

文章编号:1004-4736(2008)01-0098-03

螺旋焊与对接焊的有限元模拟

舒安庆,王 犇,吴开斌,魏化中

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

摘 要:采用有限元软件 ANSYS 中生死单元技术对螺旋焊和对接焊焊接过程进行数值模拟,得出两种焊缝焊接残余应力、退火应力、退火温度场的分布规律及大小,为该焊接工艺的改进及焊接结构的变形控制提供有益的帮助。

关键词:螺旋焊;对接焊;生死单元;温度场;耦合场

中图分类号:TG 407

文献标识码:A

0 引言

由于天然气管道管径大,焊缝长,对焊接接头组织与性能要求高等特点,燃气管道的焊缝大多采用埋弧自动焊技术(壁厚较小的管道可以不用开坡口),焊缝形式主要为螺旋焊缝和对接焊缝,螺旋焊缝相对对接焊缝具有成形好、无冷扩径等优点,但由于最大剪应力沿 45° 方向,螺旋角使焊缝成为危险截面。燃气管道中对接焊缝常用的为V形坡口焊缝,其承载后应力分布比较均匀,但由于沿厚度焊缝不对称,焊后角变形较大。

随着计算机技术的发展,对于焊接的有限元模拟也得到广泛研究。赵学荣^[1]采用有限元方法数值模拟了对接焊缝的残余应力大小与分布,月兰等^[2]采用小孔法与分割法对两种形式焊缝的残余应力进行了实验分析,董俊慧等^[3~4]利用ADINA非线性分析有限元程序,对低碳钢管道的环焊缝接头的焊接残余应力进行了有限元分析和应力规律预测,并讨论了焊接过程中有无相变对残余应力的影响,吉玲康、董绍华^[5~6]研究了螺旋焊管的残余应力及其焊缝区裂纹扩展阻力的分布与大小。本文采用ANSYS中的生死单元技术对螺旋焊和对接焊的焊缝进行有限元模拟,并对焊后焊缝区附近温度场进行模拟,得出经过退火处理的焊缝区的应力与温度场分布与大小,对改进焊接工艺和控制结构变形提供帮助。

1 焊缝区的生死单元处理

根据从现场采集回来的管道试样($\Phi 325 \times 8$)测量焊接接头的结构尺寸如下:螺旋焊缝的螺旋角 $\beta=70^\circ$,试样宽度为20 mm,焊缝宽度为5 mm;对接焊缝的试样宽度20 mm,V形坡口角 $\gamma=55^\circ$ 。

焊丝直径均为4 mm,焊接电流700 A,电弧电压28 V,焊接速度10 mm/s。

计算中只考虑温度场对应力场的耦合作用,而不考虑应力场对温度场的耦合作用。选取合适单元,输入相关材料热物理参数,建模并划分网格,在每一时间步长上用修正的Newton Raphson方法进行热平衡迭代,求解并进入时间历程后处理器,显示等效节点应力应变。为了模拟多层焊缝的焊接过程,采用了ANSYS的单元“死活”技术,当第1层焊缝开始焊接时,该层单元处于“活”的状态,其余焊缝则处于“死”的状态,对温度场和应力场的计算不起作用,第2层焊缝开始焊接时,该层焊缝的单元“复活”。焊接热源随着焊缝单元的“复活”逐渐加到焊缝单元上,以上步骤也可以通过编程在ANSYS中自动实现。

2 焊接温度场的计算

在温度场的计算中,与温度相关的材料热物理参数按表1进行选取。退火处理属于热-结构耦合问题。ANSYS中耦合场分析方法包括序贯耦合方法和直接耦合方法,前者是按照顺序进行两次或更多次的相关场分析,后者则是利用包含所有必须自由度的耦合单元类型,仅仅通过依次求解就能得出耦合场的结果。本文采用的就是直接耦合场,选取的是PLANE13热-结构耦合单元进行求解。求解非线性热传导平衡方程时,采用一步欧拉向后时间积分法,在每一时间步长上使用修正的Newton-Raphson迭代法进行热平衡迭代,时间步长取决于应力场计算的时间步长。文中取焊接后焊缝区邻域内的平均温度为 $1\ 200^\circ\text{C}$,冷却时间为5 min,时间步长为1 s,进行迭代计算。模拟结果如图1~6所示。

收稿日期:2006-12-18

作者简介:舒安庆(1964-),男,浙江宁波人,副教授,硕士,研究方向:化工设备、压力容器及管道。

表 1 随温度变化管材与焊材的材料属性变化表

Table 1 The material property of natural gas pipe in different temperature

材料	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	弹性模量 $E/10^{11}\text{Pa}$	屈服强度 $\sigma_s/10^9\text{Pa}$	切变模量 $G/10^{10}\text{Pa}$	密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	泊松 比 μ	传热系数 $K/\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	线胀系数 $\alpha/10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}$	比热容 $c/\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$
母材 16Mn	20	1.93	1.2	1.93	8 030	0.29	16.3	1.78	502
	500	1.5	0.93	1.5					
	1 000	0.7	0.44	0.7					
	1 500	0.1	0.07	0.1					
	2 000	0.01	0.007	0.01					
焊材	20	1.17	0.9	1.17	8 900	0.3	393	1.66	385
	500	0.9	0.7	0.9					
	1 000	0.3	0.23	0.3					
	1 500	0.05	0.04	0.05					
	2 000	0.005	0.004	0.005					

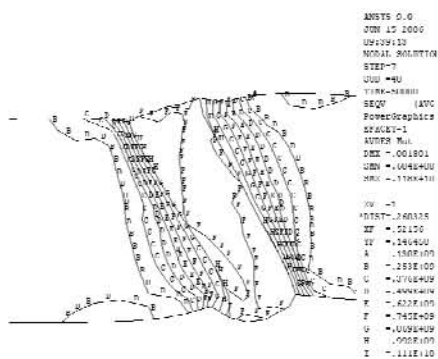


图 1 螺旋焊等效残余应力等值图

Fig. 1 The isopleth's figure of residual stress (Spiral welding)

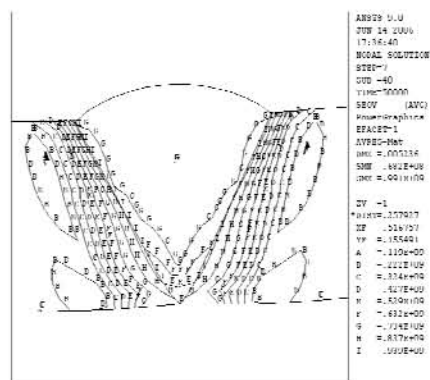


图 2 对接焊的等效残余应力等值图

Fig. 2 The isopleth's figure of residual stress (Butt welding)

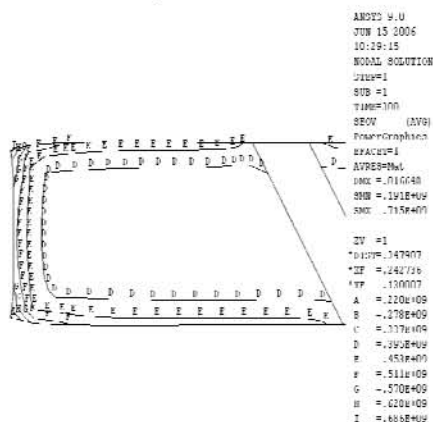


图 3 螺旋焊退火应力等值图

Fig. 3 The isopleth's figure of annealed stress (Spiral welding)

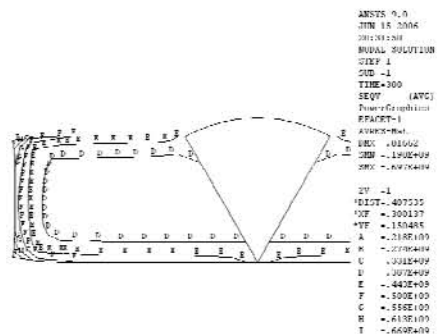


图 4 对接焊退火应力等值图

Fig. 4 The isopleth's figure of annealed stress (Butt welding)

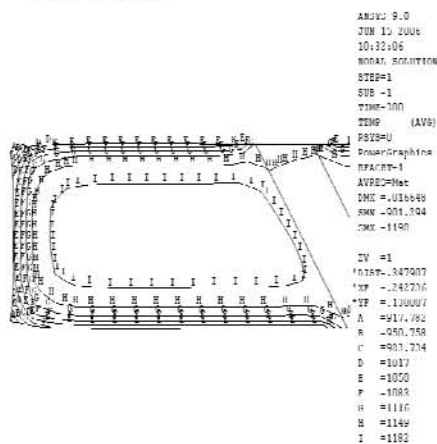


图 5 螺旋焊退火温度场等值图

Fig. 5 The isopleth's figure of annealed temperature (Spiral welding)

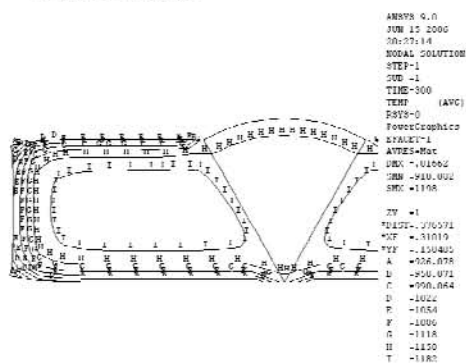


图 6 对接焊退火温度场等值图

Fig. 6 The isopleth's figure of annealed temperature (Butt welding)

3 结果与分析

a. 从图 1 与图 2 中可以看出,螺旋焊与对接焊的焊缝区内的焊接残余应力都具有关于焊缝的对称分布特征,但螺旋焊残余应力值略比对接焊的值大.螺旋焊与对接焊在焊缝区邻域内最大应力不是在溶合区,而是在焊缝的热影响区内,且在热影响区的边缘达到最大,这表示在接近焊缝区管材受到的是拉应力,远离焊缝区受到是压应力,焊接后管材都有一定程度的缩短.为了减小焊接接头的热变形,实践中可采用焊件预变形方法、减小焊接过程中线能量和焊件预热等方法减小焊接残余应力.

b. 从图 3 和图 4 中可以看出,经过退火处理后,管材的应力和弯曲变形都相应减小,退火处理可以消除焊接的残余应力.在实践中,焊后退火热处理是消除焊接残余应力的重要方法之一.

c. 从图 5 与图 6 中可以看出,退火处理后螺旋焊和对接焊的焊缝区的温度场分布相似,都是关于焊缝区的热影响区呈环形分布,远离焊缝区

温度越低,无温度场集中现象.

以上得到的分析结果可以为这两类焊接工艺的改进和控制焊接结构的变形提供有益的帮助.

参考文献:

- [1] 赵学荣,朱援祥,孙秦明.对接焊缝残余应力的有限元分析[J].焊接技术,2003,32(5):14-16.
- [2] 月 兰.焊管的残余应力测试与研究[J].实验力学,2001,16(3):302-312.
- [3] 张玉凤,霍立兴,董俊慧.低碳钢管道焊接残余应力有限元分析[J].焊接,2000,(12):11-15.
- [4] 董俊慧,林 燕,林文光,等.相变对管道环焊缝残余应力的影响[J].中国机械工程,2005,16(5):459-463.
- [5] 吉玲康,颜 峰,霍春勇,等.螺旋缝埋弧焊管的水压和稳压试验及残余应力[J].石油机械,2000,28(3):15-18.
- [6] 董绍华,吕英民.螺旋焊管焊缝区 I/II 型裂纹 R 阻力曲线的确定[J].油气储运,2000,19(5):27-34.
- [7] 王富耻,张朝晖.ANSYS10.0 有限元分析理论及工程应用[M].北京:电子工业出版社,2006.271-272.

The Finite-element Analysis on spiral welding and butt welding

SHU An-qing, WANG Wei, WU Kai-bin, WEI Hua-zhong

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

Abstract: The Finite element Analysis (FEA) method has been used to simulate the process of the spiral welding and butt welding through the element birth-dead skills successfully. Then there are some useful conclusions, such as the distribution and magnitude of the residual stress, annealing stress and annealing temperature field, which are in accord with the practice. They can provide much help for improving the welding technology and controlling welding deformation.

Key words: spiral welding; butt welding; element birth-dead; temperature field; coupled field

本文编辑:陈晓革