

应用声发射评定金属点蚀过程的研究进展

李宝玉¹, 冯进来², 戴 光³, 李 伟³

- (1. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319;
2. 大庆石油学院地球科学学院, 大庆 163318;
3. 大庆石油学院机械科学与工程学院, 大庆 163318)

摘要: 点蚀是金属腐蚀中最危险的腐蚀形态。文章介绍了目前应用声发射技术对金属点蚀进行评价的方法, 认为应用声发射技术探测钢点蚀, 无论是实验室条件下还是在实际工程上, 都是一种有效的工具。但是关于声发射信号源的产生, 学者们却持不同的观点。他们认同的一种观点是点蚀的扩展伴随声源活动性的增加, 而且在点蚀速率和声源活动性之间存在一定的相关性。结果证明声发射技术的特殊性质正适合于对结构材料的监测。

关键词: 声发射(AE); 金属点蚀; 评定

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2005)-03-0170-03

Progress in the study of acoustic emission for evaluation of pitting corrosion in metal

LI Bao-yu¹, FENG Jin-lai², DAI Guang³, LI Wei³

- (1. College of Engineering, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, China;
2. College of Earth Sciences, Da Qing Petroleum Institute, Daqing 163318, China;
3. Mechanical Science and Engineering college, Da Qing Petroleum Institute, Daqing 163318, China)

Abstract: This article provides a review of evaluation of pitting corrosion in steel using acoustic emission. Researchers have shown that the acoustic technique is a suitable tool for detecting pitting both under laboratory conditions and in field. Although there are different opinions over acoustic signal generation, it is generally agreed that acoustic activity increases with expansion of pits, and correlation exists between acoustic activity and pitting rate. Based on research of the application of AE to pitting corrosion, preliminary results have been obtained in this area.

Key words: acoustic emission (AE); pitting corrosion; evaluation

1 引 言

点蚀是一种高度集中的局部腐蚀形态, 其破坏性比全面腐蚀大得多。特别是不锈钢在含有氯化物的介质中往往易产生点蚀, 其结果是在材料表面几乎保持原样的情况下有蚀坑形成, 小而深的孔可能使金属板穿孔, 引起物料流失、火灾、爆炸等事故, 它是破坏性和隐患最大的腐蚀形态之一。虽然目前有

很多研究点蚀的方法, 如循环极化(最常用的方法)、微观金相学、维氏硬度测量、决定点蚀电压的推断法和热电流法, 但它们都不能应用于工程实践。声发射(AE)技术具有对研究的材料无损害的优点, 因此是实验室和现场研究点蚀的有效方法^[1]。

2 声发射技术概述

声发射是指物体在受到形变或外界作用时, 因迅速释放(弹性)能量而产生瞬态应力波的一种物理现象。其基本原理为: 当材料中有声发射现象发生时, 由声源发射出的每一个声信号都包含了

材料内部结构、缺陷性质和状态变化的丰富信息。因此,声发射检测技术的基本原理就是用灵敏的仪器来接收和处理这些声信号,通过对声发射源特征参数(能量、计数、事件、延迟、上升时间等)的分析和研究,推断出材料或结构内部活动缺陷的位置、状态变化程度和发展趋势。若将背景噪声识别和辅助信息(例如载荷、位移、温度和应变等)的综合分析考虑在内,可将声发射检测技术原理用图 1 表示^[2]。

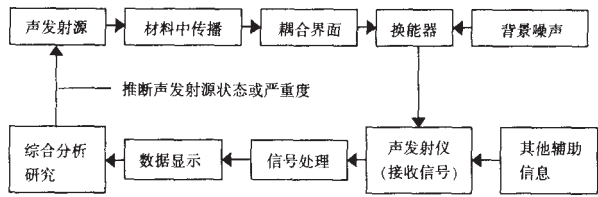


图 1 声发射检测技术原理图
Fig.1 Block diagram of AE testing

3 应用声发射探测金属点蚀过程的理论研究进展

早在 20 世纪 80 年代就有不少学者研究过腐蚀过程的声发射现象,并试图利用 AE 技术来监测腐蚀过程。当时研究较多的是应力腐蚀开裂过程中的声发射。由于一般采用窄带 AE 传感器接收信号,并使用参数分析方法,人们很难将接收到的 AE 信号与产生 AE 的源机制相联系。因此,有关这方面的研究一直进展不大。20 世纪 90 年代后,随着全数字声发射仪器和宽带 AE 传感器的出现,加上模态声发射理论的建立,人们在研究源机制方面取得不小进展^[3, 4]。这也为研究金属点蚀过程产生 AE 的源机制奠定了基础。

文献[5]对金属点蚀的 AE 源机制作了深入的理论研究,指出点蚀是由于(钝化)膜破裂引起的,而伴随膜破裂过程会向物体施加一作用力,从而产生应力波即声发射。另外,在腐蚀发生时,微小氢气泡的破裂也会产生 AE 信号,其原理与膜破裂相同。文献认为该力可分为沿板平面方向(IP)分量和垂直板平面方向的(OOP)分量。其板结构坐标示意图见图 2。

通过计算,文献[5]指出金属点蚀 AE 信号有典型的扩展波和弯曲波特性。根据声波到达两传感器的时差可以估算出其传播速度,从而与噪声信号相区别。

为了证明声发射确实可以检测到金属腐蚀信

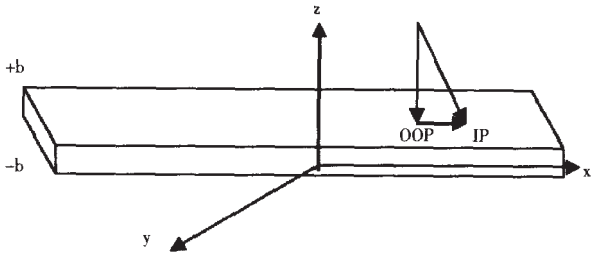


图 2 板结构坐标示意图
Fig.2 Coordinate system for plate

号,文献[2]计算出板厚为 2mm 的合金铝在其膜(气泡)破裂过程中产生的力 F (仅先考虑纵波的贡献)在垂直方向的质点位移为 $9 \times 10^{-15} \text{m}$, 相应于该位移所产生的电压值为 $17 \mu\text{V}$, 由于该电压远大于前置放大器的输入噪声水平 ($2.5 \mu\text{V}$ 有效值或 $7.5 \mu\text{V}$ 峰值),从而从理论上说明点蚀过程中的气泡或膜破裂所产生的声信号是可以被检测到的。

4 应用声发射探测金属点蚀过程的实验研究进展

国外的一些学者在应用声发射技术对点蚀进行监测方面,做了一系列的实验研究。希望能将金属腐蚀损伤与声发射的某些参数建立起联系。Fre-gonese, Idrissi, Mazille, Renaud 和 Cetre 对奥氏体不锈钢的点蚀过程进行了监测^[6]。将奥氏体不锈钢 316L 放入 pH=2 的 3%NaCl 溶液中,测量系统是一个三电极系统,同时声学信号是在阳极极化和循环极化的情况下被记录的,测量的目标是腐蚀的起点。实验采用 MISTRAS 软件,前置放大器和 R15 压电传感器(带宽为 100Hz~500kHz)。研究证实在记录每个有效声学信号之前都要产生一个时间延迟,该时间延迟对应于声发射信号中的延迟。同时,在循环极化和恒电位实验中观察到一个电流密度阈值,这个阈值依赖于正在扩展的坑蚀数,而对于易发生点蚀的试件来说该阈值是很低的。

研究表明,记录的声学信号与坑蚀周围氢的发展有关^[6]。其中,Magaino^[4]观察到在阳极极化铝(放置在含有 20mg/l Cu^{2+} 离子的 0.05MNaCl 溶液中)蚀坑不断增加的过程中有氢产生。而 Retting 和 Felsena 于 1976 年发表文章^[5]证实浸在盐水中的铝丝在腐蚀过程中产生的声信号计数率与氢产生率之间存在线性关系。

Jones 和 Friesel 研究了 304 系列不锈钢的点蚀^[7]。

所持观点与上述不同。虽然文中声称在点蚀过程中有明显的声学活动,但是认为这与气泡无任何关系。尽管他们还不是很清楚金属腐蚀产生声发射信号的过程,却仍然确信声源是由氧化层的破裂或者是由钢材再钝化过程中氯化物的覆盖盐层产生的。如果该过程成立,那么只有大约 3% 的点蚀会产生声学活动。

Mazille, Rothea 和 Tronel 也开展了有关奥氏体不锈钢的研究^[7,8]。他们应用声发射连续监测了本地水溶液引起的腐蚀破坏及其发展过程。将 316L 奥氏体不锈钢放置在 3%NaCl 溶液中(pH=2)。在不锈钢阳极极化前研究人员记录到了一些低幅度的信号。他们发现在阳极极化过程中电流密度较高,并在有效声信号出现之前存在一个较短的蚀坑开始时间。当点蚀发展到一定程度,即腐蚀尺寸和数量都很稳定并且非常高时,这时产生的声发射事件是十分有用的。他们注意到发射出的声信号是由腐蚀过程中产生的氢气所致。根据声发射事件与点蚀之间的依附曲线图, Mazille, Rothea 和 Tronel 推断出, AE 技术通过相对准确的点蚀速率和高的声发射活动之间的关系来监测点蚀的发展,是一种很有效的方法。

Cakir, Tuncell 和 Aydin 从声学上研究了在 Hank's 溶液(pH=4)中伸展很慢的 316L 不锈钢,并在点蚀电压(+110mV / SCE)的阳极方向上使其极化^[10]。研究者注意到,在阳极极化过程中很小的声发射活动产生很低的电流密度($i = 5\mu\text{A}/\text{cm}^2$),而在+110mV(SCE)以上的电压作用下,阳极电流密度随着声发射信号的增加而增加。这正说明了声发射信号的电化学性质。在 Hank's 溶液中进行拉伸试验的试件,80%都记录有 AE 信号。研究表明,不锈钢至少在某一处发生了膜破裂(即使非常小),才会产生声发射信号,而在钢的变形过程中声发射活动性不断增加。他们认为 AE 信号源与材料点蚀的发生有关,更准确地说与保护层的破坏、氢气泡的产生和金属阳极分解有关。

耿荣生采用从飞机机翼上取下的、置于特殊溶液中的 LY12 铝合金试件进行声学测量^[4,5]。用 Mistras-2001 型声发射系统记录声发射信号。实验结果表明,声发射能对腐蚀发生的初期,即腐蚀萌生加以预报,而且十分灵敏。在点蚀过程中,真正由腐蚀产生的信号(如图 3 所示)与噪声信号(如图 4 所示)有明显区别,即腐蚀产生以弯曲波为主的声发射信号,

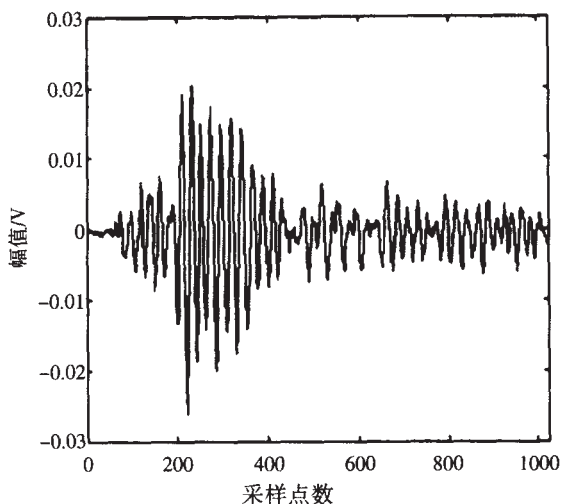


图 3 腐蚀信号

Fig.3 Corrosion signal

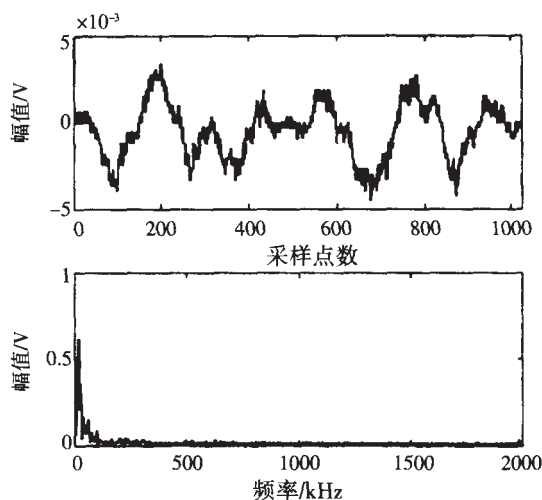


图 4 噪声信号

Fig.4 Noise

且有较宽的频率分布范围,而噪声信号延续时间短、频率范围窄、幅度集中在 40dB 以下,这使得识别腐蚀 AE 与噪声信号的工作极大地得到了简化。

5 评 述

众多学者应用声发射技术研究金属腐蚀,目前已经取得了一些阶段性的成果:(1)从理论上证明点蚀过程中产生的声信号是可以被检测到的;(2)认为点蚀过程中的声源是由保护层的破坏、氢气泡的发展变化、金属阳极的分解而产生的;(3)获得了声发射事件总数与探测到的点蚀坑之间的良好数学关系,为 AE 技术提供了有关奥氏体不锈钢点蚀过程中动特性的信息,而在研究过程中对材料并没有破坏作用。

(下转第 182 页)

