

铝合金 AA6061 - T4 的丝状腐蚀图像分析

刘晓方, 江良洲, 陈桂明, 王汉功

第二炮兵工程学院, 西安 710025

摘要:运用数字图像处理技术检测、提取了涂覆环氧树脂的 AA6016 铝合金丝状腐蚀图像, 分析探讨了由丝状腐蚀图像所得到的腐蚀面积密度、腐蚀扩展速度以及垂直于切口方向投影值等参数对评估丝状腐蚀发展状况的有效性及其合理性。

关键词:铝合金; 丝状腐蚀; 图像分析; 腐蚀面积密度

中图分类号: TG174.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2007)01-0054-04

IMAGE ANALYSIS OF FILIFORM CORROSION FOR ALUMINUM ALLOY AA6061-T4

LIU Xiao-fang, JIANG Liang-zhou, CHEN Gui-ming, WANG Han-gong

The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025

Abstract: In this paper, the filiform corrosion images of AA6016-T4 aluminum alloy beneath an epoxy coating were detected and picked out from the image background with digital image processing technique, and some parameters such as corrosion area density, corrosion propagating speed, and projective value of filiform corrosion vertical to the scratch, were calculated from the processed filiform corrosion image, which were probed to evaluate the propagating status of filiform corrosion effectively and reasonably.

Key Words: aluminum alloy; filiform corrosion; image analysis; corrosion area density

丝状腐蚀 (Filiform Corrosion) 是发生于涂层/金属基体界面的一种特殊类型腐蚀, 准确地评估其扩展速度与腐蚀严重程度等参数指标对于丝状腐蚀的理论研究与工程应用具有重要价值。目前在丝状腐蚀研究中, 多采用腐蚀丝长度最大值、腐蚀丝平均长度、腐蚀丝扩展速度、切口单位长度上腐蚀丝数目等^[1-3] 参数来评估丝状腐蚀状况。这些参数基本上反映了丝状腐蚀发展状况, 但也存在不足之处, 主要表现在: 腐蚀丝扩展方向不定, 弯曲、不规则的腐蚀丝长度测量准确性难以保证; 在腐蚀发展后期, 丝状长度扩展速度很难测定; 同一切口上不同丝状的发展速度参差不齐, 难以取舍; 即使长度相同的腐蚀丝状, 其覆盖面积也多不相同, 这些在上述参数中均得不到有效、动态的反映; 其它如材料轧制方向对丝状腐蚀发展的影响仅是定性的描述, 没有定量参数指标。

针对上述情况, 结合涂覆环氧树脂的 AA6016 铝合金丝状腐蚀实验结果, 本文运用数字图像处理技术对其丝状腐蚀图像进行检测、提取, 在此基础上分析探讨了腐蚀图像面积参数评估丝状腐蚀发展状况的有效性、合理性。

1 实验方法

在厚度为 2mm 的 AA6016-T4 铝合金板材上, 截取两块 3 cm × 2 cm 的试样, 将试样浸入乙醇经过超声波清洗后, 室温下放入 1 mol/L NaOH + 0.1 mol/L Na₂CO₃ 溶液中 30 s, 以除去表面氧化膜层, 清水漂洗后放入 1 mol/L H₂SO₄ + 1% H₂O₂ 溶液中除去表面蚀刻残渣。而后经清水漂洗, 用 N₂ 吹干表面, 放入 N₂ 环境中表面涂覆环氧树脂。在 120℃ 环境中进行固化, 分别沿平行 (TD) 及垂直 (RD) 材料轧制方向在涂层划切长 1.5 cm 的切口。用胶带密封涂层边缘及试样其它裸露部位后, 放入充满浓 HCl 气氛的密闭容器 20 min, 取出放入温度 60℃、相对湿度 90% 的环境中。根据试样丝状腐蚀发展的状况, 通过 8 倍显微镜放大后, 分别拍摄每种试样在 0 h ~ 1007 h 内不同时刻共 18 幅切口附近丝状腐蚀的图像。在所得到的每幅图像上, 整理选取切口附近同一位置、面积相同的区域图像, 以利于对比分析。

2 腐蚀图像的检测

图 1a、图 2a 分别是切口垂直于轧制方向在 1007 h 和切口平行于轧制方向在 263 h 时 6016 铝合金丝状腐蚀状况的图像。由图中可知, 腐蚀的丝状形状较为复杂, 其长度难以准确测定, 并且丝状粗细不一, 因此如按文献^[1-3] 中腐蚀丝长

收稿日期: 2005-11-16

作者简介: 刘晓方 (1968 -), 男, 博士, 副教授, 从事装备环境失效、维修与管理研究

TEL: 029 - 84743947 Email: xiaofang_liu@263.net

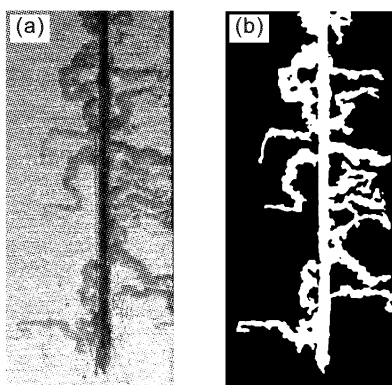


Fig. 1 Image of filiform corrosion of AA6016-T4 aluminum alloy (RD) for at 1007h (a) and its detected result (b), whose scratch was vertical to rolling direction $\times 8$.

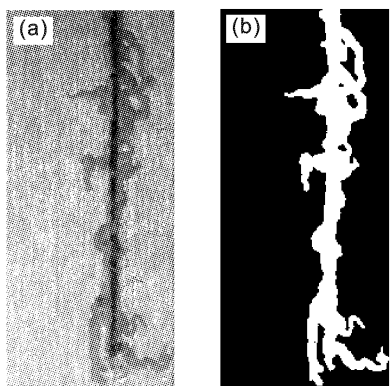


Fig. 2 Image of filiform corrosion AA6016 aluminum alloy (TD) for 263 h (a) and its detected result (b), whose scratch was parallel to the rolling direction, $\times 8$

度指标参数如丝长度最大值、单位切口丝数量等来评估丝状腐蚀发展状况,具有一定的难度.在此欲用面积参数评估丝状腐蚀发展状况,首先应用 Matlab 中的数字图像处理工具箱将研究目标从背景图像分割出来.

在图 1a、图 2a 中尽管腐蚀丝状与其周围的背景具有较明显的差异,但由于受光照不均匀的干扰,图像背景灰度不均匀,下部灰度值较大,上部的灰度值较小,并且上部背景的灰度值接近或低于下部研究目标的灰度值.因此若依据整幅图像的全局直方图特征(如灰度阈值法)进行研究目标的分割存在着较大难度.首先对图像的光照不均进行校正,使其背景灰度值接近.

将图像等分为 5×5 像素的子块图像,计算各子块的灰度均值 μ 与标准方差 η ,以及与邻近子块的相关系数 $Corr$.根据预先在图像中选取不同区域得到有关灰度均值与方差的信息,并结合相邻子块的相关系数,对图像不同区域进行分类合并.利用图像中背景灰度值尽管上部、下部相差较大,但其变化却是连续的,而所研究的目标与其邻近背景之间的灰度值却是突变的这一特点,将所分类的背景区域合并置为 0 值,而研究目标与其分割置为 1 值,则整幅图像转变为二值图像.事实上,在背景区域因个别子块灰度值与研究目标

一致而被误识为目标,而研究目标区域内个别子块也被误识为背景,因此在初步得到的二值图像上进行相关的二值图像形态学运算如开运算、闭运算^[4]等,改正错误识别子块,得到如图 1b、图 2b 所示的丝状腐蚀二值图像.

根据上述处理过程分别对每种试样的 18 幅图像进行了检测处理,将其由灰度图像变换为二值图像,为计算丝状腐蚀面积参数奠定基础.

3 腐蚀特征参数计算

3.1 腐蚀丝状面积与腐蚀面积密度

在上述丝状腐蚀二值图像中,应用 MATLAB 图像处理工具箱中 bwarea 函数计算研究目标的面积.由仅含有切口的 0 时刻图像所得到的是切口面积的大小,而由 0 时刻后图像所得到的是腐蚀丝与切口的面积之和,因而将其与第一幅图像所得的切口面积值相减即得到不同时间的腐蚀丝状面积,如图 3a 所示.

在工程实践中,由于涂层损伤的形式、尺寸不一,如点状损伤与长度划痕损伤,导致丝状腐蚀的发展形态也有较大差别,为准确评估、便于对比不同情况下丝状腐蚀发展状况,采用腐蚀面积密度参数表示丝状腐蚀的发展状况,即在与涂层损伤相同距离范围内丝状腐蚀面积所占的百分比.在本文中,将丝状腐蚀面积与无腐蚀状态下涂层面积相比所得到的腐蚀面积密度如图 3b 所示.由于每类试样所选择研究的涂

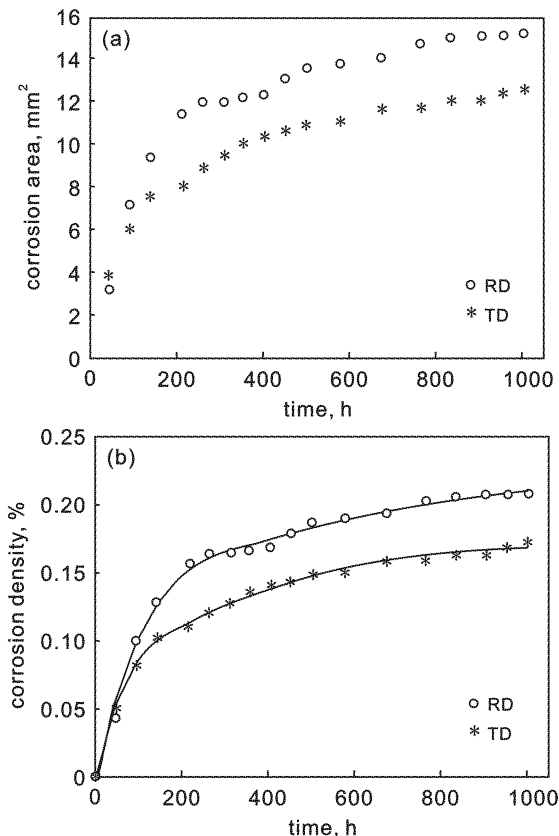


Fig. 3 Corrosion area (a) and corrosion density (b) of filiform corrosion for RD and TD samples of AA6016 aluminum alloy

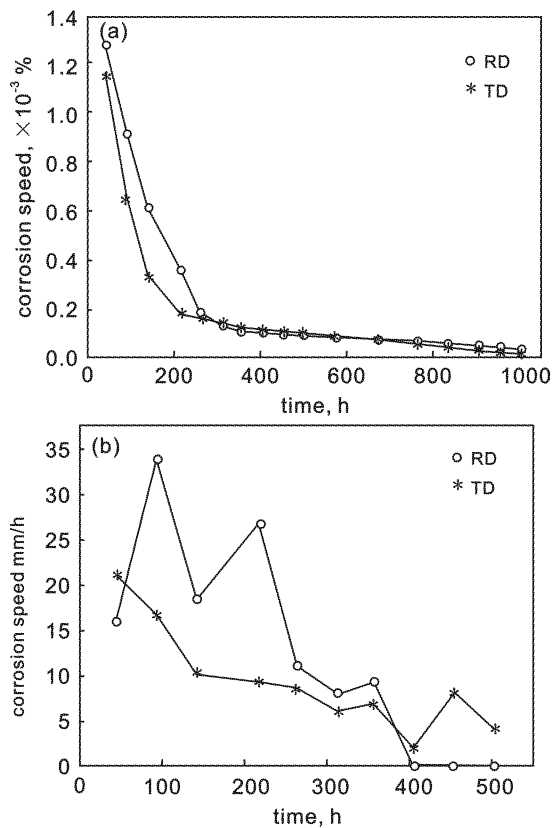


Fig. 4 Propagating speed of corrosion density (a) and filament length (b) for RD and TD samples of AA6016 aluminum alloy.

层面积相同,图 3a、b 中腐蚀面积与其面积密度变化趋势、形状也基本相同。

由图 3 可知,6016 铝合金丝状腐蚀的发展可分为两个阶段:在 0 小时~263 小时之间以较快速度发展,而在 263 小时~1007 小时之间发展速度缓慢。RD 试样丝状腐蚀较 TD 试样严重,并且其扩展速度也较 TD 试样快。这一结果与实验过程中的直观观察结果相一致。对上述两种试样的实验数据分别在两个时间段内进行数据拟合,拟合后的腐蚀密度扩展曲线如图 3b 所示。

3.2 腐蚀扩展速度

由图 3b 拟合曲线,经微分后可得到两种试样丝状腐蚀密度扩展速度曲线,如图 4a 所示。作为对比,分别测量两种试样的腐蚀丝长度扩展速度。由于同一切口腐蚀丝的扩展速度不一样,在一段时间内扩展速度最快的是某一个腐蚀丝,而在另外一段时间内则是另外一个腐蚀丝扩展最快。为更真实反映腐蚀丝的扩展情况,通常选取一段时间内腐蚀丝扩展最快的速度作为该段时间整个切口腐蚀丝状的扩展速度,同时由于在 507 小时后腐蚀丝长度扩展量很小,已经不能准确地计算其扩展速度。腐蚀丝长度扩展速度的计算结果如图 4b 所示。

对比图 4a、b,二者反映的两种试样丝状腐蚀的扩展速度趋势基本一致,但因图 4a 是以腐蚀面积为基础所求得,综合、全面地反映了丝状腐蚀的扩展情况,其曲线较为平滑,即

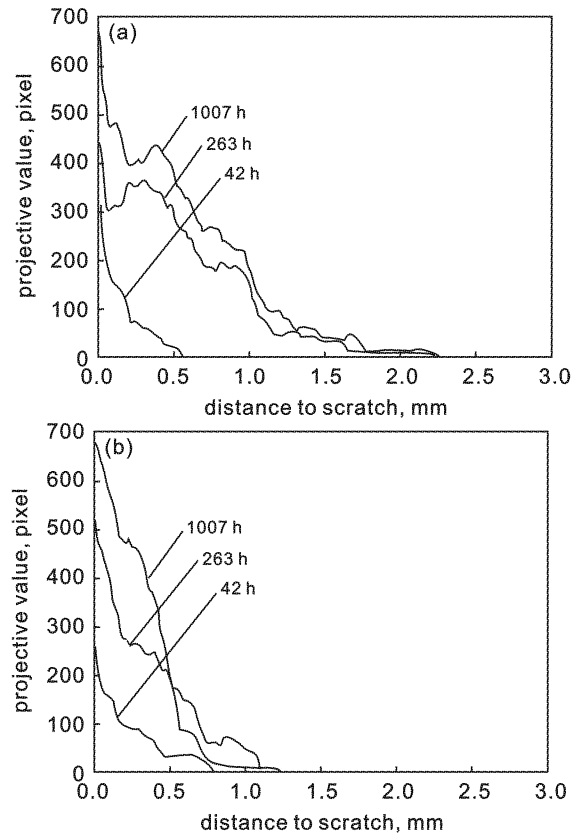


Fig. 5 Projective values vertical to the scratch for filiform corrosion of AA6016 aluminum alloy (a) RD sample (b) TD sample

使在扩展较为缓慢的后期阶段也能够有所分辨,趋势清晰明确。而以腐蚀丝状长度为基础所得到的图 4b,由于不同丝状扩展速度不均,反映在曲线上则是起伏较大,并且在扩展量很小的后期由于测量上的难度,无法得到明确的结果。由此表明,利用腐蚀面积特征参数评估丝状腐蚀发展状况更为合理、准确。

3.3 垂直于切口方向的投影

观察两种试样切口附近丝状腐蚀的分布,可以看到:因受轧制形貌的影响,腐蚀丝易于沿轧制方向扩展,RD 试样腐蚀丝扩展到距离切口较远的地方,其长度较长,而 TD 试样腐蚀丝扩展的距离较近,主要在切口附近,较多的腐蚀丝平行于切口扩展。其扩展机理不属于本文讨论的内容,本文在此为量化腐蚀丝在垂直于切口方向的扩展,观察丝状腐蚀在此方向的动态发展,在二值图像中分别计算了两种试样在 42 h、263 h、1007 h 时切口左侧腐蚀丝在其垂直方向的投影,其结果如图 5a、b 所示。

由图 5 很容易得到,RD 试样腐蚀丝最远扩展到距离切口 2.24 mm 处,而在 TD 试样上最远扩展到距切口 1.28 mm 处;RD 试样腐蚀丝集中于切口附近的 0 mm~1.1 mm 范围内,TD 试样则集中于 0 mm~0.6 mm 范围内。通过上述数据量化了腐蚀丝在切口附近的分布情况。观察投影值随时间的发展表明:在最初 42 h 的扩展中,两种试样的投影值较为近似;在 42 h~263 h 时间段,二者丝状腐蚀的发展有了较大

区别,并且至 263 h 时丝状腐蚀的发展已占最终 1007 h 时的 2/3 强,这与由丝状腐蚀面积扩展得到的结论是一致的。

4 结论

1. 将铝合金丝状腐蚀图像等分为 5×5 像素的子块图像,以子块灰度值的均值、方差以及与相邻子块的相关系数,可对腐蚀丝状与图像背景进行分割,将其由灰度图像转化为二值图像,有利于图像特征的分析;

2. 由丝状腐蚀面积所得到丝状腐蚀密度、丝状腐蚀扩展速度等参量相对于由测量腐蚀丝长度得到的参数指标,能够更为合理、准确地评估丝状腐蚀发展的状况;

3. 丝状腐蚀在垂直于切口方向的投影值能够定量评估丝状腐蚀在切口附近的扩展状况及其发展动态。

参考文献:

- [1] L Fedrizzi, F Deflorian, S Rossi, et al, Study of Aluminum Filiform Corrosion by Using Electrochemical Techniques[J], Materials Science Forum, Vols, 1998, 289 - 292 : 483.
- [2] JL Delplancke, S Berger, X. Lefebvre et al. , Filiform corrosion : interactions between electrochemistry and mechanical properties of the paints[J], Progress in Organic Coatings, 2001, 43 : 64
- [3] A Afseth, JH Nordlien, GM Scamans, et al. Filiform corrosion of AA3005 aluminium analogue model alloys[J]. Corrosion Science, 2002, 44 : 2543.
- [4] 孙兆林. MATLAB6. X 图像处理[M]. 北京:清华大学出版社, 2002. 267.