

文章编号:1673-9981(2011)03-0190-04

新型 Al-Zn-Mg-Cu 合金型材 双级时效组织性能研究*

王少华, 孟令刚, 房灿峰, 郝海, 张兴国

大连理工大学材料科学与工程学院, 辽宁 大连 116024

摘 要:通过拉伸性能测试及金相显微镜、扫描电镜和透射电镜分析,研究了一种新型 Al-Zn-Mg-Cu 合金挤压型材在 120 °C/4h+165 °C/8h 制度下的拉伸性能、电导率和显微组织等。结果显示:Al-Zn-Mg-Cu 合金型材在此状态下的抗拉强度为 548 MPa,屈服强度为 514.5 MPa,延伸率为 11.6%,电导率为 41.7%IACS。相对于 T73 状态的 7050 合金型材,Al-Zn-Mg-Cu 合金的抗拉强度提高了 4.7%,屈服强度提高了 11.6%,延伸率提高了 12.6%,电导率相当。该合金的断裂方式为穿晶剪切断裂,主要沉淀相为 η' 相和 η 相。该合金型材具有优异的强韧综合性能。

关键词:Al-Zn-Mg-Cu 合金;型材;双级时效;显微组织;性能

中图分类号: TG 146.2

文献标识码: A

Al-Zn-Mg-Cu 系铝合金,因其具有高强度、低密度和良好的加工性能等优点,较好地满足了飞机低成本和轻量化的要求^[1-4]。随着航空事业的快速发展,对铝合金性能的要求不断提高,如:材料应具备良好的强韧匹配和抗应力腐蚀性能。合金成分和热处理制度的优化一直是各国学者研究的重点^[5-6]。双级时效处理包括低温预时效和高温终时效两个阶段,通过调整合金晶内和晶界沉淀相尺寸、种类和分布,在强度降低不多的条件下可获得良好的韧性和抗应力腐蚀性能^[7]。

本文研究的 Al-Zn-Mg-Cu 合金已经成功应用于飞机主梁、肋等整体结构件,产品有 T7651 厚板和 T7452 模锻件,但关于该合金挤压型材的研究却未见报道。本研究成功制备了该合金的挤压型材,并测试了其双级时效状态下的拉伸性能和电导率。与 7050 合金型材相比,该合金具有优异的综合性能,为该合金型材的推广应用奠定了基础。

1 试验材料与方法

试验用 Al-Zn-Mg-Cu 合金型材的规格如图 1 所示,合金的化学成分列于表 1。

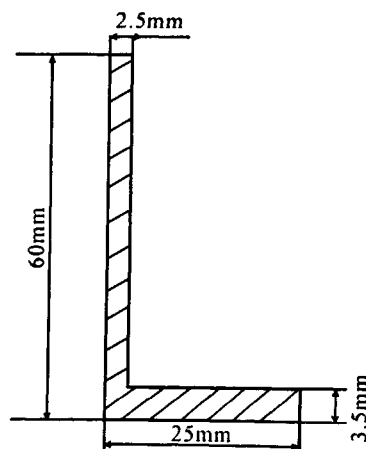


图 1 Al-Zn-Mg-Cu 合金型材的规格

Fig. 1 The specification of Al-Zn-Mg-Cu alloy profile

收稿日期:2010-11-04

* 基金项目:国家自然科学基金(50875031);华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室开放课题(08-07)

作者简介:王少华(1983—),男,山东潍坊人,博士研究生。

表 1 Al-Zn-Mg-Cu 合金型材的化学成分							
Table 1 Chemical composition of Al-Zn-Mg-Cu alloy profile							
元素	Zn	Mg	Cu	Zr	Si	Fe	Al
含量 w/%	7.55	1.68	1.53	0.11	0.014	0.012	Bal.

Al-Zn-Mg-Cu 合金型材经 470℃/2h 固溶、室温水淬后,进行双级时效处理. 根据经验和文献资料,选取一级时效制度为 120℃/4h,二级时效制度为 165℃/8h. 通过硬度法绘制试验合金型材在 165℃的二级时效曲线,并依据电导率的数值选择适宜的时效时间,测试合金在双级时效(T73)状态下的力学拉伸性能,并与相同时效状态下的 7050 合金型材的性能进行对比.

分别沿 L 向截取拉伸试样,在 WDW-100kN 试验机上进行拉伸试验,用 HB-3000B-I 布氏硬度计测量硬度. 在 SIGMASCOPE SMP10 型电导仪上进行电导率测试. 采用莱卡 MEFS 型多功能金相显微镜观察显微组织. 在岛津 JSM-M5600LN 型扫描电镜(SEM)上观察拉伸断口形貌. 在 JEM-2010 型透射电镜上观察合金的微结构,加速电压为 200 kV.

2 试验结果与分析

2.1 显微组织

图 2 为 Al-Zn-Mg-Cu 合金型材固溶处理后 L 向的显微组织照片. 图 2 显示,经固溶处理后,合金晶粒组织未发现明显的再结晶,大部分晶粒仍保持着拉长的纤维状晶粒组织,组织内存在少量未溶的第二相粒子.

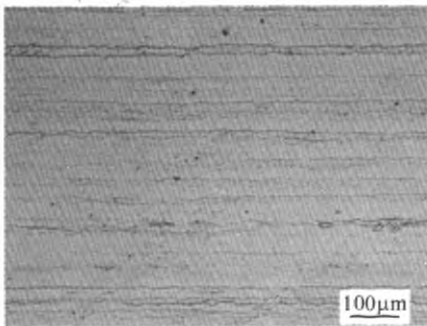


图 2 Al-Zn-Mg-Cu 合金型材的显微组织照片
Fig.2 The optical micrograph of Al-Zn-Mg-Cu alloy profile

2.2 时效曲线

合金型材经过一级时效 120℃/4h 后,二级时效温度为 165℃的时效曲线如图 3 所示. 由图 3 可知,合金的硬度随时效时间的延长先增大后减小,大约在 2 h 的时候达到峰值;合金的电导率则随着时效时间的延长单调递增,大约在 5 h 之后,电导率的数值大于 40%IACS. 因为本文主要研究该合金型材双级时效(T73)状态下的性能,所以选取电导率为 40%~42% IACS. 图 3 显示,二级时效时间取 6~8 h 可满足要求,而且这个时间段内合金的硬度下降不多. 因此,综合考虑合金的硬度和电导率,选取 120℃/4h+165℃/8h 为试验合金理想的 T73 制度.

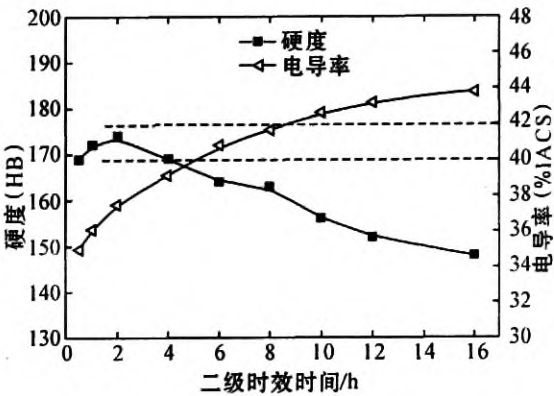


图 3 合金在二级时效温度为 165℃的时效曲线
Fig. 3 Aging curves of the alloy profile during the duplex aging temperature of 165℃

2.3 力学拉伸性能

Al-Zn-Mg-Cu 合金型材在 120℃/4h+165℃/8h 时效后的力学拉伸性能列于表 2. 由表 2 可知, Al-Zn-Mg-Cu 合金在电导率满足要求的同时,具备了较高的强度和较好的韧性. 在电导率相当的情况下, Al-Zn-Mg-Cu 合金的强度和延伸率均优于 7050 合金,其中抗拉强度提高了 4.7%,屈服强度提高了 11.6%,延伸率提高了 12.6%. 因此, Al-Zn-Mg-Cu 合金型材在 T73 状态下,不但具有较优的强韧匹配,而且具有优异的耐腐蚀性能(电导率表征).

表 2 Al-Zn-Mg-Cu 和 7050 合金型材 T73 状态下的力学性能
Table 2 Mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu and 7050 alloy profile at T73 temper

合金	时效制度	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_{10} /%	γ / % IACS
Al-Zn-Mg-Cu 合金型材	120℃/4h+165℃/8h (T73)	548	514.5	11.6	41.7
7050 合金型材	T73	523.5	461	10.3	41.5

2.4 TEM 组织

图 4 为 Al-Zn-Mg-Cu 合金经过 120℃/4h + 165℃/8h 双级时效后的 TEM 照片,晶内和晶界处的明场相均是在<001>_{Al}带轴下得到的.图 4 显示,合金晶内存在着棒状和圆形两种形态的沉淀相,而且主要以圆形的沉淀相为主,尺寸多集中在 10~20 nm(图 4(a)).晶界沉淀相粗化严重,呈圆形且沿着晶界断续分布.晶界附近存在明显的晶界无析出带(PFZ),过时效现象明显(图 4(b)).<001>_{Al}带

轴下的衍射斑点花样如图 4(c)所示,<001>_{Al}带轴下可以清晰地发现在 1/3{220}、2/3{220}位置出现了 η' (η)相的衍射花样,晶内沉淀相主要为与基体半共格的 η' 相和非共格的 η 相,并且 η 相数量居多^[8],说明此时合金的强度已经处于下降的阶段.另外,在<001>_{Al}带轴下有斑点占据了{110}和{010}的位置,经分析可知为 Al₃Zr 相的衍射斑点^[9],Al₃Zr 相是在铸锭均匀化过程中析出的弥散相.

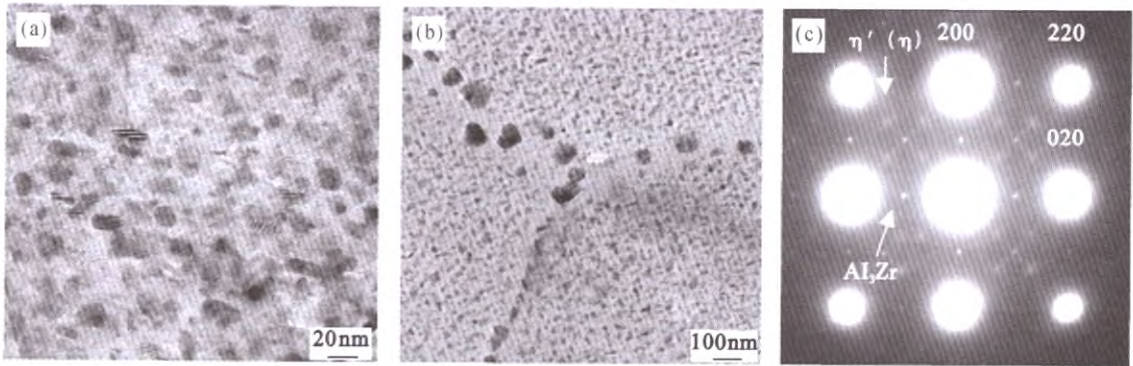


图 4 合金在 120℃/4h+165℃/8h 时效的 TEM 照片和选区电子衍射花样
(a) 晶内; (b) 晶界; (c) <001>_{Al} SADP
Fig. 4 TEM images and SADP of alloy after aging of 120℃/4h+165℃/8h
(a) matrix; (b) grain boundary; (c) <001>_{Al} SADP

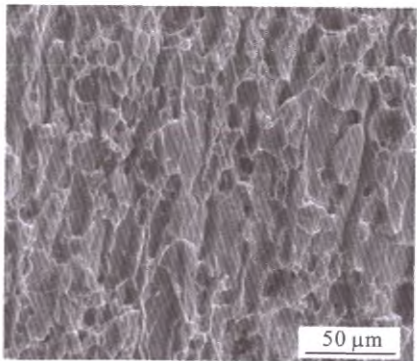


图 5 合金在 120℃/4h + 165℃/8h 时效后拉伸断口的 SEM 形貌
Fig. 5 SEM images of tensile fracture of alloy after aging of 120℃/4h+165℃/8h

2.5 拉伸断口

图 5 为 Al-Zn-Mg-Cu 合金在 120℃/4h + 165℃/8h 双级时效后的拉伸断口形貌图.图 5 显示,试样断口内存在着大量的沿着纵向的长条型剪切带和少量分散的较浅的韧窝.这主要是因为合金固溶时效后存在着少量的第二相粒子,而合金在断裂过程中主要是穿晶的剪切断裂机制,合金的晶粒形状呈沿着挤压方向的纤维状组织,所以合金断口的主要特征是长条的剪切带和少量较浅的韧窝.

3 结 论

Al-Zn-Mg-Cu 合金挤压型材在 120℃/4h +

165℃/8h 制度下的抗拉强度为 548 MPa,屈服强度为 514.5 MPa,延伸率为 11.6%,电导率为 41.7% IACS. 相对于 T73 状态的 7050 合金型材,试验合金的抗拉强度提高了 4.7%,屈服强度提高了 11.6%,延伸率提高了 12.6%,电导率相当. Al-Zn-Mg-Cu 合金的断裂方式为穿晶剪切断裂,主要强化相以 η' 相和 η 相为主. 该合金型材具有优异的强韧综合性能.

参考文献:

- [1] NAKAI M. New aspects of development of high strength aluminum alloys for aerospace applications[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2000, A285(1): 62-68.
- [2] 李成功,巫世杰,戴圣龙,等. 先进铝合金在航空航天工业中的应用与发展[J]. *中国有色金属学报*, 2002, 12(1): 14-21.
- [3] CHEN J Z, ZHEN L, FAN L W, et al. Portevin-Le chatelier effect in Al-Zn-Mg-Cu-Zr aluminum alloy [J]. *Transactions of the Nonferrous Metals Society of China*, 2009, 19: 1071-1075.
- [4] CHEN J Z, ZHEN L, YANG S J, et al. Investigation of precipitation behavior and related hardening in AA 7055 aluminum alloy[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2009(500): 34-42.
- [5] LI Z H, XIONG B Q, ZHANG Y A, et al. Effects of the two-step ageing treatment on the microstructure and properties of 7B04 alloy pre-stretched thick plates[J]. *Rare Metals*, 2007, 26(3): 193-199.
- [6] LI Z H, XIONG B Q, ZHANG Y A, et al. Investigation of microstructural evolution and mechanical properties during two-step ageing treatment at 115℃ and 160℃ in an Al-Zn-Mg-Cu alloy pre-stretched thick plate[J]. *Materials Characterization*, 2008, 59: 278-282.
- [7] WANG S H, ZHANG X G, YANG S J, et al. Microstructure and mechanical properties of forged Al-7.1Zn-1.1Mg-1.6Cu-0.14Zr alloy after two-step ageing treatment at 120℃ and 170℃ [J]. *Rare Metals*, 2010, 29(4): 433-437.
- [8] STILLER K, WARREN P J, HANSEN V, et al. Investigation of precipitation in an Al-Zn-Mg alloy after two-step ageing treatment at 100℃ and 150℃ [J]. *Materials Science and Engineering A*, 1999, 270(1): 55-63.
- [9] SHA G, CEREZO A. Early-stage precipitation in Al-Zn-Mg-Cu alloy (7050) [J]. *Acta Materialia*, 2004, 52(15): 4503-4516.

Investigation on microstructure and properties of a new type Al-Zn-Mg-Cu alloy profile after duplex aging treatment

WANG Shaohua, MENG Linggang, FANG Canfeng, HAO Hai, ZHANG Xingguo

School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

Abstract: In this paper, the tensile properties, electrical conductivity and microstructure of a new type Al-Zn-Mg-Cu alloy profile after aging for 4h at 120℃ plus 8h at 165℃ were tested by tensile testing, optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM). The results show that the ultimate tensile strength, yield strength, elongation and electrical conductivity are 548MPa, 514.5MPa, 11.6% and 41.7%IACS, respectively. Compared to 7050 alloy profile of T73 temper, the ultimate tensile strength, yield strength and elongation of the alloy increase by 4.7%, 11.6%, and 12.6%, while the electrical conductivity is equivalent. The fracture mode of the alloy is transgranular shearing fracture, and the major precipitates in the alloy are η' and η phases under the aging condition. The alloy profile can obtain good strength and suitable toughness.

Key words: Al-Zn-Mg-Cu alloy; profile; duplex aging; microstructure; properties