

[文章编号] 1004- 0609(2002) S1- 0192- 04

添加微量铍对工业 7475 铝合金时效硬化及析出相与基体位向关系的影响^①

李 尧¹, 夏 露²

(1. 江汉大学 机电工程学院, 武汉 430019; 2. 湖北工学院 机械工程系, 武汉 430068)

[摘 要] 采用不同的淬火时效工艺研究了不同的 Be 含量对 7475 铝合金的硬度以及析出相与基体位向关系的影响。实验结果表明: 加入 0. 023% Be 能有效提高 7475 铝合金的硬度, 硬度值最高可达 HB140, 无铍的合金其硬度值最高不到 HB120, 含 0. 7% Be 合金的硬度值处于上述两者之间。同时添加铍会加快 7475 铝合金的时效硬化进程。电子衍射分析表明: 含 Be 的合金中, η' 相与基体的位向关系为 $(\bar{1}\bar{1}20)_{\eta'} \parallel (42\bar{2})_{Al}$, β 相与基体的位向关系为 $(200)_{\beta} \parallel (2\bar{4}2)_{Al}$; 而不含 Be 的铝合金中 β 相与基体的位向关系为 $(11\bar{1})_{\beta} \parallel (6\bar{2}0)_{Al}$ 。

[关键词] 铍; 7475 铝合金; 时效

[中图分类号] TG 146. 2

[文献标识码] A

7475 铝合金主要用于航空、航天飞行器的结构件。有些学者利用热处理(包括时效硬化)细化 7475 铝合金晶粒以达到提高其强度的目的^[1~4], 也有学者通过向 7475 铝合金中加入 Mn, Cr, Zr, Li 等元素或调整 Zn 和 Mg 含量研究微量合金元素对 7475 铝合金组织及性能的影响^[5~9], 但是关于 Be 对 7475 铝合金的时效行为及其性能的影响还未见报道。在高强铝合金的实际生产中时效硬化被广泛利用来提高铝合金的强度^[10, 11]。作者在工业生产使用的 7475 铝合金中加入一定量的 Be 元素, 通过采用不同时效工艺来研究 Be 对 7475 铝合金时效行为和析出相与基体位向关系的影响。

1 实验

实验材料为西南铝加工厂提供的 6. 0 mm 厚不同金属铍含量的 3 种 7475 铝合金热轧板坯, 其成分如表 1 所示。

将热轧板坯在 623 K 进行 1 h 退火处理, 水冷后冷轧至 1. 5 mm, 冷轧后迅速进行人工时效。

硬度测量在 HDI-1875 型布洛维氏硬度计上进行, 选用 2. 5 mm 钢球, 312 N 载荷。金相组织观察用日本产 OLYMPUS-PMG3 金相显微镜; 用于透射电镜观察的试样先进行电解双喷减薄, 然后在日

表 1 实验材料的成分

Table 1 Compositions of experimental materials (mass fraction, %)

Alloy	Zn	Mg	Cu	Be	Si
A	5. 45	2. 47	1. 52		0. 04
B	5. 45	2. 47	1. 52	0. 023	0. 04
C	5. 45	2. 14	1. 51	0. 7	0. 05

Alloy	Fe	Mn	Ti	Al
A	0. 05	< 0. 06	< 0. 06	Bal.
B	0. 05	< 0. 06	< 0. 06	Bal.
C	0. 07	< 0. 06	< 0. 06	Bal.

本产 JEM-100CXH 电子显微镜下进行观察。衍射花样标定用自编软件程序完成。

2 结果与讨论

图 1 所示是 3 种实验材料分别在 753 K 和 783 K 固溶处理 1 h, 并在 393 K 时效的硬化曲线。由图可见, 加入了微量 Be(0. 023%) 有助于 7475 铝合金材料硬度的提高, 其峰值可达到 HB140; 但当 Be 的加入量为 0. 7% 时, 对合金表面硬度影响较小, 这主要因为过量的铍与基体形成金属化合物所致; 没有加 Be 的 7475 铝合金材料的硬度值最低, 最高值仅为 HB120。同时可见, 加入微量 Be 后, 只需

① [基金项目] 湖北省自然科学基金资助项目(98J503) [收稿日期] 2001- 11- 16; [修订日期] 2001- 02- 04
[作者简介] 李 尧(1957-), 男, 教授, 博士。

12 h 合金的硬度就可接近峰值, 随时效时间延长, 直到 24 h, 合金的硬度值几乎不变。这说明微量 Be 加入 7475 合金中可以有效地加快其时效硬化进程, 另外, 加入 Be 有助于合金中 η 相的稳定, 使合金

保持高的硬度值。

众所周知, 超硬铝合金主要靠弥散细小析出相进行强化, 因此淬火+人工时效制度是通过析出相密度及组成的控制来调整铝合金的强度^[12]。一般来说, 在一定的范围内, 基体中析出相体积分数越大, 尺寸越小, 析出相的数目越多, 合金的强度越高。7475 铝合金在淬火和人工时效状态下起主要强化作用的是 η (MgZn_2) 相和 T ($\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$) 相。由实验结果及电镜分析表明: 添加微量的 Be 能增加析出相数目, 减小析出相尺寸, 使时效硬化进程加快。这可能由于铍是密排六方结构, 它在铝中的溶解度很小, 即使在 918 K 时的固溶度也只有 0.06%^[4], 从而加速 7475 铝合金中 η 相的析出, 使时效硬化进程加快。图 2 所示为无铍 7475 铝合金在 753 K 淬火并在 393 K 时效 2 h 的 TEM 照片; 图 3 所示是含 Be 量为 0.023% 的 7475 铝合金在 753 K 淬火并在 393 K 时效 2 h 的 TEM 照片。由图 2 与图 3 分析比较并标定可知, 加 Be 后进行人工时效, 不到 2 h 就有 η 相析出, η 相与基体呈半共格关系, 而没有加入 Be 的合金时效 2 h 后很难见到 η 相。通过衍射花样标定(见图 3(a))可知, η 相是沿基体 $(42\bar{2})_{\text{Al}}$ 析出, 其位向关系为 $(1\bar{1}20)_{\eta} \parallel (42\bar{2})_{\text{Al}}$, 同时还有 β 相析出, 它则是沿 Al 基体 $(2\bar{4}2)_{\text{Al}}$ 析出, 且其位向关系为 $(200)_{\beta} \parallel (2\bar{4}2)_{\text{Al}}$ 。Be 加入量过大时, Be 与 Al 形成化合物, η 相析出减弱; 对于没有加 Be 的 7475 铝合金而言, 也存在着 β 相, 但它的析出是沿基体 $(6\bar{2}0)_{\text{Al}}$ 析出, 其位向关系发生变化, 即 $(11\bar{1})_{\beta} \parallel (6\bar{2}0)_{\text{Al}}$ 。

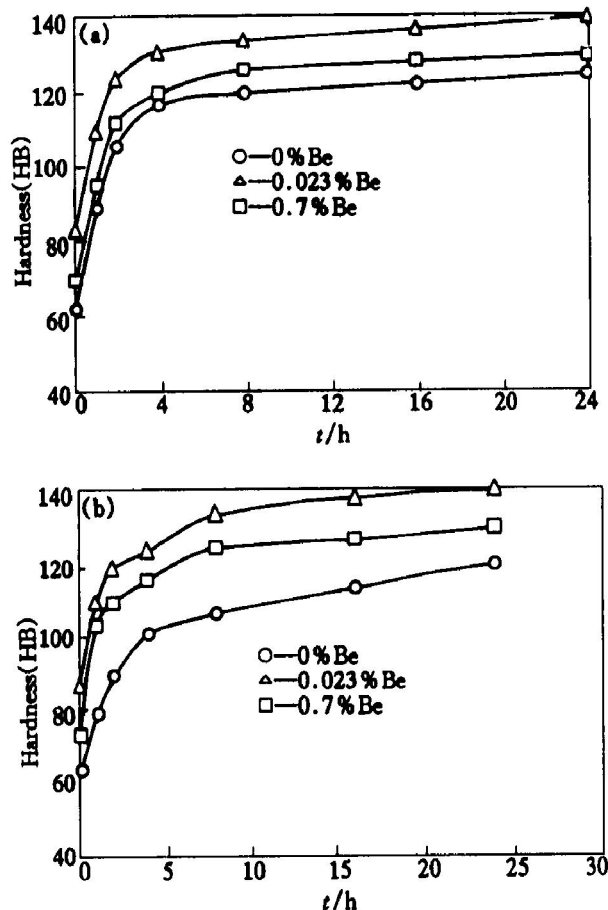


图1 7475 铝合金的时效硬化曲线

Fig. 1 Ageing hardening curves of 7475 aluminum alloy

(a) $-480\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 h + $120\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $-510\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 h + $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

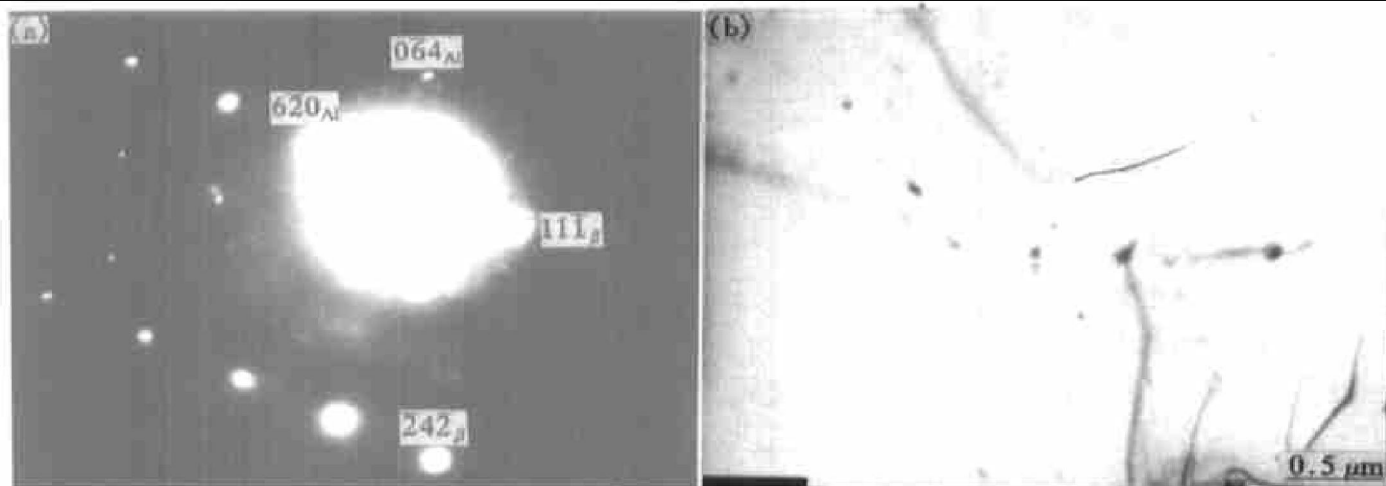


图2 无铍 7475 合金中 β 相的衍射花样(a) 和其明场像(b)

Fig. 2 Diffraction pattern of β -phase (a) and its bright field image (b) in 7475 aluminum alloy without Be ($480\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 h + $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 h)

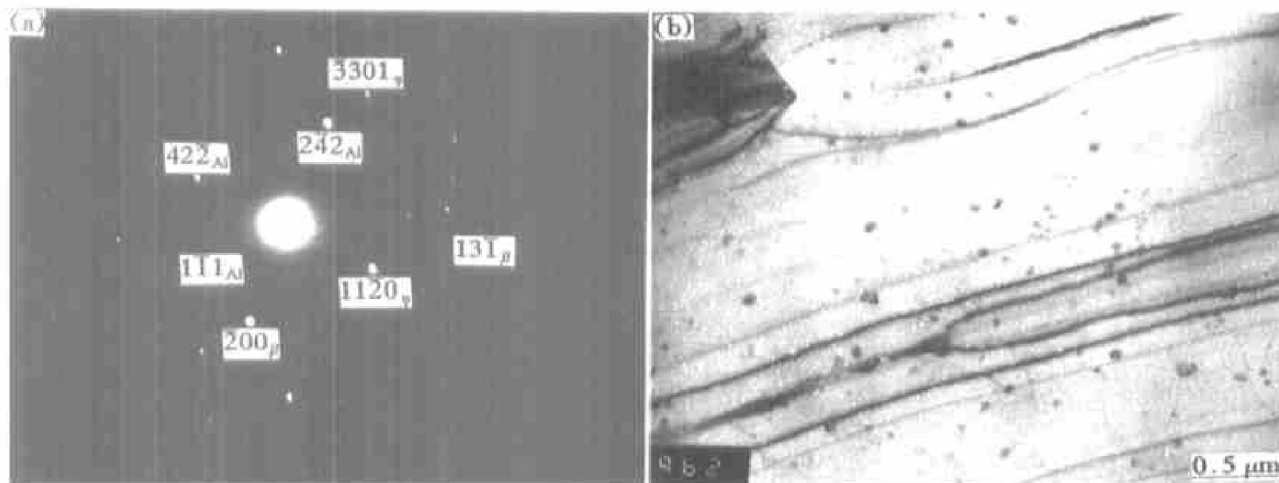


图 3 含 0.023% Be7475 合金中析出相的衍射花样(a) 和其明场像(b)

Fig. 3 Diffraction pattern of precipitated phase (a) and bright field image of β phase (b) in 7475 aluminum alloy with 0.023Be% (480 °C, 1 h+ 120 °C, 2 h)

3 结论

- 1) 添加微量铍有助于 7475 铝合金表面硬度值的提高。
- 2) 加入 Be 可加快 7475 铝合金时效硬化进程。
- 3) 加入微量 Be, 使 7475 合金中的 η 相和 β 相的位向关系发生变化, 即 η 相与基体的位向关系为 $(\bar{1}\bar{1}20)_{\eta} \parallel (422)_{Al}$; β 相与基体的位向关系为 $(200)_{\beta} \parallel (2\bar{4}2)_{Al}$; 对于没有加 Be 的 7475 合金, β 相与基体的位向关系为 $(11\bar{1})_{\beta} \parallel (6\bar{2}0)_{Al}$ 。

[REFERENCES]

- [1] Simone V, Bruce D, Sybrand Z, et al. Monitoring the precipitation reactions in a cold rolled Al-Zn-Mg-Cu alloy using thermoelectric power and resistivity measurements [J]. Mater Sci Forum, 2000, 331- 337: 933- 938.
- [2] 蒋兴钢, 崔建忠, 马龙翔. 形变热处理细化 7475 合金的晶粒 [J]. 材料科学进展, 1990, 14(5): 415- 418. JIANG Xing-gang, CUI Jian-zhong, MA Long-xiang. Grain refinement in 7475 Al alloy by Thermomechanical treatment [J], Progress in material science, 1990, 14 (5): 415- 418.
- [3] Bartges C W. Effect of Sn addition on G. P. zone formation in Al-Cu alloy [J]. Scrip Metall, 1993, 28: 1283.
- [4] 虞觉奇, 易文质, 陈邦迪, 等. 二元合金状态图集 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- WU juerqi, YI Wen-zhi, CHEN Bang-di, et al. Constitution of Binary Alloys [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 1983.
- [5] Madhidara H K. On the failure mode in a 7475 Al alloy [J]. J Mater Sci Let, 1995, 14: 1616- 1619.
- [6] Poole W J. Process model for two step age hardening of 7475 Al alloy [J]. Mater Sci Tech, 1997, 13(11): 897 - 904.
- [7] Adler P N, Delasi R J. Calorimetric studies of 7000 series aluminum alloy [J]. Metall Trans A, 1997, 8A: 1185- 1192.
- [8] 刘国勋. 金属学原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979. LIU Guo-xun. Metallography Principle [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1979.
- [9] Wei B C. Mechanism of nucleation and precipitation in Li containing Al-Zn-Mg-Cu alloy [J]. Mater Sci Forum, 2000, 331- 337: 1061- 1066.
- [10] Wert J A. Grain refinement in 7075 Al alloy in the T651 and T7 tempers by thermomechanical processing [J], Scrip Metall, 1981(15): 445- 450.
- [11] Dae J H, Su P. The effects of ageing condition on the electrochemical corrosion and stress corrosion characteristics of Al-Zn-Mg-Cu alloy [J]. Aluminum, 1981, 57 (11): 737- 740.
- [12] Ber L B. Accelerated artificial ageing regimes of commercial aluminum alloys: Al-Cu, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Mg-Si-Cu alloys [J]. Mater Sci Eng, 2000, A280: 91- 96.

Effect of Be on ageing hardening behavior and oriented relation between precipitated phases and matrix of 7475 aluminum alloy

LI Yao¹, XIA Lu²

(1. School of Mechanical and Electric Engineering, Jiangnan University, Wuhan 430019, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Hubei Polytechnic University, Wuhan 430068, China)

[Abstract] The effect of beryllium on the hardness of 7475 aluminum alloy and the orientation relation between precipitation phases and Al matrix was studied with the different aging treatment method. The results show that Be increases the alloy hardness and raises its aging hardening rate. The hardness of the alloy is HB140 with 0.023% Be, HB120 without Be and between their values with 0.7% Be. At the same time, the oriented relation of the alloy containing Be is different from that one without Be by with TEM, that is, $(\bar{1}\bar{1}20)_\eta \parallel (42\bar{2})_{Al}$ and $(200)_\beta \parallel (2\bar{4}2)_{Al}$ with Be, $(11\bar{1})_\beta \parallel (6\bar{2}0)_{Al}$ without Be.

[Key words] beryllium; 7475 aluminum alloy; aging

(编辑 杨 兵)