

铝合金腐蚀声发射信号特性研究

钟建强¹, 李海斌², 王汉功³

(1. 第二炮兵士官学校二系, 山东青州 262500; 2. 第二炮兵工程学院二系, 陕西西安 710025;
3. 第二炮兵工程学院五系, 陕西西安 710025)

摘要:采用声发射检测技术对 5A03(LF3)铝合金腐蚀过程进行监测, 证明利用声发射技术检测铝合金贮罐腐蚀破坏状态的可行性。根据实际使用中铝合金贮罐发生腐蚀的机理及特性制定 5A03 铝合金腐蚀的模拟试验方案, 采集并分析了铝合金腐蚀声发射信号的分布及关联性。最后结合电化学试验验证了本实验的合理性。文章结论可作为现场声发射诊断的初步依据。

关键词:声发射; 铝合金; 腐蚀; 特征分析

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)03-0153-04

Characteristic of the Erosion Acoustic Emission Signals of the Aluminium Alloy

ZHONG Jian-Qiang¹, LI Hai-Bin², WANG Han-Gong³

(1. Department 2 of the Second Artillery NCO School, Qingzhou Shandong 262500, China;
2. Department 2 of the Second Artillery Engineering College, Xi'an Shaanxi 710025, China;
3. Department 5 of the Second Artillery Engineering College, Xi'an Shaanxi 710025, China)

Abstract: The erosion process of LF3 aluminium alloy was monitored by the acoustic emission technology, and the characteristic of the erosion acoustic emission signals of the Alloy was researched to prove the feasibility of using the acoustic emission technology to detect the erosion destruction condition of the aluminium alloy vessels. The research would extend the application scope of the acoustic emission technology. The stimulated experiment of erosion experiment of aluminium alloy was made according to the erosion principle and characteristic of the the aluminium alloy vessels in use. The erosion acoustic emission signals are obtained. The characteristic of these signals is researched, and the analysis of the distribution and relevancy of the character parameters is made. The electrochemistry experiment is made to prove the rationality of the experiment. The conclusions of this article can be used as the basis of the local fault diagnosis.

Keywords: Acoustic emission; Aluminium alloy; Erosion; Characteristic analysis

5A03 铝合金是含镁量中等的防锈铝合金, 不可热处理强化, 主要用于制造在液体中工作的中等强度的焊接件、冷冲压零件和容器, 如液体氧化剂四氧化二氮贮罐。随着航天技术的发展, 运载火箭推进剂贮罐的结构材料已从非热处理强化的防锈铝转变到可热处理强化的高强度铝合金, 但目前仍有许多 5A03 结构材料贮罐在役。这些贮罐由于使用时间较长, 存在许多安全隐患, 对其损伤状态进行

监检具有十分重要的意义。而运用声发射技术就可以对容器缺陷的种类、位置及严重程度作出分析和判断。

笔者对 5A03 铝合金腐蚀过程声发射特性进行了研究, 从腐蚀声发射信号反推声发射源位置, 证明利用声发射技术检测贮罐腐蚀破坏状态的可行性。

1 实验方法

1.1 实验材料

实验所用 5A03 试样的主要化学成分为 Mg: 3.48%, Mn: 0.48%, Si: 0.57%, Al > 94.8% 及其它

收稿日期: 2007-07-06

基金项目: “九五”全军重点科研攻关课题()

作者简介: 钟建强(1978—), 男, 硕士, 助教, 研究方向为无损检测。

一些少量的 Fe, Cu 等杂质。试样尺寸 $160\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 。试样经 $400\text{ }^{\circ}\text{C} \times 8\text{ min}$ 退火热处理, 5A03 基本是 $\alpha(\text{Al})$ 单相固溶体, 但在室温下使用较长时间后也会析出少量分散的 β 相 (Mg_2Al_3), 另外还存在 MnAl_6 , Mg_2Si 相。合金的耐蚀性与 β (Mg_2Al_3) 相的析出和分布有关, 因为 β 相的标准电位为 -1.24 V , 相对于 $\alpha(\text{Al})$ 固溶体是阴极区, 在电解质中它首先被溶解。若 β 相沿晶界析出形成网膜, 则合金的耐蚀性(如晶间腐蚀和应力腐蚀)降低。5A03 中主要杂质为铁和铜。铁与铝几乎不生成固溶体, 而是形成金属间化合物 FeAl_3 。对铝来说, FeAl_3 是阴极相, 可以加速铝的腐蚀。铜进入铝中形成固溶体的含量远比铁高, 但由于铜的电极电位很正, 将作为铝的更有效的阴极而促进腐蚀速度的加快。

试样表面必须清除油渍及其它污物, 以保持表面清洁。

1.2 腐蚀介质

航天用 5A03 铝合金贮罐的腐蚀主要是由四氧化二氮吸水生成的硝酸引起的, 因而模拟实验采用硝酸溶液作为腐蚀介质, 以硝酸浓度的不同级别来模拟材料腐蚀损伤的不同程度。稀硝酸对铝合金的腐蚀性随浓度增大而增强, 浓度为 30% 左右的硝酸对铝合金的腐蚀性最强, 超过此浓度后, 硝酸对铝合金的腐蚀性随浓度增大而减弱。据此, 为了考察 5A03 铝合金材料在不同浓度硝酸溶液中腐蚀过程的声发射特性, 实验选取 12 种不同百分比浓度 (0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1.0%, 1.4%, 1.7%, 2.0%, 3.0%, 5.0%, 10.0% 和 19.8%) 的硝酸溶液作为腐蚀介质, 对应的试样编号为 1~12。

1.3 实验仪器

实验所用仪器系统是德国 Vallen 公司生产的 16 通道 AMSY-5 型超高速、全数字、全波形、强抗干扰声发射采集分析系统。该系统能够同时采集 AE 特征参数和波形数据, 可检测到的频率范围为 $5\text{ kHz} \sim 3\text{ MHz}$ 。所用传感器类型为 VS150-RIC 型, 其频率范围为 $80 \sim 550\text{ kHz}$, 中心频率为 150 kHz , 增益固定为 34 dB 。

测试得到的背景噪声平均水平为 26 dB 左右, 由于有些腐蚀信号幅值可能较低, 阈值设置为 28.8 dB 。

实验前首先对所用通道进行灵敏度校准。实验所用各通道校准结果分别为 94.5 dB (1 通道) 和

94.2 dB (2, 3, 5, 6 和 9 通道)。

1.4 实验装置

硝酸溶液置于 $\phi 40\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的玻璃镜筒内, 与试样表面接触发生腐蚀。镜筒与试样之间用凡士林密封, 镜筒内加入硝酸溶液后, 上面用玻璃片和凡士林密封, 防止硝酸挥发。传感器耦合剂为凡士林, 用弹性带固定在试件上并对传感器施加一定压力, 保证耦合良好。

试样表面在被镜筒限定的区域内发生腐蚀, 产生应力波被传感器接收并通过电缆传送至声发射仪进行信号的滤波、特征提取和波形记录等处理, 并将处理后的数据通过数据线送入 PC 机存储, 再进行进一步的处理、分析和结果显示。

镜筒内加入腐蚀液并密封, 各通道同时开始记录数据。12 个试样分为三组, 第一、二组各 5 个试样, 第三组 2 个试样, 一组试样作为一次实验, 共进行三次实验。每次实验时间为 12 h , 期间不间断采集数据, 记录到达时间、上升时间、持续时间、撞击数、振铃计数、幅度和能量等声发射特征参数, 并采集波形数据。

2 特征分析

剔除噪声信号后筛选出腐蚀溶液各浓度水平下有效的 5A03 腐蚀声发射信号数量(表 1)。可看出, 5A03 合金的腐蚀程度随硝酸浓度的增加而加剧。

表 1 不同浓度硝酸腐蚀产生的声发射信号数量

硝酸浓度/%	信号数量/个	硝酸浓度/%	信号数量/个
<1.0	1~2	10.0	29
1.0~3.0	4~5	19.8	117
5.0	12		

由于硝酸浓度 $<1.0\%$ 时的腐蚀声发射信号太少, 因此在 0.1% , 0.3% , 0.5% 和 0.7% 四个浓度水平下重复前面的实验步骤共两次, 得到的声发射信号与原来所对应浓度水平下的声发射信号特征相似, 证明了实验具有较好的可重复性。最终得到的各浓度水平下腐蚀声发射信号数量同表 1。

2.1 特征参数的分布分析

对取得的实验数据进行统计分析, 得到实验中不同硝酸浓度水平下 5A03 腐蚀声发射信号幅度 A 、上升时间 R 、持续时间 D 、振铃计数 C 、能量 E 等主要特征参数值的分布情况(表 2)。表 2 中分布区间 a 是特征参数最大、最小值的范围, 95% 上限值 b ,

表 2 不同硝酸浓度水平下各特征参数的分布

浓度 %	A/dB			R/ μ s			D/ μ s			C/个			E/eV		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
0.1~0.7	29.8~40.0	39.6	30.6	0.2~38.8	37.4	0.4	15.0~268.2	117.6	24.2	2~16	14	3	1.4~5.6	4.0	1.6
1.0~3.0	29.8~43.4	39.2	29.8	0.2~58.2	43.8	4.6	11.4~461.0	378.0	31.8	1~19	17	1	1.2~5.9	4.4	1.4
5.0	28.8~40.0	38.1	29.8	0.2~97.4	62.2	0.2	3.4~513.4	482.6	19.8	1~43	27	1	1.9~9.9	7.5	2.0
10.0	28.8~41.9	40.7	29.8	0.2~264.2	152.6	0.2	28.4~771.2	655.4	83.8	1~73	55	2	2.1~15.0	14.0	2.2
19.8	28.8~45.6	41.1	29.8	0.2~340.0	281.2	6.6	0.6~1 590.8	992.8	80.2	1~259	127	2	1.5~38.0	18.0	2.3

95%下限值 c 为样本总数中 95% 的分布限度,其构成的区间为 90% 的特征参数分布的范围。根据以上值可求出均值和标准偏差。其中均值为相应浓度水平下所有特征参数值的平均值,标准偏差为用式(1)计算得到的相应浓度水平下各个特征参数值的标准偏差。

$$\sigma_X = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中 σ_X ——样本标准偏差;

N ——样本总数;

X_i ——单个样本值;

$\bar{X}$ ——样本均值。

2.1.1 幅度分布

从表 2 可知,在实验所选的硝酸浓度范围内,5A03 腐蚀产生的声发射信号幅度 A 为 28.8~45.6 dB,各浓度水平下的声发射信号幅度均较低。对不同的浓度,声发射信号幅度的分布区间、90% 的分布范围、均值及分散性均相似。当硝酸浓度 $>10.0\%$ 时,获得的声发射信号幅度略大一些,但差别并不明显,其它浓度下的声发射信号幅值分布也没有太大差别。可以认为,实验所获得的 5A03 腐蚀声发射信号幅度没有表现出明显的规律性。

2.1.2 上升时间的分布

上升时间分布见图 1a。在实验所选的硝酸浓度范围内,5A03 合金腐蚀产生的声发射信号上升时间 R 为 0.2~340.0 μ s,分布范围较宽,但没有上升时间很长的信号出现。随硝酸浓度的增加,上升时间

越来越长,分布范围也越来越宽,且上升时间的分布随硝酸浓度的增加而更加分散,具有明显的规律性。

从图 1a 可以看出,当硝酸浓度较低时,上升时间变化比较平缓,硝酸浓度增大时,上升时间的变化略陡一些,但总的来说,上升时间随浓度增长的变化较为平均,接近于直线。

2.1.3 持续时间的分布

表 2 中可看出,5A03 腐蚀产生的声发射信号持续时间 D 为 0.6~1590.8 μ s,分布范围很宽。随硝酸浓度的增加,持续时间越来越长,分布范围也越来越宽,且持续时间的分布随硝酸浓度的增加而更加分散,具有明显的规律性。

从图 1b 可以看出,硝酸浓度 $<1.0\%$ 时,持续时间变化最陡峭,其次是 5.0%~10.0% 区间,硝酸浓度介于 5.0%~10.0% 时持续时间变化最平缓,持续时间随硝酸浓度的变化具有显著差异。

2.1.4 振铃计数分布

5A03 腐蚀产生的声发射信号振铃计数 C 为 1~259 个,分布范围较窄,且没有具有很大振铃计数的信号出现。随硝酸浓度的增加,振铃计数越来越大,分布范围也越来越宽,且振铃计数的分布随硝酸浓度的增加而更加分散,具有明显的规律性。

从图 1c 关系曲线可看出,硝酸浓度 $<1.0\%$ 和 $>10.0\%$ 时振铃计数变化较为平缓,其次是 1.0%~5.0%,硝酸浓度介于 5.0%~10.0% 时振铃计数变化较为陡峭,振铃计数随硝酸浓度的变化具有较为明显的差异。

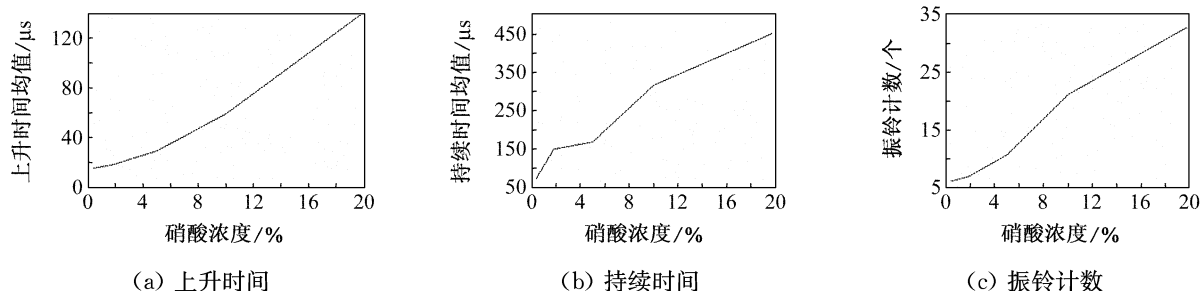


图 1 不同硝酸浓度时 AE 参数变化曲线

2.1.5 能量分布

5A03 腐蚀产生的声发射信号能量 E 为 1.2~38.0 eV(图 2),没有 <1 eV 的低能量信号,也没有 >100 eV 的高能量信号出现,分布范围较窄。随硝酸浓度的增加,能量越来越高,分布范围也越来越宽,且能量的分布随硝酸浓度的增加而更加分散,具有明显的规律性。

从图 2 也可见,曲线两端变化较为平缓,硝酸浓度介于 1.0%~10.0% 时能量呈直线变化,且变化较为陡峭,能量随硝酸浓度的变化具有较为明显的差异。

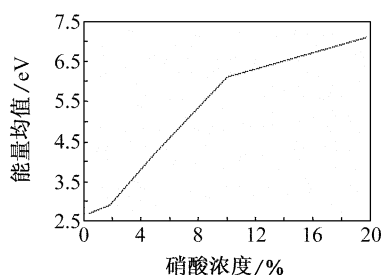


图2 能量与硝酸浓度关系曲线

2.2 特征参数的关联分析

对压力容器来说,持续时间、振铃计数和能量三个参数的关联性较强^[1],因而对这三个特征参数值作关联分析。

2.2.1 持续时间-能量

由持续时间-能量关联图(图 3)可知,对所有浓度,基本趋势是持续时间越长的信号,其能量越高;对不同的浓度,浓度越大,持续时间长、能量高的信号所占的比例越大;持续时间相同时,除 5.0% 浓度外,其它浓度水平下信号的能量基本趋势是随浓度的增加而减小,具有较为明显的规律性。浓度为 5.0% 时的前三个信号明显不符合这一规律,可能是实验中该浓度试样腐蚀部分的局部表面存在差异所致。

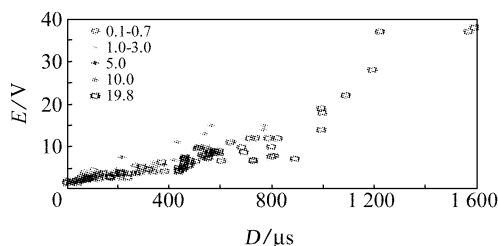


图3 持续时间-能量关联图

2.2.2 持续时间-振铃计数

由持续时间-振铃计数关联图(图 4)可知,对所

有浓度,基本趋势是持续时间越长的信号,其振铃计数越大;对不同的浓度,浓度越大,持续时间长、振铃计数大的信号所占的比例越大;持续时间相同时,振铃计数随浓度的增加而减小,具有明显的规律性。

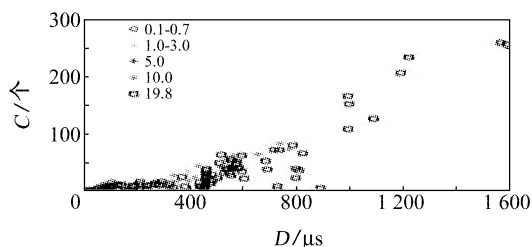


图4 持续时间-振铃计数关联图

2.2.3 振铃计数-能量

由振铃计数-能量关联图(图 5)可知,对所有浓度,基本趋势是持续时间越长的信号,其振铃计数越大;对不同的浓度,浓度越大,振铃计数大、能量高的信号所占的比例越大;从局部放大图来看,振铃计数相同时,有能量随浓度的增加而增大的趋势,但并不明显,且图中 10.0% 下的几个信号明显不符合这一规律。因而可以认为,振铃计数与能量的关联分析未显示出较为明显的规律性。

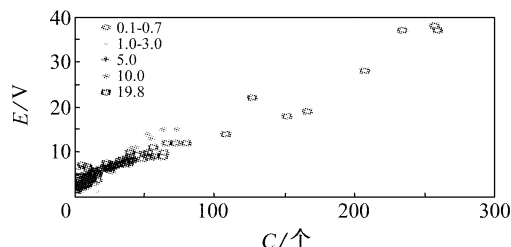


图5 振铃计数-能量关联图

另外,对声发射信号的频谱、小波等高线及频率质心分布的分析表明,不同浓度下的腐蚀声发射信号,其频谱、小波等高线及频率分布未见有明显差异。

3 电化学实验验证

为验证上述实验的合理性,笔者还做了硝酸浓度分别为 0.3%, 0.5%, 1.0%, 5.0% 时 5A03 合金的电化学实验。电化学测试电解池选用 EG&G 公司的容积为 1 L 的玻璃电解池,辅助电极为大面积石墨惰性电极,参比电极选用饱和甘汞电极(SCE);配以 EG&G 公司的 M273A 恒电位仪进行测试。实验设置参数为:试样面积 1 cm²,扫描速率 2 mV/s,初始电位为自腐蚀点以下 -600 mV,终止电位 1.8 V,温度 25 ℃。

(下转第 162 页)

需要的独立探头通道数非常多,因而硬件系统复杂。

3.2 缺陷的缺失截面积检测宜选择线检探头

线检探头的信号幅度与缺陷缺失的截面积成比例,因而有较好的测量精度。

3.3 缺陷的长度检测宜用点检探头阵或点线组合式探头

点检探头对缺陷深度敏感,当将它们组成探头阵时,缺陷长度覆盖的通道数量可以反映其长度信息;另一方面,线检探头大于缺陷的长度时,感应的是深度和长度的共同信息。因此在其感应范围内(正中间)并列布置一个或多个点检探头感受深度信息时,裂纹的长度就可以计算出来。

从信号处理角度来看,点线组合式探头需要的通道数量较少,可以同时获得深度、长度、缺失截面积等信息。

3.4 斜向裂纹检测宜采用点检探头阵

当探头扫描路径垂直于缺陷的走向时,检测信号最大;一旦缺陷的走向偏斜时,检测信号很快减小,同时信号特性也发生变化。此时,线检探头的检测信号特征变化很大,点检探头的信号幅度波动却很小。

在漏磁检测中,磁化场的方向与扫描的方向一致,当缺陷的走向偏斜时也表明其与磁化场方向也发生了偏离,进而缺陷的漏磁场也发生了改变^[3]。因此,斜向缺陷的检测与评估,需要感受出裂纹的走向,并且根据走向修正漏磁场信号幅度,再进行深度判别,最终获得深度信息。由于斜向缺陷走向与磁化场方向非正交,等深度的缺陷产生的漏磁场强度

(上接第 156 页)

由实验可以看出,硝酸浓度为 0.3% 和 0.5% 时 5A03 的腐蚀速率相近且最小,硝酸浓度为 1.0% 时 5A03 腐蚀速率明显增大,硝酸浓度为 5.0% 时 5A03 腐蚀速率要远远大于前三个浓度下的腐蚀速率。这与上文对不同浓度硝酸下 5A03 腐蚀产生的声发射信号撞击数的分析一致。

4 结论

(1) 5A03 铝合金腐蚀声发射信号数量随腐蚀程度的加剧而增多,信号撞击数的多少能够反映合

也有所减弱,不进行增强补偿将会造成漏检。

4 结论

漏磁检测的探伤能力与探头结构密切相关,从目前应用情况看,该方法对内外部腐蚀坑、内外部纵横向裂纹均有较好的探伤精度,同时,对斜向裂纹具有一定的探伤能力。但是,漏磁检测方法对微小开裂的裂纹,如初期的疲劳裂纹、热处理的应力纹、轧制时的微机械裂纹和折叠不是十分敏感,由于这些裂纹的开口均 $< 0.05 \text{ mm}$,向外泄漏磁场量相对较少,因此,有必要辅以涡流等探伤方法。

我国进口的漏磁探伤设备以基于检测线圈的线检探头为主,这种配置的信号通道数量相对较少,探靴的有效覆盖范围大。对缺陷的深度评定需要一定的条件,对斜向伤的检测几乎不可能。

总的来讲,要求线检探头去探测线形缺陷的深度信息和点检探头去评定点状缺陷的长度信息均是不现实的;高精度的探伤需配合数量众多的独立测量通道和信号处理系统,因此,应根据探伤目标去综合和权衡。

参考文献:

- [1] 杨叔子,康宜华. 钢丝绳断丝定量检测原理与技术[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [2] GB/T 12606—1999 钢管漏磁探伤方法[S].
- [3] ASTM E570—1997 (Reapproved 2004) Standard practice for flux leakage examination of ferromagnetic steel tubular products[S].

金不同的腐蚀损伤程度。

(2) 不同浓度硝酸中 5A03 铝合金腐蚀声发射信号的上升时间、持续时间、振铃计数和能量等特征参数的分布具有较大差异,可通过 90% 的分布区间加以区分;持续时间与上升时间、持续时间与能量的关联分析也反映出较明显的规律,可作为现场声发射诊断的初步依据。

参考文献:

- [1] 陈翠梅,霍 臻. 压力容器声发射信号参数分析方法的探讨[J]. 工业安全与防尘,1999, (5): 4—6.

欢迎网上投稿 网址: www.mat-test.com