

焊接热影响区的腐蚀疲劳性能

李青 杨德钧 朱日彰 张文奇*

摘要: 利用焊接热模拟技术,在疲劳试样上模拟出与实际焊接热影响区不同组织区相近的组织,并用这些试样进行了疲劳寿命和疲劳裂纹扩展实验。通过了解焊接热影响区不同组织区的腐蚀疲劳性能,研究了焊接过程对CF-60钢腐蚀疲劳性能的影响。结果发现:焊接过程降低了CF-60钢的耐腐蚀疲劳性。其原因在于,焊接热影响区中的不完全重结晶区的腐蚀疲劳性能低于母材和其它组织区的疲劳性能。不完全重结晶区的耐蚀性最差是其腐蚀疲劳性能下降的主要原因之一。

关键词: 腐蚀,疲劳,焊接,CF-60钢

Corrosion Fatigue of Welding Heating-Affected Zone

*Li Qing Yang Dejun Zhu Rizhang Zhang Wenqi**

ABSTRACT: In this paper, the structures similar to those of different zones in the Heat-Affected Zone (HAZ) of actual welding were obtained in the fatigue specimens with the thermal-simulated technique; the experiments on fatigue life and crack propagation were carried out with the specimens. Through the corrosion fatigue behavior of the different zones in HAZ investigated, the effect of welding process on the corrosion fatigue properties of CF-60 steel was studied. It was found that welding could reduce the corrosion fatigue properties of CF-60 steel because the fatigue properties of the Incomplete Recrystal Zone (IRZ) in HAZ were worse than those of matrix and the other zones. One of the main reasons that resulted in the case was that the anti-corrosion of IRZ was worst in the welded joint region.

KEY WORDS: corrosion, fatigue, welding, CF-60 steel

有关结构钢焊件在海水中的腐蚀疲劳行为,人们做过不少研究^[1-4],并发现焊件的腐蚀疲劳强度比母材低,焊接热影响区处的疲劳裂纹扩展速度比母材高。但这些研究没有报道

1989-04-12 收稿

* 表面科学与腐蚀工程系 (Dep. of Surface Sci. and Corro. Eng.)

断裂具体位于热影响区哪个部位以及预裂纹的具体位置。

作者曾对CF-60钢的焊缝进行过剖析^[5],发现CF-60钢焊接热影响区大致可分成3个组织特征较为明显的区域,即:过热区—贝氏体区、完全重结晶区—铁素体和珠光体细晶区、不完全重结晶区—铁素体和珠光体粗晶区。由观察的结果可以知道,过去人们在实际焊件上所测的有关疲劳性能方面的结果,实际上是热影响区各组织区的综合结果。焊接接头处对腐蚀疲劳性能危害最大的区域位于何处,以前的工作仍没有解决。

本文通过了解焊接热影响区不同组织区的腐蚀疲劳性能,研究焊接过程对CF-60钢腐蚀疲劳性能的影响。研究中采用热模拟技术。模拟焊接热影响区不同组织区焊接时的热循环过程,在疲劳试样上得到与焊接热影响区不同组织区相近的组织。在同样的力学条件和环境条件下,做疲劳寿命和裂纹扩展实验,得到不同组织区的疲劳数据,寻找CF-60钢焊接热影响区中对腐蚀疲劳性能危害最大的组织。

1 实验方法

1.1 疲劳寿命

(1) 材料和试样 试样采用的材料为CF-60钢,成分为(wt%):C-0.065; Si-0.25; Mn-1.35; P-0.14; S-0.006; Cr-0.39; Mo-0.27; V-0.042。其原始状态为调质状态。热处理工艺为: $940 \pm 10^\circ\text{C}$ 保温2.5min/mm+水淬+ $630 \pm 10^\circ\text{C}$ 保温3.5min/mm回火。材料力学性能为: σ_s -540N/mm²; σ_b -630N/mm²; δ_s -26%; ψ -79%; 杨氏模量 $E = 2.28 \times 10^2 \text{ kN/mm}^2$ 。

实验采用往复平面弯曲疲劳。热模拟实验机为Gleeble IIJ00。热模拟参数见表1。

表 1 热模拟参数^[10]

Table 1 Thermal simulated parameters^[10]

区域	参数	加热过程		停留过程		冷却过程			
过热区	温度, °C	—	—	0~1 300	1 300	1 300~1 200	1 200~800	800~500	500~200
	时间, s	—	—	3.25	0.5	3	6	8	20
完全重结晶区	温度, °C	0~100	100~800	800~1 000	1 000	1 000~800	800~500	500~200	—
	时间, s	2	3	3	1.5	3	8	20	—
不完全重结晶区	温度, °C	0~100	100~800	—	800	800~500	500~200	—	—
	时间, s	2	6	—	1	10	25	—	—

注:表中参数是根据实际堆焊热过程确定的,热模拟组织与实际组织的形貌、尺寸、硬度值基本相近。

实际焊接疲劳试样的制备是用母材制成200mm×100mm×20mm的板样,并沿与轧向垂直方向开30°的斜坡,然后将两块同样的板对焊,其工艺见表2。

表 2 对 焊 工 艺 规 范

Table 2 Welding technology

道 数 次	电 流 I A	电 压 U V	焊 速 V cm/min	E kJ/cm ²
1	135	26	13	14.04
2	240	33	20	23.76
3	240	34	20	24.48
4	240	34	20	24.48
5	240	34	20	24.48
6	240	34	20	24.48

(2) 实验装置

实验所用装置为自制的往复式弯曲疲劳试验机 (图 1)。

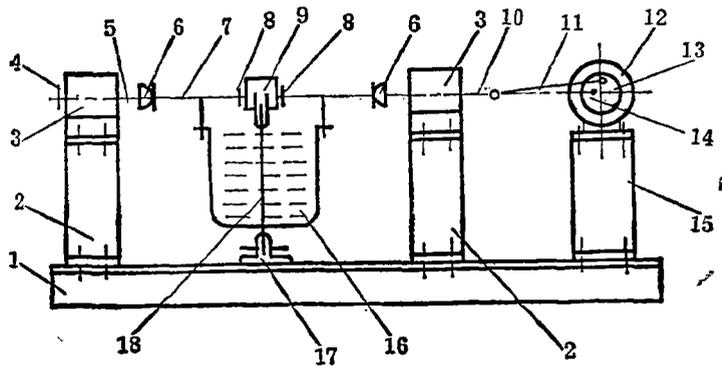


图 1 试验机示意图

1. 底座; 2. 轴承架; 3. 轴承; 4. 螺母; 5. 往复轴; 6. 万向连轴器; 7. 中间轴;
8. 螺母; 9. 上夹头; 10. 主动往复轴; 11. 连杆; 12. 轴承; 13. 偏心套; 14. 偏心轴;
15. 轴承架; 16. 液槽; 17. 下夹头; 18. 试件

Fig.1 Scheme of the experimental device

试验机工作原理: 电机经蜗轮蜗杆减速器减速后, 带动主轴转动。通过主轴两端的偏心轴带动连杆运动, 使主动往复轴做往复运动。这样使试样往复摆动, 摆动振幅的大小可转动偏心套13和偏心轴14进行调整。波形为正弦波, 实验频率0.5Hz。

(3) 外加阳极电流时的疲劳寿命实验

在试样细颈位置附近用绝缘胶带和703胶封出一段长为20mm的区域。以JH-2C恒电位仪做恒流源, 恒定循环应力振幅, 在外加不同阳极电流下做腐蚀疲劳寿命实验。

1.2 疲劳裂纹扩展实验

(1) 试样 材料仍为CF-60钢, 采用紧凑拉伸试样。按表 1 所给参数, 沿试样缺口, 模拟所需研究的组织区域。

(2) 实验设备 实验所用设备为自制的液压传动拉压式疲劳机。其工作原理: 通过电磁阀控制液压油路的通断, 达到加载和卸载的目的。波形基本呈方波, 频率为0.5Hz。用30倍

读数显微镜观察裂纹，并读取裂纹长度，读数精度为0.01mm。所有实验使用的介质为3.5% NaCl水溶液。

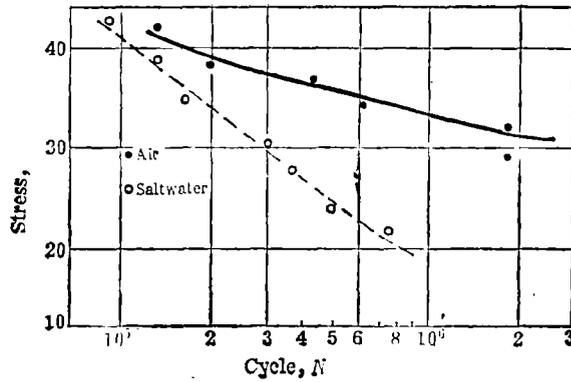


图2 CF-60钢疲劳寿命曲线(应力: $\times 10^8 \text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)
Fig.2 The lifecurve of CF-60 steel (stress: $\times 10^8 \text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)

2 实验结果与讨论

CF-60钢在空气及盐水介质中疲劳寿命曲线见图2。由图看出，CF-60钢在空气中的疲劳极限约为 $\sigma_{-1} = 320 \text{N}/\text{mm}^2$ ，与日本同类型钢SM50A的疲劳极限相当。在盐水介质中，CF-60钢的疲劳寿命大大降低，与SM50A相比较，腐蚀疲劳强度相近。

CF-60钢焊件及热影响区中的不完全重结晶区和过热区的腐蚀疲劳寿命曲线见图3。比较图中各曲线可看出，CF-60钢焊接热影响区中，不同组织区在3.5%NaCl水溶液中的疲劳

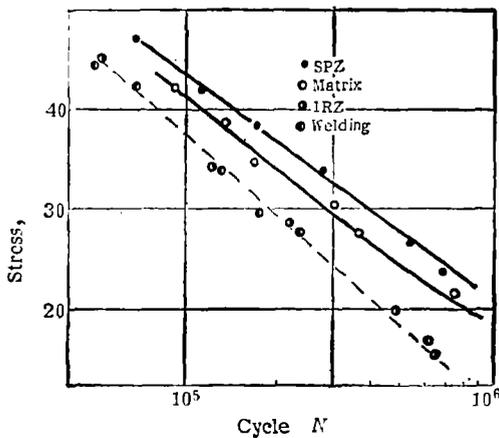


图3 CF-60钢焊件及热影响区寿命曲线
(应力: $\times 10^8 \text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)
Fig.3 The fatigue life curve of HAZ and matrix (stress: $\times 10^8 \text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)

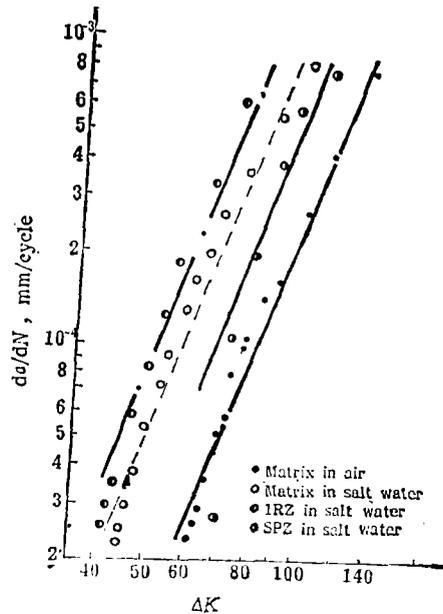


图4 裂纹扩展曲线(ΔK : $\times 10^3 \text{N}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
Fig.4 The propagation rates fatigue

寿命是不相同的。不完全重结晶区的腐蚀疲劳寿命与焊接件的寿命相同，比母材的寿命低；过热区腐蚀疲劳寿命比母材略高。

CF-60钢在空气、盐水中的疲劳裂纹扩展速度和应力强度往复变化量 ΔK 的关系见图4。从图中可以看到，CF-60钢在盐水中的疲劳裂纹扩展速度比空气中的扩展速度有较大增加。焊接热影响区不同组织区的裂纹扩展速度是不同的，不完全重结晶区的腐蚀疲劳裂纹扩展速度高于母材。

从上面实验结果看，焊接热影响区中不同组织区的腐蚀疲劳性能是不相同的。焊接过程会引起CF-60钢的腐蚀疲劳性能下降。引起下降的原因，在无焊接缺陷时（如：焊接裂纹，空穴等），是因为在焊接热影响区中存在不完全重结晶区，它的腐蚀疲劳性能低于母材和其它组织区。因而不完全重结晶区的耐腐蚀疲劳性能就代表了焊件的耐腐蚀疲劳性能。

实际焊接试样与不完全重结晶试样的腐蚀疲劳寿命曲线相同。实际焊接试样断口大多数位于不完全重结晶区的事实表明，不完全重结晶区是对CF-60钢焊件腐蚀疲劳性能危害最大的区域。其原因是：第一是组织结构变化引起力学性能变化。由于焊接过程引入大量能量，使焊接热影响区的组织、晶粒大小、硬度值都与母材不同，其力学性能也不同。以硬度值为例（ N/cm^2 ）：过热区为2940，不完全重结晶区为2220。第二是不同组织区的耐蚀性不同，引起疲劳性能的变化。作者^[5]曾测量过CF-60钢焊接热影响区不同组织区域的腐蚀电位和自腐蚀电流，结果表明，不完全重结晶区的腐蚀电位最低，腐蚀电流比其它区域略高。因此，该区在焊接接头处，由于电偶腐蚀效应，为优先腐蚀区。

3 结 论

(1) 用焊接热模拟技术，可较好地模拟焊接热影响区的不同组织区，从而有可能分别研究不同组织区的腐蚀疲劳性能。

(2) 不完全重结晶区是CF-60钢焊件在3.5%NaCl水溶液中耐腐蚀疲劳性能最差的区域，使该钢种腐蚀疲劳寿命下降。

参 考 文 献

- 1 Masumoto I. *J Japan Welding Soc.*, 1975; 44(9): 734
- 2 Van Leeuwen J L, De Back J. *Int Conf on Steel in Marine Structures, Technical Session 2, st. 2.1, 1981:1*
- 3 Solli O. *Proc of Offshore Steels Conf, Welding Institute, England, Nov. 1978: 288*
- 4 Scholte H G. *Int Conf on Steel in Marine Structures, st5.2, 1981:1—17*
- 5 季青, 李容, 杨德钧, 硕士论文, 1987:11, 北京科技大学