

本文参考文献引用格式 杨晓川 程永明 朱忠尹 等. 铝合金析出相对超声波残余应力测试精度的影响[J]. 电焊机, 2018, 48(03): 323-326.

铝合金析出相对超声波残余应力测试精度的影响

杨晓川¹, 程永明¹, 朱忠尹², 祝鹏飞²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111 2. 西南交通大学 材料科学与工程学院, 四川 成都 610031)

摘要 为研究析出相对超声测量残余应力的影响, 在 200 °C 下将 7xxx 母材分别保温 2 h、4 h、6 h、8 h 后制备试验试样。分别对试样的应力常数 K 、超声波在零应力介质中的传播时间 t_0 、超声衰减 3 个指标进行测试, 分析铝合金的析出相对 2 个计算参数 K 、 t_0 及超声衰减的具体影响。分析发现, 在析出相含量有明显差距的 4 组试样中, 其 K 、 t_0 、超声衰减均没有明显变化, 说明 7xxx 铝合金材料的析出相对超声波测量残余应力的精确度基本无影响。

关键词 残余应力 析出相 应力常数 超声衰减

中图分类号: TG404

文献标志码: A

文章编号: 1001-2303(2018)03-0323-04

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2018.03.66

Effect of precipitation of aluminum alloy on accuracy of residual stress ultrasonic measurement

YANG Xiaochuan¹, CHENG Yongming¹, ZHU Zhongyin², ZHU Pengfei²

(1. CRRC Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China 2. Material Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract The influence of the precipitation on the accuracy of residual stress ultrasonic measurement was studied in this paper. The 7xxx aluminum alloy base material was kept warm for 2, 4, 6, 8 hours at 200 degrees and then made into experimental samples. The stress constant K , propagation time of ultrasonic wave in zero stress medium t_0 and ultrasonic attenuation of the samples were tested and the exact influence of the precipitation on two calculation parameters K and t_0 was analysed. After analysis, there were no significant changes of K , t_0 and ultrasonic attenuation in the four groups of samples with obvious difference in precipitated phase content. This showed that the accuracy of residual stress ultrasonic measurement was not affected by the precipitation of 7xxx aluminum alloy.

Key words residual stress; precipitation; stress constant; ultrasonic attenuation

0 前言

随着我国制造业的飞速发展, 在大型装备、承载结构的制造和使用过程中, 安全成为重中之重。其中, 残余应力的危害不容忽视, 它是焊接结构安全评

价中的重要一环。

目前残余应力的测量方法很多, 主要分为有损测试和无损测试两大类。有损测试包括切条法、切槽法、剥层法、盲孔法等; 无损测试包括 X 射线衍射法、超声波法、磁性法、中子衍射法等^[1]。超声波应力测试法已有几十年的发展历史, 发展相对较快, 常用于应力测试的波形有纵波、横波、表面波、Lam 波等。近十几年, 临界折射纵波(LCR 波)测量残余

收稿日期: 2018-01-16

作者简介: 杨晓川(1985—) 男, 学士, 工程师, 主要从事高速动车组车体结构设计的研究。E-mail: yangxiaochuan@cqsf.com。

应力技术得到很大发展^[2-5],成为超声波应力测试技术中的主流方法。

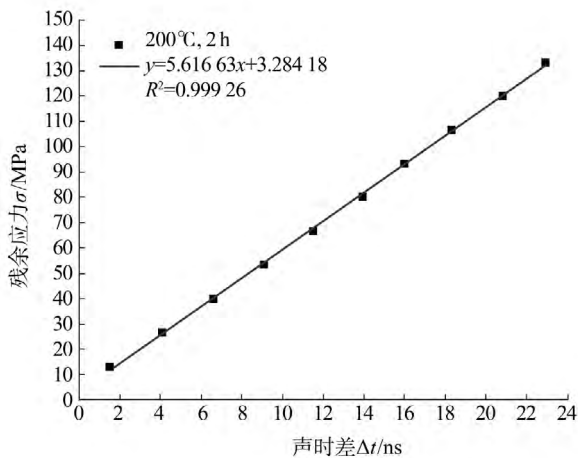
在超声波测量残余应力系统中,晶粒度、析出相、织构是 3 种影响测试精度的主要微观结构。析出相是微观结构的重要组成部分,亦称为脱溶相或沉淀相,是饱和固溶体温度降低时析出的相,或固溶处理后得到的过饱和固溶体在时效时析出的相。细小的析出相产生时效强化,阻止位错的迁移,从而提高合金强度^[6],是提高合金性能的方式之一。在此对析出相的影响进行研究,以评价析出相对测试精度的影响,进一步增加修正模型的精确性。

1 析出相对 K 的影响

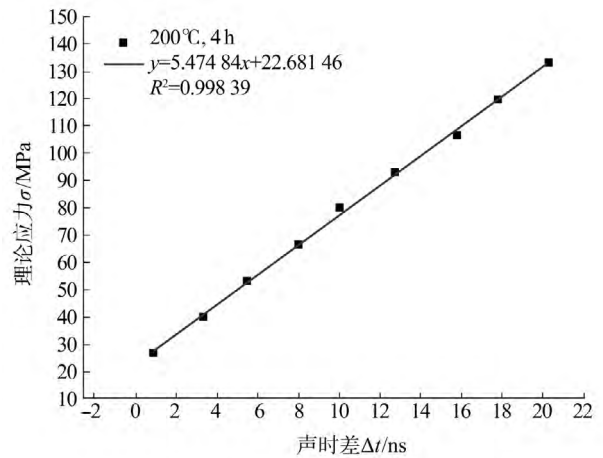
超声波在介质中传播时,随着距离的增加,声波的散射和吸收会导致能量衰减,该现象称为超声波衰减,它是评价材料特性的重要参数。超声波在固体介质中传播时,根据衰减原因的不同,存在扩散衰减、吸收衰减和散射衰减等。

将 4 组 7B05 铝合金母材试样分别在 200 °C 下保温 2 h、4 h、6 h、8 h 后,对试样进行单轴拉伸标定实验,计算应力常数 K。4 组试样的拉伸标定拟合结果如图 1 所示。

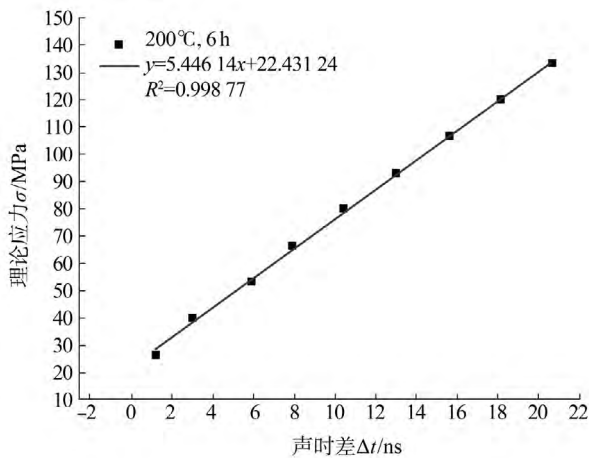
通过 4 组拉伸标定实验可以看出,在 200 °C 温



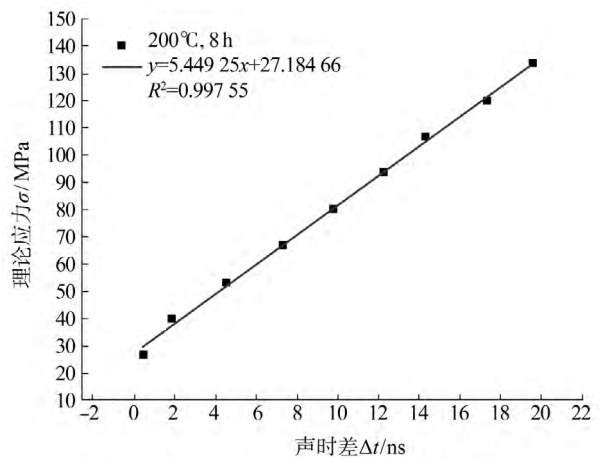
a 200 °C 2 h



b 200 °C 4 h



c 200 °C 6 h



d 200 °C 8 h

图 1 析出相试样拉伸标定

度下分别保温 2 h、4 h、6 h、8 h 后,应力常数如表 1 所示。

表 1 析出相试样的应力常数 K MPa·ns⁻¹

| 未处理 | 200 °C 2 h | 200 °C 4 h | 200 °C 6 h | 200 °C 8 h |
|------|------------|------------|------------|------------|
| 5.41 | 5.61 | 5.47 | 5.44 | 5.44 |

4 条拟合曲线拟合度均较高,确定值 R^2 均在 0.98 以上,可信度较好。4 组拉伸标定结果之间差距不大,比较 4 组试样拉伸标定的效果,如图 2 所示。

为便于比较斜率大小,将 4 组拉伸标定曲线的起点同时位移至原点处。由图 2 可知,经过 200 °C

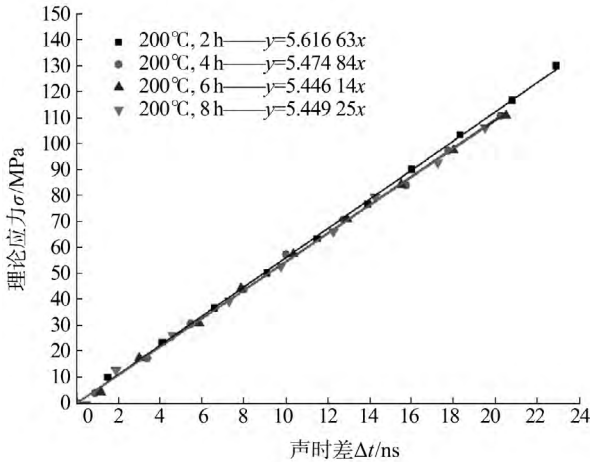


图2 析出相试样应力常数比较

分别保温不同时间后,虽然材料的析出相变化明显,但与母材的测试结果 $K=5.41 \text{ MPa/ns}$ 相比,其应力常数 K 基本没有变化。由此可判定,7B05 铝合金的析出相对应应力常数 K 基本没有影响。

2 析出相对 t_0 的影响

为测试析出相对超声衰减、 t_0 的影响,使用自搭建超声波测试平台采集试样的超声波波形。测试状态如图3所示。

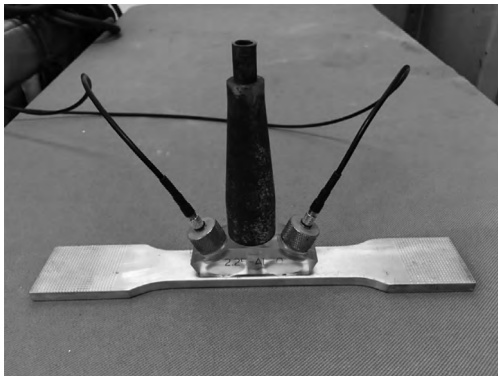


图3 应力测试状态

共采集到4组实验试样的超声波传播波形如图4所示。

为计算 t_0 ,截取完整 LCR 波的测试数据如图5所示,添加母材测试波形数据作为基准信号,计算相关系数 ρ_{xy} 并计算名义 t_0 。4组热处理试样的 t_0 结果如表2所示。

表2 析出相试样 t_0 测试结果 ns

| 未处理 | 200 °C 2 h | 200 °C 4 h | 200 °C 6 h | 200 °C 8 h |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| 0 | 2.0 | -1.2 | -1.6 | 1.2 |

为方便比较,加入母材的 t_0 数据作为对比标准。

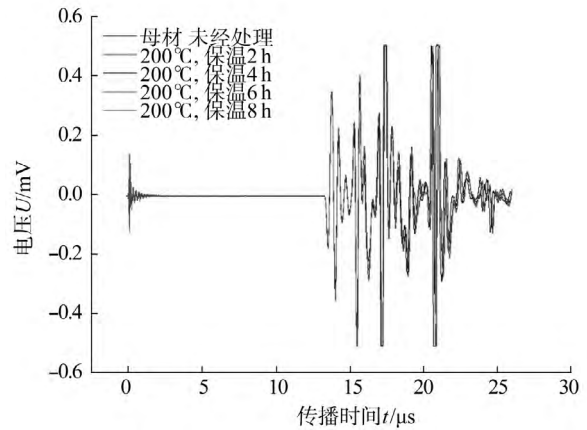


图4 析出相超声波波形数据

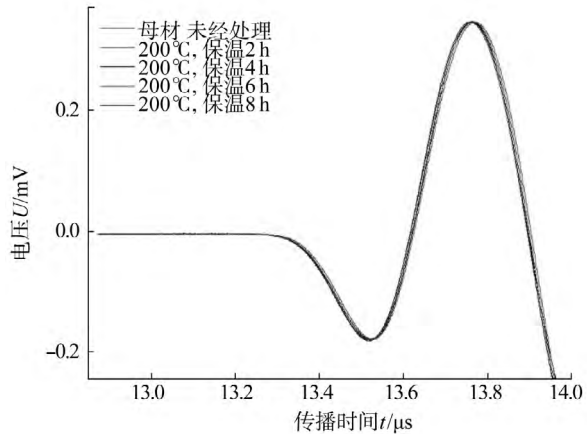


图5 析出相 LCR 波数据

可以看出,4组热处理实验的 t_0 均在 0 ns 的水平,与母材 t_0 非常接近,无明显差距。因此,析出相的含量变化并未导致测试参数 t_0 发生明显变化,析出相对超声测试计算参数 t_0 无明显影响。

3 析出相对超声衰减的影响

测算试样的超声衰减时,在测得波形图的基础上,选取 LCR 波的区域并将其进一步放大,使用标尺读取4组试样的 LCR 波波形电压最大值,如图6所示。

测得的电压幅值数据如表3所示,为便于比较,表中加入母材作为参考基准。

表3 析出相试样电压幅值 mV

| 未处理 | 200 °C 2 h | 200 °C 4 h | 200 °C 6 h | 200 °C 8 h |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| 0.347 | 0.346 | 0.346 | 0.346 | 0.346 |

由表3可知,4组热处理试样的超声衰减值均为 0.346 mV,而母材的电压幅值为 0.347 mV,与未经处理的母材相比,析出相的含量并未导致超声衰

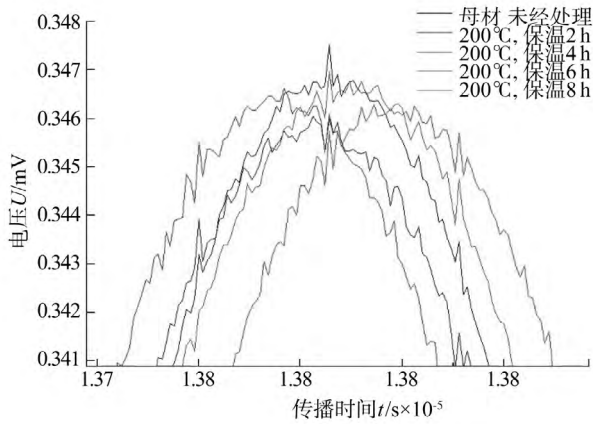


图 6 析出相试样 LCR 波电压幅值

减发生明显变化。由以上数据可知,析出相对超声衰减基本没有影响。

4 结论

以 7B05 铝合金的析出相作为研究对象,评价它对应力测试参数 K 、 t_0 的影响。结果发现,在析出相含量有明显差距的 4 组试样中, K 、 t_0 、超声衰减均

无明显变化。这说明 7B05 铝合金材料的析出相对超声波测量残余应力的精确度基本没有影响。

参考文献:

- [1] 蒋刚,谭明华,王伟明,等. 残余应力测量方法的研究现状[J]. 机床与液压, 2007, 35(6): 213-220
- [2] Hans R Dorfi, Henry R Busby. Ultrasonic stress measurements based on the generalized acoustic ratio technique[J]. In J Solids Structures, 1996, 33(8): 1157-1174.
- [3] Dorfi H R, Busby H R, M Janssen. Acoustoelastic ultrasonic stress field reconstruction[J]. Experimental Mechanics, 1996, 36(4): 325-332.
- [4] Walaszek H, Hoblos J, Bourse G *et al.* Effect of microstructure on ultrasonic measurement of residual stress in welded joints[J]. Material Science Forum, 2002(404-407): 875-880.
- [5] Walaszek H, Lieurade H P, Peyrac C *et al.* Potentialities of ultrasonic for evaluation residual stresses influence of microstructure[J]. Journal of Pressure Vessel Technology, 2002 (124): 349-353.
- [6] 杨修波. Al-Zn-Mg(Cu)合金的热处理、微观结构与性能研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.

4 结论

采用激光焊对磁极盒的罩壳和基板进行焊接,焊接效率高且焊接的一致性较好。采用激光焊焊接的磁极盒在进行密封性、机械振动、冷热冲击试验后,仍具有良好的密封性,各磁极盒焊接接头渗透探伤、金相检测和维氏硬度检测均为合格。

参考文献:

- [1] 谢华丽,段虎. 永磁电机磁极盒的封装工艺[J]. 电机技术, 2016(2): 50-51.
- [2] Jun Yan, Ming Gao, Xiaoyan Zeng. Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by

TIG laser and laser-TIG hybrid welding[J]. Optics and Laser in Engineering, 2010(48): 512-517.

- [3] GB/T2423.10-2016 电工电子产品环境试验,第 2 部分: 试验方法,试验 Fc 振动(正弦)[S].
- [4] GB/T2423.22-2002 电工电子产品基本环境试验规程,试验 N 温度变化试验方法[S].
- [5] GB/T2423.1-2001 电工电子产品基本环境试验规程,试验 A 低温试验方法[S].
- [6] GB/T2423.2-2001 电工电子产品基本环境试验规程,试验 B 高温试验方法[S].
- [7] ISO15614-1-2004 金属材料焊接工艺规范和鉴定,焊接工艺试验,第 1 部分: 钢的电弧焊和气焊与镍及镍合金的电弧焊[S].