

时效制度对 7A55 合金微观组织与腐蚀性能的影响

何振波^{1,2}, 闫焱², 钟申², 郑子樵²

(1. 东北轻合金有限责任公司, 哈尔滨 150060;

2. 中南大学 材料科学与工程学院, 长沙 410083)

摘要: 采用透射电镜观察、剥落腐蚀实验以及慢应变速率拉伸实验研究时效处理制度对 7A55 合金预拉伸板材析出相特征、电导率和腐蚀性能的影响。结果表明: 在 T651 峰时效态, 7A55 合金的晶内析出相主要为细小、弥散分布的 GP 区和 η' 相, 晶界析出相呈连续分布, 在 T651 状态合金虽然具有最高强度, 但剥落腐蚀倾向严重, 应力腐蚀敏感性最大; T7351 时效态晶内析出相主要为短棒状的粗大 η 相, 晶界析出物呈粗大、非连续分布, 此时虽然耐腐蚀性能最好, 但强度损失很大; T7651、T7451 时效态晶内既存在与基体半共格的 η' 相, 又存在与基体不共格的 η 相, 晶界析出相比较粗大且析出相之间的间距增大, 呈断续分布, 因此, 在 T7651 和 T7451 状态, 合金强度损失不大, 而耐蚀性得到明显改善。

关键词: 7A55 合金; 双级时效; 微观组织; 剥落腐蚀; 应力腐蚀; 电导率

中图分类号: TG166.3

文献标志码: A

Effect of aging treatments on microstructure and corrosion behavior of 7A55 alloy plate

HE Zhen-bo^{1,2}, YAN Yan², ZHONG Shen², ZHENG Zi-qiao²

(1. Northeast Light Alloy Co., Ltd., Harbin 150060, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The effects of aging treatments on the microstructure, corrosion resistance and electrical conductivity of pre-stretched 7A55 alloy plate were investigated by transmission electron microscopy(TEM) and slow strain rate tension test. The results show that in T651 condition the main precipitates are GP zones and η' phase in the matrix, and the grain boundary precipitates distribute continuously. In T651 condition the strength of 7A55 alloy plate is the highest; however the alloy has a serious tendency to exfoliation corrosion and very high sensitivity to stress corrosion crack. In T7351 condition the coarse rod-like η precipitates are mainly observed in the matrix and the grain boundary precipitates are coarse obviously and distribute sparsely. So, the corrosion resistance is the highest but the strength decreases to the lowest level. In T7651 and T7451 conditions, both η' and η precipitates exist in the matrix, and the coarse and isolate precipitates present in the grain boundaries, which contributes to the improvement of the corrosion resistance and electrical conductivity, while the decrease of tensile strength is small.

Key words: 7A55 alloy plate; double aging; microstructure; exfoliation corrosion; stress corrosion; electrical conductivity

对于广泛用于飞机结构的 7×××系铝合金, 20 世纪 60 年代以前, 常采用单级峰时效(T6)处理以便达到

最高强度, 但采用 T6 处理使合金具有较高的应力腐蚀敏感性^[1]。为解决此问题, 1961 年美国铝业公司开

基金项目: 中国铝业公司科技发展基金资助项目(DHINALCO-2007-KJ-03)

收稿日期: 2010-07-02; 修订日期: 2010-10-19

通信作者: 郑子樵, 教授; 电话: 0731-88830270; E-mail: s-maloy@mail.csu.edu.cn

发了 T73 双级过时效制度,减少了应力腐蚀和剥落腐蚀的敏感性,提高了断裂韧性,但由于晶内强化相粗化,使强度降低 10%~15%。为此,同年又开发了 T76 制度,其过时效程度比 T73 轻,目的是提高材料的抗剥落腐蚀能力。为了兼顾强度和抗应力腐蚀性能,还开发了 T736(后来命名为 T74)时效制度^[2]。这些时效制度已被广泛用于制在飞机机身框架、翼梁、壁板、机翼蒙皮、起落架支撑部件等构件的 7×××系铝合金的热处理中。

7055 合金(国内相似牌号 7A55)是由 Alcoa 公司在 1993 年开发的高性能 Al-Zn-Mg-Cu 铝合金,是当今综合性能最好的新型高强高韧铝合金^[3-4],在 B777 和 A380 等先进民用飞机中获得广泛的应用,如 A380 飞机的机翼上蒙皮由 34 m 长的 7055-T7651 状态的厚板制造^[5]。在我国的大飞机专项研发中,7055 合金也将是国产大飞机选用的主要结构材料。国外已有挤压态 7055 铝合金的 T76511、T74511 热处理工艺报道,但关于 7055 铝合金板材的 T7651、T7451 热处理工艺却未见详细报道。为了促进我国大飞机用材料的国产化,必须对国产 7055(7A55)合金的热处理工艺与组织性能进行系统研究。为此,本文作者以国内生产的工业规格 7A55 铝合金预拉伸板为研究对象,系统研究 7A55 铝合金预拉伸板材的多种双级时效热处理工艺和微观组织与力学性能之间的关系^[6],重点考察时效工艺对 7A55 合金腐蚀性能和微观组织的影响。

1 实验

实验材料为东北轻合金有限责任公司生产的 50 mm 厚的 7A55 铝合金热轧板,板材在辊底式喷淋淬火炉中固溶淬火后进行预拉伸(W51 态),其名义成分如表 1 所列。在前期研究中^[6],通过正交实验确定的 T651、T7651、T7451、T7351 时效制度分别是(121 ℃, 24 h), (121 ℃, 5 h)+(170 ℃, 6 h), (121 ℃, 5 h)+(160 ℃, 14 h), (121 ℃, 5 h)+(177 ℃, 8 h)。

拉伸试棒沿板材轧向取样,标距尺寸为 $d6\text{ mm}\times$

表 1 7A55 铝合金的名义成分

Table 1 Nominal composition of aluminum alloy 7A55 (mass fraction, %)

Zn	Mg	Cu	Cr	Zr
7.6~8.4	1.8~2.3	2.0~2.6	≤0.04	0.05~0.25
Fe	Si	Mn	Ti	Al
≤0.1	≤0.1	≤0.05	≤0.06	Bal.

30 mm, 拉伸实验在 CSS-44100 电子试验机上进行。电导率测量采用 D60K 数字金属电导率测量仪,试样尺寸为 20 mm×20 mm×25mm,每个样品测试 3 次取平均值。采用 TecnaiG²20 透射电镜进行微观组织观察,加速电压为 200 kV。按 ASTM G34-01 标准进行剥落腐蚀实验^[7],剥落腐蚀试样尺寸为 3 mm×3 mm,在 (25±3)℃的 4.0 mol/L NaCl、0.5 mol/L KNO₃、0.1 mol/L HNO₃ 混合溶液中浸泡 24 h 后取出用滤纸吸干,拍摄表面形貌并评级。采用光滑试样的慢应变速率拉伸 (Slow strain rate tension, SSRT)试验评定 SCC 敏感性,拉伸应变速率为 $2\times10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 。

2 实验结果

2.1 合金的拉伸性能与电导率

表 2 所列 7A55 合金在 T651、T7651、T7451 和 T7351 处理条件下的拉伸性能和电导率数据。对比表中的数据可以看出:在 T651 时效态,7A55 合金强度很高,电导率最低;在 T7351 时效时,合金电导率最高,强度最低;T7651、T7451 时效的电导率和强度介于 T651 和 T7351 之间,从 T651 到 T7351 状态随着过时效程度加深,合金强度依次降低,而电导率依次升高。

表 2 7A55 合金不同热处理制度处理后的拉伸强度与电导率

Table 2 Tensile strength and electrical conductivity of 7A55 alloy after various aging treatments

Aging treatment	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	Conductivity (IACS)/%
T651(121 ℃, 24 h)	679.1	611.4	13.7	27.3
T7651((121 ℃, 5 h)+(170 ℃, 6 h))	663.2	636.7	12.5	37.7
T7451((121 ℃, 5 h)+(160 ℃, 14 h))	645.6	600.2	12.2	39.1
T7351((121 ℃, 5 h)+(177 ℃, 8 h))	550.8	474.3	10.6	42.1