

● 试验与研究

微电极扫描法 对 HFW 焊缝沟槽腐蚀敏感性研究

毕宗岳^{1,2,3}, 任永峰^{2,3}, 井晓天¹

(1. 西安理工大学材料学院, 西安 710048;

2 国家石油天然气管材工程技术研究中心, 陕西 宝鸡 721008;

3. 宝鸡石油钢管有限责任公司钢管研究院, 陕西 宝鸡 721008)

摘 要: 针对目前 HFW 焊管沟槽腐蚀检测评价存在的取样困难、试验周期长、无法获得腐蚀过程中的电化学特性等问题, 采用扫描振动电极技术(SVET), 在不接触样品表面的情况下, 检测试样不同部位的腐蚀电流密度, 并依此表征焊缝沟槽腐蚀的敏感性。微电极扫描法与直接浸泡法相比, 两者试验结果基本吻合, 该方法可作为 HFW 焊缝沟槽腐蚀评价的一种有效方法。

关键词: HFW 焊管; 沟槽腐蚀; 电极扫描

中图分类号: TG174

文献标志码: A

文章编号: 1001-3938(2011)10-0005-04

Study on HFW Weld Groove Corrosion Sensitivity by Microelectrode Scanning Method

BI Zong-yue^{1,2,3}, REN Yong-feng^{2,3}, JING Xiao-tian¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. National Petroleum and Gas Tubular Goods Engineering Technology Research Center, Baoji 721008 Shaanxi, China;

3. Steel Pipe Research Institute, Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd., Baoji 721008, Shaanxi, China)

Abstract: Aiming at some problems existed in detecting and assessing HFW pipe groove corrosion, such as the difficulty of sampling, long testing cycle and the electrochemical performance is unable to obtain during corrosion process. In this paper, an approach was proposed, which utilize scanning vibrating electrode technique (SVET) to test the corrosion current density on different region of the sample without physical contact on sample surface, and then the weld groove corrosion sensitivity can be characterized based on the results of the said tests. In comparison with the results of the using direct soaking test method, the results of two kinds of test methods are basic coincidence. It shows that the test method with SVET is an effective method for assessing HFW pipe weld groove corrosion.

Key words: HFW pipe; groove corrosion; electrode scanning

0 前 言

沟槽腐蚀是 HFW 焊管焊缝腐蚀中一种特殊的腐蚀现象, 它是在焊接区产生的选择性局部腐蚀, 多从表面开始呈连续或非连续沟槽。对于普通的碳钢钢管, 沟槽腐蚀的平均速率约为 2.5 mm/a, 最大可达 9.5 mm/a, 可以导致焊管一年或数年内

穿孔^[1]。20 世纪 70 年代初, 这种腐蚀现象引起人们的重视并开始此方面的研究工作。

目前, 沟槽腐蚀测试研究一般采用浸泡法。将带有焊缝和母材的试样置于 5% 醋酸 + 3.5% NaCl 溶液中, 在适当的温度下浸泡一定时间, 取出后检测焊缝区腐蚀沟槽的深度, 并采用沟槽腐蚀敏感系数 $\alpha = h_1/h_2$ (h_1 为腐蚀试验前的原始

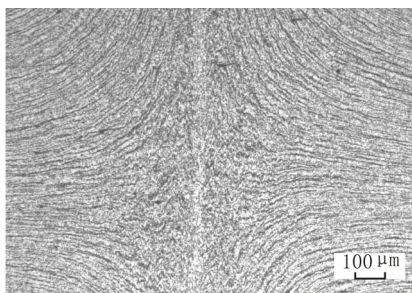
表面到腐蚀沟底的深度, h_2 为母材腐蚀深度) 来判断焊缝腐蚀的敏感性。当 $\alpha \leq 1.3$ 时, 认为焊缝沟槽腐蚀不敏感; 当 $\alpha > 1.3$ 时, 认为焊缝沟槽腐蚀具有一定的敏感性。

为了研究焊缝腐蚀过程中的电化学特性, 一般采用焊缝作电极, 以电化学方法获得有关腐蚀参数。但是对于 HFW 焊管, 由于焊缝区只有 0.2 ~ 0.3 mm, 给取样和实际测量带来困难, 特别是无法模拟在焊缝和母材共存的情况下, 焊缝微区的腐蚀变化规律。本研究通过微电极扫描法, 测试研究了 HFW 焊管试样在焊缝和母材共存的情况下, 焊缝、母材和热影响区在同一腐蚀环境下的电化学腐蚀行为。

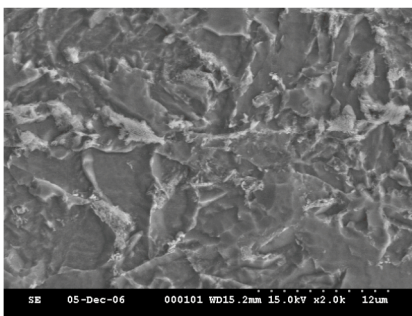
1 试验材料及方法

1.1 试验材料

采用 CT80 钢, 经 HFW 工艺制成 $\phi 31.8 \text{ mm} \times 3.18 \text{ mm}$ 连续油管, 母材典型的化学成分为: $w(\text{C}) = 0.15\%$, $w(\text{Si}) = 0.35\%$, $w(\text{Mn}) = 0.85\%$, $w(\text{P}) = 0.012\%$, $w(\text{S}) = 0.005\%$, $w(\text{Cu} + \text{Ni} + \text{Cr} + \text{Mo} + \text{Ti}) = 1.01\%$ 。母材金相分析表明, 组织以粒状贝氏体为主, 含有少量细小的珠光体, 晶粒度 12 级, 显微硬度平均 $210\text{HV}_{0.3}$, 焊缝及母材组织照片见图 1。



(a) 焊缝微观形貌



(b) 母材SEM照片

图 1 焊缝及母材组织照片

1.2 试验方法

试验采用扫描振动电极技术 (SVET), 该技术是利用扫描振动探针 (SVP) 在不接触样品表面的情况下, 检测样品在溶液中局部腐蚀电位的一种新技术。从电化学腐蚀角度来看, 金属的腐蚀速率可以用单位时间和单位面积上发生的金属质量的变化来表示^[2]。

$$v = \frac{\Delta w}{st} = \frac{KI}{st} = KJ \quad (1)$$

$$v = \frac{\Delta h}{t} \quad (2)$$

$$\alpha' = \frac{h_2}{h_1} = \frac{KJ_2t}{KJ_1t} = \frac{J_2}{J_1} \quad (3)$$

式中: s —试样面积;

I —电流强度;

J —腐蚀电流密度;

$K = N(\text{摩尔质量})/F(\text{法拉第常数})$;

Δh —腐蚀深度;

t —腐蚀时间;

α' —沟槽腐蚀敏感系数;

J_1 —焊缝区电流密度;

J_2 —母材及热影响区电流密度。

从式(1)可以看出, 腐蚀速率与腐蚀电流密度成正比; 从式(2)可以看出腐蚀速率和腐蚀深度成正比; 从式(3)又可以看出沟槽腐蚀敏感系数和腐蚀电流密度成正比。

因此, 可以通过测量不同区域腐蚀电流密度的大小来表征腐蚀速率的大小和焊缝区沟槽腐蚀的敏感性, 即沟槽腐蚀敏感性可表征为 $\alpha' = J_2 / J_1$ 。

从 HFW 焊管上切割试样, 大小为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$, 确保焊缝区处于试样中心线, 如图 2 所示。试样表面用 SiC 砂纸逐级打磨至 2000# 后经机械抛光、丙酮除油和酒精清洗, 腐蚀介质选择一定浓度的 NaCl 溶液。由于 HFW 焊管焊缝宽度通常在 $200 \mu\text{m}$ 左右, 选择探针横向扫描步长为 $50 \mu\text{m}$, 如图 3 所示, 为判断焊缝区和母材区的腐蚀电流分布规律, 扫描电极沿垂直于焊缝方向从母材区开始扫描, 穿过焊缝进入另一侧母材区后结束。扫描区域总宽度为 2 mm , 扫描时间为 2 min , 从焊缝中心到两侧母材扫描宽度各 1 mm 。

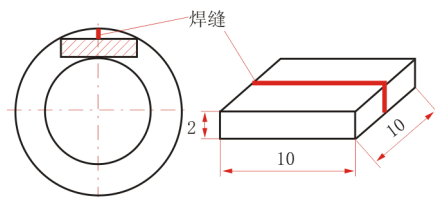


图 2 取样制样方法

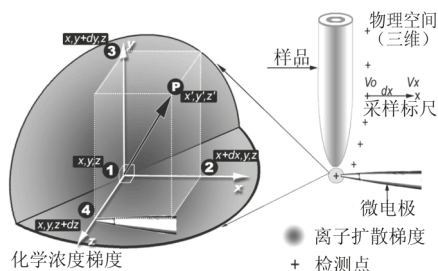


图 3 微电极扫描三维示意图

2 试验结果及分析

在一定浓度的 NaCl 溶液中对试样进行电极扫描，共扫描测试 15 条线，每条扫描线依此经过母材与热影响区、焊缝、热影响区与母材，记录不同区域的电流密度，其中焊缝一侧显示的电流密度见表 1。可以看出，焊缝区电流密度明显大于母材与热影响区电流密度。图 4 和图 5 为距离焊缝不同位置区域电流密度分布的三维图和分布规律。其中，在焊缝区域 0~200 μm 范围内，电流密度最大，表明该区域腐蚀速率大于母材与热影响区。同时，即使在焊缝区电流密度也不完全一样，表明在发生沟槽腐蚀的焊缝区腐蚀速率也并不一致，这也解释了为什么焊缝腐蚀沟槽中会出现忽深忽浅的现象。

表 1 不同区域腐蚀电流密度和沟槽腐蚀敏感性

测试区域	焊缝区电流密度/ (mA/cm ²)	母材及 HAZ 电流密度/(mA/cm ²)	沟槽腐蚀敏感系数 α'
1	109.24	74.09	1.47
2	106.32	74.18	1.43
3	101.34	70.64	1.43
4	71.57	64.23	1.11
5	65.66	61.55	1.07
6	60.72	56.89	1.07
7	57.58	49.84	1.16
8	48.11	41.76	1.15
9	43.98	38.19	1.15
10	39.47	34.48	1.14
11	40.88	34.40	1.19
12	39.79	38.47	1.03
13	58.11	50.54	1.15
14	56.32	55.08	1.02
15	68.99	61.57	1.12
沟槽腐蚀敏感系数平均值			1.18

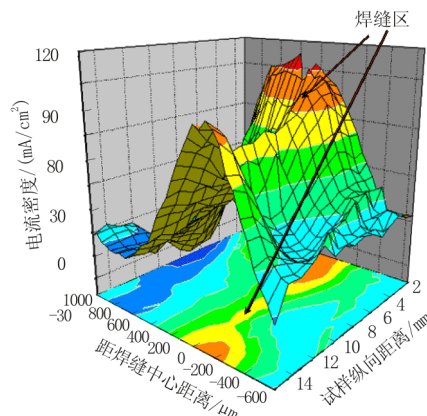


图 4 焊缝与母材区电流密度分布

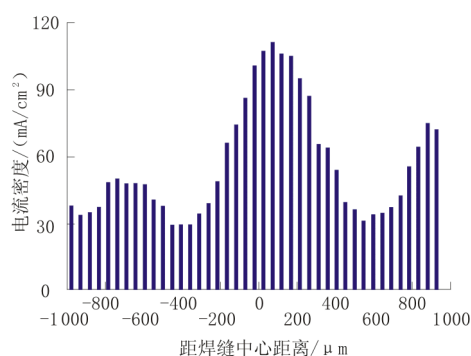
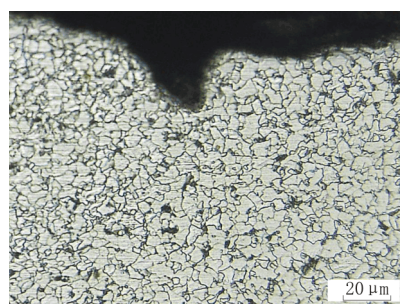
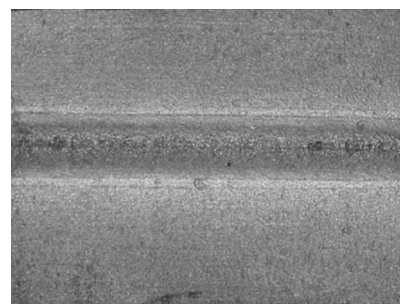


图 5 不同位置电流密度

为了进一步研究电极扫描法与浸泡法两种情况下沟槽腐蚀的差异性，对相同的试样进行了浸泡试验，试样腐蚀形貌如图 6 所示。测试结果表明，



(a) 微观照片



(b) 宏观照片

图 6 焊缝沟槽腐蚀形貌

腐蚀沟槽平均深度为 0.177 3 mm, 沟槽腐蚀敏感系数 $\alpha=1.220$, 与电极扫描法测量得到的沟槽腐蚀敏感系数 $\alpha'=1.18$ 基本一致。同时, 对浸泡后的焊缝不同位置腐蚀沟槽测量, 深度分别为 0.035 mm 和 0.043 mm, 表明焊缝腐蚀沟槽深度并非一致, 这与电极扫描法测量的焊缝区不同位置腐蚀电流密度大小不一也正好吻合。

对 HFW 焊接钢管焊缝沟槽腐蚀产生的原因, 许多学者做了大量研究, 目前比较一致的看法主要是由于焊缝区与母材显微组织的不一致性、化学成分的差异以及焊接残余应力等导致焊缝区电化学活度增加所致。王荣等^[3]研究表明, 具有连续流线组织钢板焊制的 HFW 焊管易产生沟槽腐蚀, 常在焊接区出现多个腐蚀沟槽的现象, 具有较高的沟槽腐蚀敏感性。

3 结 论

(1) 与浸泡法相比, 微电极扫描法可以在不损伤试样的情况下, 通过对 HFW 焊缝、母材及

热影响区腐蚀电流密度的测试, 比较准确地反映各区域的腐蚀速率, 可以用来评价 HFW 焊缝沟槽腐蚀的敏感性, 为 HFW 沟槽腐蚀试验研究提供了一条新途径。

(2) 通过测量焊缝、母材热影响区不同区域的电流密度分布, 可以看出焊缝区的电流密度较大, 同时分布不均。这说明沟槽腐蚀是从焊缝开始发生, 且焊缝各处的腐蚀速率也不相同。

参考文献:

- [1] 彭在美. 我国焊接钢管的发展进入重要的战略转折期[J]. 焊管, 2008, 31(6): 5-10.
- [2] 刘永辉, 张佩芳. 金属腐蚀学原理[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- [3] 王荣. 显微组织和热处理对直缝电阻焊管沟槽腐蚀的影响[J]. 金属学报, 2002, 38(12): 1281-1286.

作者简介: 毕宗岳(1962—), 男, 高级工程师, 主要从事油气管材及焊接技术研究。

收稿日期: 2011-03-29

编辑: 李 超

欢迎订阅《钢管》(双月刊)

中国期刊方阵“双效期刊”· 全国优秀冶金期刊· 四川省优秀期刊

ISSN 1001-2311 CN 51-1164/TG 邮发代号: 62-195

单价: 10.00 元 全年价: 75.00 元(含邮费)

《钢管》杂志是经原国家科委和新闻出版署核准公开发行的全国性期刊, 1964 年创刊。由中国钢铁工业协会主管, 攀钢集团成都钢铁有限责任公司主办, 中国金属学会轧钢分会钢管学术委员会、中国钢结构协会钢管分会协办。

《钢管》主要反映钢管行业学科发展水平, 重点报道钢管(无缝·焊接)及相关行业在科研、设计、生产、经营管理等方面的研究成果, 推广报道新工艺、新技术、新设备、新产品。优先报道国家级或省部级自然科学基金资助项目和获省部级以上奖励的科研项目。《钢管》内容丰富翔实, 适于冶金、机械、石油、化工、地质及相关行业广大科研、设计、生产、经营管理、教学等方面专家学者及专业技术人员阅读。

大 16 开本 印刷装帧精美 欢迎刊登广告

联系人: 陈莉 喻丽红

地 址: 四川省成都市金牛区解放路 2 段 6 号凤凰大厦 3 楼钢管杂志社 邮编: 610081

电 话: 028-65578788 65578787 传真: 028-65578788

E-mail: csstggzz@yahoo.com.cn csstggzz@mail.sc.cninfo.net

http://www.ggzchina.com //gg.periodicals.net.cn //GAGU.chinajournal.net.cn