

真空电阻凸焊温度场有限元分析

卢霞,喻九阳,王仕仙,王成刚

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:凸焊过程中凸焊筋的温度分布直接影响凸焊筋的压溃过程,从而影响最终的焊接质量.基于 ANSYS 有限元分析软件,建立了用于真空电阻凸焊瞬态热过程分析的电热耦合有限元模型,分析了真空电阻凸焊的热电耦合过程,得到了焊接过程的热历程以及焊件各部位的温度分布,分析中考虑了随温度变化的材料特性参数、相变问题等.在此基础上分析了不同凸焊筋距离的双凸焊筋结构的温度场分布,得出凸焊筋距离对温度场分布的影响,为 MEMS 元件凸焊封装外壳的优化设计提供理论依据.

关键词:凸焊;有限元法;瞬态分析;电热耦合;接触分析

中图分类号:TG 453¹.9 **文献标识码:**A

0 引言

真空电阻凸焊技术具有热量集中、焊接加热时间短、焊接变形小、焊接器件成品率高、成本低、真空保持性好、能够适应多类同种及异种金属的焊接等优点,是 MEMS 封装中的一类重要的气密封装工艺.开发出 MEMS 器件真空电阻凸焊技术对促进 MEMS 技术的发展具有重要的意义.

真空电阻凸焊是一个非常复杂的过程,其中包含了电、热、力、冶金等诸多过程及其耦合效应,国内外学者对电阻凸焊做了大量的研究,并取得了一些的成果.早在 1947 年 Hess 和 Childs^[1] 等就研究了不同焊接参数和凸点尺寸焊核成形和焊接质量的影响.1961 年, Harris 和 Riley^[2] 通过连续切片获取焊核断面,得到了凸焊焊接压溃变形过程,并通过大量试验数据,为凸焊工艺参数的选择提供指导规范.1965 年, Cunningham^[3] 等通过高速摄影方法拍摄到了凸筋切面从焊前到被压溃到熔融金属填充的整个过程.2000 年, Sun^[4-5] 建立 H&R 标准型的凸焊有限元模型,并研究凸点高度对凸点压溃和焊核成形的影响.

针对真空电阻凸焊 MEMS 封装,本文建立了电极和工件的 1/2 轴对称有限元模型,通过 ANSYS 软件分析,得出凸焊的热过程以及温度分布的特点,在此基础上分析双凸焊筋结构的焊接热过程的温度分布及热历程,通过改变凸焊筋与工件边缘、凸焊筋与凸焊筋之间的距离,得出双凸

焊筋对电流分流以及温度分布的影响,为优化 MEMS 元件凸焊封装外壳的优化设计提供理论依据.

1 有限元建模分析

1.1 有限元模型及网格划分

MEMS 真空电阻凸焊的示意图如图 1 所示,上下两个夹具将 MEMS 元件夹住并通以电流,电流流经上夹具、MEMS 元件盖板(上工件)、MEMS 元件腔体(下工件)、下夹具.由于接触电阻的存在,电极与工件之间、工件与工件之间均产生电阻热,从而实现电阻凸焊.



图1 真空电阻凸焊夹具及工件示意图

Fig. 1 Vacuum projecting welding claps and worksheet figure

根据真空电阻凸焊 MEMS 封装的实际情况,建立了真空电阻凸焊的 1/2 轴对称模型,模型对焊接夹具、电极以及 MEMS 元件都进行了简化,分析时电极和工件采用热电耦合 PLANE67 单

收稿日期:2008-10-23

作者简介:卢霞(1981-),女,湖北咸宁人,硕士研究生,研究方向:新型高效化工设备的开发.

指导老师:喻九阳,教授,硕士,硕士研究生指导老师,研究方向:新型高效化工设备的开发.

元,接触面采用 TARGE169 和 CONTA172 单元,模型共有三对接触单元:上电极-上工件、上工件-下工件、下工件-下电极,建模及划分网格后的有限元模型如下图 2 和图 3 所示。

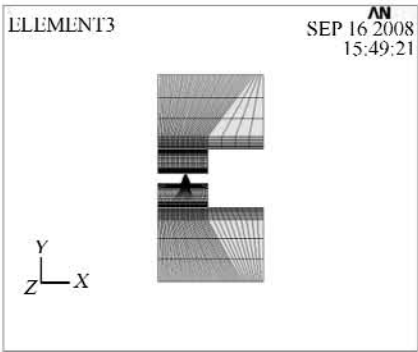


图 2 单凸焊筋有限元模型
Fig. 2 Finite element model of single welding tendon

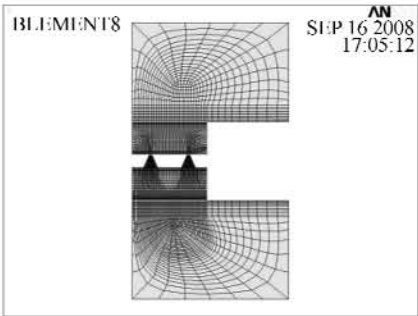


图 3 双凸焊筋有限元模型
Fig. 3 Finite element model of two welding tendons

1.2 材料属性及边界条件

真空电阻凸焊涉及的物理现象比较复杂,因此边界条件和材料属性等因素对于能否获得合理的计算结果有着重要的影响.为了保证分析的可靠性,本文所采用的数据引自相关的手册和文献^[7-10].

1.2.1 材料属性 MEMS 元件盖板和腔体采用低碳钢,具有良好的弹塑性性能,电极采用铜.焊接热影响区域内零件材料的比热、导热系数、电阻率等表述材料热物理性能的物理参数都随着温度变化而变化.表 1 列出了电极和低碳钢在某些温度的性能,输入 ANSYS 后,由程序自动进行插值和外推.低碳钢相变已温度为 1 482~1 521℃,相交潜热为 2.72×10^5 J/kg 低碳钢密度为 7 800 kg/m³ 电极密度为 8 900 kg/m³.

1.2.2 边界条件 由于焊接时需要抽真空,电极外表面及工件表面及对称中心线都是绝热边界.模型的初始温度设为室温 293 K.下电极下表面设置电压为 0 V,上电极上表面施以 20 kA 的直流电流.

1.2.3 接触电阻 接触电阻与电极压力、温度以及材料的屈服强度有关.对于特定的焊接条件,由于电极压力是恒定的,而材料的屈服强度主要受温度影响,所以可将接触电阻简化为温度的函数.本文采用文献^[6]给出的数据,计算了结合面的接触电阻,根据 ANSYS 输入的要求,换算为接触电导,也列入表 1 中.

表 1 低碳钢和电极的材料性能
Table 1 Material property of low carbon steel and copper pole

性能	温度/K												材料
	294	366	477	589	700	811	922	1 033	1 144	1 255	1 366	1 477	
导热系数 /W·(m ⁻¹ ·K ⁻¹)	64.75	63.25	55.33	49.94	44.86	39.77	34.91	30.5	28.41	27.66	28.56		低碳钢
电阻率×10 ⁻⁸ / Ω·m ⁻¹	390.3	380.6	370.1	355.1	345.4	334.9	320	315.5	310.3	305	600.1		电极
接触电导 ×10 ⁸ /(Ω·m ²)	14.2	18.6	26.7	37.6	49.5	64.8	81.8	101.1	111.5	115.8	117.9	120.9	低碳钢
	2.64	3	4	5.06	6.19	6.99	8	8.98	9.48	9.98			电极
	4.57	4.69	4.83	5.11	5.63	6.06	8.31	19.14	22.06	26.03	31.69		结合面

性能	温度/K												材料
	294	366	477	589	700	811	922	1 005	1 033	1 047	1 072	1 477	
比热 /J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	443.8	452.2	510.8	561	611.3	661.5	762	1 004	2 386	1 004	1 189	1 189	低碳钢
	397.8	401.9	418.7	431.2	439.6	452.2	464.7		477.3			502.4	电极

性能	温度/K												材料
	294	366	477	589	700	811	922	1 072	1 477	1 755	1 974	2 473	
焓×10 ¹⁰ /J·m ⁻³	0	0.03	0.06	0.11	0.16	0.22	0.28	0.39	0.77	1.03	1.27	1.9	低碳钢

1.2.4 相变潜热 材料在熔化和凝固时所吸收和释放的潜热会影响温度的分布,这种影响可以通过焓的变化来反映. ANSYS 对焓的定义如下:

$$H = \int \rho C_p(T) dT$$

式中 ρ 为材料的密度, $C_p(T)$ 为材料在真空状态下的比热,是温度的函数.根据上式计算低碳钢的焓值,如表 1 所示.

2 分析讨论

2.1 真空电阻凸焊热历程

通过 ANSYS 对单凸焊筋进行电热耦合分析,得出接触面的温度场分布以及接触面中心节点温度历程分别如图 4 及图 5 所示.

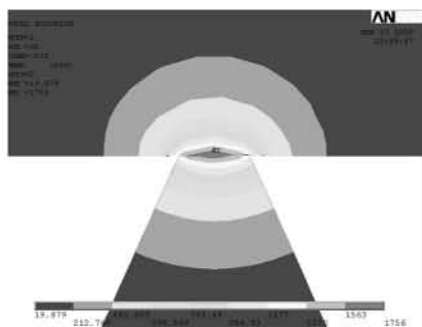
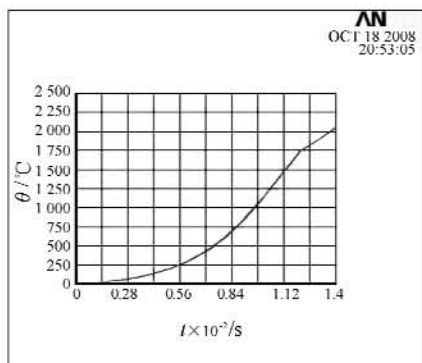
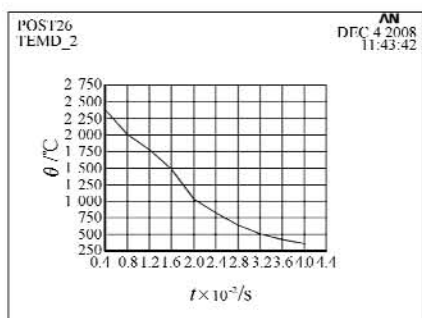


图 4 焊核形成时接触面温度分布

Fig. 4 Temperature distribution of the contact surface



(a) 升温过程温度历程



(b) 降温过程温度历程

图 5 接触面中心节点温度历程

Fig. 5 Time-history temperature of the middle node of the contact surface

图 4 是焊核形成时温度分布图。从图中可看出,由于凸焊筋的存在,电流密度在凸焊筋周围最大,从而使得凸焊筋顶端产生大量热量,并很快达到不锈钢的熔点,最高温度出现在上工件与凸焊筋接触面中心处。

整个焊接过程中,各接触面温度迅速上升,最高温度都发生在接触面中心处。图 5 是接触面中心节点的温度历程,由图 5(a)可以看出,随着通电时间的增加,节点温度逐渐上升,在低碳钢熔点处,由于通电过程中发生固-液相变,需要消耗额外的相变潜热 ΔH ,温度曲线出现一个拐点,温度上升速度降低;由图 5(b)可以看出在通电结束后,接

触面中心温度逐渐下降,在相变点发生液-固相变(凝固),需要释放额外的热量,温度曲线也出现一个拐点,温度降低速度变缓。

2.2 双凸焊筋电热耦合分析

在对单凸焊筋分析的基础上,对双凸焊筋进行电热耦合分析,得出真空电阻凸焊过程的电流密度以及温度分布如图 6 及图 7 所示。

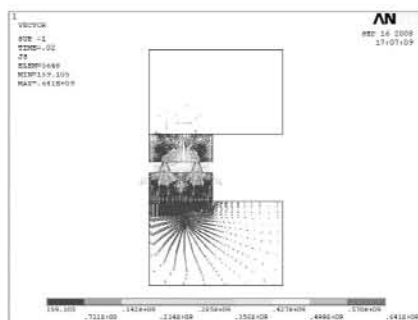


图 6 双凸焊筋电流密度分布

Fig. 6 Electric current distribution of two welding tendons

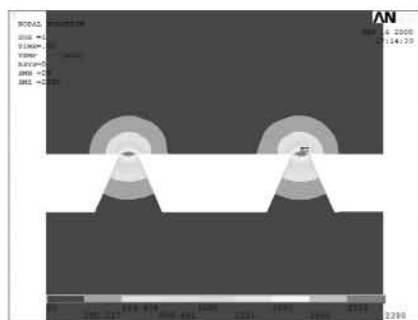


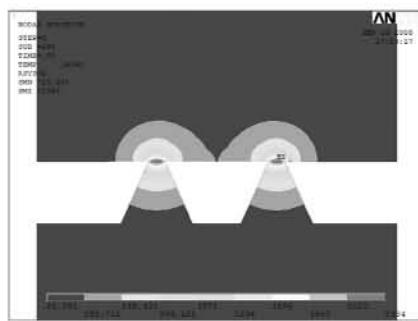
图 7 双凸焊筋焊核形成时温度分布

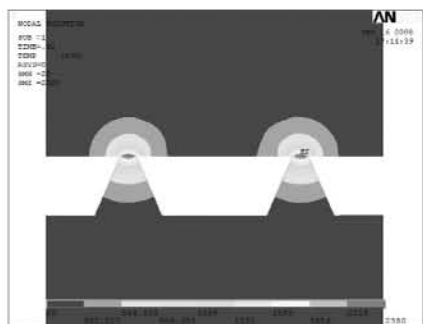
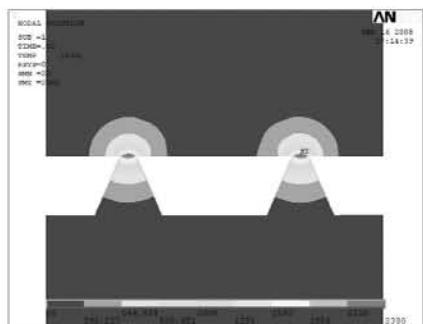
Fig. 7 Temperature distribute of two welding tendons

由图 6 可以看出采用双凸焊筋结构,电流产生分流,凸焊筋周围的电流密度比单凸焊筋的小,从而双凸焊筋接触面中心的最高温度比单凸焊筋低,温度分布如图 7 所示。

2.3 不同凸焊筋距离电热耦合温度场分析对比

本文分别针对三种凸焊筋距离的凸焊进行了有限元分析,得出温度分布如图 8~10 所示。

图 8 凸焊筋距离 $T=1.5$ mm 焊核形成时温度分布Fig. 8 Temperature distribute of $T=1.5$ mm

图9 凸焊筋距离 $T=2.3$ mm 焊核形成时温度分布Fig. 9 Temperature distribute of $T=2.3$ mm图10 凸焊筋距离 $T=2.7$ mm 焊核形成时温度分布Fig. 10 Temperature distribute of $T=2.7$ mm

从图8~10中可以看出,当凸焊筋距离较小时,两凸焊筋之间区域的产生热量叠加效应,而上工件边缘的温升较小,因此凸焊筋周围温度升高很快而使得凸焊筋较早压溃;加大凸焊筋距离到 $T=2.3$ mm 时,叠加效应消失,上工件温度分布较均匀;继续增大凸焊筋距离到 $T=2.7$ mm 时,上工件边缘温度上升较快,而凸焊筋之间区域温升较小,使得中间区域难以形成高质量的焊接接头;综上所述,采用 $T=2.3$ mm 时,凸焊筋和工件的温度分布较好,有利于形成高质量的焊接接头。

3 结 语

通过计算,得到了真空电阻凸焊接头的温度

变化历程以及各时刻的温度分布规律,在此基础上,分析了不同凸焊筋距离的温度分布,得出 $T=2.3$ mm 的距离温度分布状况较好,较有利于形成高质量的焊接接头。本分析为 MEMS 元件凸焊封装外壳的优化设计提供理论依据。

参考文献:

- [1] Hess W F, Childs W J. A study of projection welding [J]. Welding Journal, 1947, 27(12): 712-723.
- [2] Harris J F, Riley J J. Projection welding low carbon steel using embossed projects [J]. Welding Journal, 1961, 40(4): 363-376.
- [3] Cunningham A, Begeman M L. A fundamental study of projection welding using high speed photography [J]. Welding Journal, 1965, 44(8): 381-384.
- [4] Sun X. Modeling of projection welding process using coupled finite element analysis [J]. Welding Journal, 2000, 79(9): 244-251.
- [5] Sun X. Effect of projection height of projection collapse and nugget formation—a finite element study [J]. Welding Journal, 2000, 80(9): 211-216.
- [6] 侯志刚, 王元勤, 李春植, 陈传尧. 点焊瞬态热过程的有限元分析 [J]. 固体力学学报, 2005, 26(1): 97-101.
- [7] 朱玉义. 焊工实用技术手册 [M]. 江苏: 江苏科学技术出版社, 1999.
- [8] 杨世铭, 陶文铨. 传热学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [9] Tsai C L, Dai W L, Dickinson D W, et al. Analysis and development of a real-time control methodology in resistance spot welding [J]. Welding Journal, 1991, 70(12): 339-351.
- [10] 舒安庆, 王伟华, 吴开斌, 等. 螺旋焊与对接焊的有限元模拟 [J]. 武汉工程大学学报, 2008, 30(1): 98-100.

(下转第 79 页)

A novel method for Robot's path planning based on ant max-min ant system

ZHANG Yan-duo, GE Lin-feng

(School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The Robot's path planning problem is to find a feasible path from a beginning to a goal in configuration space. Based on the max min ant algorithm, combined with the typical problem of Robot's path planning, the planning arrived a new approach. The experimental indicate that method can give the optimal solution of robot's path planning with a high probability.

Key words: ant colony algorithm; max-min ant system; Robot; path planning

本文编辑:陈晓革



(上接第 75 页)

Analysis of thermal field distribution of vacuum projection welding using finite element procedures

LU Xia, YU Jiu-yang, WANG Shi-xian, WANG Cheng-gang

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In projection welding process the temperature distribution of the projection welding tendons directly influence the projection tendon collapse process and there for influence the final welding quality of the worksheet. In this paper the author created a 2D Finite element projection welding thermal-electric model according to the vacuum projection welding. By analysis of couple field of vacuum projecting welding, the temperature distribution and thermal history of the components was obtained. In the analysis, temperature-related depend material property and phase change had been taken into account. Based on this analyze, we also analyze different distance of two projection welding tendons, and we concluded the that tendon distance on temperature distribute had influence. This result laid sound foundation for MEMS components package shell optimal design.

Key words: projection welding; finite element method; transient analysis; thermal-electric couple field; contact analysis

本文编辑:陈晓革