

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20181225.008

王涛, 黄国任, 温静娴, 等. YB-10Al 铝合金物相组成和断口形貌分析[J]. 广西科学, 2018, 25(6): 645-648.

WANG T, HUANG G R, WEN J X, et al. Analysis on the phase component and fracture morphology of YB-10 aluminum alloys [J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(6): 645-648.

YB-10Al 铝合金物相组成和断口形貌分析^{*}

Analysis on the Phase Component and Fracture Morphology of YB-10 Aluminum Alloys

王涛¹, 黄国任¹, 温静娴¹, 何维^{1**}, 陆美文²

WANG Tao¹, HUANG Guoren¹, WEN Jingxian¹, HE Wei¹, LU Meiwen²

(1. 广西大学资源环境与材料学院, 广西南宁 530004; 2. 广西水利电力职业技术学院, 广西南宁 530023)

(1. School of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Vocational College of Water Resources and Electric Power, Nanning, Guangxi, 530023, China)

摘要:【目的】研究 YB-10Al 铝合金的物相组成和断口形貌, 分析掺杂对合金结构和性能的影响。【方法】利用 X 射线粉末衍射仪和带能谱的扫描电子显微镜研究两组不同成分的 YB-10Al 铝合金的物相组成及断口形貌。【结果】YB-10Al 铝合金所含物相有 Al(主要相)、AlN(少量)、Si(少量)、Fe(微量)等, 且两组样品所含物相略有差异; 合金断口形貌显示为浅而小的韧窝。【结论】YB-10Al 铝合金试样为韧性断裂, 断裂机制为微孔聚集型。

关键词: YB-10Al 合金 X 射线衍射 SEM/EDS 分析 韧性断裂

中图分类号: TG151 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2018)06-0645-04

Abstract:【Objective】The phase component and fracture morphology of YB-10 aluminum alloys are studied, and the effects of doping on the structure and properties of the alloy are analyzed.

【Methods】The phase component and fracture morphology of two groups of different componential YB-10 Al alloys have been investigated by X-ray powder diffractometer (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) with energy spectrum. 【Results】The results suggest that the phase of YB-10Al alloys consist of Al (major phase), AlN(tiny amount), Si (tiny amount), Fe (trace amount) and so forth. There are slight differences of phase component between different samples. The fracture morphology of YB-10Al alloys is shown as shallow and small dimples.

【Conclusion】The YB-10Al alloys exhibit ductile fracture and the fracture mechanism is micro-porous aggregation type.

Key words: YB-10Al alloys, X-ray diffraction, SEM/EDS analysis, ductile fracture

收稿日期: 2018-08-29

作者简介: 王涛(1993—), 男, 研究生, 主要从事合金相结构及其性能的研究。

* 国家自然科学基金项目(51461004)和广西壮族自治区教育厅高校科研项目(LX2014570)资助。

** 通信作者: 何维(1965—), 女, 教授, 主要从事合金相结构及其性能的研究, E-mail: wei_he@gxu.edu.cn.

0 引言

【研究意义】随着现代化铁道车辆向高速化、轻量化^[1]的发展趋势, 人们对材料的性能也提出越来越高的要求。铝合金因其密度小、塑性优良、比强度高、耐腐蚀性好、价格低廉已成为汽车、航空、航海及自行车制造的重要轻质材料^[2]。且铝合金表面易形成氧化

物钝化膜,使其能在大多数自然环境(如深海)和化学介质中减少腐蚀的发生^[3-5]。然而,铝合金表层中缺陷的存在(如气孔)使得活泼的阴离子易在表面析出,致使其抗点蚀的能力下降^[6-7]。【前人研究进展】为满足工业使用的要求,通常采用如下5种方式改善铝合金抗点蚀的性能:1)加入腐蚀抑制剂^[8];2)表面处理^[9-10];3)微观结构控制^[11];4)添加合金化元素^[12-13];5)表面涂覆涂层^[14]。尤其对2XXX和6XXX系铝合金而言,在人工时效过程中加入Cu、Mn元素可以显著地提升其耐磨性能^[15]。Budsarakham等^[16]证实在铸造6063型Al合金中加入Cr元素并进行阳极氧化处理,其抗腐蚀性随着Cr含量的增加,腐蚀电流 I_{corr} 呈正相关性;且其微观结构显示,Cr含量的增加促进了金属间化合物的形成,但却抑制Al合金表面氧化还原反应的进行。就2XXX系粉末冶金工艺铸造铝合金而言,添加SiC和Al₂O₃颗粒可明显改善其表面硬度和耐磨性。然而人工时效过程中,对于SiC颗粒能否加速人工时效过程尚存争议。为确定SiC颗粒在Al合金人工时效中的作用,Ashwath等^[17]研究含有6%SiC、6%Al₂O₃以及0.25%石墨烯的2024型Al合金,经微波烧结后热拉伸试样的力学性能,其结果表明在相同的工艺条件下,掺杂6%Al₂O₃的Al合金在硬度和极限抗拉强度等性能方面均优于其他两种成分的Al合金。Bach等^[18]在热挤压成型的基础上,通过掺杂Mg和AlN研究Al合金的微观结构和电化学特性,其开路电位和动电位极化实验结果表明,Mg和AlN的添加可以提高Al合金表面钝化膜的腐蚀及点蚀电位;电化学阻抗谱结果同样证实了Mg和AlN的添加使钝化膜的厚度和电荷转移电阻升高,进而改善钝化膜的稳定性和抗点蚀的能力;另外,X射线光电谱进一步阐明Mg和AlN的添加能使Al合金钝化膜稳定性提升的原因——钝化膜中存在稳定钝化膜的Mg氧化物/氢氧化物和AlN与氧化铝/氢氧化铝;再者,由背散射电子的观测图像可知,抗点蚀性的改善与基体金属中的晶粒尺寸减小和缺陷数量减少相关。【本研究切入

表1 两组试样的成分组成

Table 1 The composition of two groups of samples

样品 Sample	成分组成 Composition (at. %)											
	Al	Mn	Cu	Li	Fe	Mg	Ag	O	N	Si	Zn	Other
Sample A	92.10	0.55	0.37	0	0	0	0	6.53	0.38	0.07	0	0
Sample B	93.98	0.62	0.31	0	0.13	0	0	3.98	0.12	0.49	0.07	0.30
2024Al ^[17]	95.76	0	1.80	0	0.25	1.75	0	0	0	0.49	0	0
2050Al-Li ^[19]	94.05	0.20	0.96	3.92	0.05	0.45	0.10	0	0	0.08	0.10	0.09

点】因掺杂会对Al合金的结构和性能产生影响,本文采用实验的方法研究两个YB-10Al合金样品的微观断口形貌及物相组成,分析YB-10Al铝合金试样的断裂机制。【拟解决的关键问题】为提高铝合金的性能提供数据支持。

1 材料与方法

将拉伸断口一端的YB-10Al合金制成15 mm×15 mm×2 mm的薄片。在实验前,为保持YB-10Al的拉伸端口清洁无氧化污染,可用脱脂棉蘸取适量无水乙醇(95%,AR)反复擦洗;用于X射线衍射(XRD)实验的试样,应将其表面分别用1 200目、1 500目、3 000目的砂纸反复打磨直至无划痕和异物污染。利用XRD进行物相分析,同时用带有能谱(EDS)的Hitachi S3400扫描电子显微镜(SEM)观测样品的断口形貌,并利用能谱分析样品中的成分组成和合金相的成分。

对两组(A、B)不同成分的试样进行XRD测试,并用日本理学D/MAX 2500V型X射线衍射仪收集衍射数据。实验条件:电压40 kV,电流50 mA,辐射源靶为CuKα(λ=0.154 055 nm),以连续扫描方式采集数据,扫描速度为4°/min,步长为0.02°,2θ范围为10~80°。采用Jade 5.0软件和其所含有的粉末衍射卡片数据库对样品的XRD数据做物相分析。

2 结果与分析

2.1 试样的成分组成

利用SEM和EDS对两组YB-10Al合金试样的断口进行成分和显微结构分析,其结果如表1所示。与2024Al型合金相比,其Mn和N元素的含量较高。因为YB-10Al合金以2024Al型合金为基础,并增加Mn和陶瓷颗粒的含量,用以提高其耐磨性和耐腐蚀性,它的主要相有Al、AlN及Si;而2024Al合金的以含Si、Mg、Cu的Al(04-0787)为主。与2050Al-Li型合金相比,YB-10Al合金的合金化元素不包含贵金属(Ag),成本更低。

2.2 XRD 物相分析

以连续扫描方式测得试样 A 的 XRD 图谱(图 1)。利用 Jade5.0 对 XRD 数据进行物相分析可知,试样 A 主要的物相为 Al(04-0787)、Si(77-2108)、AlN(46-1200);由图 2 可知,试样 B 的主要相是 Al(04-0787)和少量相 Si(77-2108)。其中试样 A 中的 AlN(46-1200)主要聚集于合金的局部表面。和 AA8006-Al-Fe-Mn 铝合金相比^[11],YB-10Al 合金中明显存在两种强化相 AlN 和 Si,而 AA8006 型铝合金以 Al(04-0787)相为主,并有微量的 Al_6MnFe 析出强化相。和 AA6061 型铝合金^[7]相比,YB-10Al 的强化相种类明显较少,在 AA6061 型铝合金中,存在 3 种金属间化合物分别为 AlCuMgSi、 Mg_2Si 和 AlMn。虽然 YB-10Al 合金中含有 Mn 元素,但由于热处理工艺(升温速率、降温速率)和掺杂元素含量的不同,YB-10Al 中并未发现 Mg_2Si 、AlCuMgSi 和 AlMn 3 种强化相。

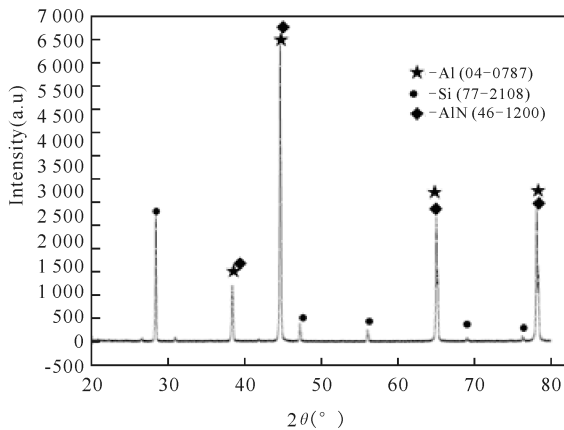


图 1 试样 A 的 XRD 图谱

Fig. 1 The XRD pattern of sample A

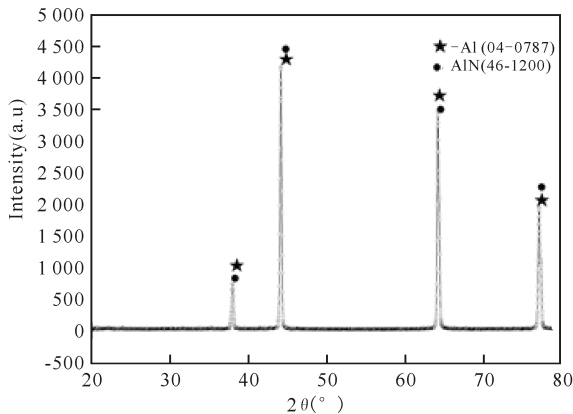


图 2 试样 B 的 XRD 图谱

Fig. 2 The XRD pattern of sample B

2.3 试样断口 SEM/EDS 形貌分析

铝合金断裂的实质是材料在应力下空洞的萌生、

扩展至聚合的过程,而影响铝合金断裂韧性的因素无外乎内因(金属氧化物夹杂和合金熔炼时吸氢引起的针孔)和外因(合金成分、晶粒组织、第二相)。本文利用 SEM 和 EDS 对型号为 YB-10Al 的锻造铝合金断口形貌进行分析研究,结果表明 YB-10Al 铝合金的断口形貌为韧窝状,试样为韧性断裂,断裂机制为微孔聚集型。

如图 3a 所示,在试样 A 边缘区域存在氧化现象,氧化层的厚度约 $20\ \mu\text{m}$ 。图 3b 中的中心断口形貌较为平整,主要由直径大小约为 $10\ \mu\text{m}$ 、深浅不一的韧窝构成。在图 3c 中存在一个由条纹和第二相颗粒组成的 $200\ \text{mm} \times 80\ \text{mm}$ 的平台。由相应的 EDS 成分分析可知,该平台主要成分的原子百分比(at.%)为 65.63(Al)、1.43(Mn)、0.56(Cu)、10.80(Fe)、19.17(O)、0.14(Si)、1.90(N)、0.20(F)、S、Cl 等;其中条状平台主要由第二相 Al_2O_3 组成,而平台上的白色颗粒为 FeO,浅白色的颗粒为 Fe。由图 3d 的微区断口形貌可知,韧窝呈 45° 方向延伸,韧窝周围有明显的撕裂棱和密集的微孔。

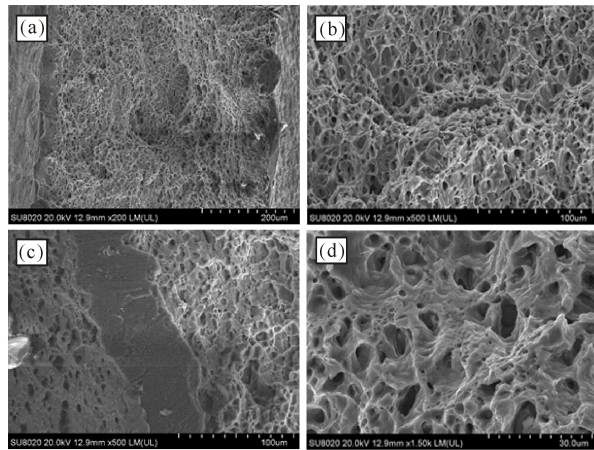


图 3 试样 A 在不同放大倍数下的断口形貌

Fig. 3 The fracture morphology of sample A at different magnifications

由图 4a 易知,试样 B 的断口中韧窝分布均匀,韧窝小而浅且在韧窝底部有第二相颗粒存在;在大韧窝周围的某些撕裂棱附近分布着许多浅微孔;大韧窝包围小韧窝,说明试样在断裂前发生明显的塑性变形。当试样受到拉伸或剪切变形时,第二相粒子与基体界面首先成为裂纹源。随着应力的增加,应力集中程度加大,塑性变形量增加,韧窝逐渐撕开,韧窝周边形成较大塑性变形的白亮的撕裂棱(图 4d)。

图 4b 中的断口形貌比较平整,主要由直径大小不一、浅而平的韧窝和夹杂组成。图 4c 中有第二相的平面状组织出现,由相应的 EDS 成分分析可知,其中主要成分的原子百分比(at.%)为 95.13(Al)、0.56(Mn)、0.28(Cu)、0.15(Ca)、3.87(O);图 4c 中

的条状平台上存在一系列相互平行的波浪形条纹, 每条条纹代表一次应力循环, 条纹的间距反映了应力大小。图 4d 中, 韧窝周围的撕裂棱取向与宏观断口方向一致。

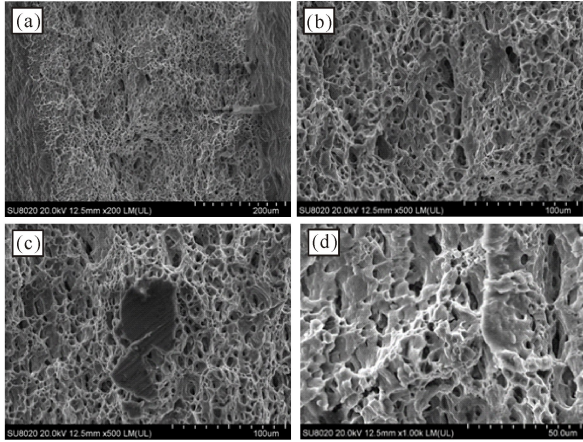


图 4 试样 B 在不同放大倍数下的断口形貌

Fig. 4 The fracture morphology of sample B at different magnifications

3 结论

YB-10Al 铝合金的主要相为 Al(04-0787), 第二相为 AlN(46-1200)、Si(77-2108) 以及微量的 Fe 颗粒(06-0696)。其断裂机理为微孔聚集型的韧性断裂, 深浅不一、直径 10 μm 的韧窝表明该铝合金具有十分优异的塑性。

参考文献:

[1] 白建颖, 杨尚磊, 贾进, 等. A6N01 铝合金焊接接头疲劳损伤和断口形貌分析[J]. 电焊机, 2015, 45(6): 121-124. BAI J Y, YANG S L, JIA J, et al. Analysis of fatigue damage and fracture appearance on welded joint of A6N01 aluminum alloy[J]. Electric Welding Machine, 2015, 45(6): 121-124.

[2] YANG S L, LIN Q L. Microstructures and properties of the Al-4. 5Zn-1. 5Mg-0. 5Mn aluminum alloy welding joints[J]. Advanced Materials Research, 2010, 148/149: 640-643.

[3] CANEPA E, STIFANESE R, MEROTTO L, et al. Corrosion behaviour of aluminium alloys in deep-sea environment: A review and the KM3NeT test results[J]. Marine Structures, 2018, 59: 271-284.

[4] LIANG M X, MELCHERS R, CHAVES L. Corrosion and pitting of 6060 series aluminium after 2 years exposure in seawater splash, tidal and immersion zones[J]. Corrosion Science, 2018, 140: 286-296.

[5] VALLABHANENI R, STANNARD T J, KAIRA C S, et al. 3D X-ray microtomography and mechanical characterization of corrosion-induced damage in 7075 aluminium (Al) alloys[J]. Corrosion Science, 2018, 139: 97-113.

[6] LIU J H, ZHAO K, YU M, et al. Effect of surface abrasion on pitting corrosion of Al-Li alloy[J]. Corrosion Science, 2018, 138: 75-84.

[7] LY R, HARTWIG K T, CASTANEDA H. Effects of strain localization on the corrosion behavior of ultra-fine grained aluminum alloy AA6061[J]. Corrosion Science, 2018, 139: 47-57.

[8] NAM N D, HUNG T V, NGAN D T, et al. Film formation in $\text{Y}(\text{4NO}_2\text{Cin})_3$ compound on 6061 aluminum alloy to protect against corrosion in chloride ion media[J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2016, 67: 495-504.

[9] GONZALEZ-CANCHE N G, FLORES-JOHNSON E A, CORTES P, et al. Evaluation of surface treatments on 5052-H32 aluminum alloy for enhancing the interfacial adhesion of thermoplastic-based fiber metal laminates[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2018, 82: 90-99.

[10] CHI Y, GU G, YU H, et al. Laser surface alloying on aluminum and its alloys: A review[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2018, 100: 23-37.

[11] KHODABAKHSHI F, GERLICH A P. Accumulative fold-forging (AFF) as a novel severe plastic deformation process to fabricate a high strength ultra-fine grained layered aluminum alloy structure[J]. Materials Characterization, 2018, 136: 229-239.

[12] OSÓRIO W R, GOULART P R, GARCIA A. Effect of silicon content on microstructure and electrochemical behavior of hypoeutectic Al - Si alloys[J]. Materials Letters, 2008, 62(3): 365-369.

[13] ÖZTÜRK Ğ, AĞAOĞLU G A, ERZI E, et al. Effects of strontium addition on the microstructure and corrosion behavior of A356 aluminum alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 763: 384-391.

[14] VERDALET-GUARDIOLA X, BONINO J-P, DULUARD S, et al. Influence of the alloy microstructure and surface state on the protective properties of trivalent chromium coatings grown on a 2024 aluminium alloy[J]. Surface and Coatings Technology, 2018, 344: 276-287.

[15] GUO J, YUAN X. The aging behavior of SiC/Gr/6013Al composite in T4 and T6 treatments[J]. Materials Science and Engineering: A, 2009, 499(1/2): 212-214.

[16] BUDSARAKHAM P, RIYAPHAN C, CANYOOK R, et al. Effects of Cr on anodising and microstructure of cast aluminium alloys[J]. Materials Today: Proceedings, 2018, 5(3): 9417-23.

[17] ASHWATH P, JOEL J, PRASHANTHA KUMAR H G, et al. Processing and characterization of extruded 2024 series of aluminum alloy[J]. Materials Today: Proceedings, 2018, 5(5): 12479-12483.

[18] BACH L X, SON D L, PHONG M T, et al. A study on Mg and AlN composite in microstructural and electrochemical characterizations of extruded aluminum alloy[J]. Composites Part B: Engineering, 2019, 156: 332-343.

[19] DURSUN T, SOUTIS C. Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys[J]. Materials & Design (1980-2015), 2014, 56: 862-871.

(责任编辑: 米慧芝)