

● 焊接技术 ●

锅炉用 T91/12Cr1MoV 异种耐热钢 TIG 焊接头腐蚀行为

钱涛¹, 龚德平², 刘奋成¹, 夏薇³, 温群¹

(1. 南昌航空大学 轻合金加工科学与技术国防重点学科实验室, 江西 南昌 330063; 2. 江联重工股份有限公司, 江西 南昌 330001; 3. 奥托昆普不锈钢(中国)有限公司, 江苏 苏州 215300)

摘要:采用不同的氩弧焊接工艺, 选用 ER55-B2-MnV 焊丝, 对管壁厚为 5 mm 的 T91 和 12Cr1MoV 两种耐热钢材进行了焊接, 焊后观察焊缝成形及焊缝各区域显微组织。通过电化学腐蚀试验, 研究了不同工艺焊接的异种钢焊接接头的抗腐蚀性能。结果表明: T91/12Cr1MoV 异种耐热钢管对接焊缝组织不均匀, 最佳焊接电流为 120 A。在电化学腐蚀试验中, 当焊接电流为 100 A 和 140 A 时焊缝在 3.5%NaCl 溶液中耐腐蚀性能低于两种母材, 120 A 试样的焊缝区由于存在大量较为均匀的马氏体使得其耐腐蚀性能优于 100 和 140 A 试样。

关键词:耐热钢; 焊接接头; 显微组织; 抗腐蚀性能

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.21.040

中图分类号: TG444⁺.74; TG113.23⁺

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)21-0151-03

Corrosion Behavior of T91/12Cr1MoV Dissimilar Heat-resistant Steel Joints for Boilers Welded by TIG

QIAN Tao¹, GONG Deping², LIU Fencheng¹, XIA Wei³, WEN Qun¹

(1. National Defense Key Disciplines Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 2. Jianglian Heavy Industry CO., Ltd., Nanchang 330063, China; 3. Outokumpu Stainless Steel(China)Limited Company, Suzhou 215300, China)

Abstract: T91/12Cr1MoV dissimilar heat-resistant steel with tube wall thickness of 5mm were welded by TIG arc welding with different welding parameters and ER55-B2-MnV welding wire. The formation of joints and microstructure in each welding region were observed after welding, and the corrosion resistance of dissimilar heat-resistant steel joints with different welding parameters were studied by electrochemical corrosion tests. The results show that the microstructure of the weld is not uniform, and the best welding current is 120A. During electrochemical corrosion test, when the current is 100 A and 140 A, the corrosion resistance of weld joint in 3.5%NaCl solution is worse than that of the base metal. The corrosion resistance of 120A specimen is better than that of 100A and 140A specimens due to a large number of relatively uniform martensite.

Key words: heat-resistant steel; weld joint; microstructure; corrosion resistance

异种钢焊接接头在工程机械方面已经运用的较为广泛, 许多学者对异种钢接头做了大量的研究工作, 例如 1Cr18Ni9Ti 不锈钢与 20R 碳钢异种钢焊接接头、20Cr 和 Mn4AlSi304 的异种钢焊接接头等^[1-3]。在我国新机组建设和老机组的改造中, T91 钢已经得到了广泛的应用。但是在老机组改造中, 遇

到许多问题, 其中突出的问题是 T91 钢与其他钢种的异种钢焊接问题。王志红等^[4]研究了 T91 与 12Cr1MoV 异种钢接头的焊接工艺问题, 提出了采用低匹配原则的全钨极氩弧焊的焊接工艺, 能够获得优良的焊缝, 并保证设备的安全运行。

在长期使用过程中, 焊缝的耐腐蚀性能是一个值得关注的问题, 因此本文采用 TIG 焊对 T91 和 12Cr1MoV 耐热钢进行管管对接, 分析其宏观和显微组织, 通过电化学腐蚀测定其耐腐蚀性能。

1 试验材料及方法

本试验采用 T91 钢管和 12Cr1MoV 钢管作为母材, 直径为 38 mm, 厚度为 5 mm。焊丝是

收稿日期: 2016-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51461031); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ150710)

作者简介: 钱涛(1991-), 男, 江苏宜兴人, 硕士研究生

通讯作者: 刘奋成(1981-), 男, 山东潍坊人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 先进连接和快速成形技术; 电话: 079183863028;
E-mail: fencheng999@163.com

ER55-B2-MnV, 直径为 2.5 mm。采用 WSM-315 手工氩弧焊机进行管管对接焊, 焊接电流可调, 焊接电压自动调节。焊前对试件进行开坡口处理, 坡口形式及尺寸如图 1 所示。试验采用的是直流正接, 单面焊双面成形工艺, 在进行多组的工艺预试验后确定本试验焊接电流, 选取的焊接电流分别为 100、120 和 140 A, 正面气流量和背面气流量都是 15 L/min, 干伸长度是 5 mm。

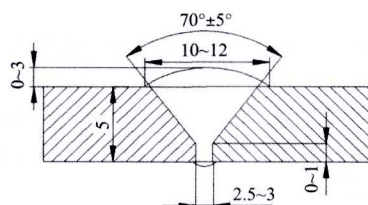


图 1 坡口形式及尺寸
Fig.1 The type and size of groove

分别沿垂直于焊缝方向和沿焊缝方向截取金相试样, 沿焊缝方向分别截取两侧母材、两侧热影响区和中心焊缝区。使用 5% 硝酸酒精溶液进行腐蚀, 然

后用 4XB-TV 型倒置金相光学显微镜观察显微组织。采用 CHI650E 电化学工作站测量电化学腐蚀塔菲尔极化曲线, 浸泡和电化学腐蚀试验在 3.5% NaCl 溶液中进行。

2 试验结果与分析

2.1 焊接接头宏观形貌

图 2 为 T91/12Cr1MoV 异种钢管对接焊接头和焊缝横截面的宏观图。由图中焊接接头宏观可以看出, 100 A 电流焊接的接头成形一般, 焊缝局部区域成形较差; 120 A 焊接的焊缝成形优异, 呈鱼鳞纹形状; 而 140 A 焊接的焊缝成形差, 焊缝余高过高。由图中焊缝横截面金相图可以观察到焊缝与两侧的热影响区都有明显分界线。140 A 焊接电流的焊缝背面由于电流过大成形较差, 而 100 与 120 A 的背面成形都较好, 其中 120 A 焊的试样背面成形最好。综上所述认为 T91/12Cr1MoV 异种钢管对接焊的最佳焊接电流为 120 A。

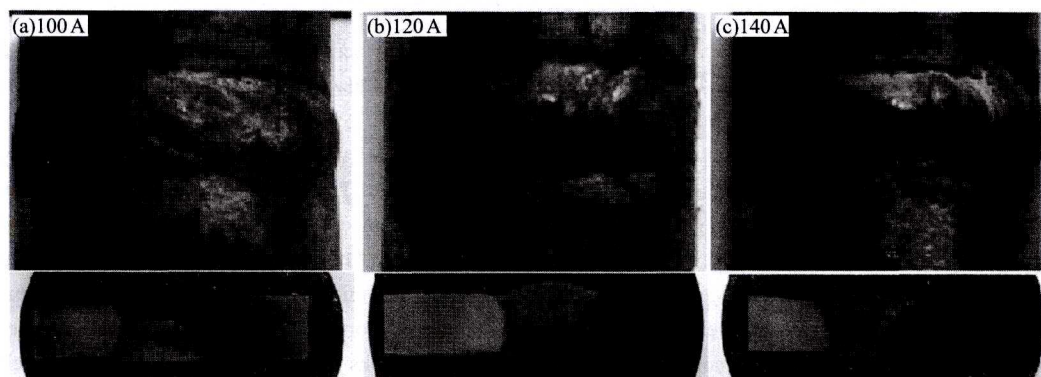


图 2 不同焊接电流下 T91/12Cr1MoV 异种钢管管对接接头和焊缝横截面宏观图
Fig.2 Macrograph of tubular butt joint and cross section of weld of T91/12Cr1MoV dissimilar steel under different welding currents

2.2 焊接接头显微组织分析

图 3 为 120 A 焊接的焊接接头各区的显微组织。可看出: T91 母材的显微组织是马氏体, 12Cr1MoV 母材的显微组织由珠光体和铁素体组成。T91 侧热影响区的显微组织仍为马氏体, 与母材相比, 马氏体组织更粗大; 12Cr1MoV 侧热影响区的显微组织不均匀, 其组织是回火索氏体和铁素体。焊缝区的显微组织不均匀。

图 4 为不同焊接电流下焊缝区的显微组织。可看出, 焊缝区组织都不均匀, 焊接电流为 100 A 时, 由于热输入量少, 高温停留时间短, 使得冷却后的马氏体量不是很多, 组织为铁素体 + 少量马氏体; 焊接电流为 120 A 时, 焊缝区马氏体为针状, 且其数量

较多; 焊接电流为 140 A 时, 由于热输入量增加, 马氏体数量增加。

2.3 电化学腐蚀分析

图 5 是两种母材的塔菲尔极化曲线。通过对比两曲线中的腐蚀电位可以看出, T91 母材的腐蚀电位为 -0.47V 高于 12Cr1MoV 母材 -0.82V, 说明 T91 在 3.5% NaCl 溶液中的耐腐蚀性能优于 12Cr1MoV。分析认为 T91 为马氏体, 其中含有较多的 Cr、Mo、Nb 元素, 在电化学腐蚀过程中易形成钝化膜, 大大地提高了其耐腐蚀性能。

图 6 是不同焊接电流下焊接接头的 T91 侧热影响区、焊缝区、12Cr1MoV 侧热影响区的塔菲尔极化曲线。可看出, 100 A 焊接电流所得焊接接头焊缝

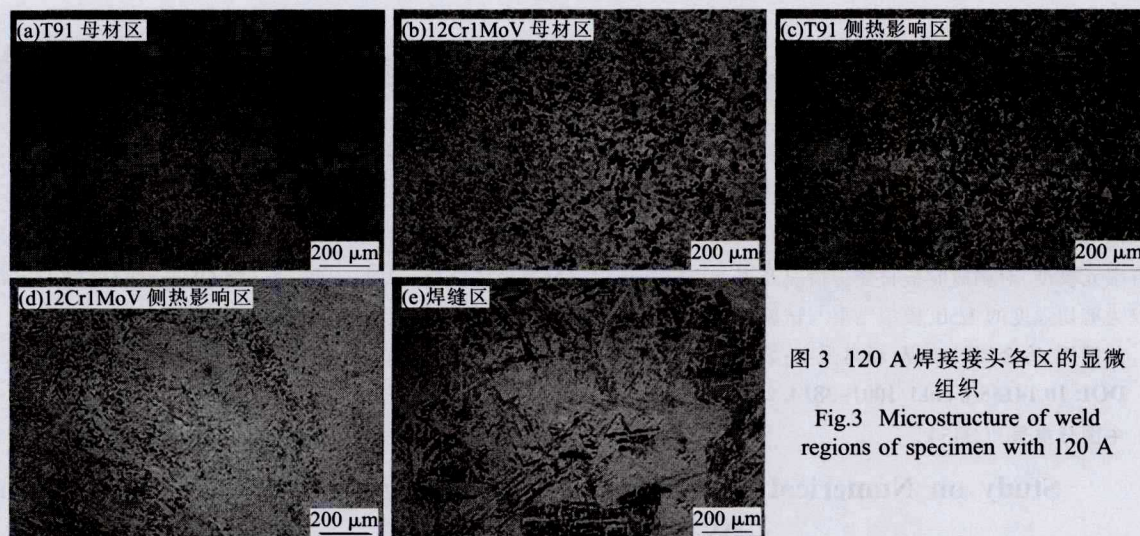


图3 120 A 焊接接头各区的显微组织

Fig.3 Microstructure of weld regions of specimen with 120 A

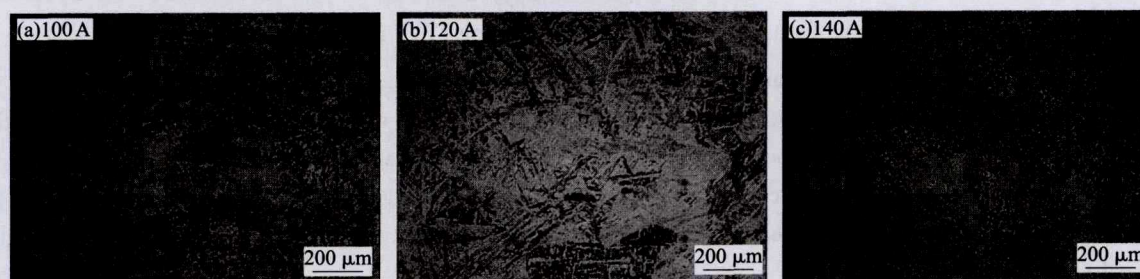
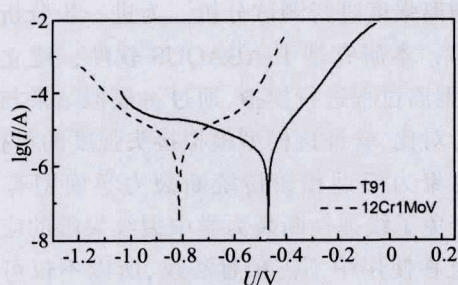


图4 不同焊接电流下焊缝区的微观组织

Fig.4 Microstructure of the weld with different welding currents

图5 母材 T91 和 12Cr1MoV 的塔菲尔极化曲线
Fig.5 Tafel polarization curve of T91 and 12Cr1MoV

区腐蚀电位为 -0.96 V , 低于两侧热影响区的腐蚀电位; 120 A 焊接电流所得焊接接头焊缝区腐蚀电位位于两侧热影响区之间, 腐蚀电位为 -0.78 V , 耐腐

蚀性优于 100 A 焊接电流所得焊缝区组织; 140 A 焊接电流所得焊接接头焊缝区腐蚀电位为 -0.99 V 左右, 耐腐蚀性能低于 120 A 焊接电流所得焊缝区组织。分析认为各焊接接头焊缝区的腐蚀性能与对应的材料组织及组织均匀性有关。由图 4(b) 可知 120 A 焊接试样的显微组织为针状马氏体组织, 且数量较多, 且试样组织均匀性较 100 A 试样好。同时, 马氏体相比铁素体而言, 晶格能低, 即吉布斯自由能更低, 在腐蚀介质中越难腐蚀。在焊缝金属从奥氏体向马氏体转变的过程中, 由于高温停留时间过短, Cr 元素扩散速度慢, Cr 元素的分散程度会随焊接电流的增加而增加, Cr 元素的分散也会进一步提高焊缝

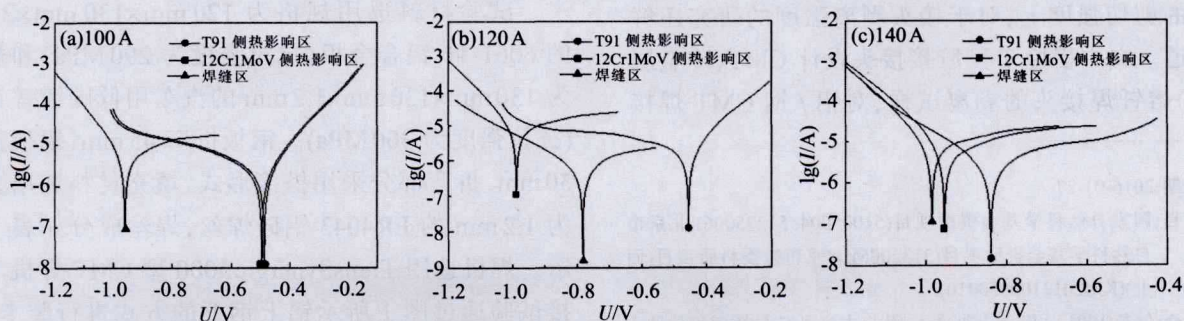


图6 不同焊接电流下焊接接头不同区域的塔菲尔极化曲线

Fig.6 Tafel polarization curve of different regions of welding joint with different welding current (下转第 161 页)

3 结论

(1) 在焊接起弧点和收弧点单独进行功率缓升和缓降工艺可以有效地改善焊缝凹坑和裂纹等问题。研究发现,当缓升和缓降时间为0.3s时,焊缝形貌较理想,但有短距离未焊透现象。

(2) 将缓升缓降最优工艺叠加后发现,不仅凹坑和裂纹现象得到改善,单独缓升缓降导致的未焊透现象也得到了解决,选择缓升缓降时间0.3s叠加得到的焊缝成形效果最优。

(3) 对有、无叠加工艺的传动轴进行了扭转试验和显微硬度检测,试验结果表明,传动轴激光焊接工艺优化后,其扭转强度和显微硬度都有大幅度的提升,能满足工作要求,Ramping工艺叠加优化后,各个方面性能显著提高,更能满足恶劣环境下的服役要求。

参考文献:

- [1] 杨保,刘庆. 基于基准统一的汽车传动轴焊接工艺优化设计[J]. 焊接技术,2014,43(12): 38-40.
- [2] 张维哲. 304 不锈钢薄板激光焊接技术研究[D]. 大连:大连理工大学硕士学位论文,2009.
- [3] 游德勇,高向东. 激光焊接技术的研究现状及展望[J]. 焊接技术. 2008,37[4]:5-9.
- [4] 陈根余,周宇,张明军,等. 大功率光纤激光厚板自熔焊焊缝表面质量改善研究[J]. 中国激光,2013,40(11): 1103011.
- [5] 龙腾. 30Cr3 超高强度钢 CO₂ 激光焊接研究[D]. 上海:上海交通大学硕士学位论文,2013.
- [6] 高建昌,邵红红,许友谊. 20CrMo 钢与 45 钢激光对接焊接头的组织与性能[J]. 金属热处理,2006,31(3): 75-77. 

(上接第 153 页)

金属的耐腐蚀性能。而 140A 焊接试样与 100A 焊接试样相比腐蚀性能没有提高反而略有降低,分析认为这很大程度上是受到组织均匀性不佳导致的。

同时,与母材相比,可见 100 和 140A 焊接试样焊缝区的腐蚀电位均低于两种母材,焊接后不均匀组织使得焊缝的整体耐腐蚀性能下降,而 120A 焊缝区腐蚀电位与图 5 中 12Cr1MoV 电位相当,说明焊缝金属组织均匀性对其耐腐蚀性能影响很大,合适的焊接电流得到较为均匀的马氏体组织,能有效地提高焊缝整体的耐腐蚀性能。

3 结论

(1) T91 和 12Cr1MoV 异种耐热钢管,进行 TIG 单面焊双面成形,最佳焊接电流为 120A,焊缝成形良好,焊缝呈鱼鳞纹状,接头焊缝区组织较为均匀。

(2) T91 和 12Cr1MoV 异种耐热钢管对接焊,当焊接电流为 100A 和 140A 时焊缝在 3.5%NaCl 溶液中耐腐蚀性能低于两种母材,且 120A 焊接试样的焊缝区耐腐蚀性能优于 100 和 140A 焊接试样。

参考文献:

- [1] 潘春旭. 异种钢焊接性的研究现状和发展 [C]//2005 年能源工程焊接国际论坛论文集,2005.
- [2] 宋明远. 1Cr18Ni9Ti 不锈钢与 20R 碳钢的异种钢焊接 [J]. 工程技术,2010(22): 63-65.
- [3] Carbucicchio M. Interfacial microstructure and properties of dissimilar steels joined by high energy beam melting processes [J]. Hyperfine Interact, 2009, 191: 143-146.
- [4] 王志红,赵进忠,李太彬. T91 与 12Cr1MoV 异种钢的焊接工艺[J]. 焊接,2006(10): 51-56. 

(上接第 156 页)

应用[J]. 内燃机与配件,2011(10): 18-20.

- [2] Benedyk J. Light metals in automotive applications [J]. Light Metal Age, 2000, 58(9/10): 34-35.
- [3] 雷振,秦国梁,林尚扬,等. 铝与钢异种金属焊接的研究发展概况[J]. 焊接,2006(4): 16-18.
- [4] Haraga K. Strength properties of aluminum/aluminum and aluminum/steel joints for light weighting of automotive body[J]. Welding in the World, 2000, 44(4): 23-27.
- [5] 杨修荣. 超薄板的 MIG/MAG 焊-CMT 冷金属过渡技术[J]. 石油

化工建设,2006,28(2): 37-39.

- [6] 张军. 界面应力及内聚力模型在界面力学中的应用 [M]. 郑州:郑州大学出版社. 2009.
- [7] Wang Y, Chen X, Tang B F. Finite element analysis for delamination of laminated vibration damping steel sheet [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2007, 17(3): 455-460.
- [8] 成大先. 机械设计图册[M]. 北京:化学工业出版社,1997.
- [9] 杨硕. 钢/铝 CMT 接头熔合面积对接头抗剪强度及破坏模式的影响[J]. 材料工程,2013(4): 34-39. 