

基于 ANSYS 的钢铜异种金属 焊接残余应力分析

邵园园^{1,2}, 曾庆良¹, 玄冠涛², 刘贤喜², 任利³

¹山东科技大学机械与电子工程学院 山东青岛 266510

²山东农业大学机械与电子工程学院

³泰山石膏股份有限公司

摘要: 利用有限元分析软件 ANSYS, 对钢铜异种金属焊接接头处铝焊缝的残余应力进行了有限元模拟分析, 得出影响焊缝残余应力的因素。设置了多组对照试验, 分别分析了平板厚度、焊缝以及对流系数等因素对残余应力的影响。结果表明, 利用 ANSYS 软件在一定范围内可以比较准确地模拟出焊接应力场的情况, 对焊接过程的研究有一定的参考价值, 进而为制定合理的焊接工艺、改善焊缝性能等实际生产提供理论依据。

关键词: 焊接; 残余应力; ANSYS; 异种金属

中图分类号: TP182 文献标志码: A 文章编号: 1001-3954(2012)10-0122-04

Analysis on residual stress of weld joint of dissimilar metals of steel and copper based on ANSYS

SHAO Yuanyuan^{1,2}, ZENG Qingliang¹, XUAN Guantao², LIU Xianxi², REN Li³

¹College of Mechanical & Electronic Engineering, Shandong University of Science & Technology, Qingdao 266510, Shandong, China

²College of Mechanical & Electronic Engineering, Shandong Agricultural University

³Taishan Gypsum Co., Ltd.

Abstract: The paper simulated and analyzed the residual stress of weld aluminum on dissimilar metal weld joint of steel and copper by using ANSYS, and obtained factors affecting the welding residual stress. In addition, several comparison tests were conducted to analyze the influence of plate thickness, weld seam and convection coefficient on the residual stress. The results showed that the welding stress field was simulated accurately in a certain range by using ANSYS, which had some references for studying the welding process, constituting reasonable welding process and improving the welding performance.

Keywords: welding; residual stress; ANSYS; dissimilar metal

焊接作为一种重要的金属加工工艺方法, 广泛应用于煤矿、航天、汽车及机械制造等各种行业。为了在降低成本的同时满足零部件的使用要求,

并充分发挥不同材料的性能优势, 越来越多地使用了异种材料的焊接结构。而钢和铜复合零部件的焊接, 因其在性能与经济上优势互补, 因此, 具有广阔的应用前景^[1]。

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划 (2011BAD20B01); 教育部博士点基金 (20113718110006); 山东省科技发展计划重大课题 (2011GGX10320); 山东省优秀中青年科学家奖励基金 (BS2010zz010)

作者简介: 邵园园, 女, 1980 年生, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为虚拟样机的开发、本体、机电一体化等。

焊接过程产生的焊接残余应力和变形危害很大, 传统的焊接残余应力分析仅仅依赖于试验, 而大量的试验又会增加生产成本。ANSYS 作为大型有限元分析软件, 可以对焊接过程进行计算机模拟, 对焊接残余应力及变形进行分析^[2-3]。在钢铜异种金属焊接

中, 由于残余应力的存在, 很容易出现焊接裂纹; 另外焊接接头的力学性能 (塑性、韧性、导电性及耐腐蚀性等) 也有所降低^[1]。而对铝来说, 价格相对便宜, 有较好的可焊性、韧性、耐腐蚀性及塑性等优点。因而笔者用铝焊将钢和铜两种金属焊接在一起, 利用 ANSYS 软件来分析焊接后的焊接残余应力及影响残余应力的因素。

1 钢铜异种焊接的几何模型

图 1 所示为由钢板和铜板焊接而成的金属板焊接的截面结构示意图。焊接材料为铝, 平板尺寸为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, 平板初始温度为 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 将平板放置于空气中进行冷却, 周围空气温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对流系数为 $110\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C})$ ^[4]。

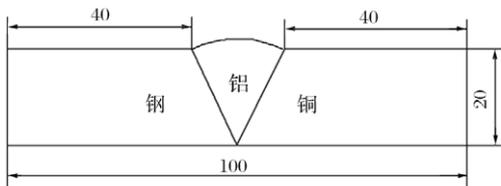


图 1 金属板焊接的截面结构
Fig. 1 Welding section structure of metal plate

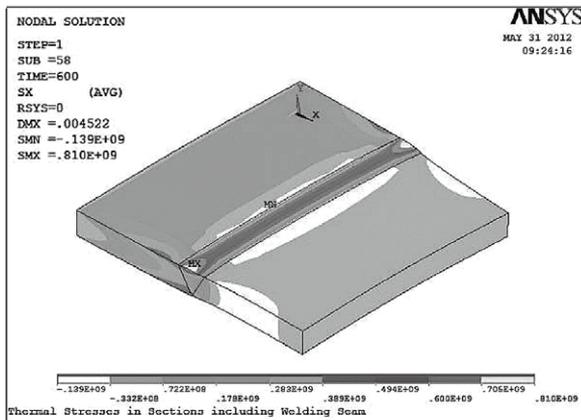
2 有限元分析

2.1 平板厚度对焊接残余应力的影响

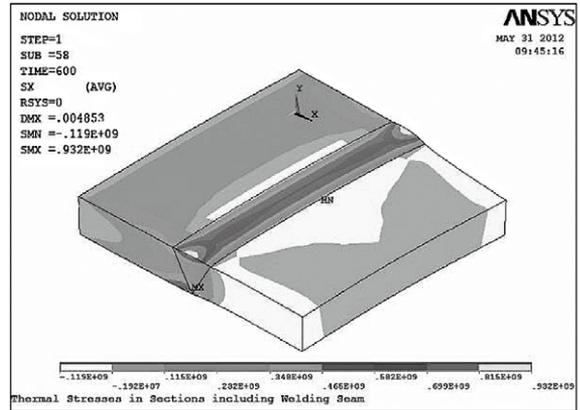
在焊缝夹角 $\alpha = 59^{\circ}$ 、初始温度 $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及冷却速度相同 (即对流系数为 $110\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C})$) 的前提下, 分别选取厚度为 10、15、20、25、30 mm 的平板, 生成平面几何模型; 观察不同厚度的平板在 10 min 后 X 方向的应力场分布等值线^[5], 如图 2(a) ~ (e) 所示。

不同厚度平板的最大拉应力和最大压应力统计数据, 如表 1 所列。

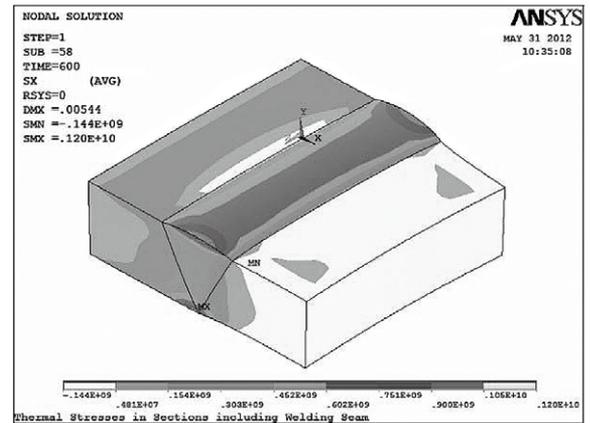
由表 1 可知, 用 Origin 软件拟合曲线, 观察最大拉应力与平板厚度的曲线关系及最大压应力与平板厚



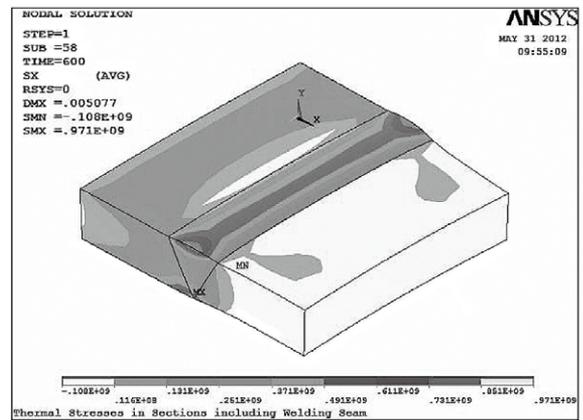
(a) 厚度为 10 mm 时 X 方向应力场



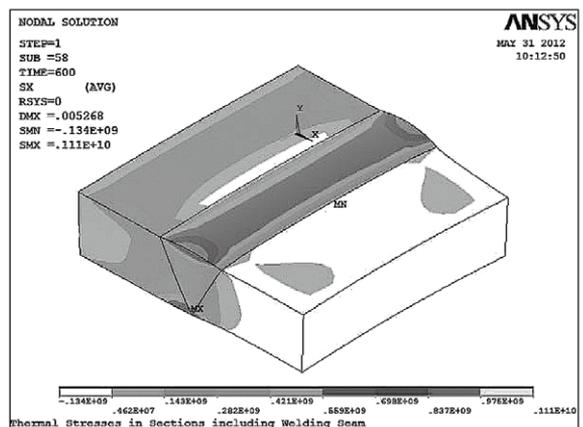
(b) 厚度为 15 mm 时 X 方向应力场



(c) 厚度为 20 mm 时 X 方向应力场



(d) 厚度为 25 mm 时 X 方向应力场



(e) 厚度为 30 mm 时 X 方向应力场

图 2 不同厚度下各 X 方向应力场情况

图 2 Directional stress field at different thickness

表 1 不同厚度平板的最大拉应力和最大压应力

Tab. 1 Maximum tensile stress and maximum compressive stress of plates with different thickness

平板厚度/mm	最大拉应力/GPa	最大压应力/GPa
10	0.810	0.139
15	0.932	0.119
20	0.971	0.108
25	1.110	0.134
30	1.200	0.144

度的曲线关系,如图 3 所示。

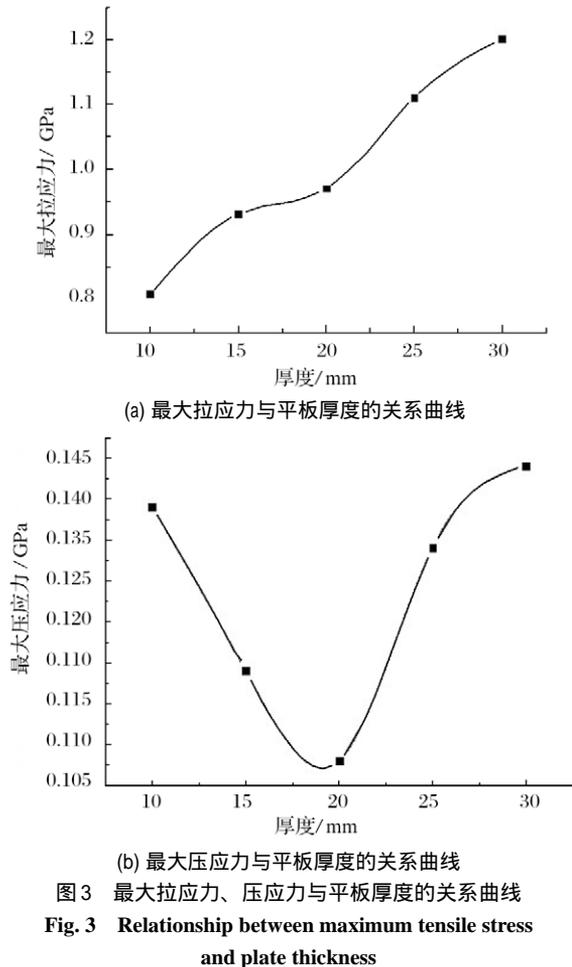


图 3 最大拉应力、压应力与平板厚度的关系曲线

Fig. 3 Relationship between maximum tensile stress and plate thickness

由图 3(a)、(b) 可知,对于钢与铜的铝焊,在金属平板焊缝夹角、初始温度和冷却速度不变的情况下,焊接残余的最大拉应力随着平板厚度的增加而增大;焊接残余的最大压应力随着平板厚度的增加先减小后增大。

2.2 焊缝大小对焊接残余应力的影响

在保证平板厚度为 20 mm、初始温度 $T = 800$ 和冷却速度相同(即对流系数为 $110 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 时,分别取焊缝角度为 90° 、 81.93° 、 68.8° 、 59° 和 31.19° 。

10 min 后分别观察不同焊缝大小的平板在 x 方向的应力场分布等值线。同样步骤,用 Origin 软件拟合曲线,观察最大拉应力与平板焊缝夹角的关系曲线

及最大压应力与平板焊缝夹角的关系曲线,如图 4 所示。

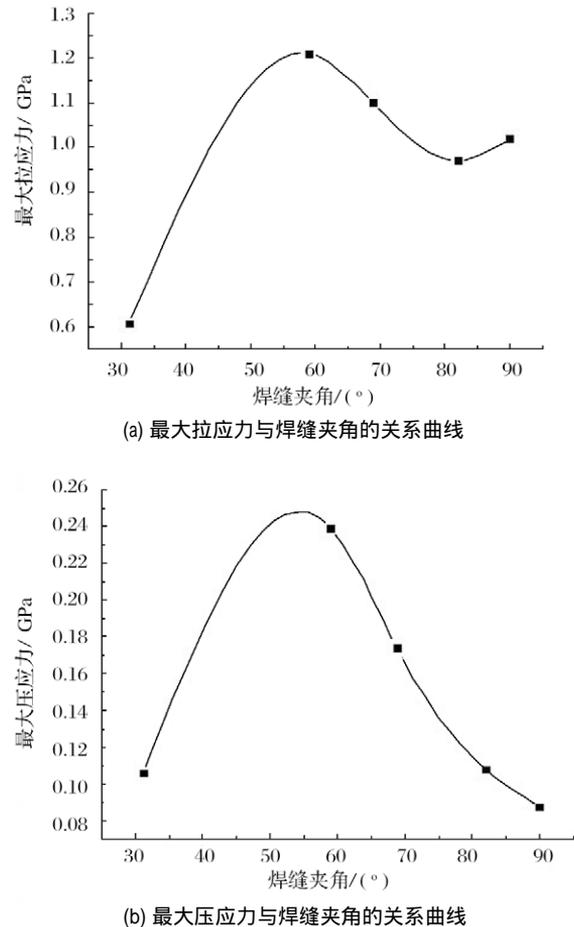


图 4 最大拉应力、压应力与焊缝夹角的关系曲线

Fig. 4 Relationship between maximum compressive stress and plate thickness

由图 4(a)、(b) 可知,对于钢与铜的铝焊,在金属平板的厚度、初始温度和冷却速度不变时,焊接残余应力的最大拉应力和最大拉应力均随着焊缝夹角的增大而先增大后减小。

2.3 对流系数对焊接残余应力的影响

通过控制风扇等冷却装置的速度即可控制空气对流系数的大小,在平板厚度为 20 mm、初始温度 $T = 800$ 且焊缝大小不变(即 $\alpha = 59^\circ$) 时,设定空气的对流系数为 110、86、64、42 和 $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

通过改变对流系数可以间接改变冷却速度,由 ANSYS 分析可得出不同的冷却速度下,平板的最大拉应力和最大压应力。并根据 ANSYS 所得数据,用 Origin 软件拟合曲线,观察最大拉应力与对流系数的关系曲线及最大压应力与对流系数的关系曲线,如图 5 所示。

由图 5(a)、(b) 可知,对于钢与铜的铝焊,在金属平板的厚度、初始温度和焊缝夹角大小不变的情况下,焊接残余的最大拉应力随着冷却速度的增大而增

创新企业计划管理模式

——重型矿山机械制造企业的 ERP 开发问题

李道隆

洛阳矿山机械工程设计研究院有限责任公司 河南洛阳 471039

摘要：笔者以企业产品、组织及计划管理等特征为基础，分析并指出经典 MRPII/ERP 在重型矿山机械制造企业应用困难的原因，并提出 ERP 主生产计划管理模式，为重矿企业的生产管理提供了有益借鉴。

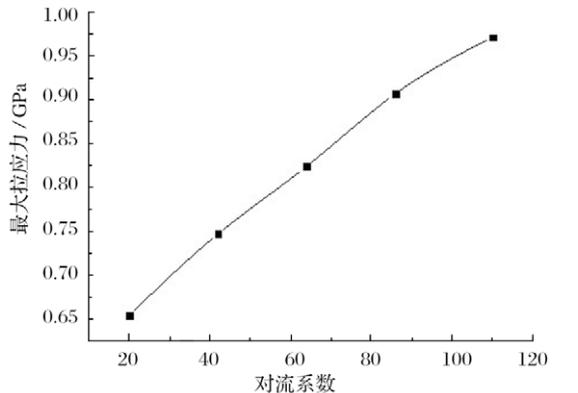
关键词：ERP；单件小批量；订单生产；MRPII/ERP 应用；机械制造

中图分类号：TD525 文献标志码：A 文章编号：1001-3954(2012)10-0125-04

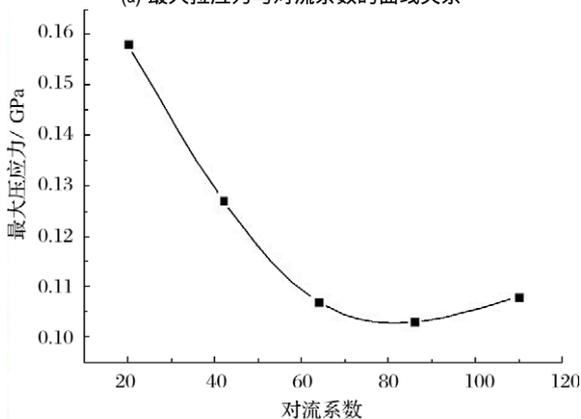
Innovation of ERP mode — development of ERP in heavy mining machinery manufacture enterprises

作者简介：李道隆，男，1936 年生，高级工程师，原洛阳矿山机械工程设计研究院院长，享受国务院政府特殊津贴，主要从事企业管理信息系统开发研究。

~~~~~



(a) 最大拉应力与对流系数的曲线关系



(b) 最大压应力与对流系数的曲线关系

图 5 最大拉应力、压应力与对流系数的曲线关系

Fig. 5 Relationship between maximum compressive stress and convection coefficient

大，最大压应力随着冷却速度的增加而减小。

### 3 结语

笔者利用 ANSYS 软件的应力场耦合计算，对钢与铜的铝焊产生的焊接残余应力及其影响因素进行了分析，并得出平板厚度、焊缝以及对流系数等因素对焊接残余的最大拉应力和最大压应力的影响。由此可见，利用 ANSYS 软件在一定范围内能较准确地模拟出焊接应力场的情况，对焊接过程的研究有一定的参考价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 高 禄，栗卓新，李国栋，等．钢 - 铜异种金属焊接的研究现状和进展 [J]．焊接，2006(12)：16 - 19.
- [2] 余正刚，姜 勇，巩建鸣，等．不同异种钢管道焊接接头残余应力的数值模拟 [J]．焊接学报，2009(8)：69 - 75
- [3] 邓德安，青岛祥一．焊接顺序对厚板焊接残余应力分布的影响 [J]．焊接学报，2011(12)：55-57.
- [4] 谭建国．使用 ANSYS6.0 进行有限元分析 [M]．北京：北京大学出版社，2002：1-13.
- [5] 陈丙森．计算机辅助焊接技术 [M]．北京，机械工业出版社，1999：107-168.

(收稿日期：2012-05-26)

(修订日期：2012-08-17)