

# 基于有限元理论的回流焊工艺仿真研究

洪 健, 许志辉

( 四川九洲电器集团有限责任公司 四川 绵阳 621000 )

**摘要:** 回流焊是电子产品生产过程中的关键工序, 本文分析了回流焊焊接的传热过程、建立了回流焊过程的仿真分析模型, 并通过实验验证了仿真分析模型的准确度, 仿真结果与实验结果的相对误差小于 10%。

**关键词:** 回流焊; 建模方法; 数值模拟

## 1 引言

随着数字化样机工程技术的发展, 电装工艺仿真作为电子产品数字化样机工程的重要的一环正越来越受到工程师的重视。回流焊过程是电子产品生产过程中的关键工序, 因此, 必须对回流焊接过程进行严格、精准的控制<sup>[1][3]</sup>。不同的印制板需要设置不同的炉温温度才能获得合适的回流焊温度曲线, 目前在设置炉温温度工艺参数前, 需要采用炉温测试仪多次测量、调整才能获得满足生产要求的回流焊温度曲线。本文基于有限元理论采用数值模拟的方法研究了回流焊接工艺过程, 为实际生产中的回流焊接工艺参数的快速设置和调整提供方法指导和生产支持。

## 2 回流焊接的传热过程

PCB 在回流焊炉的加热过程中, 热量以热风对流传热为主, 辐射传热和热传递对 PCBA 温度的影响小, 可以简化处理<sup>[2]</sup>。型号为 Pyramax 100A 的 8 温区空气气氛的热风回流炉的各温区炉膛上、下内壁出风口采用三角布局的形式, 炉膛内壁单个圆形喷嘴射流流场示意图如图 1 所示。

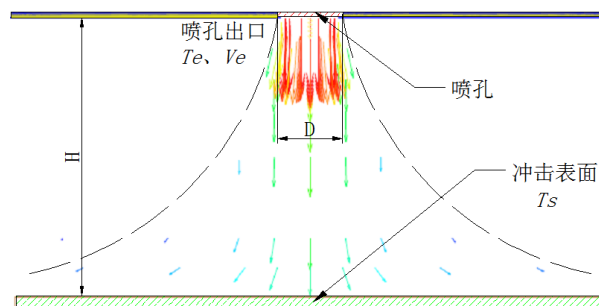


图 1 圆形喷嘴冲击射流模型

在以滞止点为圆心、半径为  $r_g$  的圆内，被冲击表面的平均换热系数可以表示成下列函数形式<sup>[3]</sup>：

$$\frac{h_m r_g}{\lambda} = (Nu_r)_m = 2 Re_D^{0.05} Pr^{0.42} \left(1 + 0.005 Re_D^{0.55}\right)^{0.5} \frac{1 - 1.1D/r_g}{1 + 0.1(H/D - 6)D/r_g}$$

其中， $h_m$  为平均对流传热系数； $D$  为喷嘴直径； $\lambda$  为空气导热系数； $H$  为喷嘴到被冲击表面的高度； $Re_D$  为雷诺数； $Nu_r$  为努赛尔系数； $r_g$  为斜距； $H$  为喷嘴间距； $Ve$  为空气经过喷嘴时的流速。根据测量，型号为 Pyramax 100A 的回流炉  $r=44$  mm； $H=20$  mm； $D=4$  mm； $r_g=H/2=10$  mm； $Ve=2$  m/s

其中，雷诺数表达式如下：

$$Re_D = \frac{VeD}{\nu}$$

查表大气压力（ $p=1.013 \times 10^5$  Pa）下干空气的热物理性质如下表 1<sup>[4]</sup>：

表 1 干空气的热物理性质

$T/^\circ\text{C}$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda \times 10^2$ (W/(m·k))	$\nu \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
70	1.029	2.96	20.02	0.694
160	0.815	3.64	30.09	0.682
200	0.746	3.93	34.85	0.68
230	0.704	4.14	38.3	0.678
250	0.674	1.038	40.61	0.677

分别将上表格数据代入冲击射流模型平均传热特性的实验关联式得到平均传热系数如表 2。

表 2 平均对流系数

$T/^\circ\text{C}$	70/°C	160/°C	200/°C	230/°C	250/°C
$h_m/(w/m^2 \cdot k)$	48.84	48.04	48.01	48.06	48.02

从上表可以温度从 70 °C 到 250 °C，对流系数变化不大，为了计算方便，八个加热温区的对流系数可取：

$$\bar{h}_m = \sum_{i=1}^5 h_i / 5 = 48.19$$

冷却区风速  $Ve=1.5$  m/s，由于风速对对流系数影响较大，仍采用上述计算方法，可得冷却区对流系数  $h=42.87$  w/m<sup>2</sup>·k。

3 回流焊仿真分析建模方法

选用型号为 XC2VP20-5FG676I 的 FPGA 器件和型号为 Hi1018 的 QFP 器件作为研究对象， BGA 是单芯片的封装体，共有 676 个焊球，采用全阵列的形式。Hi1018 共有 4×43 个引脚。忽略铜导线对温度场的影响，为此设计两种 PCB 样件，一种为无阻容器件的 PCB 如图 2，另一种是有阻容器件的 PCB 如图 3 所示，分析阻容器件对大器件焊点温度场的影响。

XC2VP20-5FG676I 封装体的结构参数如表 3 和表 4 所示，QFP 封装尺寸如表 5 所示。

表 3 PCB 和 BGA 封装体尺寸列表

XC2VP20-5FG676I	长度（mm）	宽度（mm）	厚度（mm）
封装体尺寸	26	26	1.55
BGA 基板 BT 层尺寸	27	27	0.4
PCB	134	86	1.6

表 4 BGA 尺寸列表

焊球	直径（mm）	焊点间距（mm）	高度
BGA	0.5	1	0.4

表 5 QFP 相关尺寸列表

Hi1018	长度（mm）	宽度（mm）	厚度（mm）
封装体尺寸	18	18	1.2
引线两端	0.3	0.15	0.15
引线高度	0.8	0.15	0.15
引线间距	0.4	-	-

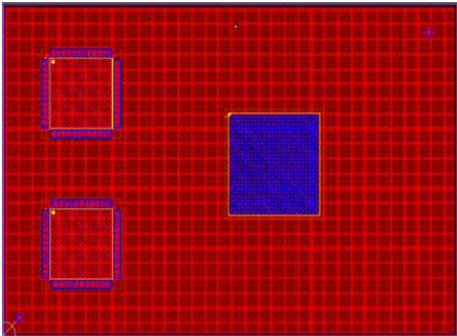


图 2 无阻容器件模型

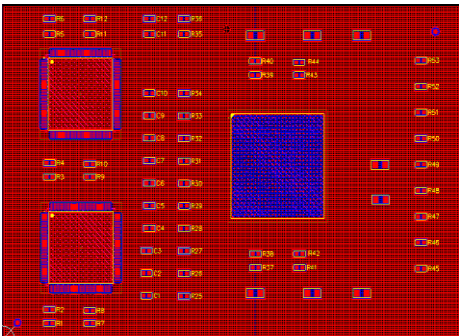


图 3 有阻容器件模型

各温区温度设置如下表 6，链速取 70cm/min，分别在两种 PCB 的 BGA 边缘引脚、QFP 引脚以及 PCB 表面布置测量点，如图 4，将两种 PCB 样件通过回流炉，测试结果如下图 5

和图 6 所示。

表 6 各温区温度设置值列表

温区	1	2	3	4	5	6	7	8
温度/℃	110	130	150	160	170	180	205	240

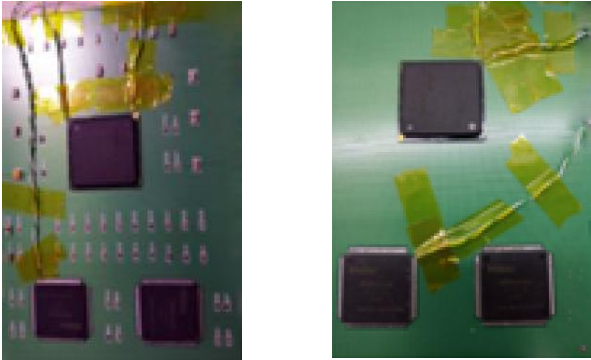


图 4 两种 PCB 测试点布置

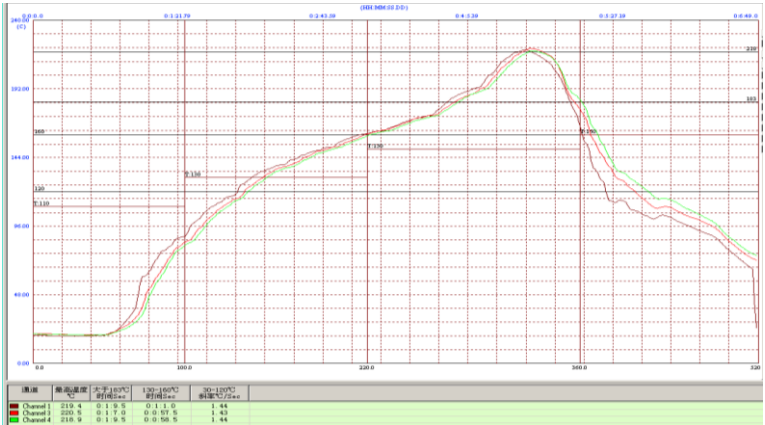


图 5 无阻容器件 PCB 回流曲线

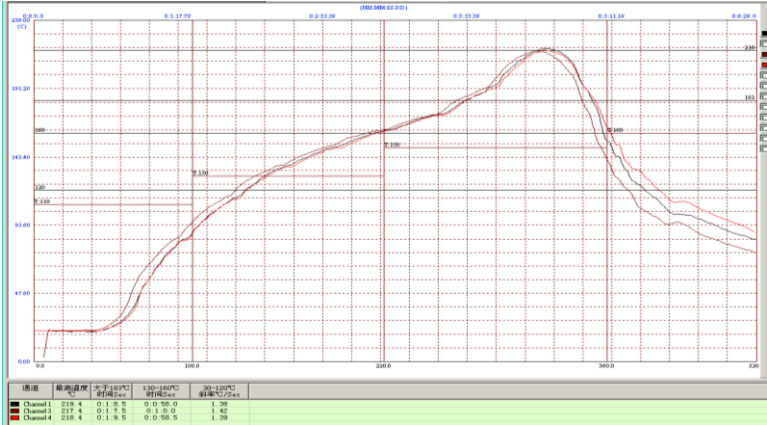


图 6 有阻容器件 PCB 回流曲线

图 5 和图 6 中, channel1 是 QFP 引脚处的温度曲线, channel3 是 BGA 焊点边缘的 PCB

表面温度曲线，channel4 是 BGA 边缘焊点的温度曲线，实验结果对比表明，阻容器件对 PCB 温度场影响不显著，并且三个测试点的温度曲线接近一致，这是因为整个 PCB 及元器件吸收的热量主要从热风中吸收，而整个 PCB 处于温度均匀的空气气氛中。因此仿真分析建模时忽略阻容器件对温度的影响，仿真分析模型可只建立 BGA 和 QFP 模型。

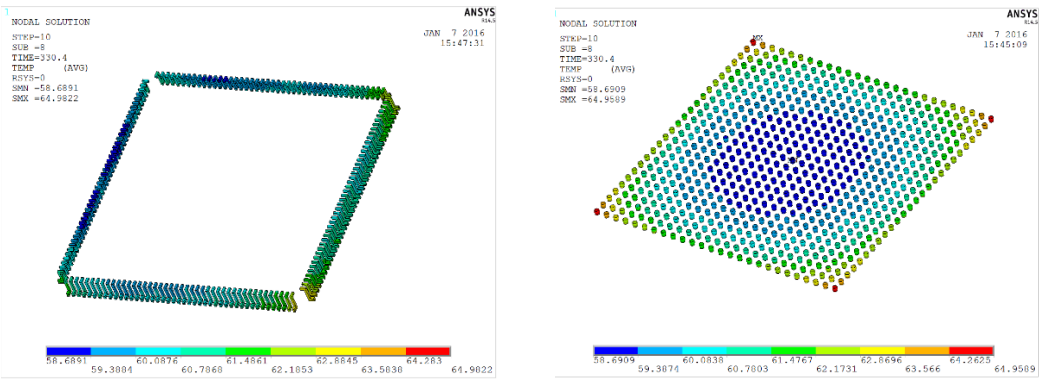


图 7 通过冷却区的 QFP 及 BGA 温度仿真云图

根据 GJB3243 红外再流焊推荐的关键焊接参数，对样件（无阻容器件）的实验数据和仿真分析数据对比，分别从升温速率、保温时间、回流时间和峰值温度与实验测试数据比较，结果汇总如下表 7。

表 7 实验和仿真分析结果对比表

焊接参数	BGA 焊点		QFP 引脚	
	实验	仿真	实验	仿真
升温速率/(°C/s) (30~120 °C)	1.44	1.50	1.44	1.52
保温时间/s (130~160 °C)	59	58	61	57
回流时间/s (183 °C 以上)	70	66	70	65
峰值温度 $T_{Max}/^{\circ}C$	219	222	219	223

从表 7 可以看出，相对误差最大是 QFP 引脚处回流时间，误差百分比为 7.14%，低于 10%，仿真分析和实验数据比较吻合，因此建立的仿真分析模型准确，仿真分析方法合理。

#### 4 结论

- 1) 经过对有无阻容器件的印制板回流焊过程的仿真分析及试验验证，证明了阻容器件热容量小，对大器件焊点温度场影响较小，仿真分析建模时可以忽略其影响。
- 2) 通过对回流焊关键焊接参数的仿真数据和实验数据对比，仿真分析结果与试验结

果误差小于 10%，验证了回流焊有限元模型的准确性。

3) 试验结果和仿真结果证明，经过多次试验验证的仿真模型可以替代原有的采用炉温测试仪确定产品回流焊温度曲线的方法，节约产品生产的成本，提高生产效率。

## 参考文献

- [1].冯志刚,郁鼎文.回流焊工艺参数对温度曲线的影响.电子工艺技术(J), 2004(6): 第243-246/251页。
- [2].刘晓辉, 周德俭.板级 POP 组装件回流焊仿真温度曲线决策研究[D].桂林电子科技大学.2014.7。
- [3].宋巍.基于加热机理分析的回流焊过程仿真建模与有限元分析[D]。东北大学.2012.6。
- [4].杨世铭, 陶文铨 (编).传热学 [M].北京: 高等教育出版社, 2006。
- [5].陈品, 吴兆华.LTCC 中埋置大功率芯片散热的三维有限元分析.电子与封装(J), 2011 (3)。