

文章编号: 1005-0523(2006)02-0115-04

基于 ANSYS 汽车后桥壳体焊接温度场有限元分析

倪 昀, 黄志超, 熊国良, 黄 薇

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:对汽车后桥壳体进行焊接温度场有限元分析和模拟, 建立有限元方程, 利用 APDL 语言编制了相应的程序, 在程序中考虑了材料热物性参数的温度相关性、熔化潜热以及对流等对温度场的影响。

关键词:焊接温度场; 有限元分析; ANSYS; 后桥

中图分类号: TH

文献标识码: A

1 引言

随着汽车对安全、节能、环保的不断重视, 汽车后桥作为整车的—个关键部件, 其产品的质量对整车的安全使用及整车性能的影响是非常大的^[6], 壳体的焊接残余应力的分布情况的掌握是提高后桥的安全性能的重要保障。焊接温度场是焊接残余应力分布的重要因素。本文介绍了基于 ANSYS 的有限元方法对某型号后桥壳的分析研究, 用 APDL (ANSYS Parametric Design Language) 进行二次开发, 对车后桥壳的焊接温度场三维数值动态模拟, 为进一步焊接残余应力应变场分析提供了较为理想的温度载荷。

2 温度场数学模型的建立

焊接温度场不仅直接通过热应变, 而且还间接通过随金属状态和显微组织变化引起的相变、应变决定焊接残余应力, 因此, 要进行应力应变场分析, 首先需要建立一个合理的温度场数学模型。

局部供给的热量应根据局部体积比热容 $c\rho[\text{J}/\text{mm}^3\text{K}]$ 使局部温度升高。在特定的时刻, 温度分布越

不均匀, 其温度的变化越迅速。对均匀、各向同性的连续体介质, 且其材料特征值与温度无关时, 在能量守恒的基础上, 可得到热传导微分方程式为^[1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{c\rho} \frac{\partial Q_V}{\partial t} \quad (1)$$

式中: T 为温度; λ 为材料的导热系数; t 为过程进行的时间; c 为材料的质量比热容; ρ 为材料的密度; Q_V 为单位体积输出的或消耗的热能。

圆括号内的微分项通过引入拉普拉斯运算符号 ∇^2 后可简化为 $\nabla^2 T$ 。

用张量符号标志法, 式(1)可表示为:

$$\lambda T_{ii} + Q_V = c\rho T \quad (2)$$

热传导问题的有限元从相应于微分方程式(1)和(2)的积分方程式开始, 将场离散为简单形状的单位, 从而引起一系列对于未知节点温度 T 的一阶非线性常微分方程式, 其热传导的矩阵方程式为:

$$[C_T]\{\dot{T}\} + [K_T]\{T\} = \{\dot{Q}\} \quad (3)$$

$[C_T]$: 热容矩阵; $[K_T]$: 导热率矩阵; $\{T\}$: 节点温度; $\{\dot{T}\}$: 节点温度时间导数的列矢量。

焊接过程是高度非线性瞬态问题, 材料的热物性性能随温度剧烈变化, 它的热传导问题的控制方程为:

收稿日期: 2005-11-18

基金项目: 江西省科技厅资助项目(赣科发计字[2003]188号)和江西省教育厅资助(赣教科技便函[2002]01号)

作者简介: 倪 昀(1977-), 男, 浙江金华人, 在读研究生。

$$\rho c = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \bar{Q} \quad (4)$$

式中, ρ 、 c 和 λ 是材料的密度、比热容和热导率, 它们都是温度的函数; \bar{Q} 为内热源强度。

3 边界条件的确定

由于工件的边界与周围环境存在着温差, 而与周围介质换热, 其中包括对流换热和辐射换热。在焊接过程中, 高温区域的面积相对较小, 而且焊接过程的时间较短, 所以在计算中忽略辐射换热的影响, 仅仅考虑对流换热。

4 相变潜热

研究表明, 相变潜热对温度分布也有很大的影响, 因此有必要考虑其影响。潜热的吸收和释放是材料的溶解和凝固过程区别于一般导热过程的显著特点。由于潜热的吸收和释放, 会明显的降低工件的升温和冷却的速度。常用的潜热处理方法有温度回升法、等价比热容法和热焓法^[2]。在分析过程中采用的是等价比热容法。比热容是指单位质量物体升高或降低单位温度所引起的热量变化。单位质量金属在相变温度范围内变化单位温度所引起的热量变化也可理解成比热容, 实际上这个比热容包括两部分即物体的真正比热容 (c) 和潜热引起的比热容增加 (L_0), 称此比热容为等价比热容或有效比热容 (亦称当量比热容) 记为 c_e , $c_e = c + L_0$ 。在实际计算中假设潜热均匀吸收和释放, 则:

$$L_0 = L / (T_L - T_S) \quad (5)$$

式中: L —潜热, J/kg ; T_L —液相线温度; T_S —固相线温度。

该方法适用于处理结晶温度范围较宽的合金, 同时也能满足绝大多数铸造合金的要求, 目前应用较为广泛。

5 有限元模型的建立

本文利用 ANSYS 的有限元分析工具模拟某汽车后桥壳体焊接过程中的温度场, 由于考虑到可以方便的模拟焊接热源的移动, 焊件的单元和节点随焊接过程进行而不断增加, 这就给数值计算中的网格划分、程序编制带来很多麻烦, 为此一般都进行简化处

理, 假设填充的焊道部分在焊接之前已经存在^[2], 由于此部分尽占整个焊件极小部分, 故对整个导热过程不至于产生较大的误差。由于模型的对称性, 取壳体的 $1/4$ 为分析对象, 实体模型如图 1 所示。

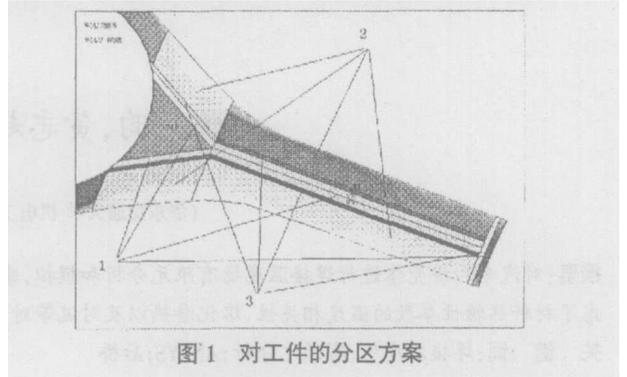


图 1 对工件的分区方案

本文采用对工件分为三个区的方案, 即焊接区 1、远离焊接的区域 2、和中间体 3。选择 8 节点的 solid70 单元, 对焊接区和远离焊接区进行映射网格划分, 根据焊接的特点, 对两个区域里的单元采用不同的单元长度, 在中间体用 20 节点的 solid90 单元进行自由划分, 使其自动退化成金字塔单元, 这样的划分方法可以有效地提高单元地协调性, 在保证模拟的效果的情况下, 相对减少整个过程的计算时间及计算量。

6 热源模型及热物理参数的确定

本文采用焊接模拟中通常使用的高斯热源模型, 在焊接过程中, 热源沿焊接方向连续移动。考虑材料特征值随温度变化的非线性状态, 就必须考虑节点温度与时间和位置的相关性, 因此使用微元上的表面热源, 将内部热源变换至节点, 利用文献^[3]提出的分段移动热源模型, 将高斯热源分为四部分, 并分别算出各部分的热流密度。其实际模拟过程中的热流密度分布形状如图 2 所示。X 方向为焊接方向, 单元上的号码分别代表热源中心到达单元 1 时, 热源区内等热流密度的单元分布情况。

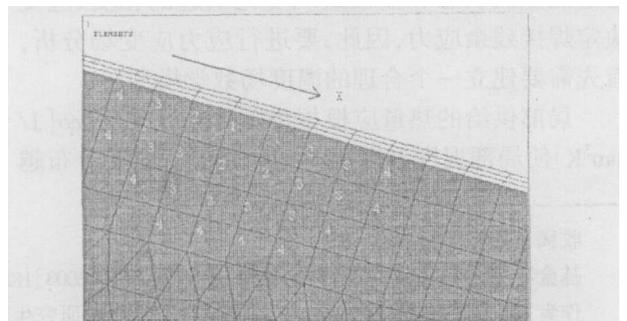


图 2 热源模型中热流密度的分布

本文中采用的热物理性能参数均为温度的函数,课题采用的材料为型号为 16 MnL 钢,相关热物参数由文献^[3]查得,对未知温度范围内的材料性能

参数按插值法确定,材料热物理性能参数随温度变化关系如图 3 所示.

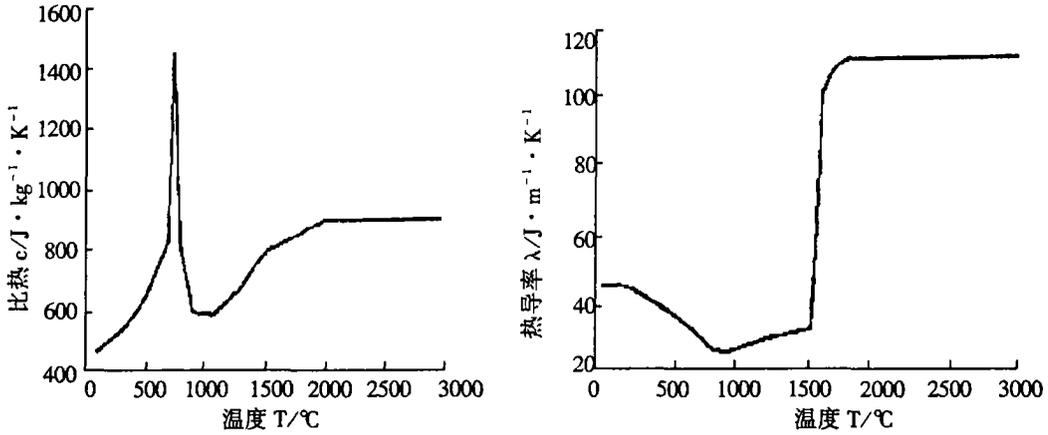


图 3 材料热物理性能参数

7 焊接过程及结果分析

课题模拟气保护焊接过程,焊接的初始温度 25°C,表面自然对流换热系数 3.42 W/(m²·°C)^[5]. 移动速度为 0.012 m/s,电流为 360 A,电压为 25 V.

整个分析过程在 ANSYS 上完成,主要分为上、下桥对接焊缝,三角板与壳体对接,以及壳体与半轴套筒环焊等三个部分.整个焊接及冷却历时 7 200 秒,记录其温度变化情况.利用 ANSYS 软件生成动

画的功能,显示整个焊接过程中温度场的变化状况,能很清楚地发现:随着热源的移动,焊件上各点的温度随时间而变化;开始一段时间内,温度很不稳定,而且焊件升温迅速;经过一段时间后,焊件上会形成准稳定温度场,即焊件上各点的温度虽然随时间变化,但热源附近的等温线随着热源移动基本上保持不变.图 4 为焊接在各个时间的温度场分布.由图可知,整个熔池形状类似于不标准的半椭球,熔池中部(即热源中心)温度很高,前部等温线很密集,而后部等温线比较稀疏.

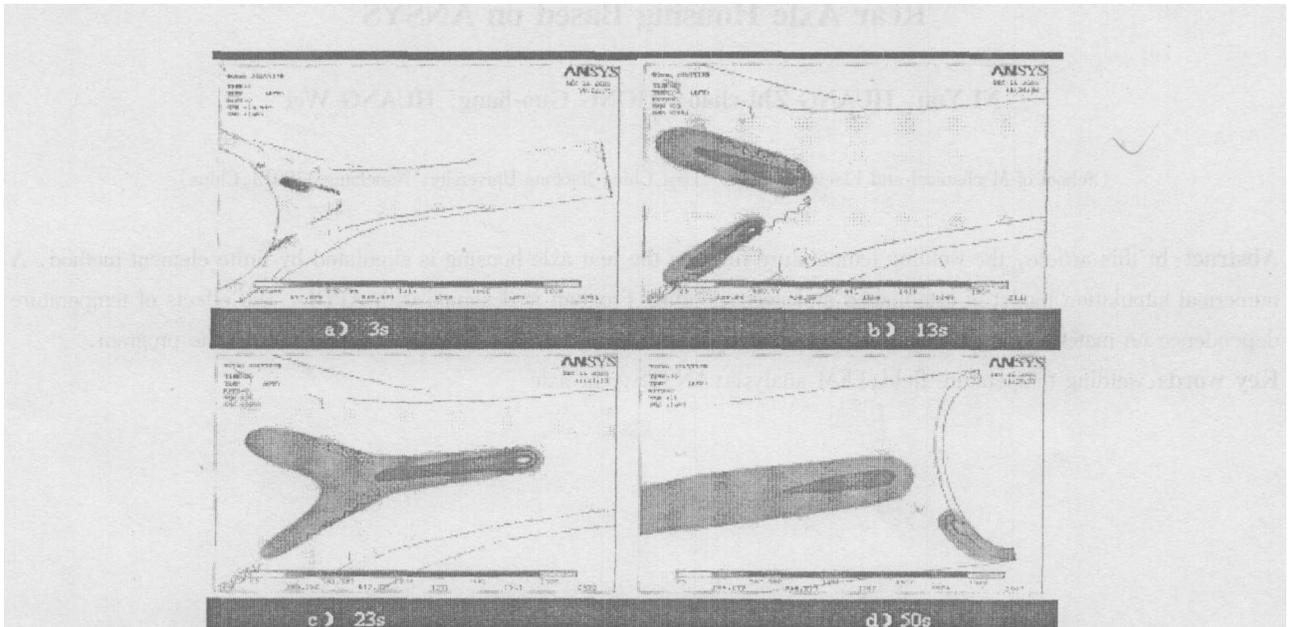


图 4 各时间的温度场分布

图5为焊接面上垂直于焊接路径的直线上离焊接中心4 mm、8 mm、14 mm处节点温度随时间变化与热源中心温度变化的比较.该图显示,焊接过程中热源沿焊件移动时,焊件上某点温度由低而高,达到最高值后,又由高而低,随时间而变化;各点的升温速度均明显地比冷却速度要大;冷却时,各点温度逐渐趋于某一值,即降到焊件的平均温度为止.

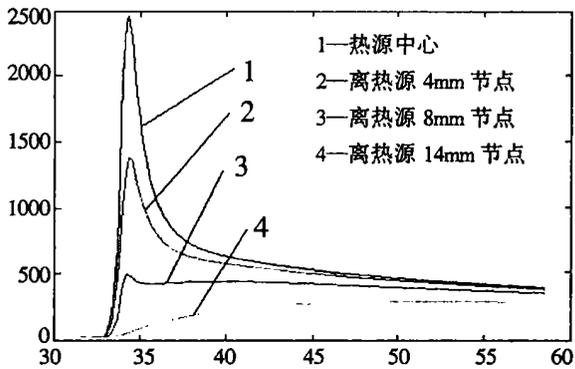


图5 各点温度变化图

8 结束语

1) 汽车后桥壳体的焊接过程是一个高度非

线性的传热问题,本文充分利用汽车后桥壳体的对称性,建立适当的有限元计算模型,利用混和网格划分技术,对模型进行有效的区域划分,并采用疏密不同的网格,减少节点,大大缩短了计算时间.

2) 在数值模拟过程中,利用 ANSYS 软件的 APDL 语言编写程序,实现了呈高斯函数分布且移动的焊接热源的施加,这是实现动态模拟的关键.

参考文献:

- [1] D. 拉达伊著,熊第京,郑朝云,等译.焊接热效应—温度场,残余应力,变形[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 周建兴,刘瑞祥,陈立亮,林汉同.凝固过程数值模拟中的潜热处理方法[J].铸造,2001,1:404~407.
- [3] 黎江.三维焊接热应力和残余应力演化虚拟分析技术研究[D].南宁:广西大学,2002.
- [4] 谭真,郭广文.工程合金热物性[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [5] 鹿安理,史清宇,赵海燕等.厚板焊接过程温度场、应力场的三维有限元数值模拟[J].中国机械工程,2001,12(2):183~186.
- [6] 蔡志武,史英明.ANSYS 在车后桥壳分析研究[J].ww.e-work.netun.2005,5,18.

FEM Analysis of Welding Temperature Field for Automobile Rear Axle Housing Based on ANSYS

NI Yun, HUANG Zhi-chao, XIONG Guo-liang, HUANG Wei

(School of Mechanical and Electronic Eng., East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In this article, the welding temperature field on the rear axle housing is simulated by finite element method. A numerical simulation model is established and corresponding Program is designed with APDL. The effects of temperature dependence on material thermo-physical parameters, potential heat and convection are considered in the program.

Key words: welding temperature field; FEM analysis; ANSYS; rear axle