

Zn 对 2195 铝锂合金显微组织和拉伸性能的影响

尹登峰, 余志明, 陶 颖, 易丹青, 王日初

(中南大学, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 研究了 Zn 对 2195 铝锂合金在不同热处理状态(T_8 , T_6)下的显微组织和拉伸性能的影响。结果表明: Zn 的存在明显促进了 T_1 相的析出和弥散分布, 而且有球形颗粒状含 Zn 相析出, 使合金强度提高; 但 Zn 的加入不改变 2195 合金的断裂机制, 且使合金塑性略有下降。

关键词: Zn; 2195 铝锂合金; 显微组织; 拉伸性能

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2005)07-1036-03

1 前 言

对 Al-Li 合金研究表明: 加入 Zn 可促进 T_1 、 S' 相的析出^[1]。但以往添加 Zn 主要是针对低铜/锂比(Cu/Li<2)系列, 该系列所具有的共同点是以 δ' (Al₃Li) 相为其主要强化相而存在共面滑移和 δ' -PFZ 造成晶界弱化, 从而引起应变局部化, 而在这类合金中添加新组元就是要克服这一负面影响。由于 2195 铝锂合金具有较高的铜/锂比(Cu/Li $\approx$ 4), 该合金几乎不出现 δ' 相, 其强化相主要是 T_1 、 θ' 。因此, 本实验研究在 2195 合金中添加少量 Zn 对其组织和性能的影响。

2 实 验

采用 3 种成分的合金试样(表 1), 其中 1[#]合金属 2195 合金正常成分范围。合金在熔剂保护下熔炼, 氩气保护下浇注。铸锭经 450℃, 16 h+500℃, 8 h 双级均匀化处理后轧制成 2 mm 厚板材。由于 2195 合金应用的热处理工艺主要是 T_8 (160℃时效)和 T_6 (180℃时效)态, 因此对板材试样进行如下热处理工艺: 504℃, 0.5 h 固溶后淬入室温水, 然后将试样分为 2 批, 1 批经 6%轧制预变形后在 160℃人工时效(T_8), 另 1 批则直接进行 180℃人工时效(T_6)。拉伸试验在 WD-10A 型电子拉伸机上进行, 在 H800 透射电镜上观察微观组织, 并在 kyky1000 型扫描电镜上观察断口形貌。

3 实验结果

3.1 拉伸性能

1[#], 5[#], 6[#]合金拉伸性能见表 2。表 2 表明, 添加

1.21%Zn 使合金 T_8 峰值强度提高了约 45 MPa, 而使 T_6 峰值强度提高了约 61 MPa, 几乎接近了不含 Zn 的 2195 合金 T_8 态峰值强度; 添加 0.69%Zn 也使合金的 T_8 和 T_6 峰值强度分别提高约 36 MPa 和 49 MPa。而添加少量 Zn 对 2195 合金的 T_8 态塑性影响不大, 而 T_6 态塑性则下降较多。

表 1 合金化学成分分析结果 (wt%)

Table 1 Measured chemical compositions of the experimental alloys

Alloy code	Li	Cu	Mg	Ag	Zn	Zr	Al
1 [#]	1.07	3.97	0.42	0.43	-	0.15	bal.
5 [#]	0.97	3.87	0.60	0.48	0.69	0.14	bal.
6 [#]	0.96	4.06	0.58	0.46	1.21	0.14	bal.

3.2 显微组织

1[#]和 6[#]合金的 T_8 , T_6 工艺峰值状态的析出物形貌分别如图 1, 图 2 所示。6[#]合金的 T_8 工艺峰时效状态的 T_1 相数量比 1[#]合金明显增加, 且更细小弥散分布; 6[#]合金峰时效态的主要析出物除了 T_1 相之外, 还有球形颗粒状含 Zn 相。6[#]合金的 T_6 工艺峰时效态的主要析出物除 T_1 和含 Zn 相外, 还有少量 θ' 相, 而与 1[#]合金 T_6 峰时效态相比, T_1 和 θ' 相均明显增加, 且尺寸相对较小, 此外还有 1[#]合金所没有的含 Zn 相析出。6[#]合金的 T_8 与 T_6 工艺条件下都存在明显的晶界无析出带, 这一特征与 1[#]合金差别甚微, 且 6[#]合金晶界平衡相似乎更连续。TEM 观察表明, 5[#]合金的 T_8 与 T_6 工艺条件下的峰时效状态的析出相形貌与 6[#]合金基本相同, 只是 5[#]合金在析出物数量上略少。

收到初稿日期: 2004-03-12; 收到修改稿日期: 2004-07-05

基金项目: 国家“十五”重点攻关计划项目基金资助(41312020205)

作者简介: 尹登峰, 男, 1966 年生, 讲师, 博士研究生, 中南大学材料科学与工程学院 湖南 长沙 410083, 电话: 0731-8879341, E-mail: ydfchh@mail.csu.edu.cn

表 2 T_6 , T_8 工艺条件下 1[#], 5[#], 6[#] 合金的峰值强度、峰值时间及相应的伸长率
Table 2 Tensile properties of alloys 1[#], 5[#] and 6[#] treated by processes T_6 , T_8

Alloy code	Aging system	Aging time/h	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%
1 [#] (2195)	T_6	10	501	453	9.2
	T_8	16	570	530	8.8
5 [#] (2195+0.69%Zn)	T_6	8	550	480	8.7
	T_8	16	606	565	8.4
6 [#] (2195+1.21%Zn)	T_6	4	562	498	8.5
	T_8	16	615	580	8.2

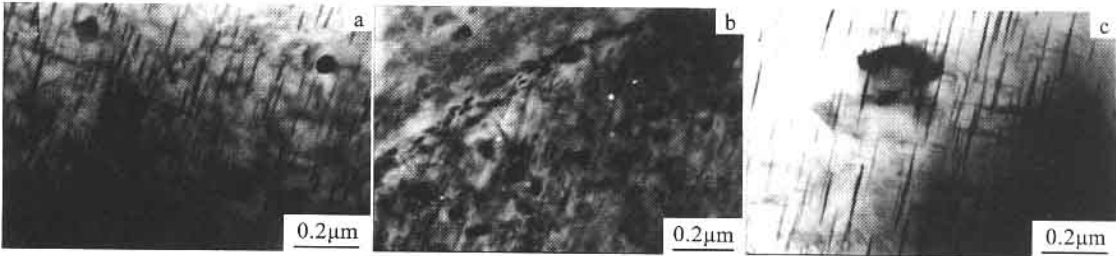


图 1 1[#]合金 T_6 , T_8 峰时效态的 TEM 照片

Fig.1 TEM micrographs of alloy 1[#] treated by peaking aging of processes T_8 , T_6 : T_1 phase (a), PFZ precipitated by T_8 (b) and T_1 phase precipitated by T_6 (c)

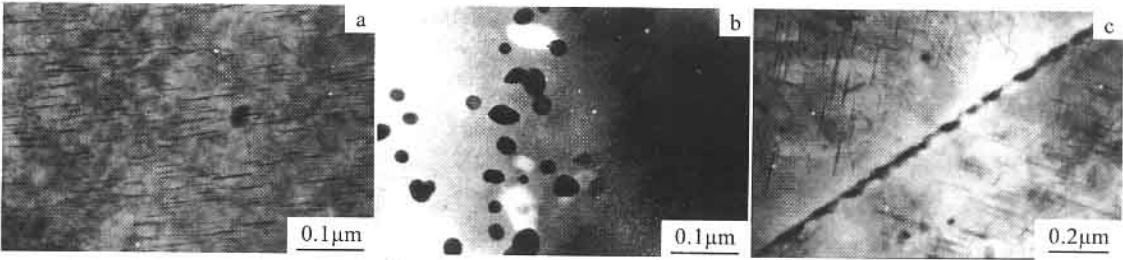


图 2 6[#]合金 T_6 , T_8 峰时效态的 TEM 照片

Fig. 2 TEM micrographs of alloy 6[#] treated by peaking aging of processes T_8 , T_6 : T_1 phase (a), spherical phase with Zn precipitated by T_8 aging (b), T_1 phase and PFZ precipitated by T_6 aging (c)

图 3 是 1[#]和 6[#]合金 T_8 工艺峰时效态的断口扫描电镜像。合金的断口都呈现出短横向沿晶分层开裂。

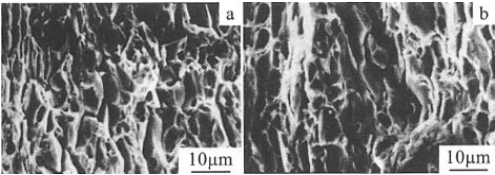


图 3 1[#]和 6[#]合金 T_8 峰时效态的拉伸断口 SEM 照片

Fig.3 SEM micrographs of tensile fracture surface of 1[#] (a) and 6[#] (b) samples treated by peak aging of process T_8

4 讨论

Al-Li 合金的强韧性配合是由其微观组织结构特征决定的。大多数 Al-Li 合金的 T_8 态比 T_6 态具有较好的强塑性配合, 因时效前的预变形可增加合金基体中

的位错密度, 从而促进 S' 、 T_1 相更均匀细小地弥散分布^[2-5], 因为 S' 、 T_1 相对共面滑移有阻碍作用, 而且预变形还能有利于在 δ' -PFZ 中析出 S' 、 T_1 相, 从而改善合金性能。Gregson 等人^[1]研究得出, 在 Al-Li-Cu-Mg-Zr 合金中添加一定量的 Zn 可形成 η' (MgZn₂)相并促进 δ' 和 S' 相的析出, 从而提高合金的强塑性。但 2195 合金由于具有较高铜/锂比而几乎不出现 δ' 相, 本实验添加少量 Zn 对合金的时效组织与性能都有明显的影响。6[#]和 5[#]合金 T_8 峰时效态析出了大量的 T_1 相, 比 1[#]合金 T_8 峰时效态的 T_1 相数量明显增加, 而尺寸则明显减小, 即使是在无预变形的 T_6 状态, 6[#]和 5[#]合金也析出大量的 T_1 相和 θ' 相。因此, 添加少量 Zn 可极大地促进 T_1 相析出。金属 Al 的层错能达 0.20 J·m⁻²^[6], 而在 Al 中加入溶质原子后其层错能会有所减小, 特别是固溶度大的溶质原子, 降低层错能的作用更大, 而 Zn、Mg、Ag 等元素在 Al 中有较大溶解度, 这些固溶原子聚集在密排 {111}_a 面上, 能大大降低 Al 合金的层错能,

有利于形成大量层错, 这些层错将为 $\{111\}_\alpha$ 面上密排六方相如 T_1 、 η' 相的析出提供优越的形核位置, 因为这些析出相的形核长大是按层错机制进行的^[4,7]。而 T_1 相的大小、分布及密度是决定 2195 合金强度性能的决定因素。

另一个影响合金性能的重要因素是球形含 Zn 相的大量析出, 以往添加少量 Zn 在 Al-Li 合金中观察到的含 Zn 相都是条块状^[8], 而 2195 合金中加 Zn 在 T_6 或 T_8 态都析出了球形的颗粒状含 Zn 相, 这些析出相对于基体而言, 相中都富有 Zn, Mg, Cu。由于 EDAX 只能进行半定量分析且无法检测出诸如 Li 之类元素, 也很难得到这些析出相的全套衍射斑点, 因而无法知道这些析出相的确切组成, 这是一个十分有趣而还需有待进一步深入研究的问题。

添加少量 Zn 使 2195 合金塑性有所下降的原因。可能是如下几方面共同作用的结果: (1) 加 Zn 形成了含 Zn 相。有人认为如果形成了 η' 相是 Li_2 型有序结构与基体共格, 因而不能改善合金塑性, 反而有害。

(2) 加 Zn 使晶界平衡相连续分布, 并对晶界无析出带 PFZ 没有改善作用, 因而对合金塑性不利。(3) 主要强化相 T_1 相是脆性相, 加 Zn 使其本身变细小、弥散将有利于减少应力集中和裂纹形成因而对塑性有改善作用。鉴于上述各种因素的共同作用, 总体而言, 加 Zn 使 2195 合金塑性变化不大。断口形貌观察表明, 加 Zn 并未改变 2195 合金的断裂机制, 仍是短横向沿晶层状断裂特征。铝锂合金的这种断裂特征归因于扁平晶粒、沿晶稳定相、晶界无沉淀带、Na 和 K 杂质偏聚晶界等因素。晶界处的应力集中与弱晶界强度的综合效应使合金表现出很强的沿晶开裂倾向, 沿轧制

方向拉长的未再结晶扁平晶粒结构, 使其沿晶开裂以短横向沿晶分层的形式表现出来^[9]。

5 结 论

1) 添加少量 Zn, 在 T_6 工艺条件下就能获得较高的强度, 几乎接近不含 Zn 的 2195 合金在 T_8 工艺条件下最大的抗拉强度, 而比不含 Zn 的 2195 合金 T_6 峰值状态的强度提高 61 MPa; 在 T_8 工艺条件下可在塑性基本不降低的情况下, 最大抗拉强度可提高 45 MPa。

2) 添加少量 Zn, 除能促进 T_1 相、 θ' 相更细小弥散分布, 数量明显增加之外, 还能生成球形的颗粒状含 Zn 相共同强化; 但添加少量 Zn 不改变 2195 合金的断裂机制。

参考文献 References

- [1] Gregson P J *et al. Journal of Materials Science and Technology*[J], 1987, 3: 7
- [2] Kumar K S *et al. Scripta Metall et Mater*[J], 1990, 24: 1245
- [3] Huang J C, Ardell A J. *J De Physique*[J], 1988, 48(9): 373
- [4] Huang B P, Zheng Z Q. *Acta Mater*[J], 1998, 46(12): 4381
- [5] Yin Dengfeng(尹登峰) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程) [J], 2003, 32(9): 736
- [6] Hu Gengxiang(胡庚祥) *et al. Metallography*(金属学)[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980
- [7] Cassada W A *et al. Met Trans A*[J], 1991, 22A: 299
- [8] Jiang(蒋晓军) *et al. Acta Metallurgica Sinica*(金属学报) [J], 1993, 29(12): A528
- [9] Chen Zheng(陈 铮). *Materials Review*(材料导报) [J], 1999, 13(2): 1

Effect of Zn on Microstructure and Tensile Properties of 2195 Aluminium-Lithium Alloy

Yin Dengfeng, Yu Zhiming, Tao Ying, Yi Danqing

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

Abstract: The effects of different aging treatments (T_8 , T_6) and small additions of Zn on the microstructure and the tensile properties of alloy 2195 have been studied by tensile test, TEM and SEM observations. The result shows that the small addition of Zn to 2195 alloy will promote T_1 and θ' precipitation and their dispersive distribution, and the spherular phase containing Zn is formed. So the addition of Zn raises the strength of 2195 alloy notably. But small addition of Zn does not change the fracture mechanism of 2195 alloy, and has unfavourable effect on the ductility of 2195 alloy.

Key words: Zn; 2195Al-Li alloy; microstructure; tensile property

Biography: Yin Dengfeng, Candidate for Ph. D., School of Material Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, P. R. China, Tel: 0086-731-8879341

Zn对2195铝锂合金显微组织和拉伸性能的影响

作者: [尹登峰](#), [余志明](#), [陶颖](#), [易丹青](#), [王日初](#)
作者单位: [中南大学, 湖南, 长沙, 410083](#)
刊名: [稀有金属材料与工程](#) [ISTIC](#) [EI](#) [SCI](#) [PKU](#)
英文刊名: [RARE METAL MATERIALS AND ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2005, 34(7)
被引用次数: 2次

参考文献(9条)

1. [Gregson P J](#) [查看详情](#) 1987
2. [Kumar K S](#) [查看详情](#) 1990
3. [Huang J C](#), [Ardell A J](#) [查看详情](#) 1988(09)
4. [Huang B P](#), [Zheng Z Q](#) [查看详情](#) 1998(12)
5. [尹登峰](#) [Sc对Al-Li-Cu-Mg-Ag-Zr合金组织和性能的影响](#)[期刊论文]-[稀有金属材料与工程](#) 2003(09)
6. [胡庚祥](#) [金属学](#) 1980
7. [Cassada W A](#) [查看详情](#) 1991
8. [蒋晓军](#) [查看详情](#) 1993(12)
9. [陈铮](#) [查看详情](#) 1999(02)

本文读者也读过(9条)

1. [尹登峰](#), [郑子樵](#), [余志明](#) [微量Sc对2195铝锂合金应变时效态的显微组织和力学性能的影响](#)[期刊论文]-[中国有色金属学报](#)2003, 13(3)
2. [尹登峰](#) [添加Ce、Zn、Sc对2195铝锂合金显微组织和力学性能的影响](#)[学位论文]2005
3. [蒋呐](#), [李劲风](#), [郑子樵](#), [任文达](#), [韩冬峰](#), [Jiang Na](#), [Li Jinfeng](#), [Zheng Ziqiao](#), [Ren Wenda](#), [Han Dongfeng](#) [2195铝锂合金多道次热变形流变应力的模拟研究](#)[期刊论文]-[稀有金属材料与工程](#)2007, 36(6)
4. [尹登峰](#), [余志明](#), [陶颖](#), [王日初](#) [Zn对2195铝锂合金显微组织和拉伸性能的影响](#)[期刊论文]-[航空材料学报](#) 2003, 23(z1)
5. [束彪](#), [国旭明](#), [SHU Biao](#), [GUO Xu-ming](#) [双脉冲MIG焊对2195Al-Li合金焊缝组织及性能的影响](#)[期刊论文]-[沈阳航空工业学院学报](#)2009, 26(5)
6. [陈庆](#) [2195铝锂合金大规格薄壁管材的研制](#)[期刊论文]-[铝加工](#)2001, 24(6)
7. [魏修宇](#), [郑子樵](#), [李世晨](#), [陈秋妮](#), [WEI Xiu-yu](#), [ZHENG Zi-qiao](#), [LI Shi-chen](#), [CHEN Qiu-ni](#) [2197铝锂合金的耐热性能](#)[期刊论文]-[中国有色金属学报](#)2007, 17(9)
8. [李劲风](#), [郑子樵](#), [李世晨](#), [谭澄宇](#), [梁英](#), [于利军](#) [2195铝-锂合金晶间腐蚀及剥蚀行为研究](#)[期刊论文]-[材料科学与工程学报](#)2004, 22(5)
9. [李红英](#), [欧玲](#), [郑子樵](#), [LI Hong-ying](#), [OU Ling](#), [ZHENG Zi-qiao](#) [2195铝锂合金的各向异性研究](#)[期刊论文]-[材料工程](#)2005(10)

引证文献(3条)

1. [潘毅](#), [孙中刚](#), [郭旋](#), [陈洁](#), [陈磊](#) [时效工艺对Al-Li-Cu-Mg合金组织及力学性能的影响](#)[期刊论文]-[金属热处理](#) 2013(7)
2. [朱小辉](#), [郑子樵](#), [钟中](#) [Mg和Zn对2099合金时效组织与拉伸性能的影响](#)[期刊论文]-[中国有色金属学报](#) 2010(10)
3. [高洪林](#), [吴国元](#) [Al-Li合金的研究进展](#)[期刊论文]-[材料导报](#) 2007(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xyjsclygc200507008.aspx