

基于 TIG 电弧重熔的焊后复合处理工艺改善 T 形接头疲劳强度的研究

大连交通大学(116028) 郭 豪 史春元 丁成钢 朱 平

摘要 以制造转向架焊接构架常用的 Q345 钢 T 型 MAG 焊接头为对象,研究采用焊后复合处理新工艺,即在构架现行制造工艺流程中增加一道焊趾 TIG 电弧重熔工序对 T 形接头疲劳强度的改善作用。试验结果表明,与焊态下相比,现行制造工艺使接头的疲劳强度提高了 29%,新工艺则提高了 56%。文中从三个方面分析了新工艺明显改善 T 形接头疲劳强度的原因,即焊趾处应力集中系数下降、焊趾部位微观组织细化和焊趾表面状态改变。研究表明新工艺应用于铁路提速转向架生产中是可行的。

关键词: T 形接头 钨极氩弧重熔 疲劳强度 应力集中

中图分类号: TG44

0 前 言

转向架承担着列车高速运行时的强烈振动和冲击载荷,直接影响着行车安全,是铁路客车上最重要的构件之一^[1]。随着铁路大提速,转向架焊接构架的疲劳问题逐渐成为人们关注的重点,如何改善焊接接头的疲劳强度,提高构架安全运行寿命成为亟待解决的一个技术问题。铁道客车转向架焊接构架现行的生产工艺流程如图 1 所示,其中,影响焊接接头疲劳性能的主要工艺是构架组装焊接、整体消应力退火和表面喷丸处理。

目前,国内外已研究成功多项提高焊接接头疲劳强度的技术,TIG 电弧重熔就是其中一项^[2]。它是以钨极氩弧为热源,将焊趾重新熔化,使可能存在的咬肉、小夹渣等缺陷被清除。同时形成了过渡圆滑的重熔区,使接头性能显著改善^[3]。文中结合现行的转向架焊接构架的生产工艺,在构架整体组装焊接后增加焊趾 TIG 重熔工序,研究新工艺对转向架 T 形接头疲劳

强度的改善作用。

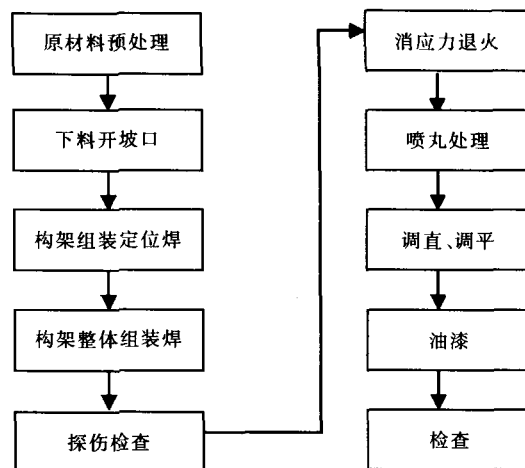


图 1 现行转向架构架生产工艺

1 试验材料与方法

1.1 试验钢板

采用 Q345 (GB 6654—1996) 压力容器用钢板,板厚

收稿日期: 2007-09-20

[6] Wen-Ya LI, Han-Lin Liao, G. Douchy, et al. Optimal design of a cold spray nozzle by numerical analysis of particle velocity and experimental validation with 316L stainless steel powder[J]. Materials and Design, 2006, 256: 708 - 713.

[7] 毕金成,李隆键,崔文智,等. 冷喷涂过程中气固两相流的数值模拟[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005 (4): 45 - 49.

[8] 王以飞,王晓放,黄钟岳,等. 冷喷涂工艺中射流过程的数值模拟研究[J]. 表面技术, 2003, 32(1): 28 - 29.

[9] 蔡树棠,刘宇陆. 湍流理论[M]. 上海:上海交通大学出版社, 1993. 292.

作者简介: 鞠 霞, 1984 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为多相流动理论与技术。

14 mm, 热轧状态供货, 组织状态为铁素体 + 珠光体。试验钢板的化学成分和力学性能分别见表 1 和表 2。

表 1 Q345 钢板的化学成分 (质量分数, %)

C	Mn	Si	P	S	Fe
0.17	1.50	0.23	0.025	0.013	余量

表 2 Q345 钢板的常规力学性能

屈服强度 R_e /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)
395	585	24

表 3 MAG 焊工艺参数

焊层	焊丝牌号	焊接电流 I /A	电弧电压 U /V	焊接速度 v /(cm · min ⁻¹)	保护气体
打底层	JM-56	220 ~ 240	23 ~ 25	30	80% Ar + 20% CO ₂
其他层		240 ~ 260	28 ~ 30	24 ~ 26	

表 4 TIG 重熔工艺参数

钨极直径 d /mm	喷嘴直径 d_1 /mm	保护气流量 Q /(L · min ⁻¹)	重熔电流 I /A	重熔电压 U /V	重熔速度 v /(cm · min ⁻¹)
3.2	12	15	160 ~ 180	12 ~ 18	11 ~ 17

15 ℃, 保温 2 h 后随炉冷却, 炉温下降到 300 ℃ 以下时打开炉门, 取出试板在空气中冷却到室温。

1.2.4 表面喷丸处理工艺

喷丸处理工艺参数见表 5。

表 5 喷丸处理工艺参数

丸粒直径 d /mm	抛射速度 v /(m · s ⁻¹)	试板弹丸覆盖率 (%)
0.6	85	200

1.2.5 T 形接头三点弯曲疲劳试验

疲劳试验参照 JB/T 7716—95 标准的规定进行, T 形接头疲劳试样形状和尺寸如图 2 所示。疲劳试验设备采用 PLG-100 型微机控制高频疲劳试验机。支点

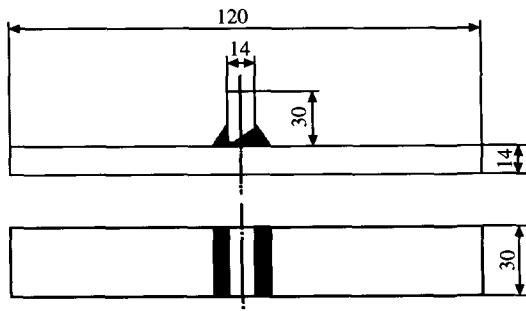


图 2 T 形接头三点弯曲疲劳试样

1.2 试验方法

1.2.1 T 形角接试板的焊接工艺

采用 MAG 电弧焊方法, 使用松下 KR-500 型焊机进行施焊, 其工艺参数见表 3。

1.2.2 焊趾 TIG 电弧重熔工艺

对焊后的焊缝及附近区域, 用钢丝刷将表面的飞溅、铁锈及烟雾的沉积物等清理干净, 然后在焊趾处实施 TIG 电弧重熔工艺试验, 其工艺参数见表 4。

1.2.3 消除应力退火处理工艺

将试板放入 SX-4-10 箱式电阻炉加热到 550 ±

的跨度为 80 mm, 振动频率 154 ~ 168 Hz, 循环应力比 $R=0.1$, 指定循环寿命取 5×10^6 次。

2 试验结果与讨论

2.1 试验结果

按照上述试验方法得到了 T 形接头在不同工艺条件下的疲劳试验结果, 见表 6。相应的 $S-N$ 曲线如图 3 所示。

表 6 T 形接头疲劳试验结果

焊接工艺	应力范围 $\Delta\sigma$ /MPa	
	2×10^6 次	5×10^6 次
原始焊态	165	123
现行生产工艺	192	159
生产新工艺	246	192

2.2 结果讨论

由图 3 和表 6 可知, 与焊态下 T 形角接头的疲劳强度相比, 在现行的构架生产工艺条件下, T 形接头的疲劳强度可提高 29%。而采用在焊后用 TIG 电弧对焊趾部位进行重熔和修整的新工艺后, 接头的疲劳强度在此基础上再明显提高, 达到 56%, 进一步改善了 T 形接头的疲劳抗力。疲劳强度提高的原因显然与焊趾处

的表面状态、应力集中程度以及组织结构等因素有关。

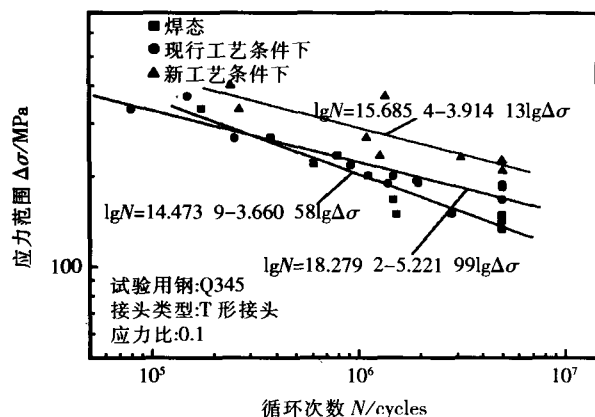
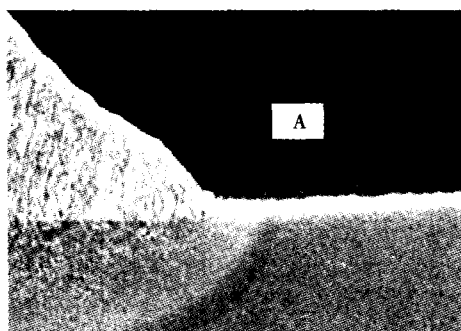


图3 T形接头 S-N 曲线

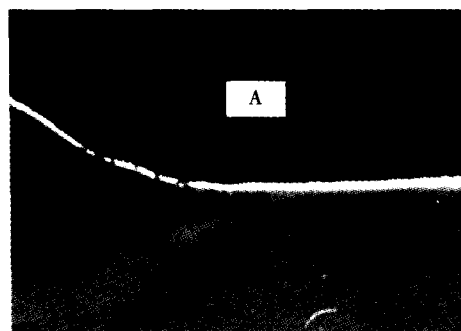
2.2.1 焊趾应力集中

应力集中是引起焊接接头脆断和疲劳断裂的主要因素,若接头类型和板厚一定,焊趾的应力集中系数的大小主要受焊缝几何参数的影响^[4-5]。

由图4可以看出,T形接头经TIG电弧重熔后焊趾处形状发生了明显变化。焊趾 θ 角由 150° 增加到 168° ,焊趾曲率半径 r 由2 mm增加到10 mm,实现了焊缝与母材之间的圆滑过渡。



(a) 焊态



(b) TIG 重熔

图4 焊态和TIG重熔后焊趾处宏观形貌
由应力集中系数计算公式^[6]:

$$K_t = 1 + \frac{1 - \exp\left[-0.9 \sqrt{\frac{B}{h}} (\pi - \theta)\right]}{1 - \exp\left[-0.9 \sqrt{\frac{B}{h}} \cdot \frac{\pi}{2}\right]} \cdot \left[\frac{1}{2.8 \frac{B}{b-2}} \cdot \frac{h}{R}\right]^{0.65} \quad (1)$$

其中, h 为焊脚尺寸; $2b$ 为钢板厚度; $B=(h+b)$; θ 为焊趾角; R 为焊趾半径; K_t 为应力集中系数。计算出A点的应力集中系数 K_t 由焊态下的3.26下降到重熔后的1.25,减小了一倍以上。可见TIG电弧重熔工艺改善了焊趾的几何形状,缓解了焊趾处的应力集中^[7]。

2.2.2 接头组织结构

组织决定性能,T形接头疲劳性能的改善与该部位的组织变化相关。

现行工艺条件下,焊趾处的焊缝一侧和母材热影响区一侧的微观组织特征如图5所示。焊缝金属呈粗大的柱状晶特征,热影响区过热区晶粒尺寸粗大,块状铁素体沿晶界断续分布,晶内分布短条状铁素体及少量贝氏体组织。



(a) 焊缝金属

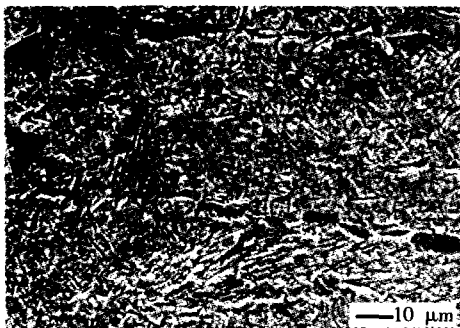


(b) 过热区

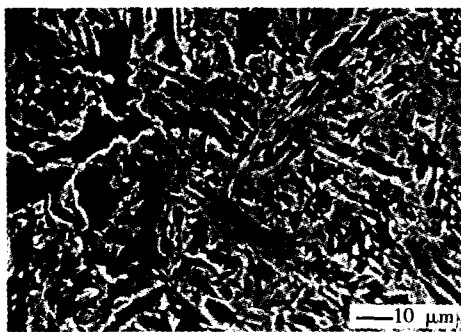
图5 现行工艺下接头的微观组织

增加焊趾TIG电弧重熔工艺后,重熔区及其热影响区微观组织特征如图6所示。TIG电弧重熔后,焊趾

处重熔区由熔化的母材和焊缝金属组成,主要由细小的块状铁素体、针状铁素体和细晶铁素体组成。由于TIG电弧重熔所用热输入较小,熔池冷却速度快,抑制了粗大柱状晶的形成。TIG电弧重熔区附近原始焊缝中粗大的柱状晶消失,形成针状铁素体和粒状贝氏体。



(a) TIG 重熔区



(b) 重熔区附近

图6 新工艺下接头的微观组织

2.2.3 焊趾表面状态

T形角接试板经MAG焊之后,焊趾附近有少量飞溅物,且表面存在一些轻微咬边等焊接缺陷,这些缺陷可能成为T形接头疲劳断裂的起源^[8]。焊趾经TIG电弧重熔之后,消除了这些焊接缺陷,焊趾处表面光滑,延缓了疲劳裂纹的萌生。

3 结 论

(1) 与现行生产工艺相比,焊后增加焊趾TIG电弧重熔工艺,可明显改善T形接头的疲劳强度。

(2) 新工艺使焊趾处形成了过渡圆滑的重熔区,显著降低了应力集中系数,并清除了咬边、显微夹渣等缺陷。

(3) 新工艺细化了焊趾区的显微组织,形成了以针状铁素体为主的细晶组织。

参 考 文 献

- [1] 赵建明,顾丽英. 焊接转向架焊接接头疲劳性能的试验[J]. 机车车辆工艺,2003(6):15-17.
- [2] Dahle T, Design fatigue strength of TIG - dressed welded joints in high - strength steels subjected to spectrum loading. Int. J. Fatigue. 1998(9):677-681.
- [3] 李炳华. 提高焊缝疲劳强度的新工艺[J]. 机车车辆工艺,1997(1):13-15.
- [4] 徐济民,阎炳义,史永吉,等. TIG重熔工艺及其对角接头疲劳强度的改善[J]. 清华大学学报(自然科学版),1990(5):30-33.
- [5] 西田正孝. 应力集中[M]. 北京:机械工业出版社,1986. 504-509.
- [6] 朱梅五,陈德彪,汪 微,等. TIG熔修改善船体钢焊接接头使用性能原因分析[J]. 海军工程学院学报,1994(5):35-36.
- [7] Horn A M, Hunter I, Lieurade H P. Fatigue behaviour of T - joints improved by TIG dressing. [J]. Welding in the World. 1998,41:273.
- [8] 王东坡,霍立兴,张玉凤,等. TIG熔修法改善含咬边缺陷焊接接头疲劳性能[J]. 天津大学学报,2004(7):570-574.

作者简介: 郭 豪,1983年出生,工学硕士研究生。主要从事改善转向架焊接结构疲劳强度工艺方法的研究工作。

分类广告

江苏省吴江市环宇胀管器有限公司

本公司专业制造各种胀器和胀管机,该产品广泛用于锅炉、化机、电站、炼油、制冷等行业的制造、检修及安装,换热器、冷凝器、冷却器等压力容器的胀管,是上佳的胀接工具。

胀管器:直筒式、翻边式、轴承式、深孔式、深孔调节式等12种系列,2000多种规格。

胀管机:P3Z1-13、19、25、38、51、76、102等7种规格。

可胀接管径范围 $\phi 6 \sim 102$ mm,管板厚度范围10~400 mm。

用万向节头联接胀管器与胀管机,即可胀管,工作速度快、效率高。同时,提供各种挖槽器、削平器及内切管器等。

种类丰富

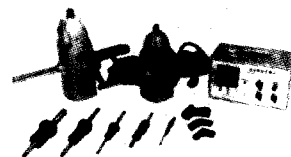
规格齐全

保证质量

信守合同

代办邮运

欢迎选购



地址:江苏省吴江市屯村镇南大街12号

邮编:215216 联系人:梅丽华

销售部:0512-63373381(电话) 0512-63374198(兼传真)

经理:俞建新 手机:013801550860

http://www.hyzgq.com Email:huanyu@hyzgq.com