

06Cr19Ni10 不锈钢 TIG 焊接接头组织与疲劳性能的研究

侯振国, 张艳辉, 陈丽园, 田 慧, 苗 佳

(中国北车集团 唐山轨道客车有限责任公司制造技术中心, 河北 唐山 063035)

摘 要:通过脉动拉伸疲劳试验以及金相显微组织分析,对 3.0 mm 厚 06Cr19Ni10 不锈钢的 TIG 焊接接头的组织与疲劳性能进行了研究。结果表明:06Cr19Ni10 不锈钢的 TIG 焊接接头的疲劳裂纹均产生于焊趾处;搭接接头中值疲劳极限为 183 MPa、角接头中值疲劳极限为 269 MPa;焊接接头各区域金相组织均为奥氏体 + δ 铁素体组织。

关键词:06Cr19Ni10 不锈钢;TIG;接头组织;疲劳性能

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.11.007

中图分类号: TG444; TG405

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)11-0022-03

Research on Microstructure and Fatigue Properties of TIG Welded Joints of 06Cr19Ni10 Stainless Steel

HOU Zhenguo, ZHANG Yanhui, CHEN Liyuan, TIAN Hui, MIAO Jia

(Manufacturing technology center of North Railway Tangshan Railway Vehicle Co. Ltd., Tangshan 063035, China)

Abstract: Microstructure and fatigue properties of 3.0mm thick 06Cr19Ni10 stainless steel welded joints of TIG were researched through fatigue tests and microstructures analysis. The results show that the fatigue cracks of TIG welded joints of 06Cr19Ni10 stainless steel are produced in the weld toes. The median fatigue limit of the lap joints is 183MPa, the median fatigue limit of corner joints is 269MPa. All regional microstructures in welded joints are austenite + δ ferrite.

Key words: 06Cr19Ni10 stainless steel; TIG; welded joint microstructure; fatigue properties

不锈钢车体结构是实现铁道车辆轻量化的重要途径之一,与同类型的普低碳钢车体相比,不锈钢车体重量可减轻 20%~30%以上^[1]。不锈钢车辆因其良好的耐蚀性、力学性能、防火安全性、轻量化和维护成本低等特点,已成为我国铁路机车行业重要的发展方向之一^[2]。目前,在不锈钢车体结构中使用的材料考虑到耐腐蚀性、加工性、强度、成本等方面,通常选用奥氏体体系的 SUS304 及 SUS301L 不锈钢^[3]。

普通的焊接方法(MAG、MIG 等)热输入大,焊接变形严重,不适宜对不锈钢薄板进行焊接。TIG 焊接技术因其适用性强、焊接成本低、可获得高质量焊缝等一系列优点,已经被大量应用于不锈钢车体的焊接中^[4-5]。本文通过对 3.0mm 厚 06Cr19Ni10 不锈钢(新型 304 不锈钢)的 TIG 焊接接头的疲劳性能、金相组织的研究,为我国不锈钢车辆的生产技术提

供理论与实践依据。

1 试验材料与方法

试验母材为 3.0mm 厚的 06Cr19Ni10 不锈钢,冷轧状态供货。采用 TIG 焊接方法,选用 $\phi 1.6$ mm 的实芯焊丝 ER308LSi,保护气体为 98%Ar+2%O₂。其试验材料的化学成分及力学性能见表 1。

表 1 试验材料的化学成分及力学性能
Tab.1 Chemical composition and mechanical properties of the experimental materials

材料	化学成分(质量分数,%)							σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ (%)
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P			
06Cr19Ni10	0.047	0.418	1.148	18.147	8.024	0.001	0.041	≥ 520	≥ 210	≥ 25
ER308LSi	0.02	0.7	1.7	19.5	10.3	0.01	0.01	≥ 520	≥ 210	≥ 35

3.0mm 厚 06Cr19Ni10 不锈钢试板焊接均采用单层单道焊,焊接工艺参数详见表 2。焊接试件焊后均进行了外观检测、渗透检测、X 射线检测,检测结果均合格。

表 2 焊接工艺参数

Tab.2 Welding process parameters

接头形式	焊接电流 /A	焊接速度 /(mm·s ⁻¹)	气体流量 /(L·min ⁻¹)
搭接	100	0.87	7
角接	90	1.3	7

收稿日期:2015-12-28

作者简介:侯振国(1983-),男,河南人,工程师,从事铝合金和碳钢焊接工艺试验和无损检测工作;电话:13832856591;

E-mail:zhangyanhui@tangke.com

通讯作者:董强(1989-),男,辽宁大连人,硕士;电话:18742532968;

E-mail:811261138@qq.com

疲劳试验参照 GB/T13816-92《焊接接头脉动拉伸疲劳试验方法》进行。分别对 TIG 搭接接头、角接接头进行了脉动拉伸疲劳试验,以确定不同形式的焊接接头的疲劳性能。疲劳试件尺寸分别如图 1(a)、(b)所示。试验设备为 PLG-100 型微机控制高频疲劳试验机,其技术规格为:静态负荷精度 $\pm 1\%$,动负荷平均波动度 $\pm 1\%$,动负荷振幅波动度 $\pm 2\%$ 。试验采用的循环应力比 $R=0.1$,指定循环寿命取 1×10^7 次。在

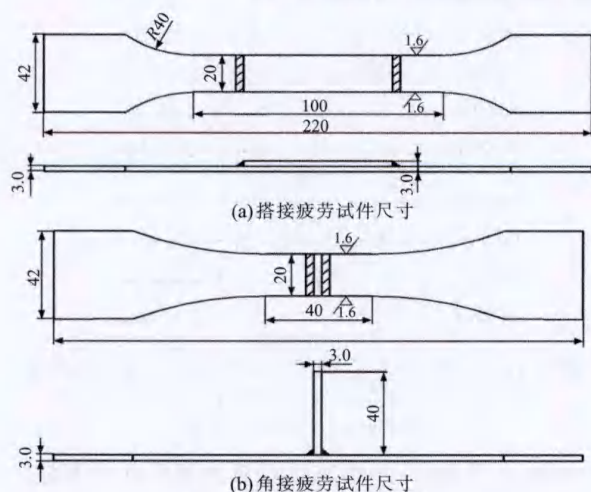


图 1 疲劳试件形状和尺寸

Fig.1 The shape and dimensions of fatigue specimens

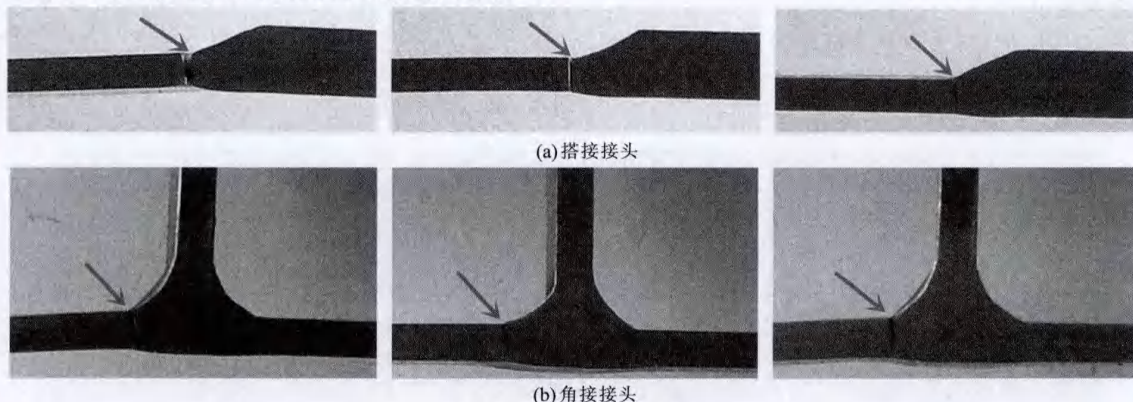


图 2 疲劳试件的宏观照片

Fig.2 Macrophotographs of the fatigue specimens

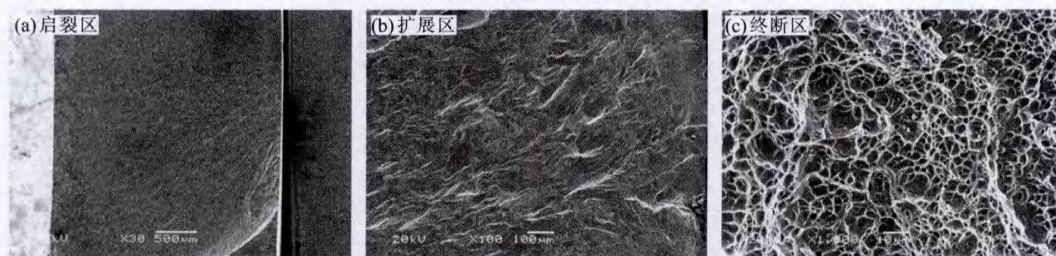


图 3 搭接疲劳试件断口形貌

Fig.3 Fracture morphologies of the fatigue specimens of lap joints

试验过程中,当疲劳裂纹尺寸足够大导致载荷加不上去时,自动卸载停振,并记录循环次数。使用升降法来计算焊接接头的中值疲劳强度。使用 JSM-6360M 型扫描电镜观察疲劳断口形貌。本次金相组织分析采用 Neophot-32 数码金相显微镜观察焊接接头的母材区、焊缝区及熔合区的显微组织,金相腐蚀液为氯化铁盐酸溶液。

2 试验结果及分析

2.1 疲劳试验

疲劳断裂试件上产生疲劳裂纹的位置及宏观形貌如图 2(a)、(b)所示。可看出:采用 TIG 焊接下 3.0 mm 06Cr19Ni10 不锈钢搭接、角接接头疲劳裂纹均产生于焊趾处。

图 3、4 分别为 3.0 mm 06Cr19Ni10 不锈钢搭接及角接接头疲劳断裂试样的断口形貌。可看出:试件的疲劳断口可以分成启裂区、裂纹扩展区以及终断区三个部分;试件的疲劳裂纹均从试件边缘处启裂,试件启裂区均无夹杂、夹渣等焊接缺陷;疲劳裂纹扩展区具有典型的疲劳断裂特征,疲劳纹清晰且很粗;扩展区的大小随疲劳循环次数的增加而增大;终断区断口形貌均为韧窝形态。由于搭接接头、角接接头各区域显微组织良好(见后文),未对疲劳性能造成

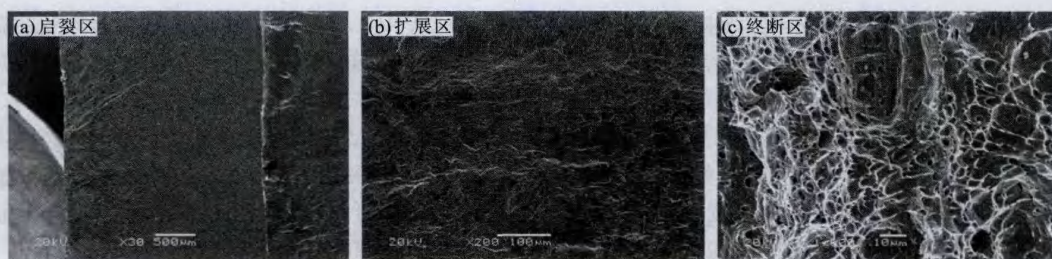


图4 角接疲劳试件断口形貌

Fig.4 Fracture morphologies of the fatigue specimens of fillet joints

显著影响,因此断裂原因是由于焊缝与试件表面存在一定的角度,导致焊趾处应力集中,当不断承受疲劳载荷时,该处极易发生疲劳断裂。

通过升降法确定采用 TIG 焊接下 3.0 mm 06Cr19Ni10 不锈钢焊接接头指定寿命为 1×10^7 次循环下的疲劳极限。搭接、角接疲劳试验均有 4 级应力水平,有效试件数 12 个,其结果如图 5 所示。由图 5 可见,每组疲劳试验均有 5 个子样对。因此,由升降法并依照公式 $\sigma_{0.1} = \frac{1}{n} \sum n_i S_i$ 确定的搭接、角接接头指定寿命在 1×10^7 次循环下的中值疲劳极限分别为:

$$\text{搭接 } \sigma_{0.1} = \frac{1}{n} \sum n_i S_i = (195 + 185 \times 2 + 175 \times 2) / 5 = 183 \text{ MPa}$$

$$\text{角接 } \sigma_{0.1} = \frac{1}{n} \sum n_i S_i = (275 \times 3 + 265 + 255) / 5 = 269 \text{ MPa}$$

2.2 金相组织

图 6 为搭接接头各区域显微组织。由图(a)可看出:焊缝组织为以奥氏体为基体+排列整齐的树枝状分布的黑色 δ 铁素体,组织呈细小的柱状晶分布;

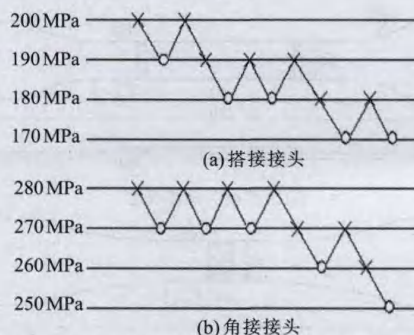


图5 TIG 焊接接头的疲劳极限(X表示断裂,O表示未断裂)
Fig.5 Fatigue limit movement of TIG welded joints(X-fracture, O-without fracture)

由图(b)可看出:热影响区组织为奥氏体为基体+链状分布的黑色 δ 铁素体,靠近熔合线附近晶粒细化,没有出现粗晶区;由图(c)可看出:接头的熔合区较窄,且无过热组织产生,其组织为奥氏体为基体+蠕虫状分布的黑色 δ 铁素体。

图 7 为角接接头各区域显微组织。由图(a)可看

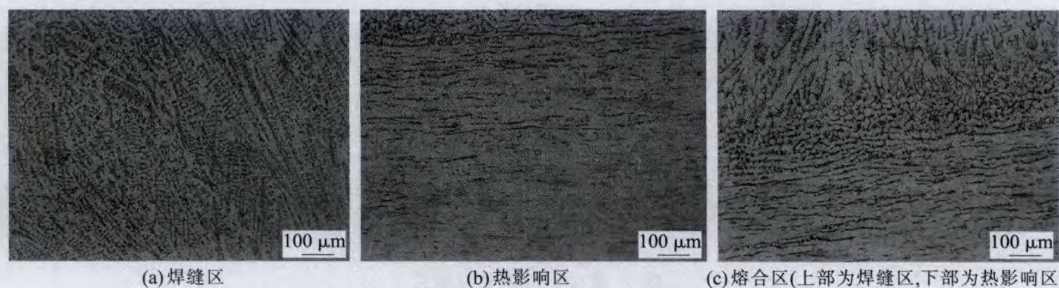


图6 搭接接头显微组织 Fig.6 Microstructure of lap joints

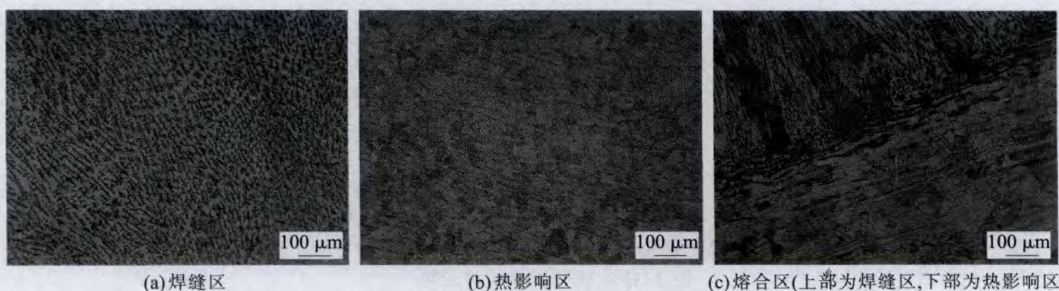


图7 角接接头显微组织 Fig.7 Microstructure of fillet joints

(下转第 28 页)

小,说明该锻造工艺达到了对板坯成形均匀性的良好控制。

3 结论

(1) 板坯横向低倍组织为模糊晶,说明该锻件锻透性好,晶粒充分破碎,组织细化程度高。

(2) 板坯横向显微组织以等轴状 α 组织为主,板坯心部的初生 α 平均尺寸略大于其他部位。存在组织差异的原因是板坯心部变形量低于其他部位,晶粒破碎程度相对低。板坯纵向显微组织以长条状的初生 α 为主,沿着变形伸长方向的金属流线明显,晶粒细小均匀,各取样部位组织一致性良好。

(3) 板坯不同部位横向室温拉伸性能均达到标准要求,强度指标实测数据离散度极小,伸长率指标差异较小,说明该锻造工艺达到了对板坯成形均匀性的良好控制。

参考文献:

- [1] 黄伯云,李成功,石力开,等. 中国材料工程大典(第四卷)[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 辛社伟. 全球钛行业的现状与发展-国际钛协会第21届年会侧记[J]. 稀有金属快报,2006(1):45-46.
- [3] 韩栋,张永强,雷文光,等. 常见的钛合金热变形本构模型分析及未来发展[J]. 钛工业进展,2014,31(5):1-5.
- [4] 王永哲,张晓冬,张鹏,等. 轧制变形量对TC4钛合金棒材组织及力学性能的影响[J]. 钛工业进展,2013,30(6):22-25.
- [5] 赵永庆,葛鹏. 我国自主研发钛合金现状与进展[J]. 航空材料学报,2014,34(4):51-61.
- [6] 王晓成,雷强,李辉,等. 钛合金电极块成型模具结构设计优化[J]. 材料开发与应用,2015,30(5):73-76.
- [7] Boyer R R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry [J]. Materials Science and Engineering A, 1996, 213: 103-114.
- [8] 杨建朝,王兴,谢英杰,等. 大规格TC4钛合金厚板研制[J]. 钛工业进展,2014,31(3):22-25.
- [9] 付艳艳,宋月清,惠松晓,等. 航空用钛合金的研究与应用进展[J]. 稀有金属,2006,30(6):850-856.
- [10] 欧阳文博,谢英杰,付文杰,等. 轧制工艺对TC4中厚板组织及力学性能的影响[J]. 热加工工艺,2014,43(17):58-60.
- [11] 何鸿博,周文龙,陈国清,等. 晶粒尺寸对TC4钛合金超塑性行为及变形机理的影响[J]. 机械工程材料,2009(3):78-82.
- [12] 刘广发,张衡,毛友川,等. 轧制温度对IMI550钛合金棒材组织和力学性能的影响[J]. 材料开发与应用,2015,30(2):42-47.
- [13] 赵小花,何龙,王玮东,等. VAR法熔炼钛合金补缩过程温度变化规律[J]. 钛工业进展,2013,30(3):16-20.
- [14] 赖运金. 钛合金片状组织演变机制与球化动力学研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
- [15] Shu Y, Zeng W D, Zhang X M, et al. Fracture predicting of Ti40 burn resistant titanium alloy in hot forming [J]. Rare Metal Mater. Eng, 2006, 35(12):1900-1903.
- [16] 俞汉清,陈金德. 金属塑性成形原理[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [17] Ding R, Guo Z X, Wilson A. Microstructural evolution of a Ti-6Al-4V alloy during thermomechanical processing [J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 327 (2): 233-245.
- [18] 赖运金,张维,王晓亮,等. WSTi3515S阻燃钛合金的工程化制备及力学性能研究[J]. 钛工业进展,2015,32(6):13-18. 

(上接第24页)出:焊缝组织为以奥氏体为基体+排列整齐的骨架状分布的黑色 δ 铁素体,组织呈柱状晶分布;由图(b)可看出:由于焊接热输入小,热影响区保留母材的组织形态,组织为以奥氏体为基体+少量的黑色 δ 铁素体;由图(c)可看出:接头的熔合区较窄,且无过热组织产生,其组织为奥氏体为基体+蠕虫状分布的黑色 δ 铁素体。

3 结论

(1) 06Cr19Ni10 不锈钢 TIG 搭接、角接接头疲劳裂纹均产生于焊趾处。

(2) 06Cr19Ni10 不锈钢 TIG 搭接、角接接头指定寿命为 1×10^7 次循环下的中值疲劳极限分别为183、269 MPa。

(3) 06Cr19Ni10 不锈钢 TIG 搭接接头焊缝区组织为:奥氏体为基体+树枝状分布的黑色 δ 铁素体,组织呈柱状晶分布;热影响区组织为:奥氏体+

链状分布的黑色 δ 铁素体,靠近熔合线附近晶粒细化;熔合区组织为:奥氏体为基体+蠕虫状分布的黑色 δ 铁素体,熔合区较窄。角接头焊缝区组织为:奥氏体为基体+树枝状分布的黑色 δ 铁素体;热影响区组织与母材组织相同为奥氏体+少量 δ 铁素体;熔合区组织为:奥氏体为基体+蠕虫状分布的 δ 铁素体。

参考文献:

- [1] 陈文学,康猛,姜殿忠,等. 06Cr19Ni10 不锈钢的焊接工艺研究[J]. 焊接与切割,2015(8):77-79.
- [2] 李刚卿,韩晓辉. 不锈钢车体的焊接工艺及发展[J]. 机车车辆工艺,2004(1):1-4.
- [3] 陈志强. 大连金州线不锈钢车体电焊工艺研究[J]. 机车车辆工艺,2009(4):12-14.
- [4] 姜劲松. 超薄奥氏体不锈钢 TIG 焊[J]. 焊接技术,2011(2):42.
- [5] 国旭明,柳春恕,袁进伟. 铁素体不锈钢 TIG 焊接头组织与性能研究[J]. 航空材料学报,2011,31(12):56-59. 