

高强钢焊缝在 Cl⁻ 环境中的耐腐蚀性

于凤群, 朱春东, 黄 雄, 张 易

(武汉理工大学, 材料科学与工程学院, 武汉 430070)

摘 要: 针对 DP590 双相高强钢, 采用电化学方法, 测得 CO₂ 气体保护焊形成的焊缝不同区域在 4 种不同含量的 NaCl 溶液中阳极极化曲线, 对比其特征参数及腐蚀形貌, 发现热影响区在 NaCl 溶液中的耐腐蚀性能最差, 此区域是重要的防腐蚀部位。

关键词: 高强钢; 焊缝; 氯离子; 电化学腐蚀

中图分类号: TG172.5

文献标志码: A

文章编号: 1005-748X(2015)增2-0081-03

Corrosion Resistance of High-strength Steel Welding in Cl⁻ Environment

YU Feng-qun, ZHU Chun-dong, HUANG Xiong, ZHANG Yi

(School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Electrochemical methods were used to measure the anodic polarization curves which formed in CO₂ gas shielded welding in four kinds of different concentrations of NaCl solution of DP 590 high strength steel. Through comparing characteristics parameters and corrosion morphology in different regions, we found that corrosion resistance of heat-affected zone is the worst in NaCl solution, and that is an important anticorrosive site.

Keywords: high-strength steel; weld; chlorine; electrochemical corrosion

随着制造工业的发展, 对于产品轻量化的要求也越来越高, 对高强钢的需求量也在随之增大。众所周知, 海洋工作环境相对恶劣, 高温、高 Cl⁻、高湿的服役环境, 极易对金属材料产生腐蚀。高强钢经过焊接工艺之后, 焊缝区域的耐腐蚀性能不同于母材, 因此, 研究高强钢焊缝在 Cl⁻ 环境中耐腐蚀性, 对实际的生产及后续的防腐工作, 具有重要的现实意义^[1]。本工作主要研究了高强钢焊缝在 Cl⁻ 环境中的耐腐蚀性能

1 试验

1.1 试验材料和仪器

试验材料为 DP590 双相高强钢。试验环境模拟的是海洋环境, 查阅相关文献, 海水可用质量分数 3.5% 的 NaCl 溶液来模拟, 本文选取的 NaCl 溶液质量分数^[2]分别为 3%、4%、5%、6%。

1.2 试验方法

1.2.1 试样的制备

用线切割机将高强钢焊缝的不同区域切割成尺寸为 8 mm × 8 mm × 2 mm 的试片, 用砂纸将工作

面逐级打磨至 1000 号, 呈光亮, 然后用去离子水、酒精依此冲洗, 用丙酮在超声波清洗器去除表面的油污后再用吹风机吹干备用。

1.2.2 电化学试验

采用三电极体系, 试样用环氧树脂密封后作为工作电极, 饱和甘汞电极 (SCE) 为参比电极, 铂电极为辅助电极, 在 VersaSTAT 3 电化学测试系统中完成。将所测试样与铜导线连接, 外部用环氧树脂密封, 做成工作电极, 工作面积为 0.64 cm²。正弦波扰动信号为 5 mV, 扫描频率为 10 mHz ~ 100 kHz。为加强工作电极自腐蚀电位的稳定性, 因此, 测试要等到自腐蚀电位在 300 s 内变化不超过 5 mV 时才能开始。

1.2.3 腐蚀产物微观表征

用场发射扫描电镜 JEOL-7100F (SEM) 观察在不同质量分数的 NaCl 溶液下高强钢焊缝金属区、母材区、热影响区的微观形貌特征。

2 结果与讨论

2.1 高强钢焊缝不同区域在不同浓度的 NaCl 溶液中的阳极极化曲线特征

由图 1 和表 1 可见, 焊缝金属区、热影响区、母

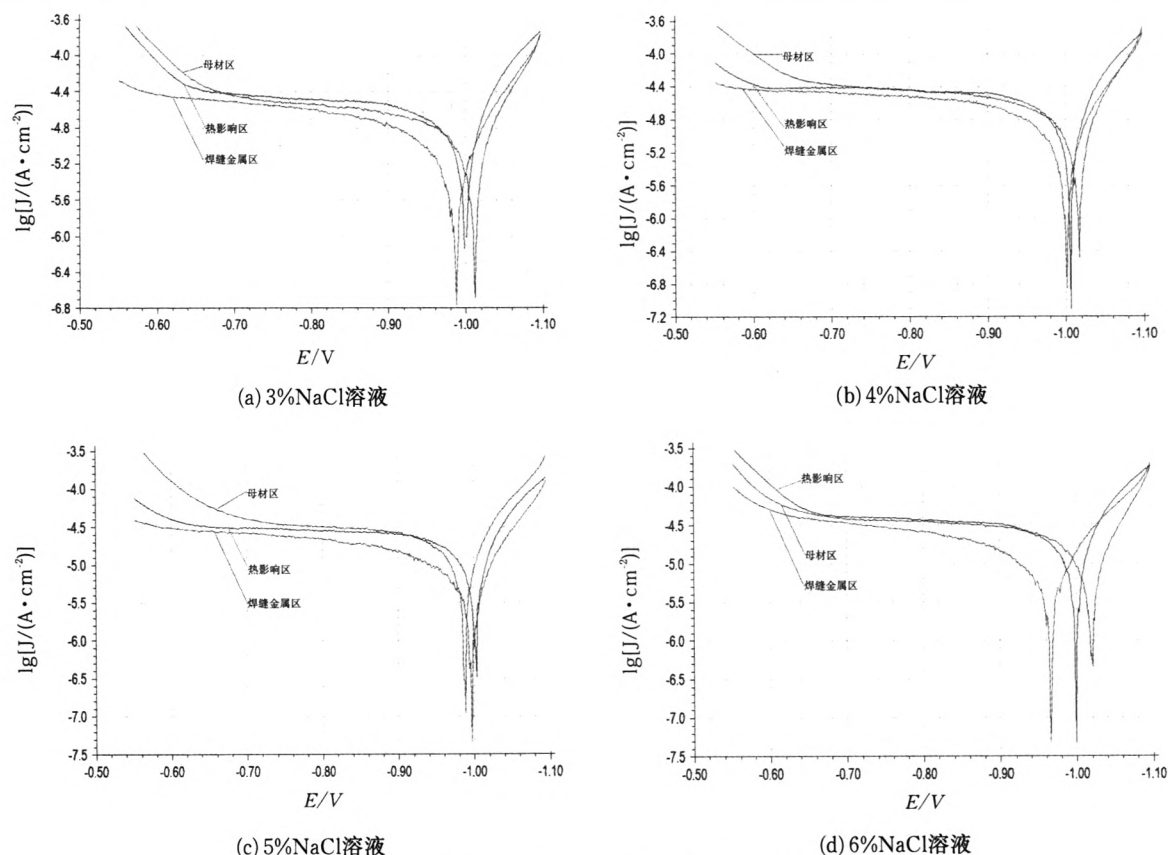


图1 焊缝金属、热影响区，母材在不同质量浓度NaCl溶液中的极化曲线

表1 焊缝三个区域在不同质量浓度NaCl溶液中阳极极化曲线相关参数

NaCl含量	区域	E_{corr}/V	I_{orr}/A	$R/(\Omega)$	$b_c/(mV \cdot dec^{-1})$	$b_a/(mV \cdot dec^{-1})$
3%	焊缝金属区	-0.9880	9.261×10^{-6}	2651	8.573	3.936
	热影响区	-0.9978	2.782×10^{-5}	1421	8.573	2.430
	母材区	-1.0111	9.768×10^{-6}	2530	8.573	1.847
4%	焊缝金属区	-1.0020	5.887×10^{-6}	2274	8.843	2.983
	热影响区	-1.0048	3.037×10^{-5}	1375	8.843	1.571
	母材区	-1.0167	1.225×10^{-5}	2121	8.843	1.897
5%	焊缝金属区	-0.9943	7.070×10^{-6}	3378	14.665	3.538
	热影响区	-1.0027	2.399×10^{-5}	1727	9.057	1.438
	母材区	-0.9859	2.117×10^{-5}	1343	12.895	2.403
6%	焊缝金属区	-0.9670	7.134×10^{-7}	1804	7.987	6.501
	热影响区	-0.9999	3.243×10^{-5}	1316	7.987	2.199
	母材区	-1.0209	1.466×10^{-5}	2300	7.987	1.591

材区在 3% NaCl、4% NaCl、5% NaCl、6% NaCl 溶液中的自腐蚀电流依次为：焊缝金属区<母材区<热影响区。由于自腐蚀电流越小，耐腐蚀性能越好，所以，热影响区的耐腐蚀性较差，是重要的防腐蚀部位。此外，CO₂气体保护焊采用的是H₈Mn₂SiA焊丝，锰、硅元素是良好的脱氧剂，能保证焊缝质量。同时，锰是奥氏体化元素，能增加奥氏体的稳定性，组织中的贝氏体、铁素体较为均匀细小，形成较为均匀的奥氏体铸态组织^[3-5]。热影响区温度范围处

在固相线以下，奥氏体晶粒严重长大，冷却的到粗大的组织，并容易产生粗大的脆性魏氏组织，耐腐蚀性能最差。母材组织是马氏体和铁素体，组织均匀，离高电极电位较远，电偶腐蚀较轻，所以耐腐蚀性能优于热影响区。

2.2 高强钢焊缝的电化学腐蚀形貌扫描分析

图2为在5% NaCl 溶液中焊缝金属区、热影响区、母材区的腐蚀形貌。可以看出，不同的区域，腐蚀形貌也大有不同，焊缝金属区腐蚀程度较轻，腐

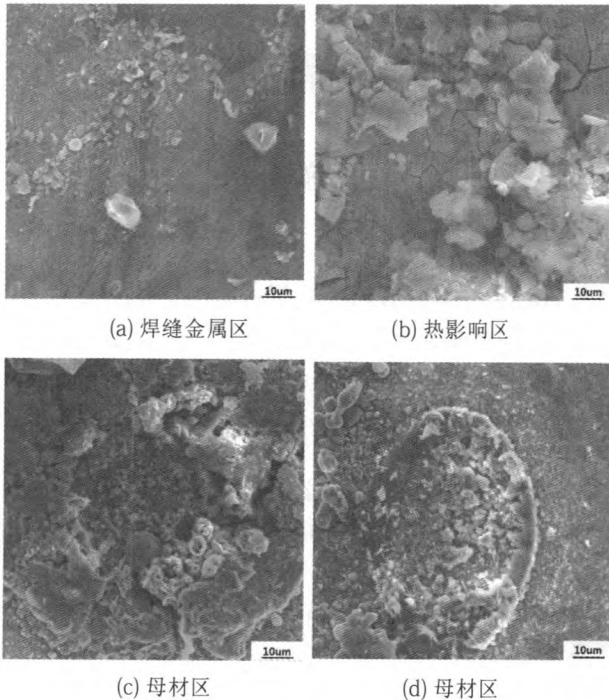


图2 不同区域的腐蚀形貌

蚀产物成团状；热影响区的基体龟裂明显^[6-7]，腐蚀产物呈不规则的块状，成簇出现，腐蚀程度较为严重；母材区基体龟裂不明显，表面腐蚀产物呈圆胞状，并由点蚀中心向外扩展蔓延。

表2为焊缝金属区、热影响区、母材区表面腐蚀产物的主要元素含量。可以看出，热影响区的Cl元素含量相对最高。由于Cl⁻半径较小，容易穿透钝化膜^[8]，金属表面的钝化膜遭破坏而发生点蚀，金属表面形成的点蚀坑容易形成Cl⁻聚集，继而加速腐蚀。

表2 焊缝区、热影响区和母材区主要元素含量(质量分数/%)

区域	C	O	Na	Cl	Mn	Fe
焊缝	21.82	46.15	9.82	0.31	1.00	20.89
热影响区	40.64	23.39	—	3.37	—	32.60
母材	21.82	46.15	9.82	0.31	—	21.89

3 结论

(1) 由阳极极化曲线及其特征参数显示，高强钢焊缝三个区域在不同浓度的NaCl溶液中的腐蚀规律基本一致，焊缝金属区的耐腐蚀性最好，母材区的耐腐蚀性次之，热影响区的耐腐蚀性最差。

(2) 腐蚀程度不同，腐蚀形貌存在明显的差异，腐蚀产物主要以块状或圆胞状形态出现，凹凸形貌不均匀。Cl⁻半径较小，容易穿透钝化膜，金属表面的钝化膜遭破坏而发生点蚀，易形成Cl⁻聚集，继而加速腐蚀。

参考文献:

- [1] 郝文魁. 海洋工程用E690高强钢薄液环境应力腐蚀行为及机理[D]. 北京: 北京科技大学, 2015.
- [2] 宁丽君. 典型紧固件涂镀层在模拟海洋环境中的腐蚀行为[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [3] 张安明. 不锈钢焊接接头耐腐蚀性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.
- [4] 姜慧, 刘奇东, 徐洁, 等. 海洋环境人工气候模拟加速试验设计[J]. 混凝土, 2013, 11: 18–21.
- [5] 熊玲琪, 李红卫. 高强度低合金钢焊缝金属的组织及其影响因素[J]. 钢铁研究学报, 2010, 06: 53–59.
- [6] 李丽, 苏霄. 1050A铝合金模拟海洋大气环境腐蚀行为的中性盐雾试验[J]. 腐蚀与防护, 2014, 04: 367–370.
- [7] 苏霄. 典型铝合金在模拟海洋大气环境中腐蚀规律研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013.
- [8] 杜雅莉, 张俊喜, 蒋俊, 原徐杰, 王灵芝, 马行驰. Cl⁻浓度渐变的混凝土孔隙液中钢筋的腐蚀过程[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2013, 04: 331–338.

(上接第80页)

- antifouling coatings and technologies[M]. Washington DC: Woodhead Publishing Limited, 2009: 1.
- [2] SCHULTZ M P. Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering[J]. Biofouling, 2007 (23): 331–336.
- [3] SCHULTZ M P, BENDICK J A, HOLM E R, et al. Economic impact of biofouling on a naval surface ship[J]. Biofouling, 2011 (27): 87–92.
- [4] KE G X, PAN G, HUAN Q G, et al. Reviews of underwater drag reduction technology[J]. Adv Mech, 2009(39):546–560.
- [5] LUCHINI P, MANZO F, POZZI A. Viscous eddies over a grooved surface computed by a Gaussian–integration Galerkin boundary–element method[J]. AIAA Journal, 1992(30): 2168–2172.
- [6] COOPER A J, CARPENTER P W. Stability of rotating–disc boundary–layer flow over a compliant wall[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1997(10): 231–236.
- [7] CHOI C, WESTIN J A, BREUER K S. Apparent slip flows in hydrophilic and hydrophobic microchannels[J]. Phys. Fluids, 2003(10): 2897–2902.
- [8] WATANABE K, TAKAYAMA T, OGATA S, et al. Flow between two coaxial rotating cylinders with a highly water–repellent wall[J]. AIChE J, 2003(49):1956–1961.