

钨极氩弧焊接汽车离合器盘残余应力和变形的有限元预测

杨永春

(新疆交通职业技术学院 汽车与机电工程学院, 新疆 乌鲁木齐 831401)

摘要:采用有限元分析软件对 20Cr 低合金钢汽车离合器盘 TIG 焊接过程进行数值仿真, 预测最优热源参数下焊接变形和残余应力的分布。结果表明: 冷却过程中, 焊接变形逐渐减小, 焊接应力逐渐增大。室温状态时, 最大焊接残余变形为 0.188334 mm, 最大焊接残余应力为 679.023 MPa。另外, 在焊接起始点位置, 由于受两次焊接热循环的影响, 该位置具有较小的焊接变形量。

关键词: 20 Cr 低合金钢; 焊接变形; 残余应力; 有限元

中图分类号: TG404

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2013)19-0158-04

Finite Element Prediction of Welding Residual Stress and Deformation in TIG Welded Auto Clutch Disc

YANG Yongchun

(Department of Automotive Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Vocational & Technical College of Communications, Urumchi 831401, China)

Abstract: The welding process of 20Cr low alloy steel auto clutch disc TIG welding was numerical simulated by finite element analysis software. The distribution of welding residual stress and deformation under optimal heat source parameters were predicted. The results show that during cooling process, the welding deformation gradually decreases, while the welding stress gradually increases. At room temperature, the maximum welding residual deformation is 0.188334 mm, and the maximum welding residual stress is 679.023 MPa. Furthermore, in the position of welding starting point, as for the influence of twice welding heat cycle, the position has a smaller amount of welding deformation.

Key words: 20Cr low alloy steel; welding deformation; residual stress; finite element

离合器是汽车传动系统的关键零部件, 其材料主要为低合金高强钢。目前, 汽车离合器从动盘和心部齿轮圈的结合方式主要为焊接^[1], 焊接质量要求较高。由于低合金钢具有较高的高温热导率, TIG 焊焊接低合金钢时, 熔池及其邻近区域金属高温停留时间较长, 焊后零件容易产生较大的残余应力和变形^[2]。焊接残余变形的存在容易影响后续装配工序, 严重的焊接残余变形更会导致产品报废^[3]; 而焊接残余应力是引起应力腐蚀, 进而降低构件承受外部承载能力的主要原因^[4]。因此, 预测 TIG 焊接汽车离合器焊缝残余应力和变形的产生和分布, 对于有效提出其控制和消除措施具有重要意义。

近年来, 基于计算机仿真技术的有限元分析已

被成功地应用于焊接过程各种热物理现象的研究^[5], 并具有准确、快速、低成本等优点。本研究基于焊接专用有限元分析软件, 预测某企业 20Cr 低合金钢汽车离合器从动盘与心部齿圈 TIG 焊接过程焊接变形和残余应力的产生和分布, 以期控制和消除其实际生产中焊接变形和残余应力提供指导。

1 材料性能参数

实际焊接时, 被焊区域金属经历熔化-凝固两个过程, 当熔池金属开始凝固时, 过冷奥氏体有可能向铁素体、珠光体和贝氏体转变(转变结果与冷却速率有关)。因此, 进行数值计算时, 需要用到依赖于温度变化的材料热物理性能参数(导热率、比热容、密度)和力学性能参数(杨氏模量、泊松比、线膨胀系数)。本文采用材料性能模拟软件 Jmatpro 计算上述所需不同温度下 20Cr 钢的热物理性能参数值, 根据计算结果创建其材料性能数据库, 导入 SYSWELD 软件

收稿日期: 2013-02-20

作者简介: 杨永春(1972-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 副教授, 硕士, 研究方向: 机械设计; 电话: 13999835070; E-mail: 370378545@163.com

进行计算。采用 Jmatpro 软件计算材料性能参数时设定合金成分(质量分数,%)为:0.2C,0.27Si,0.65Mn,0.85Cr,0.02S,0.02P,0.02Ni,0.02Cu,97.97Fe。图 1 给出了材料热物理性能参数和部分力学性能参数随温度的变化。

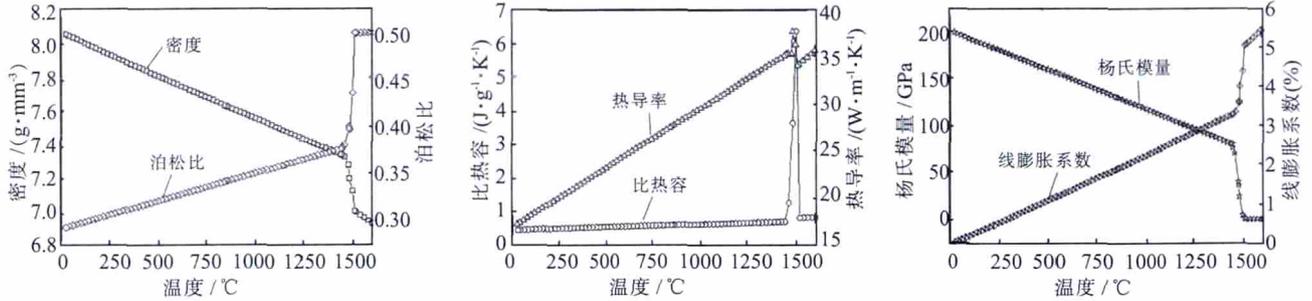


图 1 料热物理性能参数和力学性能参数

Fig.1 Thermal physical properties parameters and mechanical performance parameters

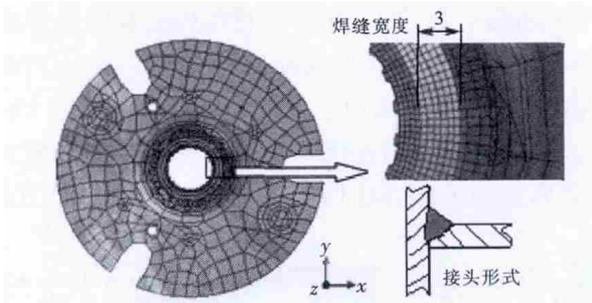


图 2 网格模型及接头形式

Fig.2 Mesh model and joint form

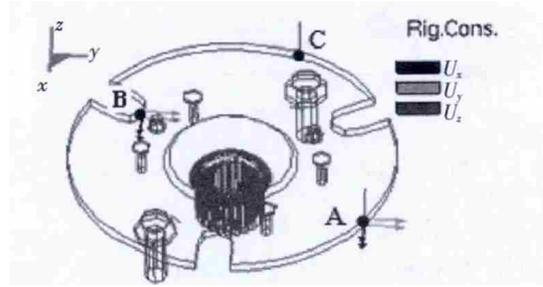


图 3 约束加载方式

Fig.3 Constraint loaded model

选用 3-D 双椭球热源模型^[6]进行热学部分计算,电弧的热效率取值为 0.7。正式计算前,经过多次热源调试,最终确定热源在前、后半椭球内最大热流体密度分布为 84 和 70 W/mm³;热源模型高斯参数分别为: $a_1=1$ (x 正半轴), $a_2=2$ (x 负半轴), $b=2$ (y 轴方向), $z=2$ (z 轴方向)。

在实际焊接时,热源主要通过热传导对材料内部进行加热,产热方程遵循下列公式^[7]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) + q_1 (t \geq 0)$$

式中: T 为材料的瞬时温度($^{\circ}\text{C}$); λ 为材料的热导率($\text{W}\cdot\text{mm}^{-1}\text{C}^{-1}$); q_1 为热源单位时间产生的热量($\text{W}\cdot\text{mm}^{-3}$); ρ 为材料密度 ($\text{g}\cdot\text{mm}^{-3}$); c 为材料的比热容($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\text{C}^{-1}$)。

网格模型同周围空气之间的对流换热可通过 Newton 冷却方程^[8]描述,同周围空气之间的辐射散热遵循 Stefan-Boltzman 定理^[9]。

数值模拟时,约束设置如图 3 所示,在 A 位置 x, y, z 三方向施加刚性约束,定义 $U_x=U_y=U_z=0$;在 B 位置 x, y 两方向施加刚性约束,定义 $U_x=U_y=0$;在 C

2 有限元分析

图 2 给出了离合器盘有限元网格模型,该网格模型主要为六面体(8 节点)和五面体(6 节点)单元,共包含 21526 个节点和 30675 个单元。

位置 z 方向施加刚性约束,定义 $U_z=0$ 。

3 计算结果分析

3.1 温度场分析

焊接过程的局部不均匀加热是造成焊接结构产生变形和残余应力的主要原因。因此,分析焊接结构变形和残余应力,必须首先研究焊接过程中材料经历的热历史。图 4 给出了 TIG 焊接汽车离合器盘过程焊接温度场的演变云图。图 4(a)显示,在引弧阶段($t=0.4\text{s}$),焊缝中心线附近的温度梯度较低,熔池中心最高温度为 1637.2°C 。图 4(b)显示,当熔池达到准稳态时,焊缝中心线附近的温度梯度高,加热时温度迅速升高,熔池最高温度大约为 2054.94°C 。图 4(c)显示,在收弧阶段,焊接中心线附近的温度梯度降低,熔池温度快速降至 20Cr 钢熔点以下。

为了定量分析焊缝及其邻近区域金属材料经历的热过程,对准稳态时熔池及其邻近区域金属的热循环曲线进行定量分析。图 5 为熔池进入准稳态阶段后熔化区(FZ),热影响区(HAZ)和母材(BZ)区的热循环曲线,结合计算结果相关数据,在最优热源参数

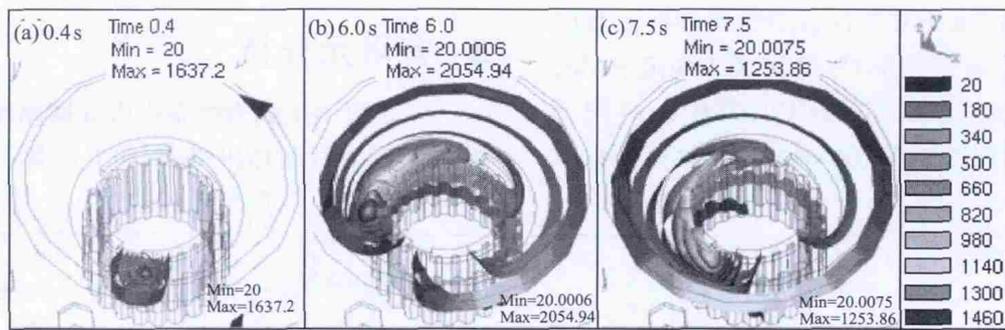


图4 温度场演变云图(°C)
Fig.4 Evolution of temperature field(°C)

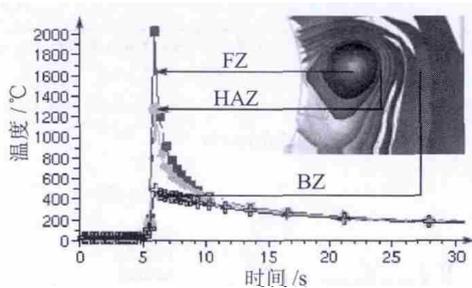


图5 焊接热循环曲线
Fig.5 Thermal cycle curves of welding

下,熔池进入准稳态后,熔池区金属温度范围为 1480~2054 °C,冷却速率约为 270 °C/s; HAZ 温度范围为 847~1480 °C,冷却速率近似为 150 °C/s; FZ 和 HAZ 相变温度以上停留时间分别为 0.7 和 0.4 s; FZ 和 HAZ 的 $t_{8/5}$ 时间分别为 5.2 和 8.4 s。

3.2 焊接变形分析

图6给出了焊接结束($t=7.5s$)和冷却至室温($t=300s$)时焊接变形等值线图。图6(a)显示,焊接结束时,最大变形量为 0.294359mm,主要发生在内部齿圈上部位置,见图 6(a);图 6(b)显示,冷却至室温时($t=300s$),最大变形减小为 0.188334mm,发生位置不变。冷却过程中,焊接变形逐渐减小。

为了进一步探讨 TIG 焊接汽车离合器盘焊缝及附近焊接变形分布规律,提取了从齿圈内边缘向外垂直于圆弧焊缝,至从动盘距离焊缝中心线 3.7mm 距离的沿焊接方向 4 个方位(0° 、 90° 、 180° 和 270° 位置)的焊接变形,并绘制出相对位置与焊接变形(位移量)的对应关系曲线,如图 7 所

示。

图 7(a)显示,在 0° 位置(焊接起始、结束位置),焊接变形(位移量)最大值近似为 0.1 mm,位于内齿圈侧,随着距离焊缝距离的减小,焊接变形逐渐减小;在从动盘一侧(图 7 焊接线右侧),随着距离焊接线距离的增大,焊接变形逐渐减小。图 7(b)~(d)显示,在沿着焊接方向的 0° 、 90° 、 180° 和 270° 方位,取样点焊接变形具有相近值和相似的变化趋势,最大焊接变形量均近似为 0.14mm。但是,对应于图 7(a)

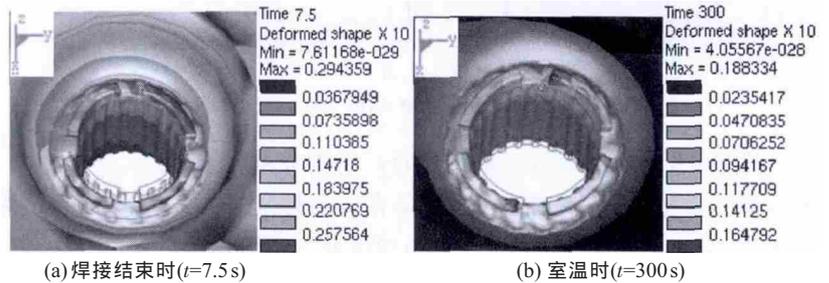


图6 焊接变形等直线图(mm)
Fig.6 Contour maps of welding deformation(mm)

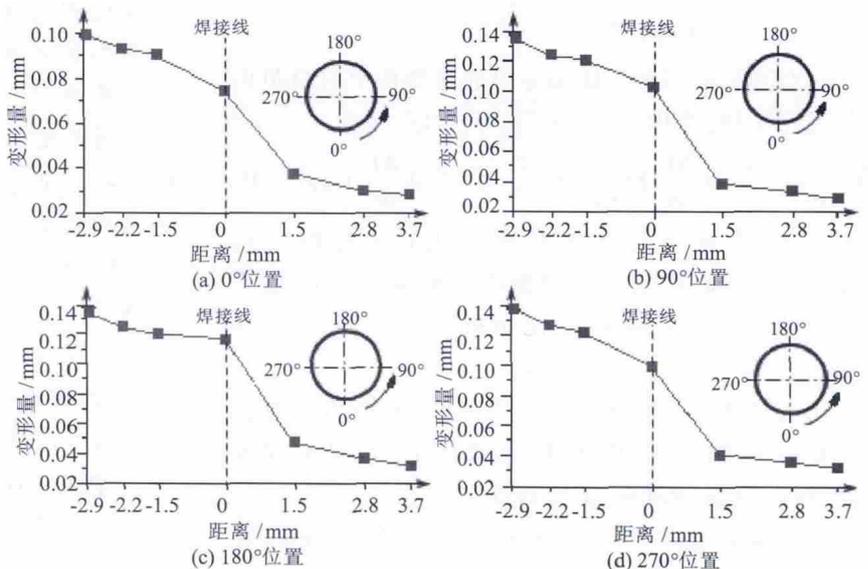


图7 不同位置的变形量分布
Fig.7 Distribution of deformation at different positions

所示取样点,图7(b)~(d)所示取样点具有较大的变形量。分析认为,造成这种差异的主要原因在于,0°位置金属经历两次焊接热循环(焊接开始和结束时各一次)的影响,第一次焊接热循环对金属材料具有焊前预热作用,第二次焊接热循环对焊缝金属产生焊后热处理作用,两次焊接热循环的共同作用导致该区域金属具有较小的最大焊接变形量。

3.3 焊接应力分析

图8给出了焊接结束($t=7.5$ s)和冷却至室温($t=300$ s)时焊接应力等值线图。图8(a)显示,焊接结束时,最大焊接应力为539.979 MPa,发生在焊缝连接从动盘侧;图8(b)显示,冷却至室温($t=300$ s)时,最大焊接应力增大为679.023 MPa,发生位置不变。冷却过程中,焊接应力逐渐增大。

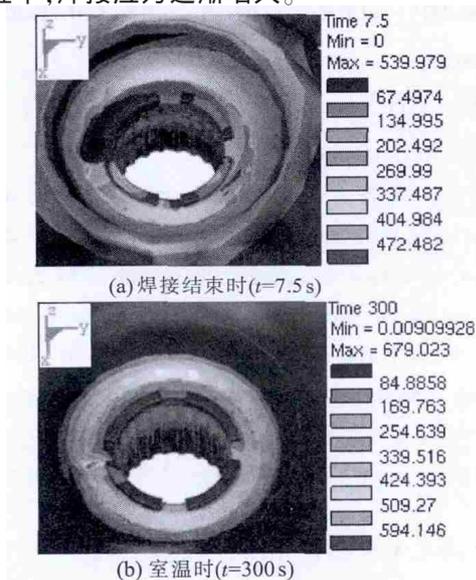


图8 焊接应力等值线图(MPa)

Fig.8 Contour maps of welding stress(MPa)

4 结论

(1) 焊接结束时,最大变形量为0.294359 mm,

主要发生在内部齿圈上部位置;冷却至室温时($t=300$ s),最大变形量减小至0.188334 mm。冷却过程中,焊接变形逐渐减小;在焊接起始点位置,由于受两次焊接热循环的影响,该位置具有较小的焊接变形量。

(2) 焊接刚结束时,最大焊接应力为539.979 MPa,发生在焊缝连接从动盘侧;冷却至室温($t=300$ s)时,最大焊接应力增大为679.023 MPa,发生位置不变。冷却过程中,焊接应力逐渐增大。

参考文献:

- [1] 郭彦兵,童彦刚,贺晓娜. 低合金钢薄板件 TIG 焊接温度场三维有限元模拟[J]. 热加工工艺,2010,39(21):158-160.
- [2] 刘奇先. 汽车变速箱齿轮 CO₂ 激光焊接热过程的有限元分析及实验验证[J]. 热加工工艺,2012,41(15):148-150,154.
- [3] 王玉仓,王向杰. 残余应力和变形在 Q345D 钢 CO₂ 气体保护焊接接头中的分布 [J]. 热加工工艺,2012,41(15):151-154.
- [4] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [5] 陈楚. 数值分析在焊接中的应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,1985.
- [6] Goldak J, Chakravarti A, Bibby M. A new finite element model for welding heat sources [J]. Metal Tran B, 1984, 15: 299-305.
- [7] 武传松. 焊接热过程数值分析[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1990.
- [8] Deng D A. Study of welding inherent deformations in thin plates based on finite element analysis using interactive substructure method [J]. Mater Des, 2009, 30: 359-366.
- [9] Kermanpur A, Shamanian M, Yeganeh V. Three-dimensional thermal simulation and experimental investigation of GTAW circumferentially butt-welded Incoloy 800 pipes [J]. J Mater Proc Tech, 2008,199:295-303.

(上接第157页) 取必要措施消除焊接残余应力,以避免因应力过大而产生裂纹等缺陷。

参考文献:

- [1] 陈玉华,王勇. 基于 SYSWELD 的运行管道在役焊接热循环数值模拟[J]. 焊接学报,2007,28(1): 85-88.
- [2] 靳海成,王勇,韩彬,等. 压力管道在役焊接修复的研究现状及前景[J]. 新技术新工艺,2006,(4): 100-102.

- [3] 鹿安理,史清宇. 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): 183-185.
- [4] 莫春立,钱百年,国旭明,等. 焊接热源计算模式的研究进展[J]. 焊接学报,2001,22(3): 93-96.
- [5] 倪红芳,凌祥,涂善东. 多道焊三维残余应力场有限元模拟[J]. 机械强度,2004,26(2): 218-222.
- [6] 刘哲,李午申,陈翠欣,等. 热-冶金相互作用下焊接温度场的三维动态有限元模拟 [J]. 机械科学与技术,2005,24(12): 1396-1399.