

汽车保险杠长焊缝零件的仿真分析与工装设计

蔡仙¹,钱晓明¹,杨扬²

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016; 2. 中国电科第二十八研究所, 江苏 南京 210007)

摘要:针对汽车保险杠主横梁具有长焊缝的特征,在焊接中存在焊接变形大和容易焊穿的问题,采用了有限元仿真的方法,对焊接过程进行了温度场和应变场的仿真。通过仿真结果得知,在添加辅助散热措施后,焊接过程中温度梯度变缓,散热更均匀,焊接应变有了明显减小。设计了专用水冷合模工装,提高了焊接精度。

关键词:铝合金;长焊缝;仿真;工装

中图分类号:TG44 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)05-0118-03

Simulation Analysis and Design of Car Bumper with Long Welding Bead

CAI Xian¹, QIAN Xiaoming¹, YANG Yang²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. The 28th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210007, China)

Abstract: The automobile bumper rod is characteristic of long weld features. The problems of welding deformation and weld defects easily appear in welding process. The finite element simulation method is used to simulate the temperature field and strain field in the welding process. The simulation results show that the temperature gradient in this process is slowed down, the heat dissipation is more uniform and the welding strain is reduced obviously after the auxiliary heat dissipation measures adding to. The special water cooling model tooling is designed to improve the welding precision.

Keywords: aluminum alloy; long weld; simulation; tooling

0 引言

在某型汽车铝合金保险杠焊接机器人工作站的研究与开发中,工装和夹具的设计尤为重要,这关系到焊接精度及焊接质量。以图1所示保险杠零件为例,针对保险杠类零件长焊缝的焊接难点问题,对其建立热分析模型,结合理论分析结果给出该类工件水冷的装夹方式,并对该类工件的夹具做了一定的研究设计工作。

铝合金保险杠主要由4个组件构成,分别是保险杠主横梁、牵引钩螺栓、吸能盒以及底板构成。铝合金保险杠尺寸为1 084 mm×191 mm×138 mm,其组件是由材料厚度为5 mm的铝合金钣金件制成,焊缝形式为角焊缝和直焊缝。



图1 铝合金保险杠

1 焊接温度及应变仿真分析

在主横梁的焊接过程中,主要难度在于焊接工件有两

道长焊缝,焊接过程中会存在严重的热输入堆积,导致焊接变形和焊缝熔深不一致,容易出现熔深不足、焊接烧穿、焊缝轨迹因变形而出现偏移的现象。主横梁的焊缝结构为角焊缝,需要连续焊接,不能断弧,焊缝长度约为1.2 m。所以在焊接时要采用双机器人同时焊接两道焊缝,可有效减少变形,减小焊缝偏移。拟通过有限元仿真,进行焊接温度场变化及应变分析,设计合理的工装夹具。为了保证工件焊接的一致性,采用水冷合模夹具夹紧,不仅可以利用仿形模具加外形限位来准确定位夹紧工件,而且可以保证整条长焊缝的焊接状态一致,进一步减小变形。

长焊缝在焊接过程中,热量集聚不容易散发,导致焊穿以及焊件的焊缝轨迹发生变形,从而影响焊件结构的尺寸,因此对长焊缝在焊接中的温度变化和热变形进行数值模拟,从而获得其分布规律^[1-2]。采用有限元分析软件Abaqus对焊接过程进行仿真,该软件在热力耦合分析过程中针对焊件材料非线性等问题进行了优化处理。

通过焊接数值模拟,对影响焊接变形分布规律的环境条件、夹具、焊接工艺参数以及焊接顺序等因素进行分析,可以较为全面地了解焊接变形的分布规律,为减小变形提供理论依据。在实际的焊接过程中对于焊接电流、焊接速度、焊接角度等工艺参数进行相应调整,以减小焊接变形量。此外采用Abaqus数值模拟可以在焊接之前获得焊接变形的分布规律,从而可以优化夹具设计、工艺措施以及焊接工艺参数。

1.1 建立焊接模型及网格划分

在建模时,一般可以运用其对称性来简化模型^[3]。本文讨论了保险杠横梁,零件截面多变,焊缝沿特定曲线轨迹运动。为了便于计算,把图1的零件模型,简化为图2所示。由1个平板和1个C型框组成的焊接零件,焊缝为直线。

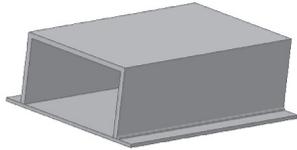


图2 保险杠横梁简化模型

有限元分析的过程中,网格数目的数量影响计算的速度和精度。对几何模型划分的网格数目多,计算的速度会变慢而计算精度会提高,如果对几何模型划分的网格数目少,计算的速度会变快而计算精度会变差。采用映射网格划分,以六面体单元形式划分网格。在保持精度的同时减少网格的数量。为了获得一个好的瞬态焊接温度场,在综合考虑计算时间和模拟效果的情况下,沿着焊接方向的六面体单元长度不超过5mm,热源加载方式是沿焊缝轨迹直线进行。

1.2 热源选择

焊接热源是实现焊接过程的基本条件。焊接热源模型的建立与焊接温度场的模拟是焊接数值模拟的重要部分^[4]。本文考虑到采用CMT焊机进行熔化极氩弧焊,焊接实际过程中,熔池前端温度梯度陡变,熔池后端温度梯度分布较缓,与双椭球形热源较为贴合。因此采用双椭球形热源分布函数。

双椭球模型的前半部分热源分布为:

$$q(r) = \frac{6\sqrt{3}f_1Q}{\pi^{3/2}abc} \exp\left(-3\left(\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{z}{c}\right)^2\right)\right)$$

后半部分热源分布为:

$$q(r) = \frac{6\sqrt{3}f_2Q}{\pi^{3/2}abc} \exp\left(-3\left(\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{z}{c}\right)^2\right)\right)$$

式中: f_1 为前半部分椭球能量分数; f_2 为后半部分椭球能量分数,且 $f_1 + f_2 = 2$; Q 为总热量值。根据 a 、 b 、 c 的不同取值,可以模拟在焊接不同材质时的具体情况。

1.3 仿真过程与结果分析

采用直接法进行仿真分析。采用具有温度和位移自由度的耦合单元,可以在仿真过程中同时进行温度场计算和应力应变计算^[5-6]。

根据实际焊接情况以及熔池的逐步变化形式,采用多步循环的离散思路来实现。将长度为1.2m的焊缝等分为 N 段,以每段后点作为热源中心,加载双椭球热源,然后进行相应的温度场和应力应变的计算。在计算时将上

一段计算的温度值作为下一段计算的初始条件。沿着焊接轨迹依次计算,利用热源移动模拟了焊接过程中熔池的移动。整个焊接过程为40s,取焊接中部比较稳定的区域进行观察,如图3所示。

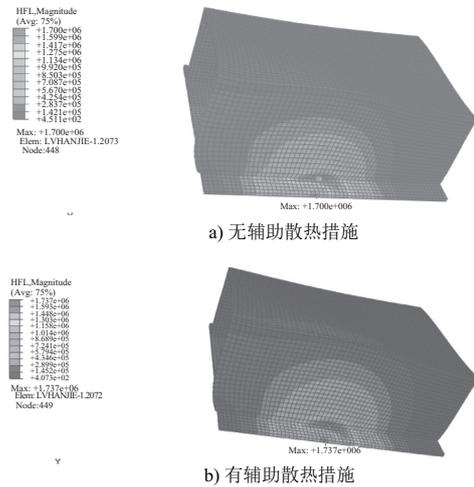


图3 温度场仿真结果

由图3可知,整个熔池形状近似可以看做是半椭球形状,温度的最高点在熔池中部(即热源中心)。熔池前部等温线较密集,后部等温线相对稀疏。在焊接过程中,各点的温度变化十分不均匀,近焊缝区温度变化较快,而远离焊缝区各点温度变化比较慢。同时也可以看出在添加了辅助散热措施后,焊接温度场变化梯度更为均匀。在焊接过程中散热均匀意味着热变形就会减小,提高了焊接加工精度。由图4可以很明显看出,加了辅助散热措施之后,形变量会有明显的减小。

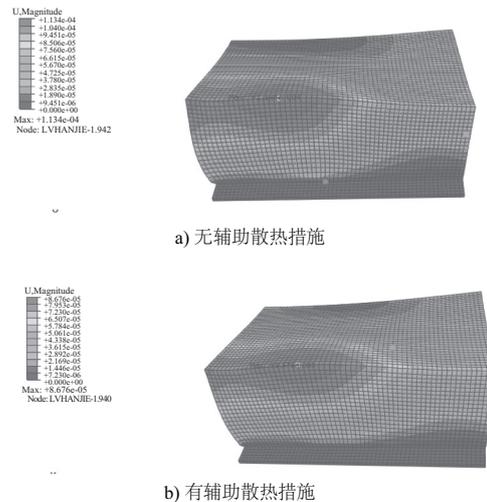


图4 应变仿真结果

2 水冷合模夹具设计

根据上文中对于保险杠总成焊接工装定位策略的研究与设计,对此类零件采用外形定位的方式。根据主横梁特点,利用外形定位可以满足精确定位的要求。由于长焊缝会产生较大的热变形,因此在保险杠主体焊接时优先要

考虑散热和防止变形的要求。采用仿形合模夹具,使得夹具与工件由点、线接触变为面接触,增加了工件向夹具的热传导面积,也有助于保持工件的设计尺寸,减少变形。

利用 Solidworks 三维设计软件,将保险杠主体的上下型面作为切除曲面特征,反向加工出上下压紧模的外表^[7]。使得夹具与工件形成凹凸模配合,同时满足了夹紧和定位的要求。具体设计如图 5 所示。

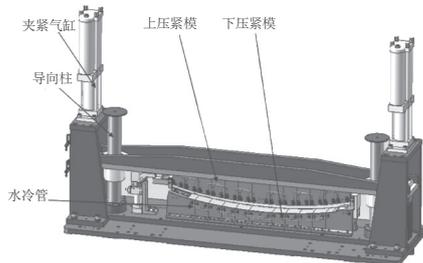


图 5 水冷合模夹具三维设计图

材质为不锈钢的上下模具贴合面与工件焊接区域充分接触,加强了热传导,减少了热应力集中,避免了焊接变形。为了进一步加强热交换速率,在模具上加工出水冷通道,通过铜管连接。在焊接过程中,由外部水冷装置加压,保证冷却水在管道内循环流动,带走焊接区域的热量,实现进一步的降温。

3 结语

根据保险杠主横梁的焊接特点和工艺,进行了仿真分

析。首先确定了长焊缝在自然状态下的热量传导模型;然后为加强散热,减少焊接变形和热应力,将仿形合模模具的材质选定为不锈钢;并将不锈钢内部打通,设置水冷通道,进一步加快热交换的速率。由此设计了专用合模水冷工装。

参考文献:

- [1] Cary, Howard B., Helzer Scott. Modern welding technology [M]. New Jersey: Englewood Cliffs, 2004.
- [2] Norrish John. Advanced welding processes [J]. Technologies and Process Control, 2006(9): 27-29.
- [3] 高娜. 机器人焊接工作站基本构成 [J]. 金属加工(热加工), 2008(4): 76-77.
- [4] Yang S M, Cho M H, Lee H Y, et al. Weld line detection and process control for welding automation [J]. Measurement Science and Technology, 2007, 30(18): 819-826.
- [5] ZF Wang, LQ Li, W Feng. Application and intelligent development of welding Robot [J]. Coal Science and Technology, 2012(5): 65-68.
- [6] M Bi, WJ Zhang. Flexible fixture design and automation; Review, issues and future directions [J]. International Journal of Production Research, 2001, 13(39): 2867-2894.
- [7] M. Vural, H. F. The effect of welding fixtures on welding distortions [J]. Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering, 2007, 20(2): 17-21.

收稿日期: 2018-03-06

(上接第 117 页)

通过两种处理方式下模型的模态分析可以看出,接头处的连接刚度对模型的振型没有影响,而对模型的模态频率有较大影响,模型的固有频率随接头连接刚度的增大而增大,特别是当连接刚度较小时,固有频率随连接刚度的增大而显著增大。

3 结语

本文对 1 个桁架索网结构进行了有限元建模,对结构的预应力模态进行了分析。在对接头与杆件的连接进行处理时,分别采用了绑定接触和带有一定刚度的转动副两种处理方式,静力分析和模态分析的结果表明,连接刚度的变化对模型的最大变形量和振型影响不大,而对结构的最大应力和固有频率影响较大,特别是连接刚度较小时,连接刚度对最大应力和固有频率的影响更为明显。在对有接头连接存在的桁架索网结构进行仿真分析时,不应简单地将接头处的连接简化为绑定接触这种刚性连接方式,应该仔细考虑接头处的连接刚度对结构的影响,特别是当连接刚度较小时,更不能忽视连接刚度对结构动力学特性造成的影响。

参考文献:

- [1] 闵士权. 未来静止轨道通信卫星的需求和发展趋势 [J]. 国际太空, 2010(10): 26-34.
- [2] 罗鹰, 段宝岩. 星载可展开天线结构现状与发展 [J]. 电子机械工程, 2005, 21(5): 30-34.
- [3] 段宝岩. 柔性天线结构分析、优化与精密控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 赵孟良, 关富玲. 考虑摩擦的周边桁架式可展天线展开动力学分析 [J]. 空间科学学报, 2006, 26(3): 220-226.
- [5] 刘福寿, 金栋平, 陈辉. 环形桁架结构动力分析的等效力学模型 [J]. 振动工程学报, 2013, 26(4): 516-521.
- [6] 周志成, 曲广吉. 星载大型网状天线非线性结构系统有限元分析 [J]. 航天器工程, 2008, 17(6): 33-38.
- [7] 胡海岩, 田强, 张伟, 等. 大型网架式可展开空间结构的非线性动力学与控制 [J]. 力学进展, 2013, 43(4): 390-414.
- [8] 陈鹿民, 阎绍泽, 金德闻, 等. 含间隙铰空间可展桁架结构的动力学实验 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(8): 1027-1030.
- [9] 范震, 郭翔鹰, 张伟. 大型空间环型天线结构动力学分析 [J]. 动力学与控制学报, 2016, 14(1): 41-47.
- [10] 李亚南, 张伟, 曹东兴, 等. 环形桁架结构模态实验及有限元仿真分析 [J]. 应用力学学报, 2017, 34(1): 119-124.

收稿日期: 2018-05-02