

2011-11-28

Corrosion Behaviors of 316 Stainless Steel Weldment Studied by Array Reference Electrodes

Wang-huo YANG

Rong-gang HU

Chen-qing YE

Wei HANG

Ning LI

Chang-jian LIN

School of Energy Research , Xiamen University, 361005 Xiamen, PR China, cjlin@xmu.edu.cn

Recommended Citation

Wang-huo YANG, Rong-gang HU, Chen-qing YE, Wei HANG, Ning LI, Chang-jian LIN. Corrosion Behaviors of 316 Stainless Steel Weldment Studied by Array Reference Electrodes[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2011 , 17(4): Article 4.

DOI: 10.61558/2993-074X.2857

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol17/iss4/4>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

阵列参比电极法研究 316 不锈钢焊缝腐蚀行为

杨旺火¹, 胡融刚¹, 叶陈清¹, 杭 纬^{1,2}, 李 宁², 林昌健^{1,2*}

(1. 厦门大学化学化工学院化学系; 2. 厦门大学能源研究院, 福建 厦门 361005)

摘要: 应用自行建立的阵列参比电极技术, 原位测量 316 不锈钢焊接样品在 12% FeCl₃ 溶液中腐蚀电位分布. 同时借助电化学极化曲线、交流阻抗技术和扫描 Kelvin 探针对于 316 不锈钢焊缝腐蚀进行跟踪检测. 结果表明, 经焊接的 316 不锈钢样品在 12% FeCl₃ 溶液中, 最初时刻焊缝区发生优先腐蚀, 而在母材区保持钝化状态; 随着浸泡时间延长, 焊缝区电位不断负移, 局部腐蚀加剧, 并达到最大值; 浸泡 45 min, 母材局部位发生电位负移, 并出现腐蚀. 扫描 Kelvin 探针 (SKP) 和金相观察的结果表明, 焊缝有较高的腐蚀敏感性; 金属焊接过程材料组织和成分的变化是导致 316 不锈钢焊接样品发生局部腐蚀的主要原因.

关键词: 316 不锈钢; 焊缝; 腐蚀; 阵列参比电极

中图分类号: O646

文献标识码: A

316 不锈钢以其优良的耐蚀性、加工性和高温抗氧化而被广泛应用于石油、化工和发电等领域^[1]. 316 不锈钢在使用及施工过程中常需焊接成型, 然而焊接时必导致焊接区化学成分、组织形态和相关性能的变化, 致使不锈钢焊缝和接头优先发生腐蚀, 严重影响不锈钢设备的使用寿命和安全性能.

多年来国内外学者对不锈钢焊缝的腐蚀性能和机理进行了大量的研究^[2-8]. 不锈钢焊缝发生优先腐蚀的主要原因: ①焊接过程的高温及作用时间使得焊缝附近热影响区材料晶粒晶界贫铬形成晶间腐蚀(贫铬理论^[9-10]); ②焊接时, 热影响区处于局部熔化状态, 其组织成分处于极不平衡状态, 易形成成分不同、晶粒粗大且粗细不均的混晶区, 进而产生腐蚀; ③不锈钢焊缝和熔合区可产生更多的 δ 铁素体相, 由于 δ 铁素体中碳化物的析出比奥氏体的快^[11], 碳化物沉淀严重析出, 致使处于焊缝或者熔合区的 δ 铁素体区有较强的腐蚀趋势. 此外, 因不锈钢焊接工艺的不当, 涉及的焊接缺陷和异种材料焊接等也可能造成焊缝区优先腐蚀.

不锈钢焊缝腐蚀研究有多种方法, 如极化曲线分析法、交流阻抗法、电化学噪声分析法、扫描微电极法和扫描 Kelvin 探针技术等. 传统的极化

曲线法和交流阻抗法只能提供样品整体的腐蚀信息; 扫描微电极法虽可获得不锈钢焊缝空间分辨率的局部腐蚀信息^[12], 但难以提供同一个时间点样品各局部区的腐蚀信息; 扫描 Kelvin 探针技术测量的 Kelvin 电位并非真正的腐蚀电位, 不足直接判定焊缝腐蚀的腐蚀行为^[13-14]. 传统材料学焊缝腐蚀的研究则多为切片取样、分别测量, 显然是一种破坏性、费时的手段. 长久以来, 人们期待发展具有时空分辨能力的原位电化学腐蚀检测技术^[15].

阵列电极是由若干个电极有序排列组成的阵列体系, 其中每个电极可同时测量样品不同部位的局部信息, 达到腐蚀过程快速跟踪测量^[16], 已应用于有机涂层下^[17]、混凝土金属^[18-19]等的腐蚀研究. 此前相关文献已报道焊缝腐蚀理论的建立, 本文侧重运用自行研制的阵列参比电极法, 原位测量 316 不锈钢焊接样品在 12% FeCl₃ 溶液中腐蚀电位分布. 并结合电化学极化曲线测试、交流阻抗技术和扫描 Kelvin 探针技术对 316 不锈钢焊缝腐蚀进行检测, 试图发展一种快速检测不锈钢焊缝腐蚀敏感区及局部腐蚀趋向性方法, 开展不锈钢焊缝腐蚀研究.

1 实验

1.1 焊接样品

将厚 2 mm 的 316 不锈钢板材样品,直角对接焊,中间间隔 4 mm,用与母材成分相近的焊丝填充焊接而成,样品切成 20 mm × 10 mm 长方块,焊缝处于长方形样品的正中,如图 1 所示. 样品工作面依次用无水乙醇、蒸馏水超声清洗,用 200# ~ 1500# 的砂纸逐级打磨,蒸馏水超声清洗后置于干燥器备用.



图 1 316 不锈钢焊接样品照片

Fig. 1 Picture of the welding sample of 316ss

1.2 金相样品

316 不锈钢焊接样品依次用 200# ~ 1500# 的砂纸打磨,1 μm、0.3 μm 氧化铝抛光粉抛至镜面. 经无水乙醇、蒸馏水清洗吹干,用棉花蘸取少量腐蚀液(10 g FeCl₃ + 30 mL HCl + 120 mL H₂O),轻轻擦拭样品表面,停留 15 s 后,蒸馏水小心冲洗干净,吹干.

1.3 电化学测试

样品表面机械加工,形成电极工作面,一端焊接铜导线,用环氧树脂将样品包封(工作面 1 cm × 2 cm),400# ~ 1400# 砂纸逐级打磨,去离子水超声清洗,制成工作电极. 以 Pt 为对电极、饱和甘汞电极为参比电极,0.5 mol · L⁻¹ NaCl + 0.5 mol · L⁻¹ H₂SO₄ 为电解液,组成三电极体系. 工作电极表面两端的 316 不锈钢基体用指甲油覆盖,只露出中间 0.5 cm² 左右的工作面(焊缝区). 使用 Autolab 电化学工作站(PGSTAT30 + FRA2)测量电极极化曲线和交流阻抗,电位区间: -0.6 V ~ 0.6 V、扫描速率:1.67 mV/s;频率范围:10⁵ Hz ~ 10⁻² Hz.

1.4 阵列参比电极

1) Ag 丝氯化

Ag 丝(φ 0.2 mm, L 20 mm)用金相砂纸除去

表面的氧化层,无水乙醇超声清洗干净,在 0.1 mol/L KCl 溶液中,以 0.05 mA/cm² 恒电流密度阳极氯化 12 h.

2) 单支 Ag/AgCl 参比电极

将内径 0.6 mm,壁厚 0.3 mm 的聚丙烯毛细塑料管裁成长度为 2 cm 的短管,蒸馏水中洗净内壁. 将毛细塑料管套在一次性注射器的针头,用手指捏紧毛细管的一端防止漏气,毛细管另一端插进煮沸的琼脂里面,拉起注射器的活塞将琼脂吸入毛细管内,冷却凝固. 将注射器装满饱和氯化钾溶液,针头插入已经吸入琼脂的毛细塑料管的另一端,插至底部,缓缓提起注射器,同时慢慢推动活塞,使饱和氯化钾溶液注入毛细塑料管中. 将 Ag/AgCl 电极插入已经注入饱和氯化钾的毛细管中(注意不要插到琼脂里面,保持电极在管的中部),然后用热熔胶小心将另一个端口封装起来(见图 2),保存在 KCl 溶液中备用.

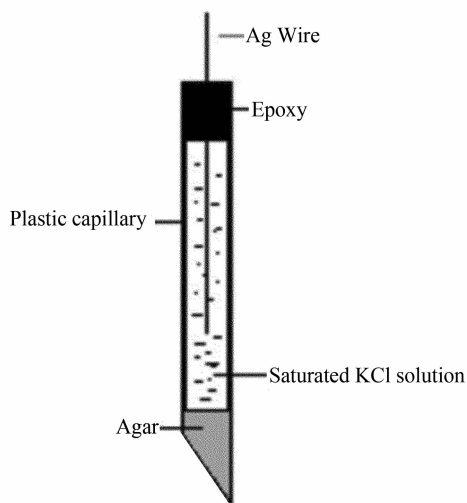


图 2 Ag/AgCl 参比电极示意图

Fig. 2 Schematic diagram of a Ag/AgCl reference electrode

3) 阵列参比电极

将制备的每支 Ag/AgCl 参比电极整齐排列,每排 8 支,间距 1 mm,各电极的琼脂端部对齐,用双面胶固定在光滑平板表面,再用热熔胶将其固定,即成单排的 Ag/AgCl 参比电极(如图 3). 又将 4 排上述一维的单排电极用环氧树脂胶整齐包封,就成 4 × 8 阵列参比电极.

1.5 阵列参比电极的测量

图 4 示出使用阵列参比电极测量不锈钢焊缝

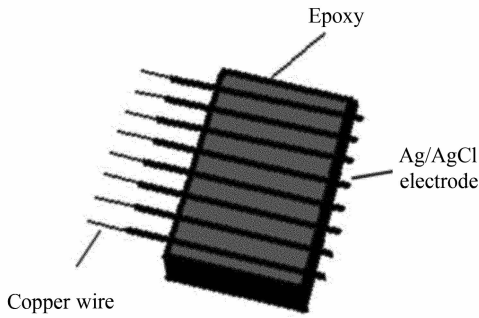


图3 一维阵列参比电极示意图

Fig. 3 Schematic diagram of one-dimensional array reference electrodes

在 12% FeCl_3 溶液中腐蚀电位的装置示意. 阵列参比电极尖端靠近不锈钢焊接样品表面(间距 0.1 mm), 每排阵列电极第 4、5 支(中间)对着焊缝的位置, 参比电极为饱和甘汞电极. 阵列电极的信号采集系统参见文献[20]. 不锈钢焊缝的电位分布测量如下, 将样品浸入 12% FeCl_3 溶液后计时采集, 每 5 min 采集一次电位信号, 每次采集 10 个数据取其平均值, 采集时间共 50 min.

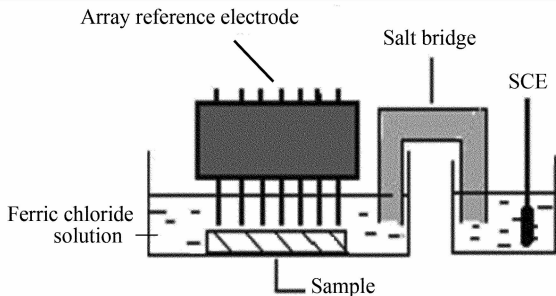


图4 Ag/AgCl 阵列电极测试装置结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of testing setup Ag/AgCl array electrodes

1.6 扫描 Kelvin 测量

将不锈钢焊接样品置于 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液中测定其阳极极化曲线(扫描电位: $-0.5 \text{ V} \sim 0.5 \text{ V}$, 扫描速率: 1.67 mV/s , 参比电极: 饱和甘汞电极), 采用 M370 扫描电化学工作站扫描 Kelvin 探针测量不锈钢焊接样品.

2 结果与讨论

2.1 不锈钢焊接样品金相组织

用光学显微镜观察金相侵蚀液侵蚀的 316 不

锈钢焊接样品, CCD 摄像头采集不锈钢基材区、热影响区、焊缝熔合区和焊缝区的金相组织照片(如图 5).

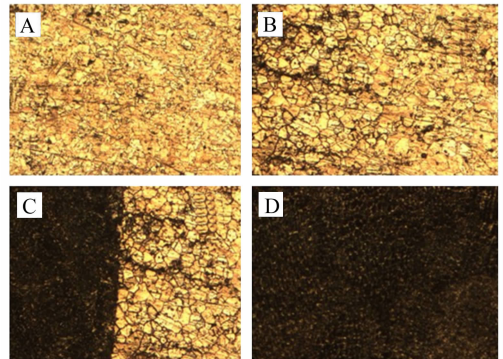


图5 316 不锈钢焊接样品不同区域的金相组织照片(100×)

A. 基材区, B. 热影响区, C. 焊缝熔合区, D. 焊缝区

Fig. 5 Microstructures of the 316ss welding sample in different areas (100×)

A. matrix metal, B. heat affected zone, C. fusion zone, D. weld zone

从图中可清楚看到, 焊缝金属和母材之间存在熔合线(C), 样品母材部分晶粒细小, 颗粒较均匀, 无明显晶界, 无晶间腐蚀(A); 热影响区晶粒粗大, 大小不均, 晶粒晶界明显, 晶界间有选择性腐蚀, 个别位置晶间腐蚀已明显扩展, 越靠近熔合线的部位, 晶粒越粗大(B); 焊缝区金相中存在大量树枝状和蠕虫状的铁素体相, 中间夹杂着奥氏体相, 其组织成分极不均匀, 沿着铁素体分布区出现大量晶间腐蚀(D).

2.2 不锈钢焊接前后腐蚀行为

图 6 示出 316 不锈钢焊接前后的动电位的阳极极化曲线, 相关的腐蚀参数见表 1.

由图可见, 焊接后的 316 不锈钢电极腐蚀电位比焊接前的负移 80 mV , 腐蚀电流提高了约 $40 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 意味 316 不锈钢经过焊接加工后腐蚀活性明显增大. 这可能是由于该样品于焊接后焊缝区域组织不均匀、且存在更多相界缺陷, 致使腐蚀电位负移, 耐蚀性能下降. 实验表明, 样品的钝化区缩小约 250 mV , 钝化电流明显提高, 焊接加工后局部腐蚀的倾向显著增强, 焊接高温作用造成材料结构劣化(包括晶粒的粗大化、晶界夹杂和缺陷的增多及耐腐蚀合金元素的流失等), 致使焊缝影

表 1 316 不锈钢焊接前后电极极化曲线相关腐蚀参数
 Tab. 1 The corrosion parameters of 316ss before and after welded

Sample	E_{corr}/mV	$I_{corr}/(\mu A \cdot cm^{-2})$	$b_a/(mV)$	$b_c/(mV)$	E_p/mV
Welded	-406	48.93	58	106	250
Nonwelded	-326	8.40	44	63	450

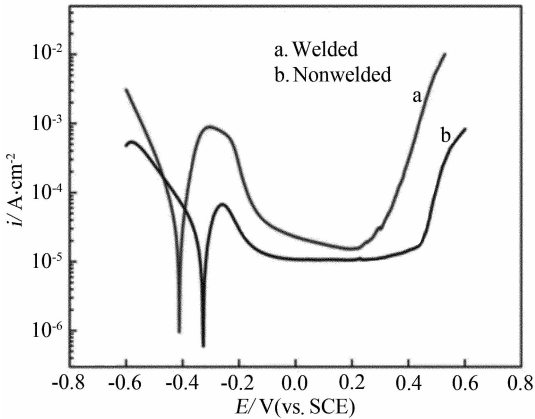


图 6 316 不锈钢焊接前后的动电阳极极化曲线
 电解液: $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaCl} + 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$

Fig. 6 Anodic potentiodynamic polarization curves of 316ss before and after welded
 electrolyte: $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaCl} + 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$

响区优先腐蚀.

图 7 为 316 不锈钢电极焊接前后的交流阻抗 Nyquist 图谱,可直观看到焊接后的电极均匀腐蚀速率明显增大. 经拟合计算焊接前后二者的极化电

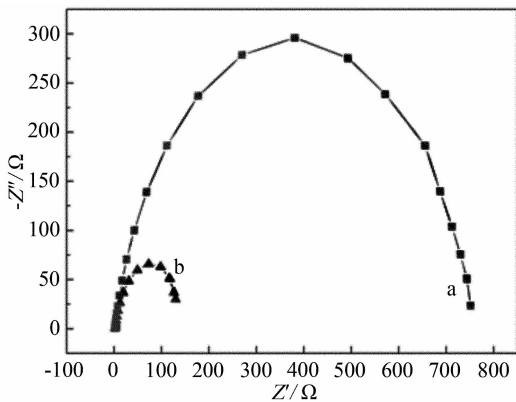


图 7 316 不锈钢焊接前(a)后(b)的交流阻抗 Nyquist 图谱

Fig. 7 Nyquist plots of 316ss before(a) and after(b) welded

阻为 $146.3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 和 $749.3 \Omega \cdot \text{cm}^2$,进一步证明该样品经焊接加工后,无论是均匀腐蚀或者是局部腐蚀,电极活性明显都增大.

2.3 Ag/AgCl 参比电极电位稳定性

使用 Ag/AgCl 阵列参比电极测量不锈钢焊接样品表面不同位置相对于饱和甘汞电极的电位差,以此获得该样品的腐蚀电位分布. 实验过程要求 Ag/AgCl 参比电极在一定的时间内保持电位稳定,每支电极之间的电位差必须趋于一致,达到保证准确测量. 图 8 示出 5 支同一批 Ag/AgCl 参比电极自然电位 1 h 的测试值(饱和甘汞参比电极).

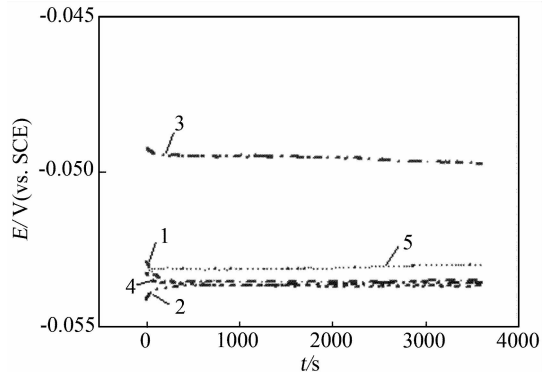


图 8 Ag/AgCl 参比电极自然电位 ~ 时间曲线

Fig. 8 Variation of the potential of Ag/AgCl reference electrodes as a function of time

如图可见, Ag/AgCl 参比电极经过了 1 h 试验,其电位相当稳定,每支电极电位变化幅度都在 $\pm 5 \text{ mV}$ 以内,可满足实际检测要求.

2.4 阵列参比电极腐蚀电位测试

图 9 给出阵列参比电极检测不锈钢焊接样品表面腐蚀电位随时间的变化趋势. 如图,当样品刚刚浸入 $12\% \text{ FeCl}_3$ 溶液 0 min (A) 时,表面新鲜,表面电位相对于饱和甘汞参比电极电位的差值 ΔE 较负 ($-6.9 \text{ mV} \sim -30.4 \text{ mV}$ 之间),处于早期的活性溶解状态; 5 min (B) 后,样品焊缝区域(即每

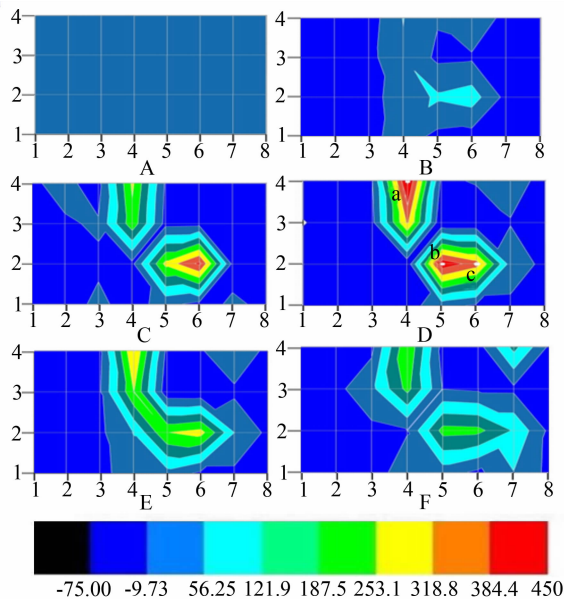


图 9 316 不锈钢焊接样品表面腐蚀电位 ~ 浸泡时间的变化图像 电解液:12% FeCl₃
A. 0 min; B. 5 min; C. 15 min; D. 25 min; E. 45 min; F. 50 min

Fig. 9 Potential distribution images of 316ss welding sample as a function of time
electrolyte:12% FeCl₃
A. 0 min; B. 5 min; C. 15 min; D. 25 min; E. 45 min; F. 50 min

生了选择性腐蚀,原因即在经过焊接加工后,材料组织结构呈现显著变化,导致该部位成为腐蚀活性点;与此同时母材区部位的腐蚀电位也发生正移,而成为局部腐蚀的阴极区,使其表面处于钝化状态;延长浸泡时间,焊缝区的电位不断负移,浸泡 25 min (D) 后,阵列电极的第 2 排第 5、6 电极(热影响区),第 3 排的第 4 电极、第 4 排的第 4 电极出现明显电位峰,电位负移最大达 -456 mV,而母材区的电位仍处于较正的钝化状态;浸泡时间继续延长,焊缝区和热影响区 3 个腐蚀点(D 的 a、b、c 所示位置)的电位不断负移,并达至 -463 mV,而周围的母材区和个别原先腐蚀活性区,因受到局部腐蚀电流极化,一定程度上也处于阴极保护,电位较正,不发生腐蚀;随后(E)3 个腐蚀点的电位峰均有所下降,周围的焊缝区腐蚀趋缓,阴极电流减小而再次被活化,电位又出现负移。当浸泡时间足够长时,在母材区的在某些区域(热影响区)由于表面缺陷的存在,电位也呈现负移,局部腐蚀向母材区扩散;50 min(F)后,第 4 排第 7 电极位置的电位已负移至 -144 mV。此时,样品的焊接区腐蚀已相当严重,肉眼可观察到深度腐蚀点,分布较集中,而母材区尚无出现明显的腐蚀点,但个别点电位负移,腐蚀趋向明显。

2.5 不锈钢焊接样的 SKP 分析

应用扫描 Kelvin 探针,在空气中测定不锈钢

排阵列电极的第 4、5 支的位置)电位较负,并在第 2 排的第 5、6 支电极位置出现电位峰,表明该处发

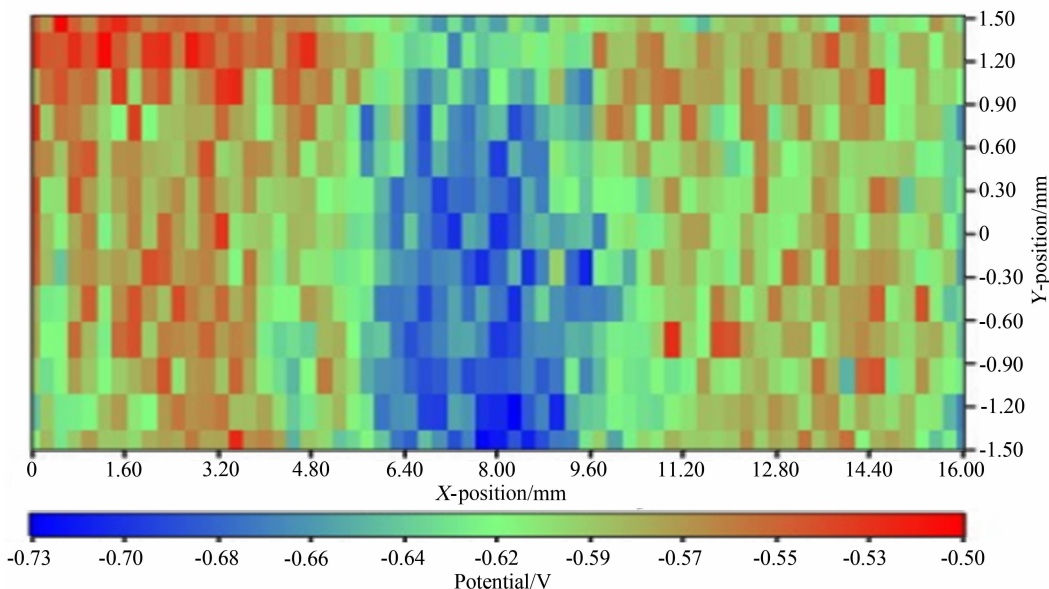


图 10 316 不锈钢焊接样在 0.5 mol · L⁻¹ NaCl 溶液中腐蚀后的伏打电位差分布

Fig. 10 Volta potential distribution of the 316ss welding sample after immersed in 0.5 mol · L⁻¹ NaCl solution

焊接样品于 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液中阳极极化 (扫描电位区间: $-0.5 \text{ V} \sim 0.5 \text{ V}$, 扫描速率: 1.67 mV/s) 后样品焊缝附近伏打电位差 $\Delta\psi$ 分布, 如图 10 所示 (扫描面积 $16 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$). 图中, 中间颜色较深的区域相当于焊缝区. 可以看出, 在焊缝中心约 $6 \sim 10 \text{ mm}$ 范围内 (深色区) $\Delta\psi$ 值较负, 而其两侧的母材区 (浅灰色区) 则 $\Delta\psi$ 较正, 虽然 $\Delta\psi$ 并非腐蚀电位, 但它与材料表面的化学成分和组织结构却有密切关系^[14], 可用于间接评价材料的腐蚀倾向性. 检测结果表明, 不锈钢焊接后, 材料表面化学成分和组织结构均发生明显变化, 其 $\Delta\psi$ 呈不均匀分布, 意味着已出现局部腐蚀^[21]. 伏打电位越负 (深色区), 该区材料的物理化学性质变化越大, 腐蚀的倾向越强, 而在伏打电位较正的母材区域, 材料受焊接热影响较少, 物理化学性质较均一, 发生腐蚀的可能性较小.

综上所述, 使用阵列参比电极测量不锈钢表面的腐蚀电位 (E_{corr}), 以及使用扫描 Kelvin 探针测量样品与探针之间的伏打电位差 ($\Delta\psi$), 虽二者测得的参数不同, 但据 $E_{\text{corr}} = \Delta\psi + C$ (常数)^[22], 即可得出基本一致的结果, 进一步佐证了阵列参比电极法可望发展为评价焊缝腐蚀实用检测技术.

3 结 论

1) 建立阵列参比电极技术, 可用于原位监测不锈钢焊缝腐蚀发生、发展动态过程. 该系统电极结构简单, 操作简便, 可望完善成为评价焊缝腐蚀实用检测技术.

2) 传统电化学测量表明, 316 不锈钢焊接后腐蚀活性明显增大, 均匀腐蚀和局部腐蚀倾向均显著增强, 但难以提供腐蚀活性空间分布信息.

3) 扫描 Kelvin 探针测量样品与探针之间的伏打电位 ($\Delta\psi$), 可用于评价材料表面腐蚀的倾向性, 与阵列参比电极互为补充.

4) 不锈钢受焊接过程高温作用, 焊缝和热影响区组织和成分均明显改变, 腐蚀活性增大, 在环境介质作用下, 局部腐蚀即优先发生在此区域.

参考文献 (References):

[1] Zhang J W (张俊旺), Wang W X (王文先), Huang Y P (黄延平), et al. Electrochemical corrosion properties for weld metal of austenitic stainless steel [J]. Transactions of the China Welding Institution (焊接学报), 2007, 28(2): 103-107.

[2] Li H (李红), Fu J Y (付吉义). Test and analysis of intergranular corrosion for stainless steel surfacing strip [J]. Heilongjiang Electric Power (黑龙江电力), 2007, 29(1): 33-35.

[3] Yang R C (杨瑞成), Meng W (孟威), Hu T L (胡天雷), et al. Microstructure and properties of heat-affected zone (HAZ) of welded joint on hot rolled stainless steel sheets [J]. Journal of Lanzhou University of Technology (兰州理工大学学报), 2009, 35(3): 13-16.

[4] Yu C Y (余存焯). Corrosion of welding zone of stainless steel and protection [J]. Corrosion and Protection in Petrochemical Industry (石油化工腐蚀与防护), 2008, 25(5): 37-41.

[5] Wang W H (文佳卉), Hu C S (胡传顺), Xiao K (肖凯), et al. Corrosive pitting behavior of 316L stainless steel welding seam [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing) (理化检验 (物理分册)), 2009, 45(4): 205-207.

[6] Cui Y, Lundin C D. Austenite-preferential corrosion attack in 316 austenitic stainless steel weld metals [J]. Materials and Design, 2007, 28(1): 324-328.

[7] Han L Q, Lin G B, Wang Z D, et al. Study on corrosion resistance of 316L stainless steel welded joint [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2010, 39(3): 393-396.

[8] Zhang X Y (张晓燕), Zhang E D (张德恩). Effect of the microstructure on the electrochemical behavior of welding joint of 20G steel [J]. Journal of Guizhou University of Technology (Natural Science Edition) (贵州工业大学学报 (自然科学版)), 2004, 33(2): 73-75.

[9] Xiao J M (肖纪美), Cao C N (曹楚南). Principle of material corrosion [M]. Beijing: Chemical Industry Press (化学工业出版社), 2002.

[10] Li X G (李晓刚). Material corrosion and protection [M]. Changsha: Central South University Press (中南大学出版社), 2009.

[11] Folkhard E. Welding metallurgy of stainless steels [M]. New York: Springer-Verlag Wien, 1987.

[12] Lu B T, Chen Z K, Luo J L, et al. Pitting and stress corrosion cracking behavior in welded austenitic stainless steel [J]. Electrochimica Acta, 2005, 50(6): 1391-1403.

[13] Han L T, Mansfeld F. Scanning Kelvin probe analysis of welded stainless steel [J]. Corrosion Science, 1997, 39(1): 199-202.

[14] Zou F (邹峰), Thierry D, Han W A (韩文安), et al.

- Application of Kelvin probe technique to the study of corrosion of welded stainless steels [J]. Corrosion Science and Protection Technology (腐蚀科学与防护技术), 1997, 9(4): 276-280.
- [15] Lin C J (林昌健), Zhuo X D (卓向东), Tian Z W (田昭武), et al. Novel electrochemical techniques with spatial resolution and its applications in the investigation of localized corrosions [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science) (厦门大学学报(自然科学版)), 2001, 40(2): 448-458.
- [16] Li L Q (李兰强), Dong S G (董士刚), Du R G (杜荣归), et al. Studied corrosion behaviors of reinforcing steel in concrete by a single-dimensional array electrode [J]. Electrochemistry (电化学), 2010, 16(1): 60-64.
- [17] Lin C J (林昌健), Zhuo X D (卓向东), Nguyen T. An array electrode technique for mapping corrosion potential at the polymer/metal interface [C] // Comizzoli R B, Frankenthal R B, Sinclair J D. Corrosion and Reliability of Electronic Materials and Devices, 1999: 282-288.
- [18] Hu R Z (胡荣宗), Lin C J (林昌健), Zhou X (周香). An investigation on the corrosion potential imaging at the interface of concrete/reinforcing bar in corrosion media [J]. Electrochemistry (电化学), 2000, 6(2): 227-232.
- [19] Legat A. Monitoring of steel corrosion in concrete by electrode arrays and electrical resistance probes [J]. Electrochimica Acta, 2007, 52(27): 7590-7598.
- [20] Lin J R (林俊人). Study on the corrosion processes of reinforced concrete structure by FTIR-MIR and array electrodes technique [D]. Xiamen: Xiamen University (厦门大学): 2010.
- [21] Lin C J (林昌健), Li Y (李彦), Lin B (林斌), et al. Developments of scanning electrochemical probes and their applications in studying of localized corrosions [J]. Electrochemistry (电化学), 2009, 15(2): 121-128.
- [22] Sun Z H (孙志华), Li G Z (李家柱), Liu M H (刘明辉), et al. Application of Kelvin probe vibrating capacitor technique in study of atmospheric corrosion [J]. Corrosion Science and Protection Technology (腐蚀科学与防护技术), 2001, 13(S1): 451-453.

Corrosion Behaviors of 316 Stainless Steel Weldment Studied by Array Reference Electrodes

YANG Wang-huo¹, HU Rong-gang¹, YE Chen-qing¹, HANG Wei^{1,2},
LI Ning², LIN Chang-jian^{1,2*}

(1. Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering; 2. School of Energy Research, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract: The array reference electrodes were developed to in situ measure the potential distributions of the welded 316 stainless steel. The images of potential distribution were interpreted based on the results from metallographic analysis, polarization curve, EIS and volta potential imaging. It was indicated that the weld zone of metal suffered preferential corrosion when exposed to an aggressive environment due to the distinct changes of structure and composition during the welding process. With time prolonging, the corrosion potential of the welding zone was negatively shifted to a maximum value, and then declined gradually. After 45 min immersion, the corrosion development from welding zone to the matrix was observed. The results of array reference electrodes is consistent with that of scanning Kelvin probe in which the welding zone exhibited higher corrosion susceptibility than the matrix.

Key words: 316 stainless steel; weld zone; corrosion; array reference electrodes