

激光淬火对焊缝热影响区耐腐蚀性能的影响

李艳丽¹ 李玲¹ 刘欣² 刘洁²

(¹ 海军航空工程学院青岛分院, 山东 青岛 266041)
² 青岛科技大学, 山东 青岛 266061)

摘要 焊接是合金结构钢连接的主要方式之一,而焊接热影响区的耐腐蚀性能较其他区域而言是较差的。为了提高焊接热影响区的耐腐蚀性能,采用激光表面淬火技术对焊缝热影响区进行表面处理。通过正交试验,得到优化后的激光淬火工艺参数。电化学测试结果表明,采用激光淬火后 30CrMnSi 焊缝热影响区的自腐蚀电流得到显著降低,而越小的自腐蚀电流就意味着较好的耐腐蚀性能。因此,采用激光表面淬火处理技术,可以显著地提高 30CrMnSi 焊缝热影响区的耐腐蚀性能。

关键词 激光淬火;耐蚀性;焊接热影响区;自腐蚀电流

中图分类号 TG17 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP49.071404

Study on Corrosion Resistance Property of Welding HAZ Treated by Laser Surface Quenching

Li Yanli¹ Li Ling¹ Liu Xin² Liu Jie²

(¹ Qingdao Branch, Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao, Shandong 266041, China)
² Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266061, China)

Abstract Welding is a main joint way of the alloy constructional steel. The welding heat affected zone (HAZ) is more sensitive to corrosion in comparison with other areas. In order to increase the corrosion resistance of the welding HAZ, laser surface quenching is used to treat the welding HAZ. According to the results of the orthogonal test, the optimized processing parameters are obtained. Based on the electrochemical analysis, it is found that the corrosion current of 30CrMnSi welding HAZ can be decreased obviously by laser quenching technology. So the corrosion resistance of the HAZ can be improved effectively with this method.

Key words laser quenching; corrosion resistance; heat affected zone; corrosion current

OCIS codes 140.3390; 160.3900; 350.3850

1 引言

合金结构钢在各类机械中的应用极其广泛,焊接是其主要的连接方式。而焊接接头由于加热温度高、加热和冷却的瞬时性与局部性以及温度梯度大等特点,常导致组织的不均匀和晶粒粗大等缺陷,使焊接部位容易发生腐蚀,发生腐蚀的主要部位是焊接热影响区(HAZ)^[1,2]。焊缝中心区组织结构晶粒均匀细小,机械性能好,而焊接热影响区则晶粒粗大,是焊接接头的薄弱环节,腐蚀容易在这一部位出现^[3]。采用激光表面淬火的方法可以有效地控制热影响区的耐腐蚀性,同时又不影响试件的机械性能。本文利用激光淬火技术对焊缝热影响区进行表面处理。采用优化的淬火工光参数,获得了显著降低的自腐蚀电流,表明激光淬火能有效提高热影响区的耐腐蚀性能。

2 试验材料及仪器

选择 30CrMnSi 锻造板材。首先对板材进行退火处理,然后采用手工电弧焊的方式获得焊缝,焊后进行

收稿日期: 2012-02-01; 收到修改稿日期: 2012-03-05; 网络出版日期: 2012-05-22

作者简介: 李艳丽(1976—),女,硕士,讲师,主要从事激光表面处理新技术方面的研究。E-mail: liyanli999@163.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网(<http://www.opticsjournal.net>)

回火,通过 X 射线探伤检验焊缝质量,得到合格的焊接件。为方便对焊缝热影响区进行激光表面处理,采用线切割的方法,将焊接的板材切割成 $150\text{mm}\times 20\text{mm}\times 2\text{mm}$ 的试验件。

激光表面处理所用的激光器为海军航空工程学院青岛分院自行研制的 LER-3 激光器,是一台固体脉冲激光器,最大功率为 500 W,圆形光斑,光斑直径为 2 mm,并配有自动控制机械手。

极化曲线测试采用的仪器是武汉科思特生产的电化学工作站 CS350,参比电极是饱和甘汞电极,选取的极化范围为 $-0.9\sim 1.0\text{ V}$,腐蚀介质为青岛取的天然海水。材料测试的面积为 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。采用动电位法测定所选区域的阳极极化曲线,扫描速率为 1 mV/s 。通过极化曲线的测试,得到试样的腐蚀电位和自腐蚀电流。

3 实 验

激光淬火处理过程采用正交试验法,通过正交试验分析确定主要的影响因素,并且对激光表面淬火处理参数进行优化,最终得到改善试件焊缝热影响区耐腐蚀性能优化参数。正交试验选取 5 因素 4 水平进行设计,共设计 16 组,如表 1 所示。

表 1 激光表面淬火正交试验表
Table 1 Laser quenching orthogonal test

Current /A	Impulse width /ms	Frequency /Hz	Scanning speed /(mm/s)	Protecting gas flow rate /(L/s)
80	7.0	5.0	1.0	1
80	8.0	6.0	1.5	2
80	9.0	7.0	2.0	3
80	10.0	8.0	2.5	4
90	7.0	6.0	2.0	4
90	8.0	5.0	2.5	3
90	9.0	8.0	1.0	2
90	10.0	7.0	1.5	1
100	7.0	7.0	2.5	2
100	8.0	8.0	2.0	1
100	9.0	5.0	1.5	4
100	10.0	6.0	1.0	3
110	7.0	8.0	1.5	3
110	8.0	7.0	1.0	4
110	9.0	6.0	2.5	1
110	10.0	5.0	2.0	2

激光淬火处理过程为:取黑化处理好的试件,并用夹具将试件加紧,设定好机械手扫描路径,保证扫描路径是平行于焊缝方向,按照选定的淬火处理参数进行激光扫描,对试件表面进行处理。由于焊缝热影响区的宽度大于激光光斑的尺寸,所以必须通过多次扫描才能完成对整个热影响区的淬火处理。因此,扫描完一次后,沿垂直于焊缝方向平移 1.2 mm 进行下次扫描,保证两次扫描路径的光斑搭接量为 30%。由于手工电弧焊热影响区的大概宽度范围为 $6.0\sim 8.5\text{ mm}$,因此确定激光扫描区域不小于 10 mm 。激光淬火示意图如图 1 所示。

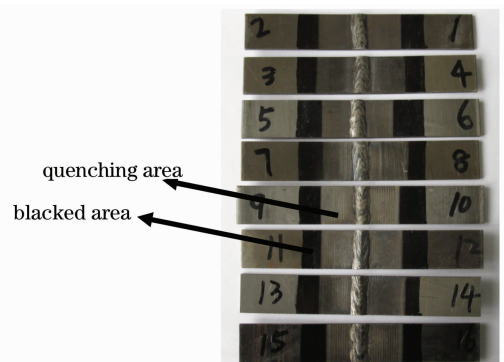


图 1 激光淬火后的试件

Fig. 1 Laser quenched specimen

4 实验结果与分析

4.1 耐腐蚀性能测试

对 16 组试件均进行极化曲线测试,通过拟合得出 16 组正交试验工艺参数对应的自腐蚀电流和自腐蚀

电位。将自腐蚀电流和自腐蚀电位数据作为判断指标,采用极差分析方法,分析各参数的影响。通过极差分析可以得到优化的工艺参数是:保护气体流量 4 L/s,电流 80 A,频率 6 Hz,扫描速度 2 mm/s,脉宽 10.0 ms。

为了比较激光表面处理和未处理试样的耐腐蚀性能,在同样的条件下测试了未经激光处理试件的极化曲线。用优化后的激光淬火工艺参数处理后得到的试件同未激光处理试件的极化曲线对比,如图 2 所示。

从极化曲线中,经过拟合处理可以得到经过激光处理的试件的自腐蚀电流是 3.2×10^{-9} A/cm²,自腐蚀电位是 -0.39 V;而未经激光处理的试件的自腐蚀电流是 3.07×10^{-6} A/cm²,自腐蚀电位是 -0.7 V。由此可见经过激光处理的试件的腐蚀电位比未经过激光处理的试件的腐蚀电位要高,而经过激光处理的试件的腐蚀电流比未经过激光处理的试件的腐蚀电流要小,低了 3 个数量级。较高的自腐蚀电位和较小的自腐蚀电流意味着更好的耐腐蚀性能^[4],因此焊缝热影响区的耐腐蚀性能在经过激光淬火处理后得到了显著的提高。这是一种行之有效的提高焊缝热影响区耐腐蚀性能的方法。

4.2 激光淬火提高焊缝热影响区耐腐蚀性能的机理分析

4.2.1 显微组织分析

内部组织决定对外宏观性能,为了分析激光淬火是如何提高试件的耐腐蚀性能的,对激光淬火和未经激光淬火的试件进行金相组织分析,得到金相组织,如图 3 所示。可以看出,未做激光处理的试件和激光淬火后的试件,其焊缝热影响区表层组织主要为板条马氏体。所不同的是激光淬火形成的马氏体组织较没有激光处理的试件的马氏体组织条状更细,也就是激光淬火使条状马氏体组织得到细化。正是这种细化的板条马氏体组织提高了试件的耐腐蚀性能。

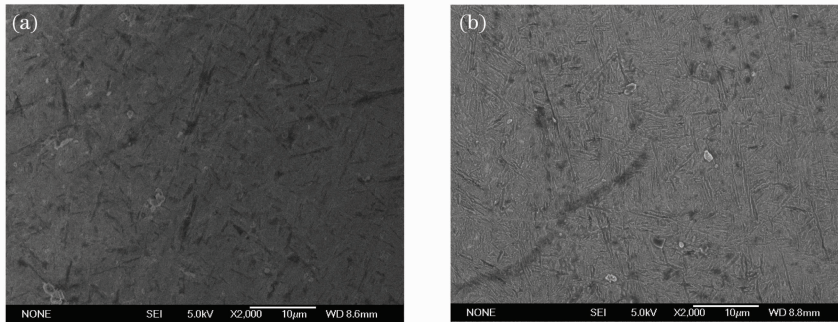


图 3 试件表层显微组织。(a)未处理试件表层组织;(b)激光淬火试件表层组织

Fig. 3 Surface microstructures of specimens. (a) Untreated surface microstructure; (b) laser quenching surface microstructure

4.2.2 成分均匀化

试件焊接后,在焊缝热影响区会产生成分的不均匀性,而这种不均匀性也是影响试件耐腐蚀性能的原因之一,在采用焊缝热影响区的激光淬火方法处理后,对表层的成分进行线扫描,测试得到的成分如图 4 所示。可以看出,未处理试件的表层成分不是很均匀,而在对这一试件进行激光淬火后再进行成分的测试,除了 Si 的成分在距离焊缝中心 53.52 μ m 处波动较大外,其余的合金成分比激光处理前都均匀了。而这种成分均匀性也是提高焊缝热影响区耐腐蚀性能的重要原因之一。

5 结 论

通过激光淬火表面处理,采用正交试验优化,得到最佳的激光淬火工艺参数为:保护气体流量 4 L/s,电

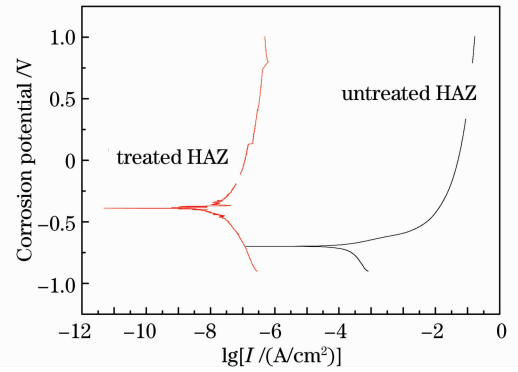


图 2 极化曲线

Fig. 2 Polarization curves of samples

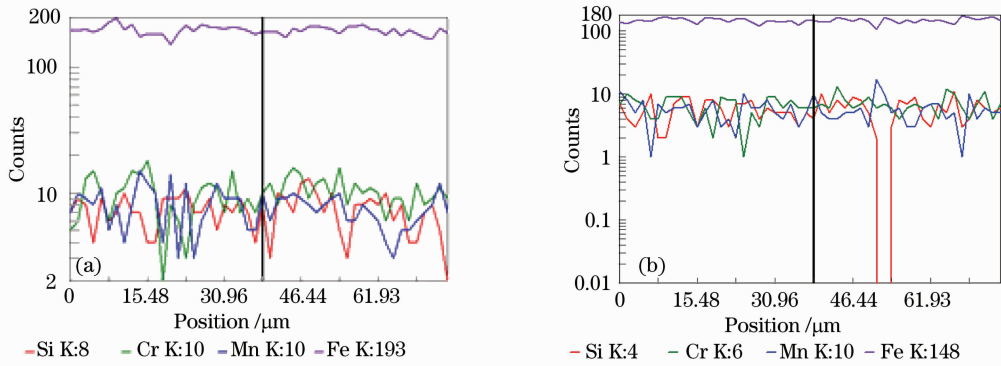


图4 试件表层成分。(a)未处理试件表层成分；(b)激光淬火试件表层成分

Fig. 4 Surface composition of specimens. (a) Untreated surface composition; (b) laser quenching surface composition

流 80 A, 频率 6 Hz, 扫描速度 2 mm/s, 脉宽 10.0 ms。采用优化后的激光工艺参数对焊缝热影响区进行激光表面淬火处理后, 焊缝热影响区的耐腐蚀性能得到了显著提高。

通过金相组织分析和成分分析, 分析了激光表面淬火提高试件耐腐蚀性能的机理: 激光淬火处理不仅可以细化马氏体板条, 同时激光淬火层的成分也得到了均匀化。有关激光淬火提高试件耐腐蚀性能机理的原因有待进一步的研究探讨。

参 考 文 献

- 1 Cai Jianping, Lu Feng, Wu Xiaomei. Development of corrosion and protection for aeronautical materials in China [J]. *J. Aeronautical Materials*, 2006, **26**(3): 271~275
蔡健平, 陆峰, 吴小梅. 我国航空材料的腐蚀与防护现状与展望[J]. *航空材料学报*, 2006, **26**(3): 271~275
- 2 Liu Shixing, Du Hongzeng, Bai Jie. Aging aircraft corrosion problems research [J]. *J. Civil Aviation University of China*, 2004, **22**(3): 93~95
刘世兴, 杜洪增, 白杰. 老龄飞机腐蚀问题研究[J]. *中国民航学院学报*, 2004, **22**(3): 93~95
- 3 Fan Xiangfang, Ye Jiang, Jiang Wenfeng. Influence of laser melting on microstructure and properties of 1Cr18Ni9Ti welding joint[J]. *Transactions of Materials and Heat Treatment*, 2009, **8**(4): 61~64
樊湘芳, 叶江, 蒋文凤. 激光熔凝对 1Cr18Ni9Ti 焊接接头组织和性能的影响[J]. *材料热处理学报*, 2009, **8**(4): 61~64
- 4 Wng Fengping, Kang Wanli, Jing Hemin. *The Electrochemical Corrosion Principle, Methods and Application*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008. 73~87
王凤平, 康万里, 敬和民. *腐蚀电化学原理, 方法与应用*[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008. 73~87