

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2019.09.003

新型异种钢接头组织和耐腐蚀性能研究

高心心,梁晓明*,刘保成,刘雨,于立华

(青岛科技大学,山东潍坊261500)

摘要: 采用金相实验、电化学实验和全浸腐蚀实验研究了异种高强钢焊接接头的显微组织特性以及腐蚀行为,并利用SEM对腐蚀后的形貌进行观察。结果表明,焊接接头靠近低强度一侧母材的热影响区伏打电位最负、更易失去电子,自腐蚀电位最负、析氢电位最正,容易发生腐蚀和析氢反应。全浸腐蚀实验结果表明,焊接接头的母材区最耐蚀,两侧的热影响区腐蚀最严重,有大量的腐蚀坑,可见由于此区域组织粗大、夹杂物和缺陷多造成的。

关键词: 异种钢焊接接头;显微组织;伏打电位;耐腐蚀性

中图分类号: TG174.2+2

文献标识码: A

Microstructure and Corrosion Resistance of New Dissimilar Steel Welded Joint

GAO Xinxin, LIANG Xiaoming*, LIU Baocheng, LIU Yu, YU Lihua

(Qingdao University of Science and Technology, Weifang 261500, China)

Abstract: The microstructure and corrosion behavior of dissimilar high-strength steel welded joint were studied by metallographic test, electrochemical test and immersion corrosion test. The morphology of the corrosion was analyzed by SEM. The results show that the volt potential is the most negative and more easily lose electrons in the heat affected zone (HAZ) of base metal near the side of low strength steel in welded joint, and the corrosion potential is the most negative. The hydrogen evolution potential is the most positive, and the corrosion and hydrogen evolution reaction are easy to occur. The results of full immersion corrosion test show that the parent material area of the welded joint has the best corrosion resistance. The most serious corrosion is found in the HAZ on both sides. A large number of corrosion pits, which are caused by the coarse structure, inclusions and defects, can be observed in this zone.

Keywords: dissimilar steel welded joint; microstructures; volt potential; corrosion resistance

高强度合金钢具有优异的综合性能已广泛应用于航海等领域,然而为实现结构材料的轻便性,钢的强度在不断增加,当钢的强度越高时,材料的组织性能等会受到严重影响^[1-3]。工况下将异种高强钢进行焊接时,不同钢材的组织结构等存在差

异,尤其接头的热影响区易发生失效^[4]。另外,当异种钢焊接件作用于海水环境时,常常会发生腐蚀;腐蚀行为与材料的显微组织及元素分布有很大关系^[5-6]。研究金属腐蚀性能的传统方法主要是通过宏观电化学测试^[7],但是传统的研究方法以整个

收稿日期: 2019-04-01

修回日期: 2019-04-22

通信作者: 梁晓明, email: 398386555@qq.com

基金项目: 山东省重点研发计划(2018GNC112007), 山东省高校科研计划项目(J18KA015)

电极为研究对象,难以测量材料表面不同位置的电化学特性及微区形貌结构;扫描 Kelvin 探针测试技术是一种非常有效的用来检测样品表面局部差异性的技术^[8-10],可清楚的判断出焊接接头不同区域的耐腐蚀程度,为焊接技术的改进和新材料的研发提供依据。目前通过探针等精密手段研究复杂焊接接头的腐蚀性能的方法尚不多见^[6]。因此,验证异种钢焊接接头是否满足复杂环境下的服役要求,对其显微组织及腐蚀性能分析尤其重要。

1 实验

1.1 试验材料

试验材料是屈服强度为 800 MPa 和 1000 MPa 的焊接钢材(用 A、C 表示),屈强比为 0.8 的异种钢焊接件由两种材料对焊而成。

焊接时采用多层多道焊接工艺,焊接过程中预热 100 ℃,后热 250 ℃×2 h。采用 CO₂ 气体保护焊,焊接部位为 V 字形的单边坡口,余 3 mm 的钝边。

1.2 试样制备

金相实验、扫描 Kelvin 探针实验和全浸腐蚀试验的试样尺寸均为 100 mm×30 mm×2 mm,中间为焊材,极化曲线测试试样工作面积为 1 cm²。所有试样先由砂纸进行逐级打磨,后进行抛光。

1.3 试验装置与方法

金相试样的浸蚀液为 4% 的硝酸酒精,实验设备为金相显微镜。

极化曲线采用瑞士万通公司型号为 PG-STAT302N 的 AUTOLAB 电化学工作站进行测试,参比电极为饱和甘汞电极(SCE),辅助电极为 Pt 丝,扫描速率为 0.33 mV/s,电位区间在 -650~200 mV (vs E_{corr})。

扫描 Kelvin 探针实验采用 Versa SCAN SKP 系统,探针为 500 μm 的铂合金,测试过程中探针距离试样 100 μm ,采用步长移动面扫描,扫描速度控制在 200 $\mu\text{m/s}$,仪器灵敏度为 20 μV 。

全浸腐蚀试验,浸泡溶液为青岛海域天然海水,浸泡时间为 30 d。浸泡结束后,先将试样表面外锈层去除,用低倍显微镜进行观察;后利用酸洗液清除试样表面腐蚀产物,最后利用扫描电子显微镜(SEM)观察分析。无特殊标明电位均相对于 SCE。

2 结果与分析

2.1 显微组织

800 MPa、1000 MPa 级高强钢接头的金相组织如图 1 所示。高强钢的母材区有少量碳化物和珠光体,但以索氏体为主(图 1(a)、图 1(d));焊缝区主要由针状铁素体组成,致密性好、不定向且组织分布不均,其中弥散分布少量碳化物(图 1(b)、图 1(c))。

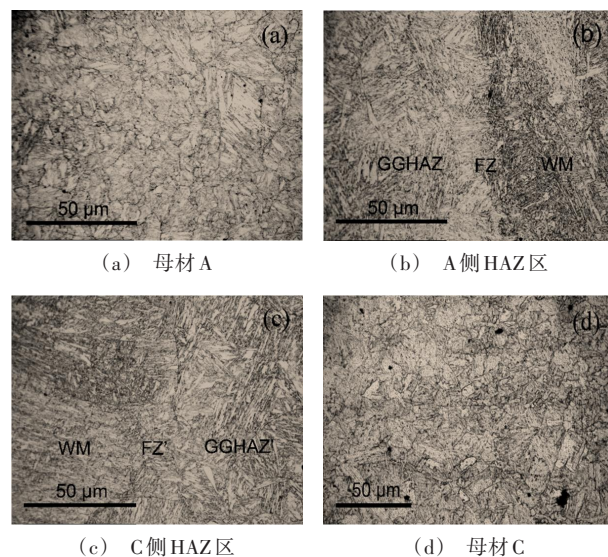


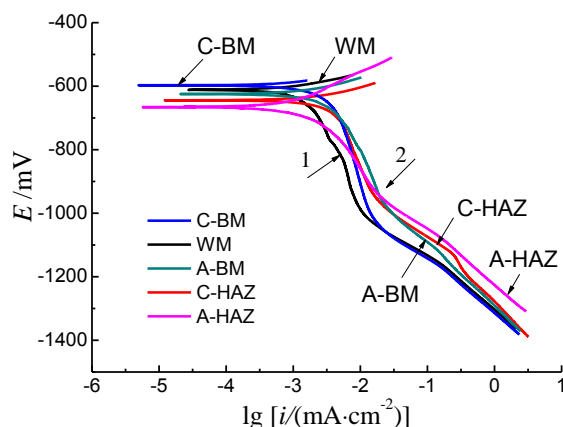
图 1 焊接接头的显微组织金相图

接头热影响区(HAZ)主要包括三个区域,粗晶区(CGHAZ)、熔合区(FZ)、焊缝(WM),晶粒尺寸具有差异性,且分布不均匀。但综合比较两侧热影响区组织的分布特点,差异性略小,800 MPa 级钢一侧的过热区和熔合区(图(b))相对 1000 MPa 级钢一侧的组织(图(c))略显粗大与不均匀,这可能与各高强钢的成分以及屈服强度值接近有关^[11]。

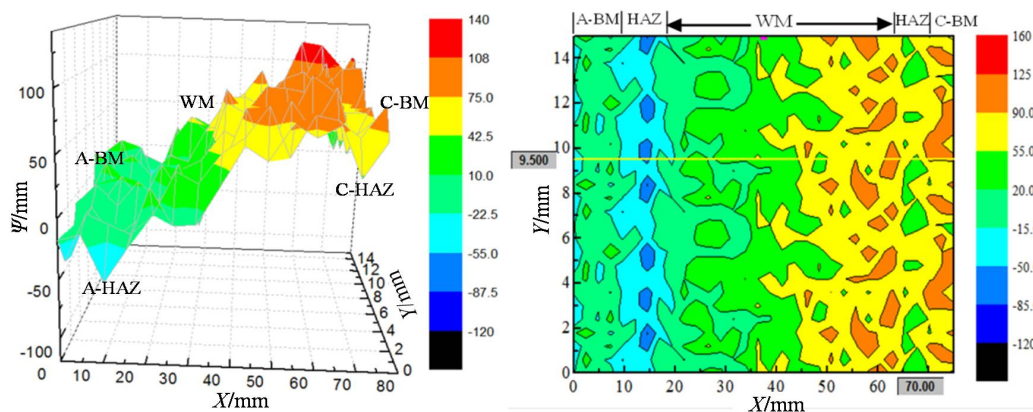
2.2 电化学性能分析

扫描 Kelvin 探针测试实验可以获取材料表面的功函数,从而判断金属表面的差异性。从 M·Stratmann 等人的理论发现,试验测试结果中伏打电位差($\Delta\psi$)与自腐蚀电位(E_{corr})有一次函数关系^[12-14]。因此可利用 Kelvin 探针测试材料的腐蚀性能。

焊接接头各微区的极化曲线如图 2(a)所示。由图 2 得到的各参数数值如表 1 所示。母材 C(C-



(a) 极化曲线测试结果



(b) 扫描 Kelvin 探针测试结果

图 2 焊接接头各微区的测试结果

BM) 的自腐蚀电位最正, 为 -599 mV, 析氢电位最负; 焊缝区次之; A 侧热影响区 (A-HAZ) 的自腐蚀电位最负, 为 -665 mV, 析氢电位最正。另外, 由扫描 Kelvin 探针测试结果 (图 2(b)) 可知, A 侧母材区 (A-BM) 的伏打电位约在 30 mV 左右; A 侧热影响区伏打电位明显负移, 最负值约在熔合线的附近, 大约在 -70 mV 左右, 表明热影响区的电子逸出功下降, 更容易失去电子。而从热影响区向焊缝区方向, 伏打电位差逐步上升至 90 mV 左右稳定, 表明焊缝区表面更为稳定, 电子逸出难度增大, 这跟焊缝区致密的下贝氏体组织有关, 随后 C 侧热影响区 (C-HAZ) 的伏打电位开始下降, 而到 C 母材区又出现上升趋势。最终结果, C 母材区的伏打电位最正, 热影响区的最负, 尤其是 A 侧热影响区 (近熔合线处), 与焊缝区相差约 160 mV。由焊接接头各区域自腐蚀电位和伏打电位值的规律性一致, 可以判

断出接头的两侧热影响区最容易被腐蚀, 其次是母材 A, 然后是焊缝, 母材 C 的耐蚀性最好。由析氢电位大小可知, 母材 A 的析氢倾向明显大于焊缝; 两侧热影响区最易发生析氢, 尤其是 A 侧热影响区。

表 1 焊接接头的电化学数据参数

材料区域种类	自腐蚀电位/ mV	析氢电位/ mV	伏打电位/ mV
母材 C	-599	-995	100
焊缝	-611	-986	90
母材 A	-623	-968	30
C 侧 HAZ	-644	-949	20
A 侧 HAZ	-665	-931	-70

综上所述, 金属焊接件由于屈服强度不同会表现出不同的电化学性能, 屈服强度值相近的钢, 电化学性能相似; 焊接接头的两侧热影响区耐腐蚀最

差,且析氢倾向加剧,原因可能是焊接过程中的热输入使碳化物析出,显微组织粗大、不均匀造成的。

2.3 腐蚀形貌分析

以上试验表明,接头A侧热影响区熔合线的部位晶粒粗大,伏打电位最低,耐蚀性能薄弱。为进一步验证结果的正确性,需对焊接接头进行实海海水环境下的全浸腐蚀试验。图3为焊接接头腐蚀后的宏观形貌。图4为材料腐蚀后的扫描电镜形貌图。

由图3可以发现试样表面有大量腐蚀产物,有些地方出现黄色锈层,以点蚀类型为主,从整体形貌可知,两边热影响区(图3(b)、3(d))腐蚀最严重,尤其是A侧(图3(b)),母材A(图3(a))的耐蚀性略差于焊缝区(图3(c)),相对而言,母材C(图3(e))的腐蚀产物致密性较好,黄色锈层面积非常小,有较好的耐蚀性。在这个海水溶液组成的多电极体中,A母材区和焊缝区相对于C母材区,在所构成的原电池中成为阳极,而相对于两侧热影响区,则作为对应原电池中的阴极,最终焊接接头的两侧热影响区是腐蚀最严重的区域。

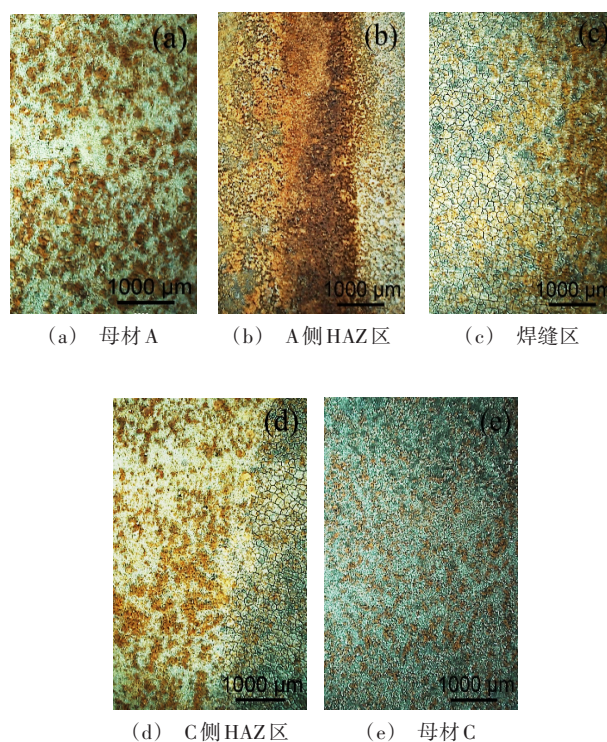


图3 异种钢焊接接头的宏观腐蚀形貌

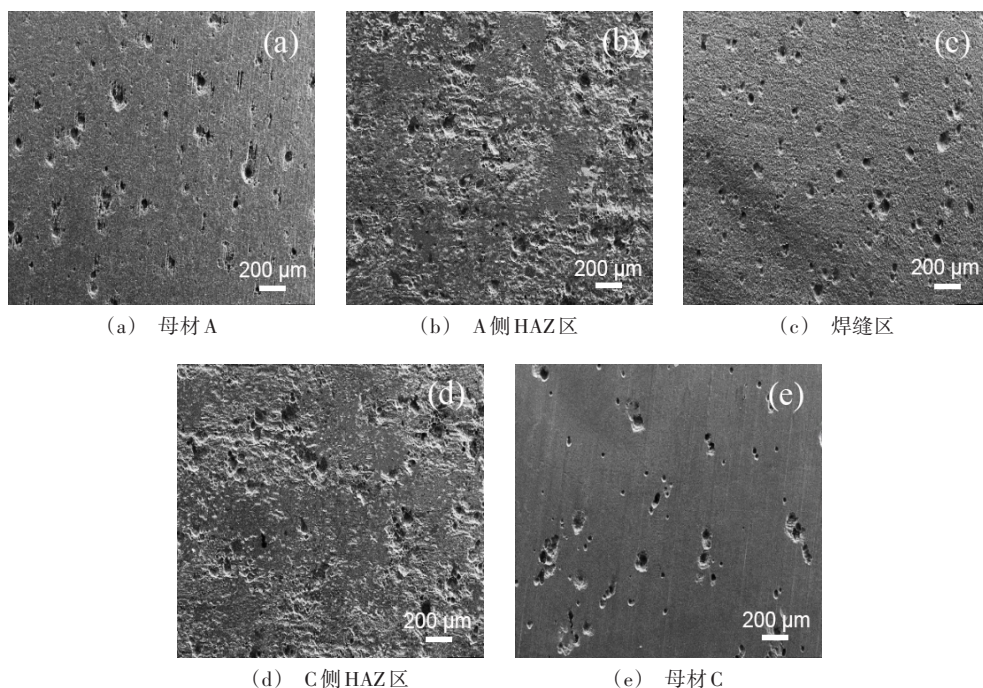


图4 焊接接头腐蚀后的扫描电镜图

由图4可以看出,试样接头各区域表现为很多形状、大小不一的腐蚀坑,类型以点蚀显著。母

材C的腐蚀程度相对较弱,可见少量深度浅且部分连成片的凹坑(图4(e));母材A表面有较密集的孔

洞,腐蚀程度略大于母材C(图4(a));焊缝区表面的孔洞数量较多且比较密集,但深度和点蚀面积位于两母材之间(图4(c));两侧热影响区的表面有大量面积被腐蚀,凹坑连接在一起成深沟槽状,腐蚀较严重^[15-16](图4(b)、4(d))。这一结果可以从前述焊接接头处的显微组织和扫描 Kelvin 探针实验中得到解释,通过对实际腐蚀后的焊件微观形貌观察,证实了焊接接头的两侧热影响区耐腐蚀性最弱。

3 结论

(1) 屈强比0.8的异种钢焊接接头的母材区以索氏体为主,焊缝区主要由致密的片状铁素体组成;热影响区的组织晶粒粗大,尺寸不一,但不同强度级别钢的热影响区组织差异性略小。

(2) 异种钢焊接接头靠近低强度一侧母材的热影响区伏打电位最低、自腐蚀电位最负、析氢电位最正、最容易发生腐蚀和析氢反应,在海水中浸泡后有大量腐蚀坑;而焊缝和母材区的耐蚀性相对较好;这可能由于热输入的影响,使热影响区的显微组织粗大,晶格缺陷增多导致的。

参考文献

- [1] 胡小锋,姜海昌,赵明久,等.一种Fe-Cr-Ni-Mo高强高韧合金钢焊接接头的组织和力学性能[J].金属学报,2018,54(1):1-10.
- [2] Billingham J, Sharp JV, Spurrier J. Review of the performance of high strength steel used offshore[M]. London: Health and Safety Executive, 2003.
- [3] Batt C, Ddodson J, Robinson M J. Hydrogen embrittlement of cathodically protected high strength steel in sea water and seabed sediment[J]. British Corrosion Journal, 2002, 37(3): 194-198.
- [4] 高心心,郭建章,张海兵.1000MPa级高强钢焊接件的氢脆敏感性研究[J].材料导报,2017,31(3):93-104.
- [5] 汪杰,郭鹏飞,王晓南,等.X100管线钢激光焊接接头显微组织及耐腐蚀性能研究[J].应用激光,2017,37(6):835-841.
- [6] 高心心,郭建章,潘大伟,等.900MPa级高强钢气保焊焊接头的组织与性能[J].金属热处理,2017,42(6):36-41.
- [7] 王洪亮,曾祥浩,张欣盟,等.5083和6061铝合金异种搅拌摩擦焊接接头的组织和性能[J].材料研究学报,2018,32(6):473-480.
- [8] Astic L, Saucier D. The scanning kelvin probe; a new technique for the in situ analysis of the delamination of organic coatings [J]. Progress in Organic Coatings, 1996, 27(27): 261-267.
- [9] Domínguez-Crespo M A, Torres-Huerta A M, Onofre-Bustamante E, et al. Corrosion studies of PPy/Ni organic-inorganic hybrid bilayer coatings on commercial carbon steel[J]. Journal of Solid State Electrochemistry, 2015, 19(4): 1-17.
- [10] Nazarov A P, Thierry D. Scanning Kelvin probe study of metal/polymer interfaces [J]. Electrochimica Acta, 2004, 49(17-18): 2955-2964.
- [11] 刘全坤.材料成形基本原理[M].合肥:机械工业出版社,2010.
- [12] Leng A, Streckel H, Stratmann M. The delamination of polymeric coatings from steel-part 1: calibration of the kelvinprobe and basic delamination mechanism[J]. Corrosion Science, 1999, 41(3): 547-578.
- [13] Grundmeier G, Schmidt W, Stratmann M. Corrosion protection by organic coatings: Electrochemical mechanism and novel methods of investigation [J]. Electrochimica Acta, 2000, 45(15-16): 2515-2533.
- [14] 郭建章,高心心,张海兵.异种高强钢气保焊焊接接头的氢脆敏感性[J].金属热处理,2017,42(7):55-60.
- [15] 喻巧红,刘超,庞晓露,等.Q235焊接接头的缝隙腐蚀行为[J].金属学报,2014,50(11):1319-1326.
- [16] 高心心.异种高强钢焊接接头腐蚀及氢脆性能研究[D].青岛:青岛科技大学,2017.