

7A52 铝合金的应力腐蚀性能研究

闫永贵^{1,2}, 马力^{1,2}, 曾红杰³, 张海兵^{1,2}

1. 海洋腐蚀与防护国防科技重点实验室, 青岛 266071;
2. 中船重工七二五所青岛分部, 青岛 266071; 3. 沈阳工业大学, 沈阳 110178

摘要:采用慢应变拉伸试验技术研究了阴极极化电位和焊接工艺对 7A52 铝合金应力腐蚀性能的影响, 并利用体视显微镜和扫描电镜分析了断口形貌。结果表明:外加阴极极化使 7A52 铝合金的应力腐蚀指数增大, 应力腐蚀敏感性呈增大趋势;摩擦搅拌焊件应力腐蚀性能优于熔焊件。

关键词:7A52 铝合金; 应力腐蚀; 阴极极化; 熔焊; 摩擦搅拌焊

中图分类号: TG172.9 文献标识码: A 文章编号: 1002-6495(2009)02-0119-03

STRESS CRACKING CORROSION OF 7A52 ALUMINUM ALLOY

YAN Yong-gui^{1,2}, MA Li^{1,2}, ZENG Hong-jie³, ZHANG Hai-bing^{1,2}

1. State Key Laboratory for Marine Corrosion and Protection, Qingdao 266071;
2. Luoyang Ship Material Research Institute, Qingdao 266071; 3. Shenyang University of Technology, Shenyang 110178

Abstract: The effect of cathodic polarization and welding procedure on stress cracking corrosion of 7A52 aluminum alloy was investigated by slow strain rate test. Fracture morphology was observed by stereo-microscope and SEM. The results showed that the stress cracking corrosion index of 7A52 aluminum alloy increases with cathodic polarization, thereby susceptibility to stress cracking corrosion increases. The stress cracking corrosion performance of the specimen prepared by friction stir welding is better than by metal inert gas welding.

Keywords: 7A52 aluminum alloy; stress cracking corrosion; cathodic polarization; metal inert gas welding; friction stir welding

7A52 铝合金是近年来最新研制的高强度可焊铝合金。但因其具有应力腐蚀敏感性(SCC)而影响到其使用性能^[1,2]。目前该合金主要采用熔化极氩弧焊(MIG)的焊接工艺,焊接过程中输入热量大,焊缝容易出现气孔和焊接变形,残余应力较大,而摩擦搅拌焊(FSW)则可避免上述缺点。本文通过慢应变速率拉伸方法研究了基材及不同焊接工艺下的 7A52 铝合金在不同极化电位条件下的应力腐蚀断裂行为,及其在不同阴极极化电位和焊接工艺下的应力腐蚀性能,并结合断口形貌分析,探讨了其应力腐蚀性能差异的原因。

1 实验方法

试验材料为 7.6 mm 厚 7A52 铝合金。材料状态为锻后热处理:460℃ × 1 h, 室温水淬;120℃ × 24 h 人工时效。

拉伸试样为圆柱形,取样为短横(S-T)向,其工作段标距长 20 mm,直径 4 mm,其余部分用 703 硅橡胶密封。拉伸前用水磨砂纸逐级打磨至 1200 号,然后用丙酮清洗,再用蒸馏

水清洗并冷风吹干。

采用慢应变速率拉伸技术(SSRT)评价材料的应力腐蚀性能。用 GYF-30 型慢拉伸试验机分别在不同的极化电位下进行拉伸性能测试。极化电位为相对于自腐蚀电位 -100、-200、-300、-400mV,参比电极为饱和甘汞电极(SCE)。拉伸应变速率为 4.16×10^{-6} /s (0.005 mm/min),试验介质 3.5% NaCl 溶液,惰性介质为干燥空气。

根据应力腐蚀指数计算公式^[1]对实验数据进行处理。

$$I_{SSRT} = 1 - [\sigma_{fk}(1 + \delta_{fk})] / [\sigma_{fA}(1 + \delta_{fA})]$$

式中各参数为: σ_{fk} 为在腐蚀介质中的断裂强度,MPa; σ_{fA} 为在惰性介质中的断裂强度,MPa; δ_{fk} 为在腐蚀介质中的断裂伸长率,%; δ_{fA} 为在惰性介质中的断裂伸长率,%。应力腐蚀指数越大,表示腐蚀敏感性越大。反之,指数越小,腐蚀敏感性也越小。

采用 Quanta600 扫描电子显微镜观察断口形貌。

2 结果与讨论

2.1 拉伸性能

图 1 为不同极化电位下 7A52 基材、熔焊件和搅拌焊件的拉伸曲线。可以看出,7A52 合金及其焊接件在自腐蚀电位和阴极极化电位下发生了应力腐蚀断裂。7A52 铝合金与 LC4

收稿日期:2008-06-19 初稿;2008-12-19 修改稿

作者简介:闫永贵(1969-),男,博士,高级工程师,研究方向为金属材料腐蚀与防护。

Tel:0532-85843217 E-mail:yanyg@sunrui.net

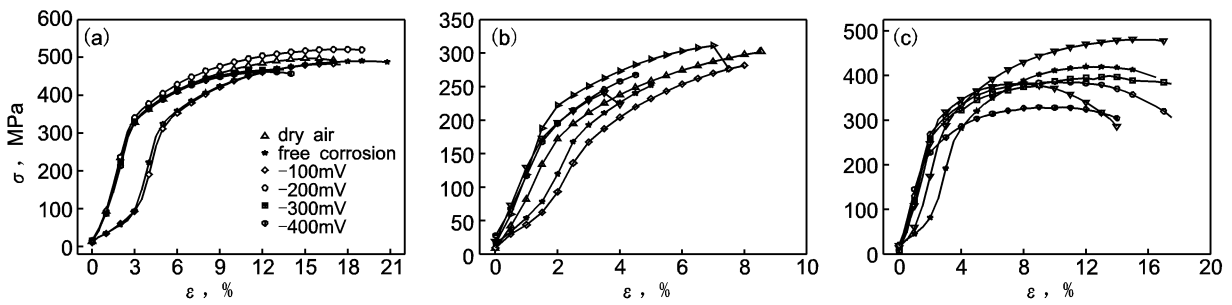


Fig. 1 SSRT tensile curves of 7A52 aluminum alloy: (a) base metal (b) fusion weld joint and (c) friction stir weld joint

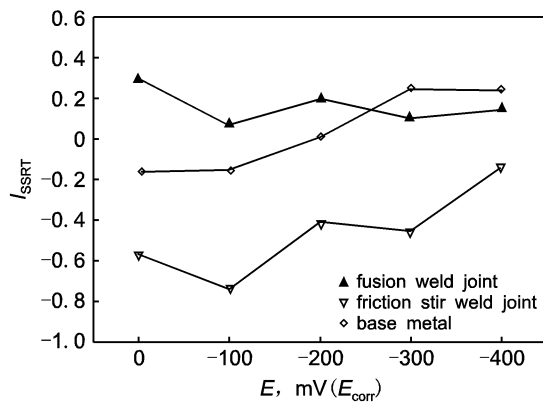


Fig. 2 Relationship between I_{SSRT} and cathodic potential

铝合金性能相近,在自然条件下易形成氧化层保护膜,具有较好的耐蚀性.在拉应力作用下,由于氧化膜与基体延伸性存在差异,氧化膜破裂,使裸露的基体金属与氧化膜在介质环境中形成大阴极小阳极的腐蚀电池,发生阳极溶解,促进裂纹较快扩展^[3].

图 2 为 7A52 铝合金熔焊件、搅拌摩擦焊件、基材的应力

腐蚀指数随极化电位的变化曲线.可以看出,7A52 铝合金熔焊件的应力腐蚀指数随阴极极化电位的负移而略有降低,表明阴极极化可在一定程度上改善熔焊件的应力腐蚀倾向;而 7A52 铝合金搅拌焊件除了在 -100 mV (vs. E_{corr}) 时的应力腐蚀指数要低于自腐蚀电位以外,应力腐蚀指数随着阴极极化电位的负移而逐渐增加,且高于在自腐蚀电位时的值.对于 7A52 铝合金基材而言,阴极极化加剧了试样的应力腐蚀断裂倾向,其应力腐蚀指数随着阴极极化电位的负移呈不断上升的趋势,这可能是阴极极化时拉伸试样上发生了阴极析氢反应,析出的氢通过扩散进入合金中,产生氢效应而增加了 SCC 敏感性^[4].

2.2 断裂形貌

采用 Quanta600 扫描电子显微镜对 7A52 搅拌焊和熔焊件在各环境介质和阴极极化电位下的拉伸断口进行形貌观察,其断口形貌如下图所示:熔焊在不同阴极极化电位下的断口形貌为图 3 所示,搅拌焊在不同极化电位下的断口形貌为图 4 所示.

熔焊件在干燥空气中拉伸断口低倍形貌如图 3 (a) 所示,整个断口呈剪切特征,裂纹起源于断口上部的焊接缺陷

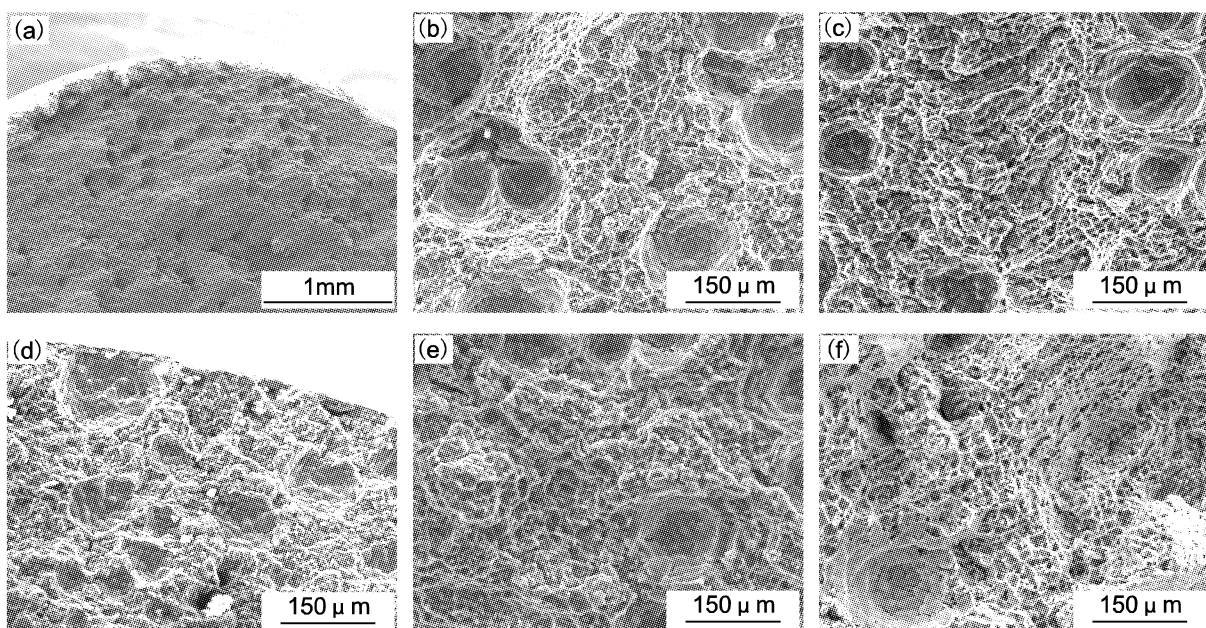


Fig. 3 Fracture morphology of MIG 7A52 aluminum alloy specimens in dry air and in seawater by potentials of (b) E_{corr} (c) -100 mV (d) -200 mV (e) -300 mV and (f) -400 mV

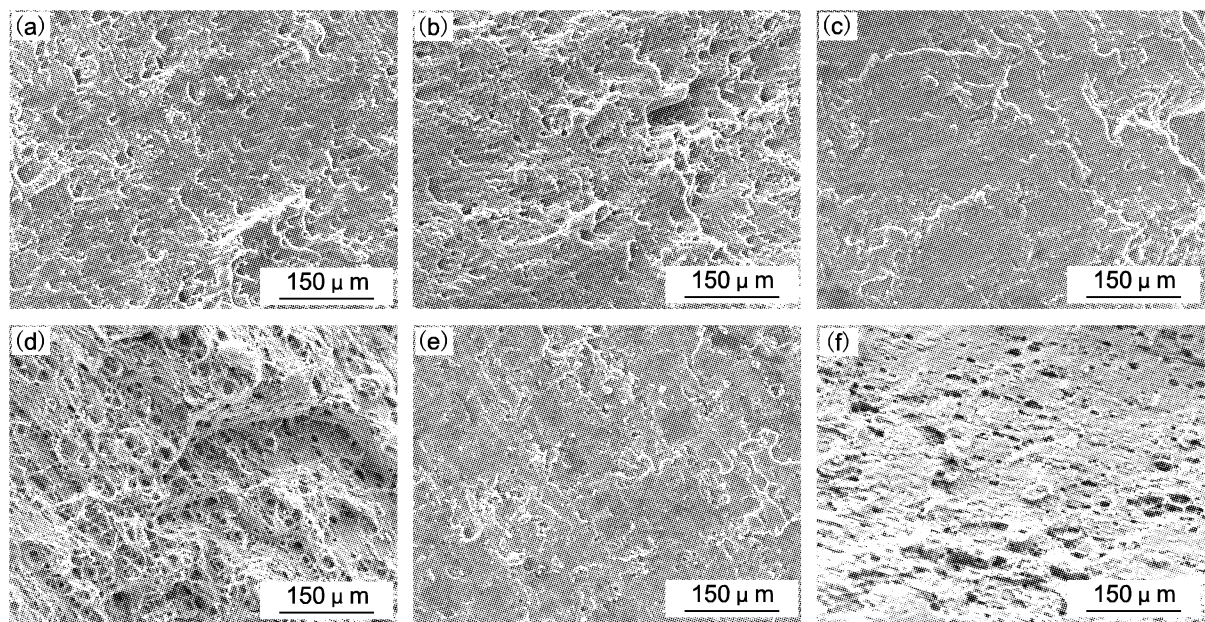


Fig. 4 Fracture morphology of FSW 7A52 aluminum alloy specimens in dry air(a) and in seawater by potentials of(b) E_{corr} (c) -100 mV (d) -200 mV (e) -300 mV and (f) -400 mV

密集区. 在自腐蚀电位下断口低倍及微观形貌与熔焊在 -300 mV 时拉伸断口相似, 但焊接缺陷更多, 纤维区相对较大, 而剪切区相对较小. 从熔焊在 -300 mV 时拉伸断口低倍形貌可以看出, 裂纹起源于断口上焊接缺陷密集处, 焊接缺陷主要为气孔及疏松. 断口上半部主要为纤维区, 断口下半部分主要呈剪切状. 纤维区微观形貌见图 3(e), 呈韧窝特征. 熔焊在 -200 mV 时拉伸断口微观形貌与 -300 mV 时拉伸断口形貌相似, 见图 3(d). 熔焊在 -100 mV 时拉伸断口低倍及微观形貌与在自腐蚀电位下拉伸断口也很相似, 焊接缺陷较多, 纤维区相对较大, 而剪切区相对较小. 由上述可知, 熔焊件材料自身存在着大量的组织缺陷影响了其拉伸性能, 而应力腐蚀效应不明显.

由图 4 可以看出, 搅拌焊件断口组织比熔焊件有明显的提高, 无明显的气孔、焊接变形等缺陷. 由搅拌焊件在阴极极化 -400 mV 和 -200 mV 电位下的断口形貌可见图 4(d) 和 (f), 裂纹源位于断口内部, 呈纤维状, 应力腐蚀现象较为明显. 为细小韧窝特征, 断口周边主要为剪切区域. 搅拌焊件在干燥空气中的拉伸断口低倍形貌主要呈剪切特征, 存在明显颈缩特征. 搅拌焊在阴极极化 -100 mV 和 -300 mV 图 4(c) 和 (e) 电位下的应力腐蚀拉伸断口与在干燥空气中的拉伸断口相似, 断口呈剪切特征, 断口边缘有一处次生裂纹. 搅拌焊在自腐蚀电位下的断口裂纹源在断口右上侧边缘源区及裂纹扩展前期呈细小韧窝特征, 裂纹扩展后期呈剪切特征. 与熔焊件因自身缺陷所受的影响较大相比, 搅拌焊件缺陷较少, 应

力腐蚀效应比熔焊更为明显.

3 结论

1. 外加阴极极化不能减缓 7A52 铝合金应力腐蚀破坏.
2. 在 3.5% NaCl 溶液中, 7A52 铝合金熔焊件在不同极化电位下的慢应变速率拉伸实验中, 其应力腐蚀倾向均有一定的降低, 但熔化极氩弧焊容易使组织产生气孔、疏松、焊接变形等缺陷, 断裂强度低, 严重影响铝合金的拉伸性能.
3. 与熔焊件相比, 7A52 铝合金搅拌焊件在 3.5% NaCl 溶液中和 -100 mV 阴极极化条件下, 慢应变速率拉伸实验表现出更好的力学性能. 搅拌摩擦焊件在施加 -100 mV (vs. E_{corr}) 的阴极极化时, 其应力腐蚀倾向自腐蚀电位和其他极化电位都要低, 且此时焊件的断裂强度也与 7A52 铝合金基材的强度相当.

参考文献:

- [1] Kamoutsi H, Haidemenopoulos G N, Bontozoglou V. Corrosion-induced hydrogen embrittlement in aluminum alloy 2024 [J]. Corrosion Science, 2006, 48(5): 1209.
- [2] 张平, 王卫欣, 赵军军. 7A52 铝合金搅拌摩擦焊接头特征分析 [J]. 兵器材料科学与工程, 2004, 27(6): 38.
- [3] 刘继华, 李获, 郭宝兰. LC4 高强铝合金的慢应变速率拉伸实验 [J]. 材料科学与工艺, 2001, 9(1): 37.
- [4] 刘继华, 李获, 朱国伟. 7075 铝合金应力腐蚀敏感性的 SSRT 和电化学测试研究 [J]. 腐蚀与防护, 2005, 26(1): 6.