下也不对湿度敏感的最高额定值，而 MSL1 等级的元件不需要干燥包装。

MSL 等级在产品认证后给出，并由 IC 封装和组装过程中使用的材料确定，以恒定的 30°C 和恒定的相对湿度为基础。实际上，将水分吸收到 IC 封装中与温度和相对湿度成正比。

因此，当温度低于 30°C 或湿度低于 60% RH 时，车间寿命通常可以延长。

同样，将其暴露在较高的湿度条件或较高的温度下可能会缩短车间寿命。

IPC/JEDEC J-STD-033C 中的*建议等效总车间寿命*表提供了不同温度（20°C 至 35°C）下的地板寿命指导，以及不同封装类型和厚度下的相对湿度范围（5% 至 95%）。

超过地板寿命的产品可重新加工、烘烤以便排出残留水分。IPC/JEDEC J-STD-033C 中的*干燥安装或未安装 SMD 封装的参考条件*表提供有关烘烤规程的指导，以及为了确保塑料外壳（托盘、卷带包装或管）能够承受所考虑温度，您应留意哪些方面。由于包装材料属性发生变化的风险，卷带材料不得烘烤到 40°C 以上。对于无内部腔的 IC 封装，可以考虑进行真空烘烤。

对于 MSL 等级为 2 或更低的 IC 产品，首次回流焊后还需要考虑车间寿命。存放电路板的环境中的水分会进入封装。在温度高于当地水沸点的其他焊接工艺步骤、返工步骤和其他工艺步骤之前，可能需要烘烤已组装的电路板。

English Document: SPRABY1
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 MSL 分级峰值回流焊温度

新的非密封表面贴装器件同时根据 IPC/JEDEC J-STD-020 标准修订版针对湿度和回流温度灵敏度进行分类。峰值回流焊温度根据封装厚度和封装塑料体积而定。IPC/JEDEC J-STD-020 标准中的*无铅工艺分类温度 (Tc)* 表列出了无铅工艺的温度，如表 3-1 所示。

表 3-1. 基于封装尺寸的峰值回流焊分类 (Tc)

封装厚度	体积 < 350mm3	体积 350 – 2000mm3	体积 > 2000mm3
< 1.6 mm	260°C	260°C	260°C
1.6mm – 2.5mm	260°C	250°C	245°C
> 2.5mm	250°C	245°C	245°C

English Document: SPRABY1
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 无铅焊接的 MSL 分类回流焊曲线

IPC/JEDEC-020 中的*分类曲线（未按比例缩放）*表格显示了由元件制造商以最高回流温度 T_p 进行器件 MSL 分级/认证时要使用的分类回流曲线。

表 3-1 列出了温度为 T_c（分级温度）。对于新产品分类，T_p 高于 T_c。

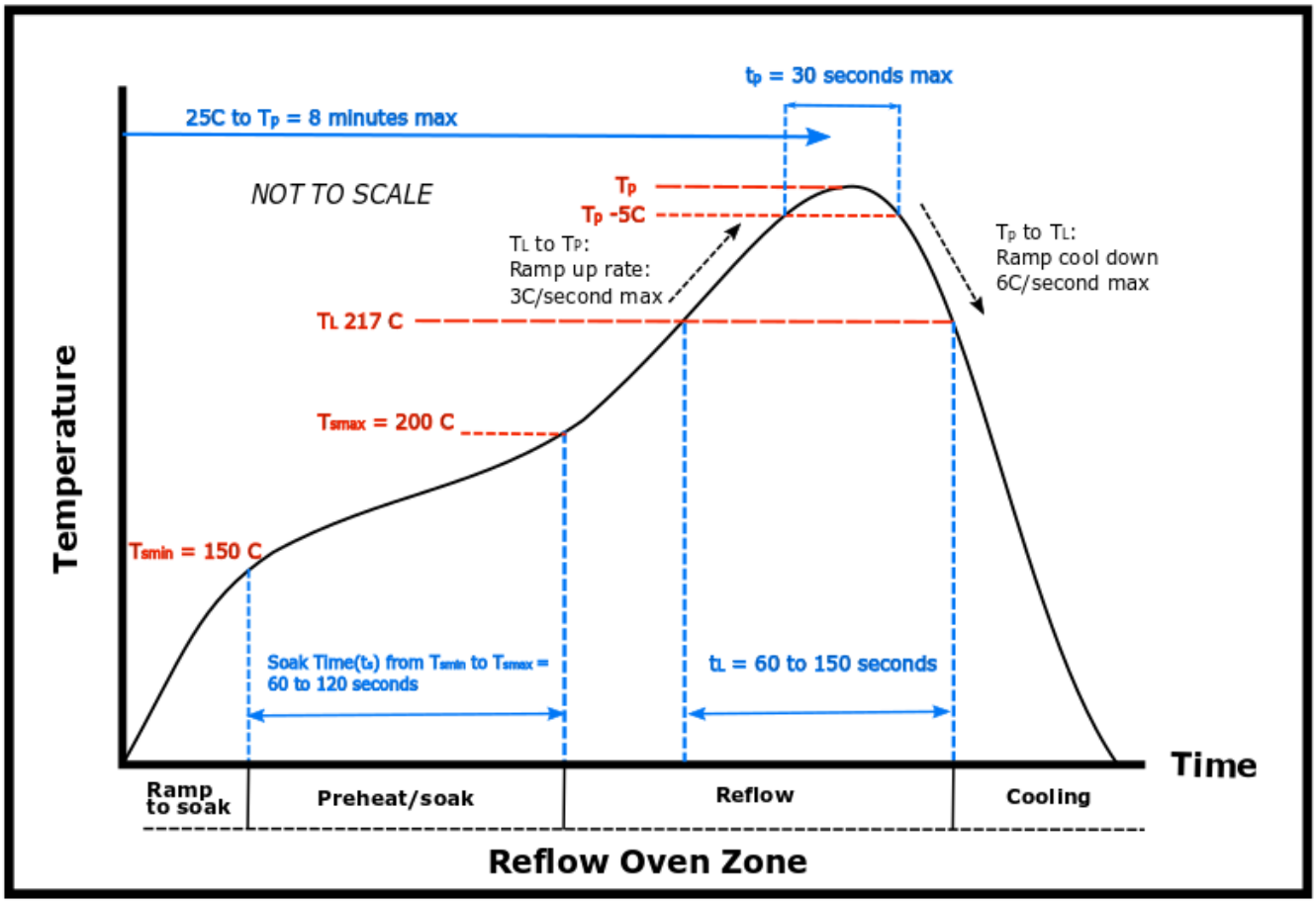


图 4-1. TI 对 J-STD-020 分类曲线的表示（非按比例绘制）

图 4-1 展示了与不同回流炉区域相关的关键温度/时间。J-STD-020 中定义的会影响 IC 可靠性的重要项目包括：

- 浸泡时间 t_s
- 浸泡温度：min(T_{smin}) 和 max (T_{smax})

在预热/浸泡期间，电路板和元件会达到一定的温度，此时焊锡膏中的助焊剂开始活动，稍后焊点涉及的所有表面都开始清洁过程。

- 无铅焊接的液体温度 (TL) - 这大约为 217°C。这因使用的焊料合金而异。
- 回流焊曲线的峰值温度 (Tp)，在封装顶部测量。
  - 对于用户（电路板组装过程），T_p 不得超过 T_c，如表 3-1 中所示。对于 IC 抑制器，Tp ≥ Tc。
  - 定义温度峰值 (tp) 低于 T_p – 5°C 时的开始/结束的时间。
- 从 T_L 到 T_P 的斜升速率（不得超过 3°C/秒）
- 从 25°C（室温）到峰值温度的时间不应当超过 8 分钟。
- 从 TP 到 TL 的冷却速率（不得超过 – 6°C/秒）

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 客户电路板组件无铅焊接的回流焊曲线

作为初始起点，图 4-1 中所示的回流焊曲线可与 235°C - 250°C 的客户峰值回流焊温度 (T_p) 的典型范围结合使用。

对于客户生产回流焊工艺，峰值回流焊温度 (Tp) 必须低于表 3-1 和图 4-1 中所示的分类回流焊温度 (T_p)。回流焊曲线及峰值温度应符合焊锡膏制造商的建议和客户应用板上所有使用的元件额定值。

封装温度是在封装中间的封装顶侧测量的，使用能够承受最高回流温度的 SMT 胶水将细热电偶粘在封装上。

从 25°C 到峰值温度的时间对磁通很敏感。当达到峰值温度且焊点完成时，焊剂需要仍然有效。为了获得理想工艺条件，应从焊锡膏数据表中考虑最长工艺时间和温度阶跃的详细信息，或与焊锡膏供应商讨论。

IC 封装根据 J-STD-020 进行分类，并承受三个回流焊周期。

6 波动焊接

本应用报告主要介绍可以处理更精细间距器件的回流焊技术。波动焊接是一种较旧的技术，通常用于焊接通孔元件或较大间距的封装，如 SOT 和 SOIC 封装，前提是它们符合波动焊接的要求。不建议在其他 SMT 封装上进行波动焊接。

7 参考资料

- **IPC/JEDEC J-STD-033C**：关于潮湿、回流和工艺敏感器件的处理、包装、运输和使用的 IPC/JEDEC 联合标准
- **J-STD-020D.1**：关于非密封固态表面贴装器件湿度和回流灵敏度分类的 IPC/JEDEC 联合标准

这两个文档均可在 JEDEC.ORG 上找到

8 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (December 2018) to Revision B (November 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式	1

Changes from Revision * (February 2015) to Revision A (December 2018)	Page
• 对节 2 进行了更新。	3
• 对节 3 进行了更新。	4
• 对节 4 进行了更新。	5
• 添加了新的 节 5	6
• 添加了新的 节 6	6

English Document: SPRABY1
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月