

SMT 焊点三维形态的剖视分析方法

赵秀娟 王春青 郑冠群 杨士勤
(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室)

摘 要 改善焊点形态是提高 SMT(表面组装)焊点可靠性的重要途径,本文在 SMT 焊点三维形态预测结果的基础上,建立了剖分焊点、获得焊点剖面形态的数学方法,初步生成了焊点力学分析的有限元网格,实现了焊点形态预测模型与可靠性分析模型的集成。设计了剖分焊点、多窗口显示焊点剖面形态的可视化软件,与焊点形态预测软件 Evolver 有效集成,可快速、直观地获得焊点剖面形态。利用该软件系统分析了焊点表面形态的三维曲面特征,给出了不同的钎料量对应的焊点剖面形态的变化。

关键词: SMT 焊点形态 剖视 可视化

0 序 言

焊点的可靠性是表面组装技术应用中的关键问题之一。目前,通过合理设计焊点结构以优化焊点性能的方法已成为这一研究的新焦点^[1,2],其工艺设计流程如图 1 所示。其中,根据焊盘、元器件、钎料量等工艺参数计算焊点结构表面外观形态的过程已经实现^[3],然而,进行焊点可靠性分析需要的是焊点结构的三维实体模型。因此,如何把表面形态的计算结果转化为力学分析所需要的实体模型是完善工艺参数优化设计系统的关键。本文所讨论的焊点结构的剖视分析方法,通过提取并数学处理表征焊点形态的表面有限单元信息,获取焊点剖面的边界数据,绘制输出焊点任意剖面的具体形状,以生成剖面的有限元网格,为下一步的焊点可靠性分析作好了准备。在 Windows NT 操作系统下,利用 VC++ 语言建立了相应的可视化软件,与计算焊点表面形态的有限元分析软件 Surface Evolver

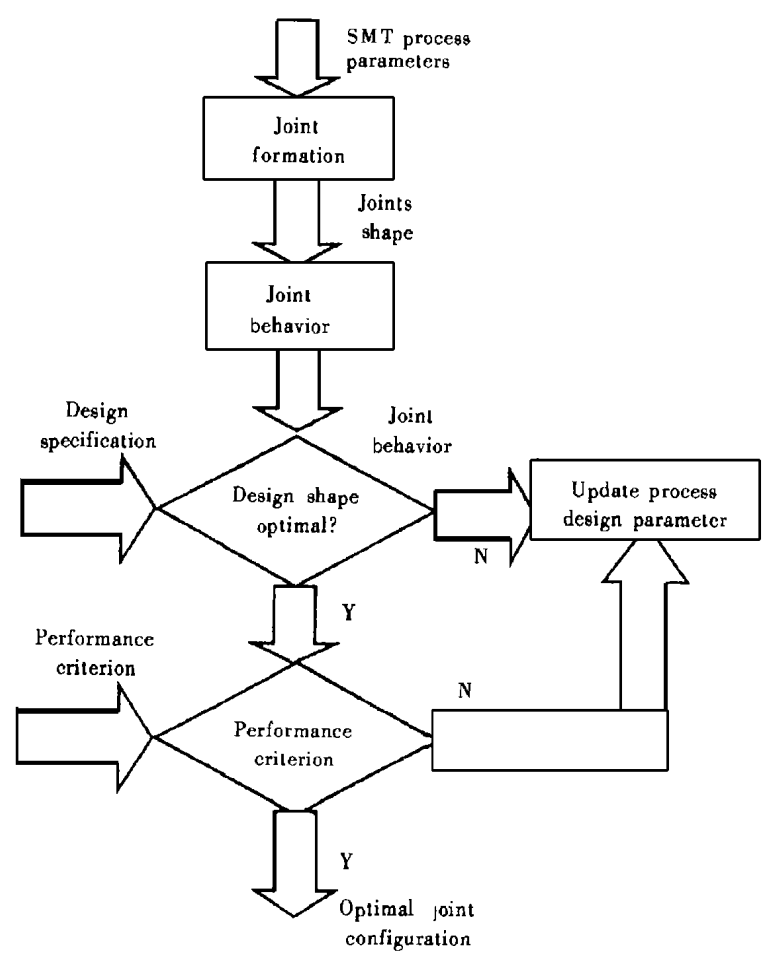


图 1 SMT 焊点结构的工艺设计流程

Fig. 1 Process flow chart to design SMT solder joints

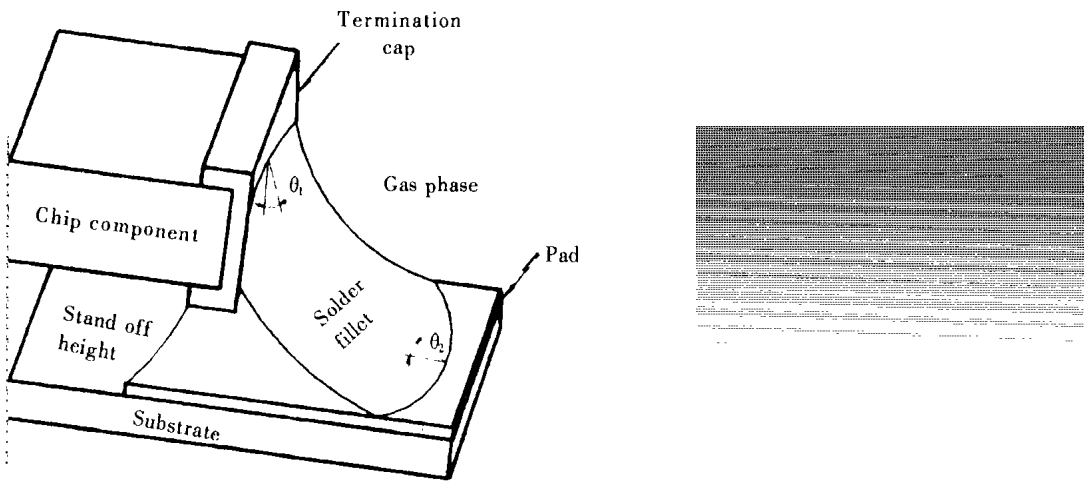
有机结合,多窗口显示焊点结构的剖视结果,可方便、有效的实现焊点形态的预测与结构的分析,利于工程实用。

1 焊点结构的剖视方法

1.1 焊点结构的剖视原理

在钎焊过程中,钎料受热熔化沿焊点处金属表面润湿铺展,冷凝后形成具有一定外观几何形态的焊点,实现 SMT 元件与印制板焊盘的连接。文献[3] 基于能量最小原理,利用计算三维液面平衡形态的有限元软件 Surface Evolver 预测了焊点固、液、气三相系统能量最小时,钎料的外观形态,即焊点形态(如图 2)。在 Evolver 输出的焊点三维形态图中,只能看到三维形体表面的直观形态,还不能分析钎料沿金属表面各区域的接触角、沿不同方向的圆角形态等具体结构特征。

焊点结构的剖分,可提供三维体的切片功能,能够按已知焊点结构表面的某一点和切面方向切分焊点结构图形,在预先建立的窗口中显示剖面形状。



(a) 3-D shape model of SMT solder joints (b) Solder joint shape predicted by Evolver

图 2 焊点三维形态预测模型及预测结果

Fig. 2 3-D shape model of SMT solder joint and predicted result

Evolver 输出的三维图形表面由多个三角形面单元组成,如图 2(b)所示,用给定切面切分这个三维图形等于切分图形表面的一些三角形面元,根据切面与这些面元的交点,可获取剖面轮廓曲线。而要实现这一过程,需要解决以下关键问题:

- 1、获取 Evolver 输出的三维图形中的有限单元的节点、面元信息;
- 2、找出与已知切面相交的三角形面元和每个面元的三个节点的坐标值;
- 3、通过与已知切面相交面元的各节点求出与已知切面相交的节点,对其排序;
- 4、显示焊点剖面形态。

1.2 数学方程的建立

归纳切面与三角形面元的相互关系可能出现如图 3 所示的几种情况。

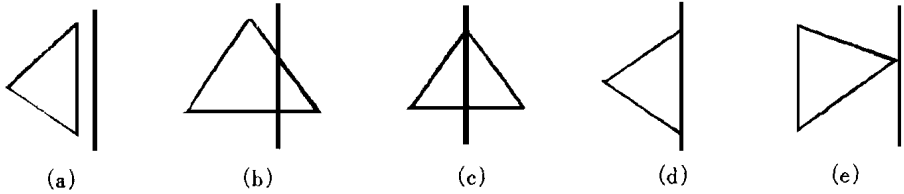


图 3 焊点表面三角形面元与切面位置关系示意图

Fig. 3 Location relation between triangular elements and section

切面方程可设为:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \tag{1}$$

两个节点确定的直线方程:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} \tag{2}$$

其中, x^*, y^*, z^* 为焊点三角形面元的节点坐标。

为找出与切面相交的三角形面元并计算交点, 本文提出了面元节点到切面的距离判定法: 分别求出每个三角形面元节点到剖面距离的算术值 d_1, d_2, d_3 。当 d 值为以下 4 种情况之一时, 可根据式(1)和式(2)计算出交点:

b 类面元: d_1, d_2, d_3 正负不一致;

c 类面元: d_1, d_2, d_3 中有一个值为 0, 另两个正负不一致;

d 类面元: d_1, d_2, d_3 中有两个值为 0;

e 类面元: d_1, d_2, d_3 中有一个值为 0, 另两个正负一致。

d 类和 e 类面元与切面的交点可直接得到, b 类和 c 类面元与切面的交点通过面元节点确定的直线方程和切面方程获得。

由节点到切面的距离算术值表示为:

$$d = \frac{Ax + By + Cz + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

由式(1)、(2)可得直线与切面的交点:

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{x_1(By_2 + Cz_2) - x_2(By_1 + Cz_1) - D}{(x_2 - x_1)A + (y_2 - y_1)B + (z_2 - z_1)C} \\ y_0 &= \frac{y_1(Bx_2 + Cz_2) - y_2(Bx_1 + Cz_1) - D}{(y_2 - y_1)A + (x_2 - x_1)B + (z_2 - z_1)C} \\ z_0 &= \frac{z_1(Bx_2 + Cy_2) - z_2(Bx_1 + Cy_1) - D}{(z_2 - z_1)A + (x_2 - x_1)B + (y_2 - y_1)C} \end{aligned}$$

2 焊点剖分软件的设计及应用

根据上述焊点剖分的数学方法, 设计了获取焊点三维图形表面数据信息与求取剖面的程序, 在 Windows 环境下利用 VC 建立了焊点剖视的软件, 图 4 为剖分软件的工作流程。利用面向对象的程

程序设计方法, 设计了对剖分结果进行了可视化处理的程序。分别为焊点沿焊盘(或元件)宽度方向、焊盘长度方向及元件高度方向的各截面形态显示建立了相应的功能函数, 可在多窗口中同时且独立地显示不同区域的焊点剖面形态, 便于用户进行比较、分析。同时, 该软件与 Evolver 有效集成, 建立了友好的操作界面, 提供了完善的焊点剖分工具。

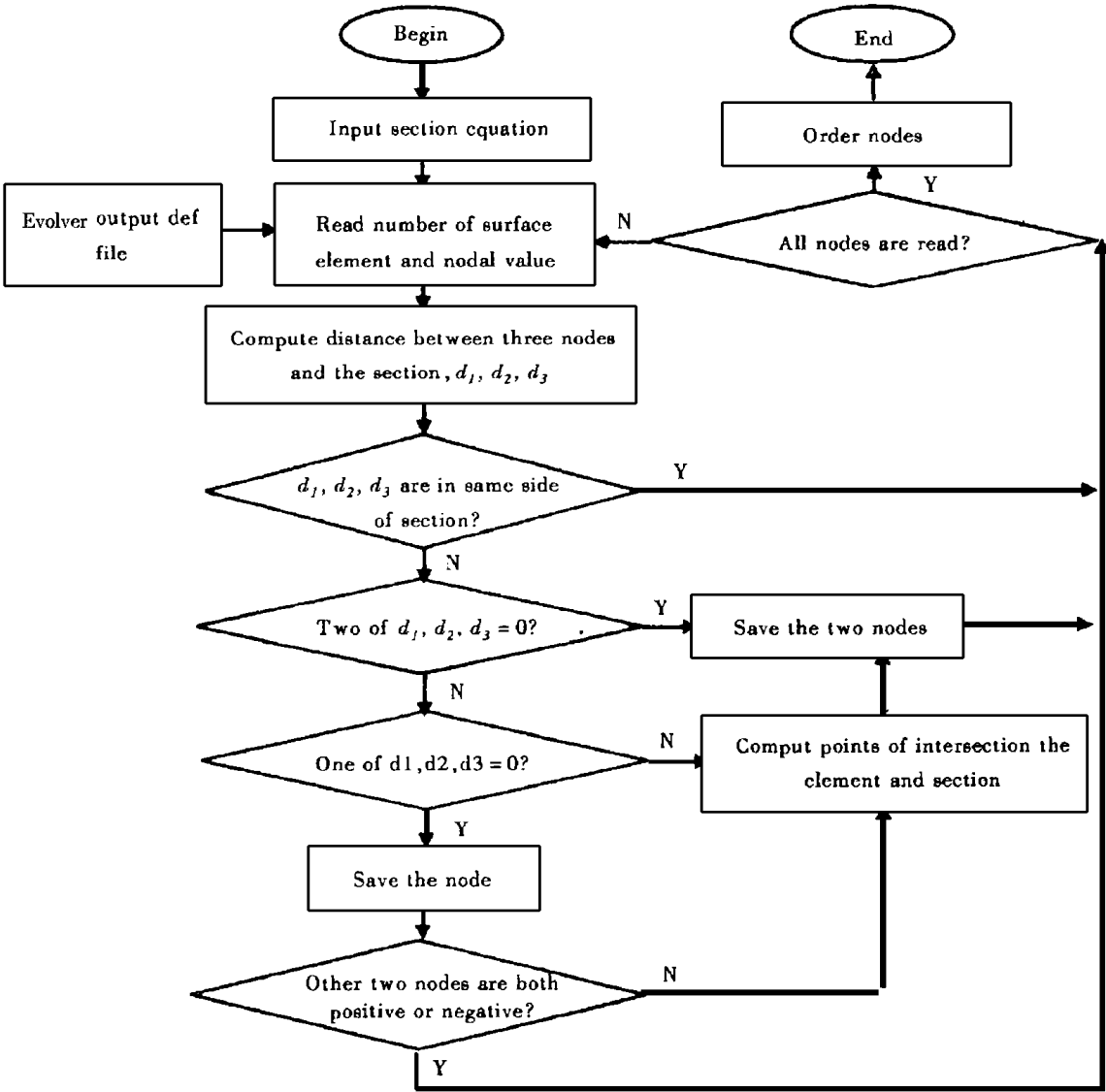
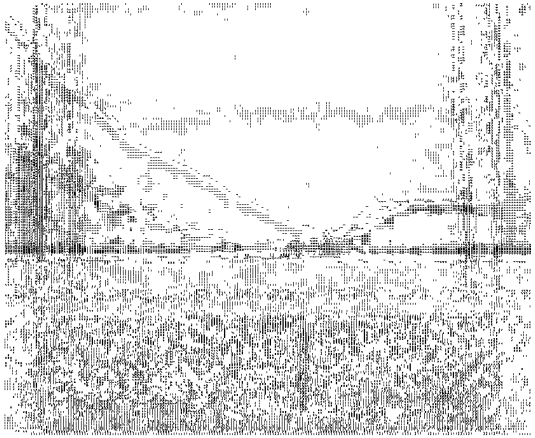


图 4 焊点剖分处理程序框图

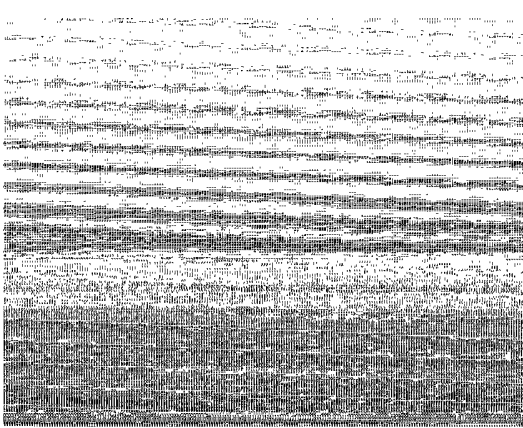
Fig. 4 Processing program of cutting solder joint

利用剖分软件对典型 RC 片式元件 1206, Sn60—Pb40 钎料的焊点结构进行了分析, 图 5 是焊盘伸出长度为 0.7 mm, 元件与焊盘的间隙高度为 0.1 mm 时, 不同的钎料量所对应的沿焊点宽度方向剖面形态的变化。其中, $X=0$ 为中心剖面, 随 X 的增大, 逐渐接近边缘剖面。可见, 当钎料量较小(此例焊点 0.45 mm^3 以下)时, 焊点在元件(或)焊盘宽度方向的截面轮廓基本相同, 钎料圆角形态都为凹态。随钎料量增加(此例焊点 $0.45\sim 0.6\text{ mm}^3$), 焊点在元件(或)焊盘宽度方向的截面

轮廓并不相同, 焊点的钎料圆角形态在中心处呈凸态, 而在边缘处呈凹态。当钎料量较多(此例焊点 0.6 mm^3 以上)时, 焊点各截面轮廓又变为基本相同, 钎料圆角形态都为凸态。这说明, 不同的工艺参数对应的焊点的空间曲面特征是不同的, 而考虑焊点的三维曲面特征在焊点工艺设计及焊点可靠性分析中是极为重要的。例如, 有关研究表明^[1], 具有类平直钎料圆角形态的焊点可靠性最高, 但要达到边缘和中心剖面都具有类平直的特征是不容易的, 往往是中心剖面达到, 边缘剖面没达到, 边缘剖面达到了, 中心剖面又超过类平直状态了。因此要合理控制焊点形态。



(a) Solder volume, 0.4 mm^3



(b) Solder volume, 0.5 mm^3



(c) Solder volume, 0.7 mm^3

图 5 不同钎料量所对应的 SMT 焊点剖面形态

Fig. 5 Section shapes of SMT solder joint with variation of solder volume

利用焊点剖分软件可方便、有效分析焊点具体形态特征, 考察焊盘伸出长度、元件与焊盘间隙高度等重要参数对焊点形态的影响, 具体结果请参阅文献[4]。此外, 利用本文获得的剖面形态轮廓参数, 通过设计的转换软件, 可生成有限元分析软件 ANSYS 所需的实体模型和剖面网格(见图 6), 以用于焊点力学分析, 实现了焊点形态模型与可靠性分析模型的集成, 将在另文介绍。

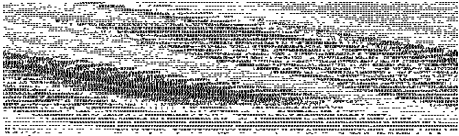


图 6 焊点剖面网格

Fig. 6 Meshes in section of solder joint

3 结 论

提出并实现了焊点形态的剖面剖分方法, 可对形态预测的结果在任意方向进行分析, 以提取相关的几何参数; 可视化的软件利于实际工程应用。剖分分析的结果为可靠性分析软件所需实体模型的构造提供了直接的数据。研究的结果和软件还可直接用于 SMT 焊点结构如焊盘尺寸、焊盘与元件的相对位置等的设计。

(1998-09-02 收到初稿, 1999-03-22 收到修改稿)

致谢 感谢美国 University of Massachusetts 的 Kenneth A. Brakke 博士提供 Surface Evolver 软件; 对中国科学院冶金研究所王国忠博士对论文工作有益的讨论和建议表示感谢。

参 考 文 献

1 王国忠. SMT 焊点三维形态预测及其对焊点可靠性的影响:[博士学位论文] . 哈尔滨: 哈尔滨工业大学. 1996.
2 NigroN J, et al. Computer— aided design of solder joints. Surface Mount Technology, 1991, 4: 59~ 61 .
3 赵秀娟等. PSJS— SMT 软钎焊焊点形态预测集成系统. 焊接学报, 1997, 18(增刊), 33~ 37.
4 赵秀娟. SMT 焊点形态预测与分析系统的设计:[硕士学位论文] 哈尔滨: 哈尔滨工业大学. 1997.

Section of SMT Soldered Joints and Display of Sectional Profiles

Zhao Xiujuan, Wang Chunqing, Zheng Guanqun, Yang Shiqin

(National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology)

Abstract Optimizing the shape of solder joints in SMT (Surface Mount Technology) is an important way to improve the reliability of the joint. A method to cut SMT solder joints and obtain the profile of any section in solder joints is put forward according to the results of predicting the shape of SMT solder joints, and the meshes for finite element analyzing the mechanical behavior of solder joints are created. Thus, the model for predicting 3—D(three dimensional) shape of SMT solder joints is combined with the model for analyzing the reliability of the joint. A visual program is built to cut solder joints and display sectional profiles in multiple windows. The program is interfaced with the program Evolver which is used to predict the global shape of solder joints, and sectional profiles of solder joints can be obtained quickly and observed directly. The 3—D characteristic of the shape of SMT solder joints is analyzed through the visual program, and the different section shape of the solder joint is given with the variation of solder volume.

Key words SMT solder joint shape, section, visualization

作者简介 赵秀娟, 女, 26 岁, 哈尔滨工业大学焊接实验室博士研究生。研究方向: SMT 焊点可靠性。