

固溶时间对 7050 铝合金组织和性能的影响

张福全[†],王祥,袁武华,杨重

(湖南大学 材料科学与工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:采用金相组织观察(OM)、常温拉伸试验以及扫描电镜(SEM)等研究了固溶保温时间对 7050 铝合金固溶程度、微观组织及力学性能的影响.结果表明:随着固溶时间的增加,合金组织的回复再结晶程度增大,变形晶粒转变为等轴晶粒.7050 铝合金中的难溶相 Al_7Cu_2Fe 和 Al_2CuMg 随着固溶时间的延长仍然难以溶解;7050 铝合金较理想固溶处理制度为 477 °C 固溶 1 h, 经过 121 °C 时效 24 h 后合金的力学性能最佳, $R_m = 605$ MPa、 $R_{p0.2} = 547$ MPa、 $A = 12.8\%$.

关键词:7050 铝合金;固溶时间;微观组织;力学性能

中图分类号: TG146.2

文献标志码: A

Effects of Solution Time on Microstructures and Properties of 7050 Aluminum Alloy

ZHANG Fuquan[†], WANG Xiang, YUAN Wuhua, YANG Chong

(College of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The effect of solution time on the solid solution degree, microstructure and mechanical properties of 7050 aluminum alloy was studied by optical microscopy (OM), tensile test at room temperature and scanning electron microscopy (SEM). The results show that, with the increase of solution time, the degree of recovery and recrystallization increases and the deformation grains change into equiaxed grains. The insoluble phases of Al_7Cu_2Fe and Al_2CuMg in 7050 aluminum alloy are still difficult to dissolve with the prolongation of the solution time. The optimum solution process of 7050 aluminum alloy is solution at 477 °C for 1 h. After aging at 121 °C for 24 h, the best mechanical properties are measured, in which the tensile strength is 605 MPa, yield strength is 547 MPa, and elongation is 12.8%.

Key words: 7050 aluminum alloy; solution time; microstructure; mechanical properties

Al-Zn-Mg-Cu (7xxx 系) 铝合金具有高的比强度、韧性、良好的抗剥落腐蚀和应力腐蚀开裂性能,

其优良的物理和机械综合性能使其成为汽车和航空航天工业中的理想材料^[1-5]. 7050 高强铝合金已经

* 收稿日期: 2018-04-25

基金项目: 湖南省战略性新兴产业科技攻关项目(湘财企指(2015)96号), Hunan Strategic Emerging Industry Science and Technology Attack Project(Hunan Financial Enterprise(2015)NO.96)

作者简介: 张福全(1962—), 男, 湖北大冶人, 湖南大学教授, 博士

[†] 通讯联系人, E-mail: zhangfq@hnu.edu.cn

广泛应用于航空航天、兵器以及交通运输等行业中,其厚板大量用于制造 A6 及 F/A18 等军机的厚大结构件,是飞机制造业中重要的结构材料之一^[3-6]。

7050 铝合金是典型的时效强化合金,对其进行固溶和时效热处理是提高该合金力学性能的主要手段^[7-8]。固溶处理是高强铝合金热处理的第一步,也是提高其性能非常重要的一道工序,其目的主要是使合金元素能全部或者最大限度溶入固溶体中,以期在淬火后得到过饱和固溶体^[8-10]。固溶处理将通过影响合金晶粒的尺寸和形态、第二相的数量和大小以及强化元素的固溶程度,对后续淬火及时效行为产生较大影响并影响合金最终的强度、韧性、抗应力腐蚀性能等^[11]。固溶处理的时间过短,合金元素将无法充分溶入基体中,而时间过长会使合金的再结晶程度增加,晶粒长大、粗化,对合金性能不利。为了保证强化相尽可能地溶入基体同时又不引起晶粒长大,所以选择合适的固溶时间是非常必要的^[12-13]。为此,本文研究固溶时间对 7050 铝合金显微组织和性能的影响,为 7050 铝合金热处理工艺的进一步优化提供理论和实验依据。

1 实验材料及方法

实验材料取自第二重型机械集团有限公司提供的 7050 铝合金热轧厚板,其主要化学成分如表 1 所示。首先对 7050 铝合金取样进行 DSC 分析,确定合适的固溶温度。将试样在箱式电阻炉中进行固溶处理,固溶温度为 477 °C,保温时间分别为 1 h、2 h、4 h、6 h。

固溶处理后水淬,水温 40 °C,再进行 121 °C × 24 h 人工时效处理。淬火转移时间 ≤ 5 s,时效处理在电热鼓风机干燥箱中进行。

按照 GB/T 228—2002 标准制备拉伸试样,尺寸为 $\phi 6 \times 80$ mm,拉伸试验在美国 Instron 3369 力学试验机上进行,拉伸速度为 2 mm/min,每组热处理工艺条件下分别取 3 个拉伸试样进行测试,试验结果取其平均值。

表 1 7050 铝合金的主要化学成分

Tab.1 Chemical compositions of 7050 aluminum alloy %								
w_{Zn}	w_{Mg}	w_{Cu}	w_{Zr}	w_{Si}	w_{Fe}	w_{Ti}	w_{Mn}	w_{Al}
6.41	2.13	2.32	0.080	0.052	0.037	0.018	0.002	Bal

利用光学显微镜(OM)观察淬火态合金显微组织,金相样品的制备过程为:试样机械磨平抛光后用 Keller 试剂进行腐蚀,其成分为:1 mL HF+1.5 mL HCl+2.5 mL HNO₃,其腐蚀时间为 15 s。

采用 FEI Quanta 200 型环境扫描电子显微镜(SEM)观察淬火态合金未溶相的大小及分布,对第二相进行能谱分析,并用 ImageJ 软件统计第二相数目、平均尺寸和面积分数。

2 实验结果与讨论

2.1 7050 铝合金固溶温度的确定

对未经处理的 7050 铝合金试样进行 DSC 差热分析,升温速率为 10 K/min,测试结果如图 1 所示。从图中可见合金在 490.5 °C 处出现吸热峰,说明合金在此温度下开始发生过烧现象。一般而言,固溶温度应该低于合金过烧温度 10~20 °C。参考相关文献资料和 DSC 分析结果选定固溶温度为 477 °C。

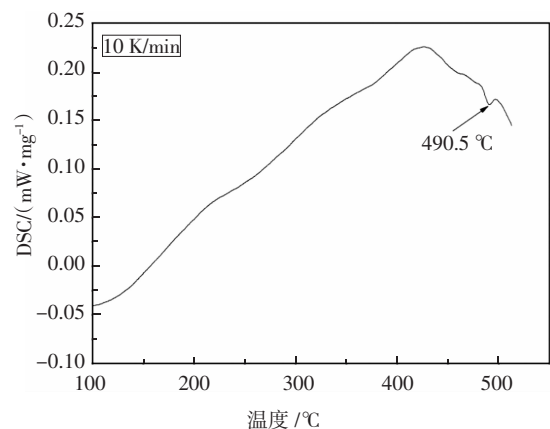


图 1 7050 铝合金 DSC 曲线

Fig.1 DSC curves of 7050 aluminum alloy

2.2 力学性能测试

经不同时间固溶处理后再经 121 °C 时效 24 h 后进行常温拉伸试验,图 2 所示为不同固溶时间对应的拉伸性能。由图 2 可知,当固溶时间由 1 h 延长至 6 h 时,时效合金的抗拉强度和屈服强度明显降低,分别降低了 5.9% 和 8.0%,伸长率也明显下降,由 12.8% 降低至 7.1%。在 477 °C 固溶 1 h 时,时效合金的力学性能最佳, $R_m = 605$ MPa, $R_{p0.2} = 547$ MPa, $A = 12.8\%$ 。

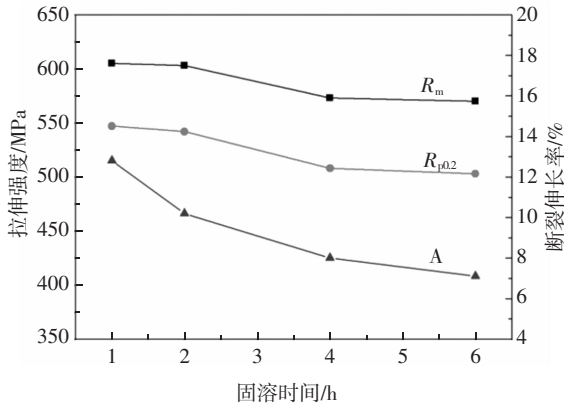


图 2 固溶时间对 7050 铝合金力学性能的影响
Fig.2 The effects of solution time on mechanical properties of 7050 aluminum alloy

2.3 金相组织观察

图 3 中(a)图为合金原始态金相组织,从图中可以看出合金再结晶程度比较低;(b)~(e)图为不同固溶时间下合金的金相组织,从图中可以发现,随着固溶时间的增加,基体中粗大未溶相减少,组织的回复再结晶程度增大,变形晶粒转变为等轴晶粒。

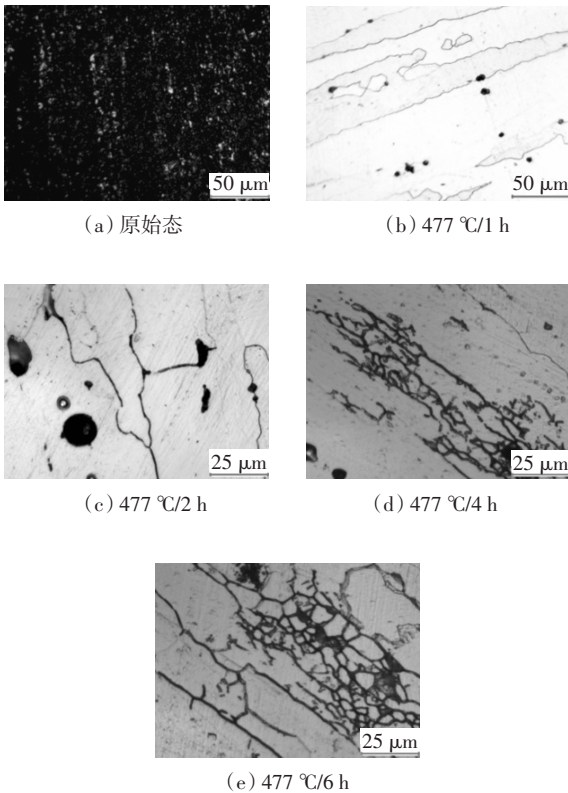
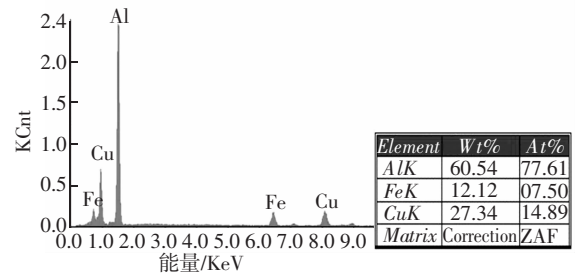
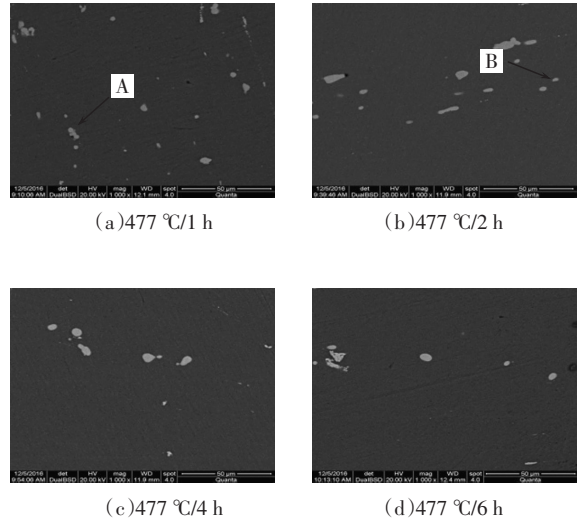


图 3 固溶温度 477 °C 经不同固溶时间处理后 7050 铝合金显微组织照片(OM)

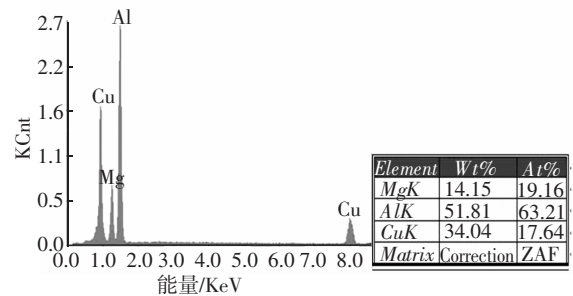
Fig.3 Optical micrograph of 7050 aluminum alloy treated with solid solution temperature at 477 °C for different solution time

2.4 扫描电镜观察分析

图 4 为固溶温度 477 °C 时,不同时间固溶处理后 7050 合金的 SEM 结果.从图中可以看出,随着固溶时间的延长,未溶相粒子虽然有一定程度的减少,但是仍然有难溶相存在,能谱分析结果表明,7050 铝合金中的难溶相主要是 Al_7Cu_2Fe 和 Al_2CuMg .



(1)A 点未溶相能谱分析结果



(2)B 点未溶相能谱分析结果

图 4 不同时间固溶处理后 7050 合金的 SEM 结果

Fig.4 SEM micrographs of 7050 aluminum alloy at different solution time

采用 ImageJ 软件对 SEM 图片中第二相数目、平均尺寸和面积分数进行统计,结果见表 2。

表2 第二相数目、平均尺寸和面积分数统计结果

Tab.2 The number, average size and area fraction of second phase

固溶时间/h	数目	平均尺寸/ μm	面积分数/%
1	67	34.034	1.8
2	59	23.736	1.7
3	54	19.540	1.4
4	51	16.439	1.2

从表2可知,随着固溶时间的延长,第二相的数目有一定量的减少,其平均尺寸从34.034 μm 减少到16.439 μm ,其面积分数从1.8%减少到1.2%。

3 结论

1)随着固溶时间的延长,基体中粗大未溶相颗粒数量减少,组织的回复再结晶程度增大,变形晶粒转变为等轴晶粒。

2)7050铝合金中的难溶相主要是 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 和 Al_2CuMg ,随着固溶时间的延长,第二相的数目有一定量的减少,平均尺寸由34.034 μm 减小到16.439 μm ,其所占的面积分数由1.8%减少到1.2%。

3)在本实验条件下,7050铝合金较理想的固溶处理制度为477 $^\circ\text{C} \times 1\text{h}$ 时,经过时效处理后合金的力学性能最佳: $R_m = 605\text{MPa}$ 、 $R_{p0.2} = 547\text{MPa}$ 、 $A = 12.8\%$ 。

参考文献

- [1] 李培跃,熊柏青,张永安,等. 7050 铝合金淬火特性与微观组织[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(3): 513—521.
LI P Y, XIONG B Q, ZHANG Y A, *et al.* Hardenability characteristic and microstructure of 7050 Al alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2011, 21(3): 513—521. (In Chinese)
- [2] HEINZA A, HASZLERA A, KEIDELA C, *et al.* Recent development in aluminium alloys for aerospace applications [J]. Materials Science and Engineering A, 2000, 280(1): 102—107.
- [3] 宁爱林, 曾苏民. 时效制度对 7B04 铝合金组织和性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(6): 922—927.
NING A L, ZENG S M. Effects of ageing system on microstructure and mechanical properties of 7B04 aluminum alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2004, 14 (6): 922—927. (In Chinese)
- [4] WANG T, YIN Z M, SUN Q. Effect of homogenization treatment on microstructure and hot workability of high strength 7B04 aluminium alloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(2): 335—339.
- [5] LIU S D, ZHONG Q M, ZHANG Y, *et al.* Investigation of quench sensitivity of high strength Al-Zn-Mg-Cu alloys by time-temperature-properties diagrams [J]. Materials and Design, 2010, 31: 3116—3120.
- [6] WARNER T. Recently-developed aluminum solutions for aerospace applications [J]. Materials Science Forum, 2006, 519/521(2): 1271—1278.
- [7] 田福泉, 崔建忠. 双级时效对 7050 铝合金组织和性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(6): 958—963.
TIAN F Q, CUI J Z. Effect of duplex aging on microstructure and properties of 7050 aluminium alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2006, 16(6): 958—963. (In Chinese)
- [8] 李慎兰, 黄昌龙, 黄志其, 等. 固溶处理工艺对 7003 铝合金组织和性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2015, 36(2): 42—48.
LI S L, HUANG C L, HUANG Z Q, *et al.* Effect of solution treatment on microstructure and properties of 7003 aluminum alloy [J]. Transaction of Materials and Heat Treatment, 2015, 36(2): 42—48. (In Chinese)
- [9] DUMONT D, DESCHAMPS A, BRECHET Y. On the relationship between microstructure, strength and toughness in AA7050 aluminum alloy [J]. Materials Science and Engineering A, 2003, 356(1/2): 326—336.
- [10] 马冬威, 王敏, 胡志华. 固溶处理对 7A09 铝合金组织和力学性能的影响 [J]. 金属热处理, 2014, 39(1): 38—41.
MA D W, WANG M, HU Z H. Effects of solid solution treatment on microstructure and mechanical properties of 7A09 aluminum alloy [J]. Heat Treatment of Metals, 2014, 39(1): 38—41. (In Chinese)
- [11] 刘胜胆, 张新明, 黄振宝, 等. 固溶处理对高纯 7055 铝合金组织的影响 [J]. 材料热处理学报, 2006, 27(3): 54—59.
LIU S D, ZHANG X M, HUANG Z B, *et al.* Effect of solution heat treatment on microstructure in a high-purity 7055 aluminum alloy [J]. Transaction of Materials and Heat Treatment, 2006, 27(3): 54—59. (In Chinese)
- [12] 李杰, 宋仁国, 陈小明, 等. 固溶处理对 7050 高强铝合金显微组织和机械性能的影响 [J]. 稀有金属, 2009, 33(4): 494—499.
LI J, SONG R G, CHEN X M, *et al.* Effects of solid solution treatment on microstructure and mechanical properties of 7050 high strength aluminum alloy [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2009, 33(4): 494—499. (In Chinese)
- [13] 沈君. 固溶处理对 7050 铝合金厚板组织和性能的影响 [J]. 金属热处理, 2012, 37(9): 119—122.
SHEN J. Effects of solution treatment on microstructure and properties of 7050 aluminum alloy thick plate [J]. Heat Treatment of Metals, 2012, 37(9): 119—122. (In Chinese)