



焊后热时效工艺对Q345E钢 焊接接头焊接残余应力的影响

刘静 隋国欣 张天宜

【摘要】 本文针对铝合金地铁车体牵引梁翼板与端部盖板焊缝出现的裂纹问题，采用十字拉伸试验研究6082-T6板材Z向力学性能，分析牵引梁翼板焊缝裂纹产生原因及改进方案。
关键词： 牵引梁翼板；焊接裂纹；6082-T6铝板；Z向力学性能

1. 概述

低合金高强钢的焊后去应力处理（焊后高温回火处理、焊后热时效）是很多重要部件的工艺要求，其主要目的在于消除焊接残余应力，保证加工尺寸精度的稳定。焊后热时效处理是铁路机车生产制造过程中的重要工序，国产机车转向架构架一直延用的传统焊后热时效工艺，既消耗了较多的工时，又耗费了相当多的能源，故其工艺成本较高。在国外，很多种转向架钢构架在焊后不要求做热时效处理，这与国内长期以来的生产要求有很大的差异，并且热时效工艺对焊接结构的残余应力分布以及对焊接结构的疲劳强度影响规律，仍然还缺

乏理论的依据。正是在这种背景下，本文以转向架Q345E钢构架作为研究对象，通过测量部分焊缝的表面焊残余应力，并与顺序耦合热应力有限元分析结果进行对比，为热时效工艺的优化提供了试验数据，同时也验证了残余应力顺序耦合热应力有限元分析法的可靠性。

2. 试验材料及试验方法

母材选用12mm厚的Q345E钢板，其化学成分和力学性能如表1和表2所示

母材的金相组织如图1所示。组织特征是铁素体+珠光体，珠光体为黑色条带状沿轧制方向分布。

选用 $\phi 1.2\text{mm}$ 的ER50—6焊丝

作为填充材料，熔敷金属的化学成分如表3所示。

焊接残余应力测试试件采用了专门设计的箱型结构试件，该试件为厚度12mm的U形弯板和若干筋板及两块上盖板组成的刚性结构，钢板在焊接前没有经过抛丸处理，焊接过程中也不使用夹紧装置，以保持焊缝区域应力状态，反映了转向架真实的拘束度，焊接过程也采用与构架生产

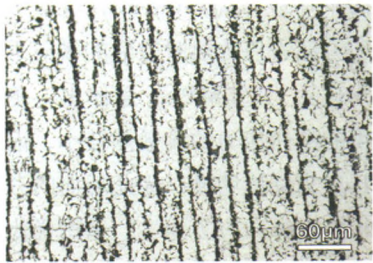


图1 Q345E钢母材组织

表1 Q345E钢化学成分（质量分数） (%)

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Cu	N	Mo	Als
标称值	≤0.18	≤0.50	≤1.7	≤0.025	≤0.020	≤0.07	≤0.15	≤0.20	≤0.30	≤0.50	≤0.30	≤0.012	≤0.10	≥0.015
实测值	0.15	0.39	1.59	0.018	0.006	—	0.003	0.013	0.011	0.07	0.011	—	0.01	0.030

表2 Q345E钢力学性能

常规力学性能	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	A ₅ (%)	冲击吸收能量(-40℃)/J
标称值	≥355	470~630	≥21	≥47
实测值	390	535	28	124/185/115 141

表3 熔敷金属的化学成分（质量分数）（%）

焊丝型号	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
ER50—6	0.08	1.40	0.80	0.025	0.025	0.15	0.15	0.15	0.50

过程相同的焊接参数，焊缝与母材熔合良好，焊接接头焊后无缺陷。焊接残余应力测试试件如图2所示，用“盲孔法”进行试件焊接区残余应力的测试。

测试过程选用9个试件，测试位置如图3所示。每个试件测试4点，测试位置为对接焊缝的焊趾，测试状态分别为原始焊态、现行热时效后状态（A1）、两组优化热时效后状态（B1、C1）。

采用顺序耦合热应力分析法进行焊接结构残余应力的有限元分析，以验证有限元分析的可靠性。

3. 试验结果与分析

（1）典型焊接结构试件残余应力测试结果与分析 残余应力测试试验结果表明，原始焊态的纵向平均应力为540MPa，现行工艺方法去应力热时效后（A1：550℃，4h）的纵向平均应力为220MPa；原始焊态的横向平均应力为250MPa，现行工艺方法去应力热时效后的横向平均应力为150MPa。总体上，测得的纵向应力的离散度较小，而且应力降低明显，因此后面的分析将以纵向应力为主。采用优化后工艺（缩短保温时间）去应力

时效后的应力值为：575℃保温热时效工艺（B1）得到的平均纵向应力为202MPa，应力降低为原始应力值的35%；600℃保温热时效工艺（C1）得到的平均纵向应力为233~239MPa，其应力降低为原始应力值的50%，同现行热处理工艺得到结果相近。

（2）典型焊接结构试件残余应力测量数据与有限元结果相比较 原始焊态的残余应力云如图4所示。根据材料入厂检测试验，取材料的屈服强度值为360MPa。残余应力分析使用的

是顺序耦合热应力分析，即先进行热分析，得到的温度场作为下一步力学分析的输入量。图4中，红色代表拉伸屈服强度，白色标明应力高于屈服强度；蓝色则为压缩屈服强度，黑色是应力低于压缩屈服强度。从图中可以看到，在沿焊缝长度的中间位置大约200mm内，焊缝周围的纵向残余应力都大于屈服强度（白色区域，约450MPa）。实际测量点的位置在白色区域范围内。根据图4中的应力分布云图和实际测量值比较，这些测量点的纵向应力应为高于屈服强度（>360MPa），横向应力大约为200MPa左右，测量值与计算值

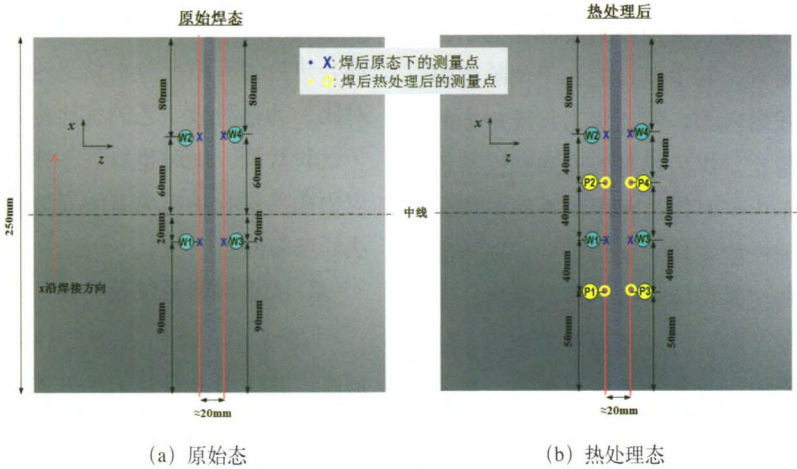


图3 测试位置示意

- 使用顺序耦合热应力分析
- 屈服强度取材料最小屈服强度

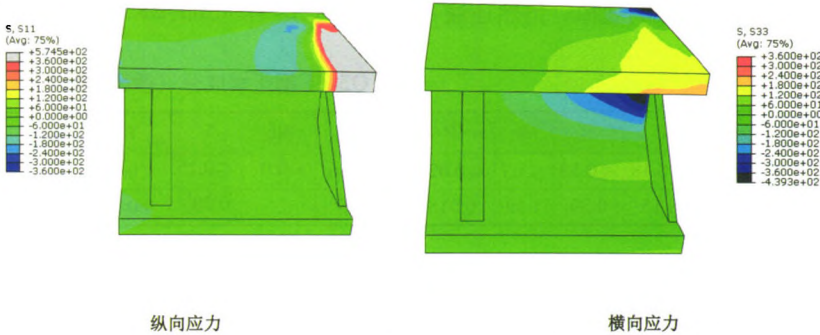


图4 原始焊态的残余应力云

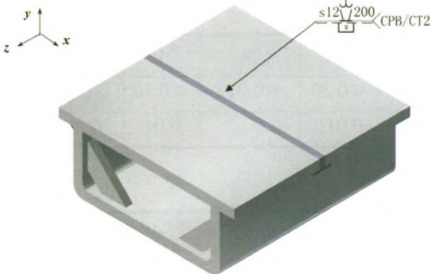


图2 焊接残余应力测试试件示意



变压器油箱焊缝碳弧气刨清根的应用

王甫燕 李香情 张秀云

【摘要】 变压器油箱焊缝质量要求高，特别是对接焊缝，不仅要求无焊接缺陷，还要全焊透。为保证对接焊缝全焊透，焊接清根是一个非常重要环节，清根质量的好坏直接影响到焊缝的质量和生产效率。本文介绍了碳弧气刨在变压器油箱产品对接焊缝焊接清根的应用。分析了碳弧气刨的原理及特点，并且使用碳弧气刨进行清根，然后对焊缝的力学性能进行检测，验证碳弧气刨清根后焊缝的力学性能满足要求。

关键词： 清根；碳弧气刨；变压器油箱

1. 概述

变压器油箱作为轨道机车产品中的一个重要部件，随着轨道交通行业的不断发展，需求量越来越大。而随着行业产品质量要求的不断提升，变压器油箱产品的焊缝质量要求也越来越高。面对质量与产量的双向提升要求，我们必须对变压器油箱产品的焊接过程进行改进提升，这样才能满足市场需求。

焊接作为制造业不可或缺的工艺，在结构件生产制造中一直

发挥着重要的作用。变压器油箱产品对接焊缝多，焊接清根的工作量很大。传统清根方式都是采用角磨机或直磨机进行机械的打磨清根，效率低、成本高、质量不高。碳弧气刨与机械加工相比，它具有效率高，噪声小，灵活性大，可达性好，操作简便，热影响区小等特点。

针对碳弧气刨的优势，同时为了降低生产成本，提高焊接生产效率，本文介绍采用碳弧气刨的方法对变压器油箱对接焊缝进

行清根，并且验证了碳弧气刨对焊缝力学性能的影响。

2.碳弧气刨工作原理及特点

(1) 碳弧气刨工作原理 碳弧气刨工作原理如图1所示。碳弧气刨是利用碳棒与工件间产生的电弧将工件金属熔化，然后利用高压空气将熔化的金属吹走。碳弧气刨一般都是碳棒接电源正极，工件接电源的负极。

(2) 碳弧气刨特点 第一，清根效率高。采用碳弧气刨清根比角磨机或直磨机可提高清根效

相符。

4. 结语

(1) 轨道车辆转向架焊接构架经焊后575℃和600℃的高温短时回火热处理，其焊接残余应力可显著降低，纵向残余应力值降低50%以上，575℃短时的热时效处理降低残余应力的效果较

为明显。

(2) 顺序耦合热应力有限元分析法，可对转向架焊接钢构架的焊接结构残余应力进行准确的计算。

参考文献：

[1] 陆兴.热处理工程基础[M].北

京：机械工业出版社，2008.

作者简介：刘静，隋国欣，中车大连机车车辆有限公司；张天宜，大连机车车辆厂配件四分厂。

MW 20170501