

Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 难熔高熵合金组织和性能研究

崔霞¹ 尹传礼¹ 王子睿¹ 李伟楠¹ 胡强²
(1.南昌航空大学材料科学与工程学院;2.江西省科学院应用物理研究所)

摘要 研究了 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 难熔高熵合金的微观组织结构和力学性能,从 Al 元素在该体系合金中固溶强化作用以及 Al 和过渡族元素的强键合作用两方面对合金性能变化进行了分析。结果表明,Al 含量在 0~0.75 范围内,合金均呈 BCC 结构类型,随 Al 含量增加,合金的树枝状凝固组织逐渐细化,硬度增加。在室温条件下,低 Al 含量($x \leq 0.3$)合金在压缩应变达 70% 不发生断裂,高 Al 含量($x \geq 0.4$)合金则表现出明显脆性。在高温条件下,随 Al 含量增加,合金体系理论熔点降低,合金高温下压缩强度降低程度越来越大。

关键词 难熔高熵合金;单相 BCC 固溶体;力学性能

中图分类号 TG139;TG132.3⁺2 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.04.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Microstructure and Mechanical Properties of Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} Refractory High-entropy Alloys

Cui Xia¹, Yin Chuanli¹, Wang Zirui¹, Li Weinan¹, Hu Qiang²
(1.School of Materials Science and Engineering, Nanchang Hangkong University;
2.Institute of Applied Physics, Jiangxi Academy of Sciences)

Abstract: Microstructure and mechanical properties of Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} refractory high-entropy alloy were investigated, and property transformation of the alloy were analyzed from aspects of solution strengthening effect of Al element as well as strong bonding between Al and transition elements. The results indicate that alloys exhibit a single-phase BCC structure with the increase of x from 0 to 0.75, meanwhile the dendritic structure gradually turns to be finer with the hardness increase. At the room temperature, alloys with low aluminum content ($x \leq 0.3$) present absence of fracture when the compressive strain reaches 70%, while that with high aluminum content ($x \geq 0.4$) exhibit obvious brittleness. Under high temperature conditions, the theoretical melting point of the alloy system is decreased with the increase of Al contents, and reduction degree of compression strength of alloy becomes greater.

Key Words: Refractory High-entropy Alloy, Single-phase BCC Solid Solution, Mechanical Properties

高熵合金也称多主元合金,其打破了传统单主元合金的成分设计理念,极大地拓宽了新型合金的开发范围^[1-4],通过合理的成分设计能得到优异性能的合金^[5-8]。SENKOV O N 等^[9-10]开发的由 Mo、Nb、Ta、V、W 等难熔元素组成的难熔高熵合金,其高温强度显著优于传统镍基高温合金,这引起了研究者的广泛关注,目前已开发出近两百种难熔高熵合金^[11-12],不少合金都添加有非难熔元素来调节合金性能^[13-18],其中 Al 元素的使用最多。这是因为 Al 具有和 Mo、Nb、Ta 等难熔元素相近的原子半径,意味着低的原子错配度,有

利于促进合金形成简单固溶体结构而避免金属间化合物^[6,19];同时 Al 和难熔金属元素间易形成具有方向性的极性键,促使系统有序排列,并减小键长^[20-21],这有利于提高难熔高熵合金高温强度。本研究制备了一系列 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 高熵合金,研究了 Al 含量对该合金体系组织和力学性能的影响,为进一步开发性能优异的难熔高熵合金提供参考。

1 试验材料及方法

采用非自耗真空电弧熔炼制备了 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}

收稿日期:2022-07-27;修改稿收到日期:2022-09-29
基金项目:江西省重点研发计划资助项目(20192BBH80020)
第一作者简介:崔霞,女,1979 年出生,副教授,南昌(330063),E-mail:cuixia2000@163.com
通信作者:胡强,男,1979 年出生,副研究员,南昌(330063),E-mail:q-fei618@qq.com
引用格式:崔霞,尹传礼,王子睿,等. Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 难熔高熵合金组织和性能研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(4):524-529.
CUI X, YIN C L, WANG Z R, et al. Microstructure and mechanical properties of Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} refractory high-entropy alloys[J].
Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(4):524-529.

Ta_{0.5}Ti_{1.5} ($x=0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.6$ 和 0.75 , 摩尔分数)合金。所用 Mo、Nb、Ta 和 Ti 原料纯度为 99.99% (质量分数,下同),Al 原料纯度为 99.999%。将原料置于水冷铜盘上,反复翻面熔炼 5 次,得到合金锭(10 g 左右)。采用 Miniflex600 型 X 射线衍射仪(Cu 靶)对合金进行物相分析,采用 HiTachi SU-70 型热场发射扫描电镜(SEM)进行微观组织观察;采用 HV-30Z 型显微维氏硬度计测定合金的维氏硬度,测量 10 次取其平均值;在 $8\times 10^{-4}\text{ s}^{-1}$ 的应变速率下,采用 CMT5504 型微机控制电子万能试验机测试室温压缩性能;采用 Gleeble 3180 热模拟试验机测试合金的高温压缩性能,应变速率为 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$,压缩试样尺寸为 $5\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。

2 试验结果与分析

2.1 组织结构

图 1 为铸态 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 合金的 XRD 图谱。可以看出,所有合金均为单一 BCC 结构相,并且随着 Al 含量增加,衍射峰位置逐渐向大角度偏移,合金的晶格常数逐渐降低。这是由于 Al 元素与过渡金属元素间会以 $p-d$ 杂化轨道相互作用,Al 元素的 p 轨道及其高的电子密度有助于电子向具有部分填充的 d 轨道的过渡金属(TMs)转移,导致共价键的形成,其中 Al-TMs 键明显短于相应的金属半径之和,这种强的极性键促进了合金体系的有序性,减少了键长,从而减小合金晶格常数^[22-23]。

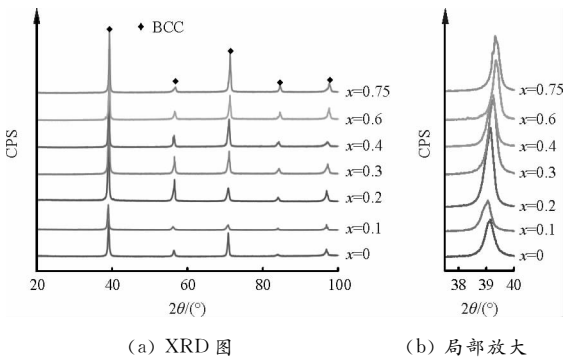


图 1 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 铸态合金的 X 射线衍射图
Fig.1 X-ray patterns of as-cast Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} alloys

表 1 为纯 Al、Mo、Nb、Ta 及 Ti 的熔点、原子半径,表 2 为 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 铸态合金的熔点、混合焓、晶格常数以及维氏硬度。可以看出,随 Al 含量的增加,合金的硬度提高,与混合焓绝对值的变化趋势一致,晶格常数略有减小。Al 原子半径和 Nb、Ta 原子半径接近,但是和 Mo、Ti 原子半径差异明显,导致随 Al 含量增多合金的晶格畸变越来越大,有效增强了合

金的固溶强化效果,使得硬度明显增加。

表 1 Al、Mo、Nb、Ta 和 Ti 纯金属的熔点、原子半径

Tab.1 Melting temperature (T_m) and atomic radius(R) of pure Al, Mo, Nb, Ta, Ti metals

纯金属	熔点/℃	原子半径/nm
Al	660	0.143 2
Mo	2 623	0.136 3
Nb	2 477	0.142 9
Ta	3 017	0.143 0
Ti	1 668	0.146 2

表 2 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 铸态合金的熔点、混合焓、晶格常数以及维氏硬度

Tab.2 Melting temperature (T_m), enthalpy of mixing(ΔH_{mix}), lattice constant and hardness of as-cast Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} alloys

x	熔点/℃	混合焓/(kJ·mol ⁻¹)	晶格常数/nm	硬度(HV)
0	2 187	-1.56	0.324 7	329.9±4.5
0.1	2 138	-4.20	0.324 1	369.1±2.7
0.2	2 091	-6.52	0.324 2	385.2±8.1
0.3	2 048	-8.56	0.323 9	427.4±4.1
0.4	2 007	-10.35	0.323 9	456.6±5.7
0.6	1 932	-13.30	0.323 4	511.8±3.8
0.75	1 882	-15.08	0.323 3	543.1±5.8

由表 2 还可看出,Al 与 Nb、Mo、Ta 及 Ti 之间的混合焓均为负值,随 Al 含量的增加,混合焓的绝对值逐渐增大,即与其余合金元素之间的强键合作用越来越大,也使得硬度增加。

图 2 为 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} 铸态合金的 BEI 电子图像。可以看出,合金呈明显的树枝状凝固方式,树枝间较深的衬度说明合金中出现了明显的成分偏析现象。图 3 为树枝晶部分(亮区)和枝晶间部分(暗区)元素含量的差值随 Al 含量的变化。正值表示元素在树枝晶部分含量高,负值表示枝晶间部分含量高。可以看出,Al、Ti 两元素在枝晶间部分含量比树枝晶部分高,Mo、Nb、Ta 元素在树枝晶部分含量比枝晶间高,且含量差值大小按 Ta>Mo>Nb 分布,与 3 种元素熔点高低排列相同(参见表 1),即熔点越高,树枝晶部分和枝晶间部分的含量差值越大。随 Al 含量增加,Mo、Nb 和 Ta 3 个元素在树枝晶部分和枝晶间部分的差值变化不大,Ti 在树枝晶部分和枝晶间部分含量的差值明显减小。以上现象符合凝固过程的一般规律,即高熔点元素先凝固结晶,富集在树枝晶部分上,而低熔点元素后凝固,在枝晶间部分含量高。随着 Al 含量增加,合金中树枝晶部分体积分数降低且逐渐变细,这是由于 Al 和难熔元素间具有较大的混合焓,即原子结合能力强,阻碍了合金元素在凝固过程中的扩散,表现为合金整体元素偏析程度降低,这阻碍了晶粒长大的过程,导致树枝晶逐渐细化,且破坏了基体的连续性^[24]。

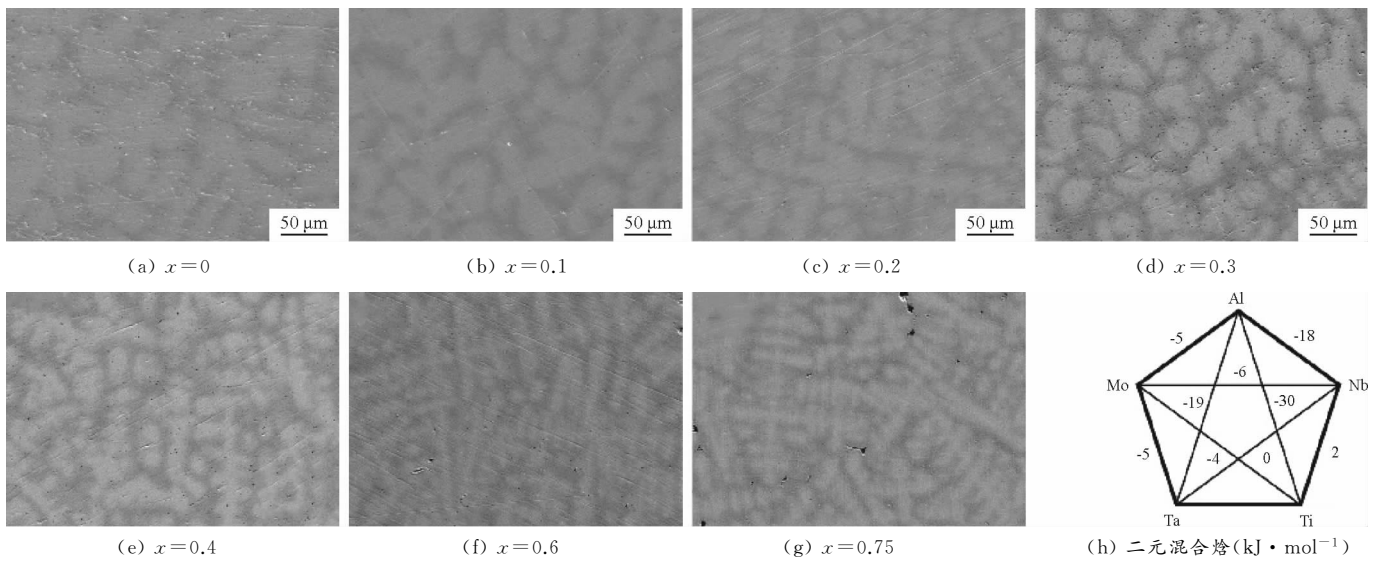


图 2 $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ 铸态合金背散射电子图像及不同元素间二元混合焓

Fig.2 Backscattered electron images of as-cast $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ alloys and mixing enthalpy between different elements

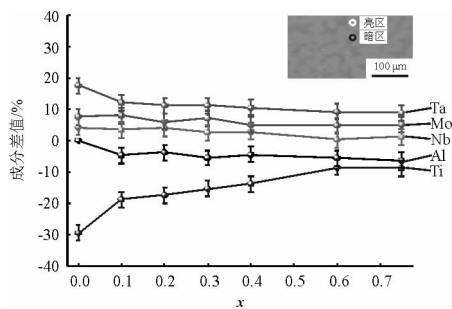


图 3 $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ 铸态合金微观成分分布

Fig.3 Microscopic composition distribution of as-cast $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ alloys

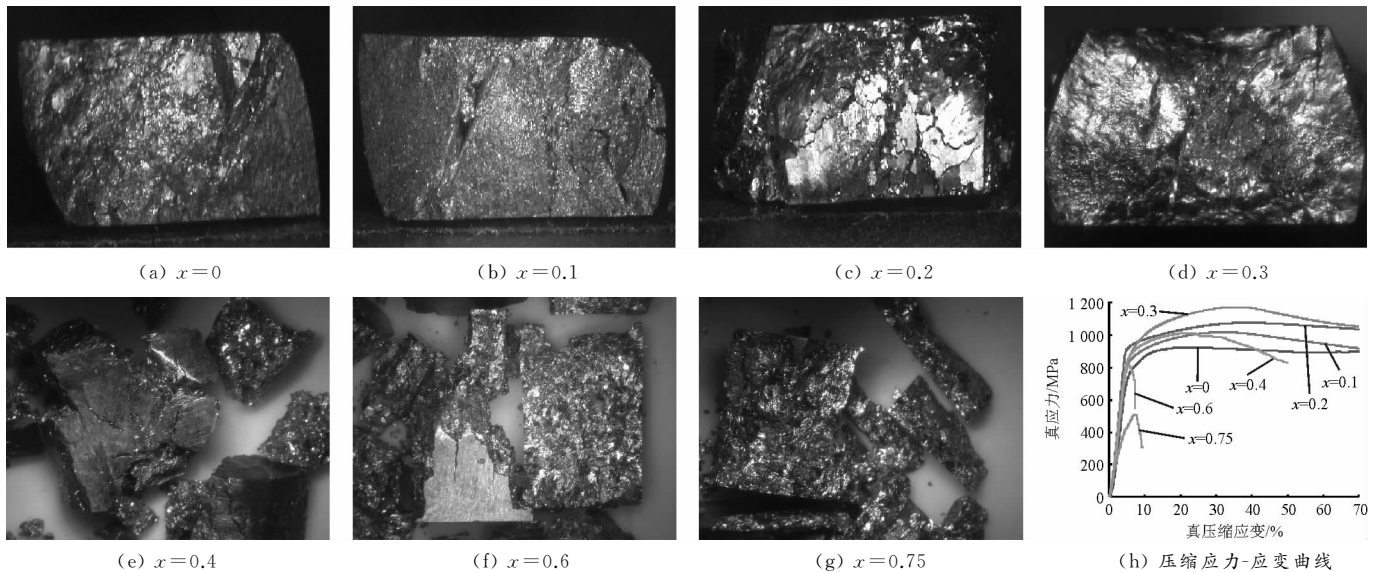


图 4 铸态 $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ 合金室温压缩应力-应变曲线及形貌

Fig.4 Compressive morphologies and stress-strain curves at room temperature of as-cast $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ alloys

与合金硬度变化趋势一致,主要归因于 Al 加入后导致由原子尺寸差异引起的晶格畸变程度增加,畸变晶格周围所形成的应力场阻碍了合金变形时位错的运动,提高了合金的强度和硬度。高 Al 含量时,Al 和难熔金属

元素间强的键合作用,增加了原子扩散的难度,使得合金组织逐渐细化,降低了基体间的连续性,细长不连续的树枝晶阻碍了合金变形过程中位错的运动,导致塑性变形过程中位错塞积,增大了合金形变抗力,使得合金

硬度进一步增强,但大幅提高了合金的脆性^[25-26]。

图5为合金压缩后试样截面BEI电子图像,图6为高Al含量合金的压缩断口形貌图。可以看出,低Al

含量($x\leqslant0.3$)时,在压缩应变大于70%合金试样没有发生断裂,内部出现流变组织,枝晶沿流变方向发生大的变形,这是由于在塑性较好的合金压缩过程中,试样

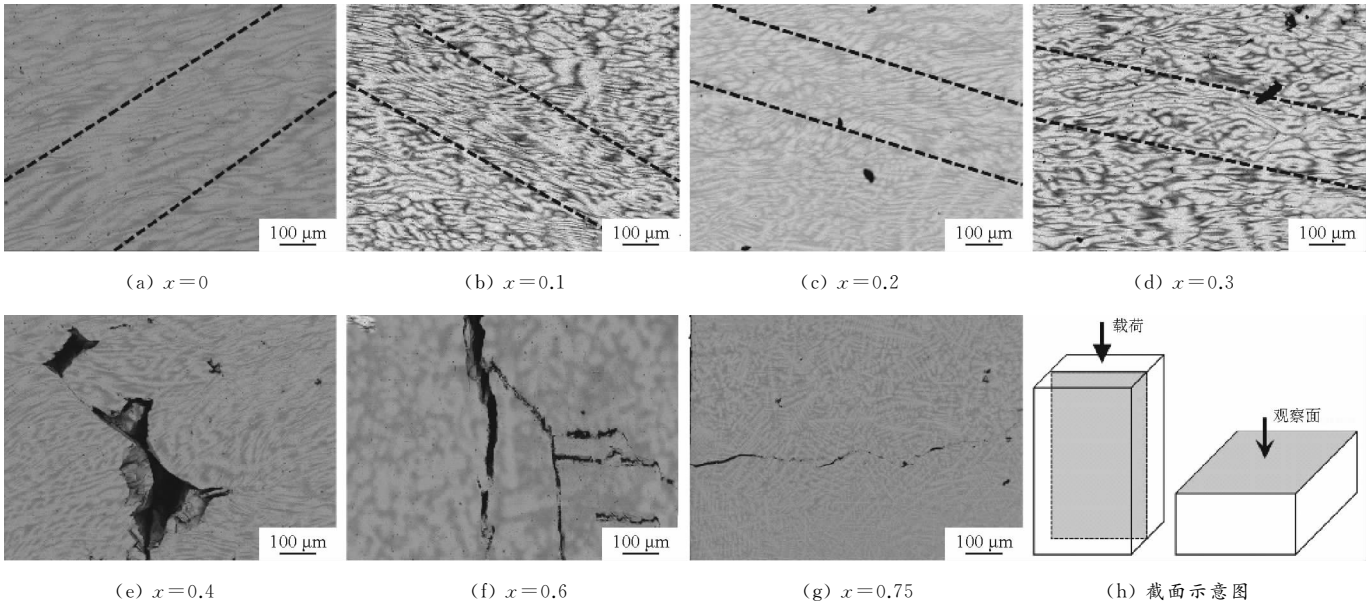


图5 铸态 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5}合金室温压缩截面背散射电子图像

Fig.5 Backscattered electron images of compression section of as-cast Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} alloys at room temperature

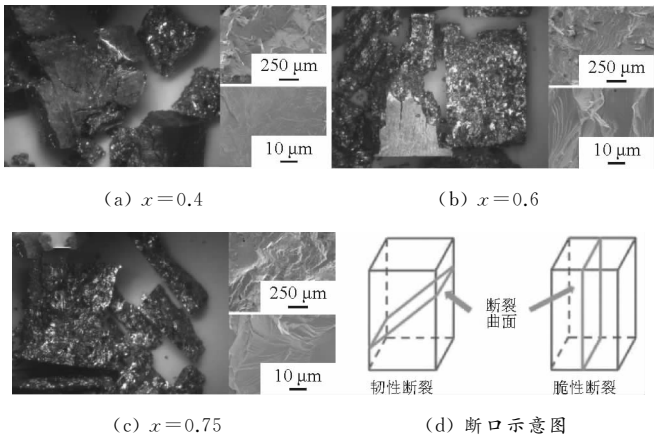


图6 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5}合金
($x=0.4,0.6,0.75$)合金室温压缩断口形貌

Fig.6 Compressive fracture morphologies of
Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} alloy

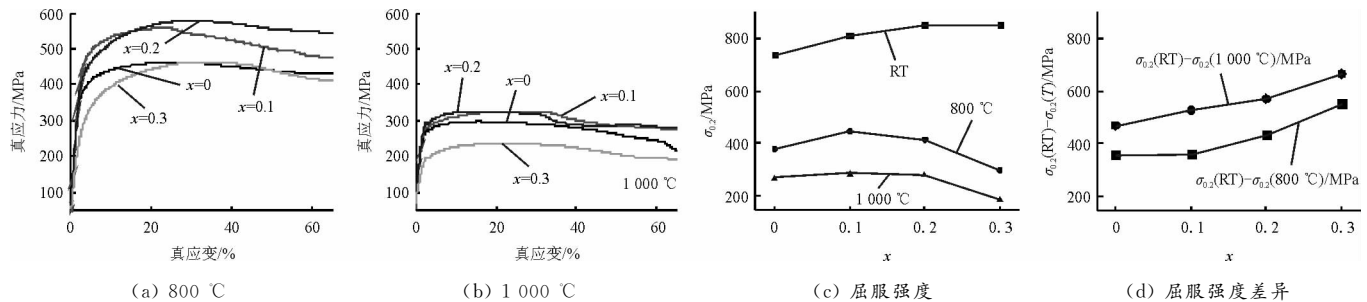


图7 铸态 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5}合金 800 °C和 1 000 °C压缩应力-应变曲线与屈服强度统计图

Fig.7 Compressive stress-strain curves at 800,1 000 °C and compressive yield strength statistics of as-cast
Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5} alloys

各部位受力较为均匀,与轴向45°方向上合金所受切应力最大,合金易沿此方向发生变形断裂,这 and 低 Al 含量合金高的压缩应变率相匹配,同时可以观察到随 Al 含量增多合金内部孔隙等缺陷也有所增多,是由于随 Al 含量增加,晶格畸变程度升高,在大的形变过程中位错运动受阻塞积,导致应力集中,在塑性变形过程中该部位易破碎或开裂形成微孔。在高 Al 含量时($x\geqslant0.4$),合金沿轴向发生劈裂,为典型的脆性断裂方式。通过图6可明显看出,断口由解理台阶和河流状花样构成,为典型的解理断裂特征。结合图5可以看出,试样内部出现明显的孔隙和裂纹,仔细观察发现裂纹产生于孔隙等缺陷处并沿枝晶边界扩展,这说明树枝晶和枝晶间部位在变形时具有较大的形变差,导致应力集中,促进了裂纹产生和扩展,导致合金脆性增加。

图7为铸态 Al_xMo_{0.5}Nb_{0.5}Ta_{0.5}Ti_{1.5}合金在 800 °C

和 1 000 °C 下的压缩应力-应变曲线与屈服强度统计。可以看出,随 Al 含量增加,合金的高温压缩屈服强度呈现先增大后减小的趋势,在 $x=0.1$ 时达到最大值,分别为 446 MPa 和 283 MPa。由图 7c 和图 7d 可以看出,随着 Al 含量增加,室温和高温压缩屈服强度的差值呈现上升趋势,说明随 Al 含量的增多高温强度降低的幅度越来越大,也即软化越来越明显。这种现象是由于在一定范围内随 Al 元素的增加合金固溶强化效果提升,有效提高了合金的室温和高温屈服强度,但是 Al 元素的添加降低了合金的熔点。合金理论熔点由 $x=0$ 时的 2 187 °C 降低到 $x=0.75$ 时的 2 048 °C,导致合金高温强度相对于室温强度下降越来越明显,这与文献[27]研究结果类似。

3 结 论

(1) $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ 合金为单相 BCC 结构,随 Al 含量的增加晶格常数逐渐降低,铸态树枝晶组织明显细化,各元素在晶内和晶间的含量分布主要由各自熔点决定。

(2) 随着 Al 含量增加, $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ 高熵合金硬度逐渐增大,室温下,在 Al 含量在 $x \leq 0.3$ 时,具有较好的压缩塑性,合金压缩应变达 70% 而不发生断裂,同时其屈服强度随 Al 含量的增高而增大; $x > 0.3$ 时,合金表现为脆性,在较低的应力下就发生脆性断裂;这主要是由于 Al 元素的固溶强化作用以及 Al 元素和难溶元素间高的键合能导致的。

(3) 随 Al 含量的增多 $\text{Al}_x\text{Mo}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}$ 高熵合金高温压缩强度下降幅度越来越大,这主要是由于 Al 的加入降低了其熔点所致。

参 考 文 献

- [1] 吕昭平,雷智锋,黄海龙,等.高熵合金的变形行为及强韧化[J].金属学报,2018,54(11):1 553-1 566.
- [2] MIRACLE D B, SENKOV O N. A critical review of high entropy alloys and related concepts[J]. Acta Materialia, 2017, 122: 448-511.
- [3] YE Y F, WANG Q, LU J, et al. High-entropy alloy: challenges and prospects[J]. Materials Today, 2016, 19(6): 349-362.
- [4] GAO M C, CARNEY C S, DOĞAN Ö N, et al. Design of refractory high-entropy alloys[J]. JOM, 2015, 67(11): 2 653-2 669.
- [5] GUO S. Phase selection rules for cast high entropy alloys: An overview[J]. Materials Science and Technology, 2015, 31(10): 1 223-1 230.
- [6] GUO S, LIU C T. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase[J]. Progress in Natural Science: Materials International, 2011, 21(6): 433-446.
- [7] HU Q, GUO S, WANG J M, et al. Parametric study of amorphous high-entropy alloys formation from two new perspectives;

Atomic radius modification and crystalline structure of alloying elements[J]. Sci. Rep., 2017(7): 39 917.

- [8] SHEIKH S, SHAFEIE S, HU Q, et al. Alloy design for intrinsically ductile refractory high-entropy alloys[J]. Journal of Applied Physics, 2016, 120(16): 164 902.
- [9] SENKOV O N, WILKS G B, SCOTT J M, et al. Mechanical properties of $\text{Nb}_{25}\text{Mo}_{25}\text{Ta}_{25}\text{W}_{25}$ and $\text{V}_{20}\text{Nb}_{20}\text{Mo}_{20}\text{Ta}_{20}\text{W}_{20}$ refractory high entropy alloys[J]. Intermetallics, 2011, 19(5): 698-706.
- [10] SENKOV O N, WOODWARD C F. Microstructure and properties of a refractory $\text{NbCrMo}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{TiZr}$ alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2011, A529: 311-320.
- [11] SENKOV O N, MIRACLE D B, CHAPUT K J, et al. Development and exploration of refractory high entropy alloys-A review[J]. Journal of Materials Research, 2018, 33(19): 3 092-3 128.
- [12] MIRACLE D B, TSAI M-H, SENKOV O N, et al. Refractory high entropy superalloys (RSAs) [J]. Scripta Materialia, 2020, 187: 445-452.
- [13] GUO N N, WANG L, LUO L S, et al. Microstructure and mechanical properties of refractory high entropy ($\text{Mo}_{0.5}\text{NbHf}_{0.5}\text{ZrTi}$) BCC/ M_5Si_3 in-situ compound [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 660: 197-203.
- [14] HAN Z D, CHEN N, ZHAO S F, et al. Effect of Ti additions on mechanical properties of NbMoTaW and VNbMoTaW refractory high entropy alloys[J]. Intermetallics, 2017, 84: 153-157.
- [15] CHEN M, LIU Y, LI Y, et al. Microstructure and mechanical properties of AlTiFeNiCuCr_x high-entropy alloy with multi-principal elements[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2007, 43(10): 1 020-1 024.
- [16] FENG X, ZHANG K, ZHENG Y, et al. Effect of Zr content on structure and mechanical properties of $(\text{CrTaNbMoV})\text{Zr}_x$ high-entropy alloy films[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section, 2019, B457: 56-62.
- [17] LIN C M, JUAN C C, CHANG C H, et al. Effect of Al addition on mechanical properties and microstructure of refractory $\text{Al}_x\text{HfNbTaTiZr}$ alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2015, 624: 100-107.
- [18] STEPANOV N D, YURCHENKO N Y, SKIBIN D V, et al. Structure and mechanical properties of the $\text{AlCr}_x\text{NbTiV}$ ($x=0, 0.5, 1, 1.5$) high entropy alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2015, 652: 266-280.
- [19] SENKOV O N, SENKOVA S V, WOODWARD C. Effect of aluminum on the microstructure and properties of two refractory high-entropy alloys[J]. Acta Materialia, 2014, 68: 214-228.
- [20] SENKOV O N, JENSEN J K, PILCHAK A L, et al. Compositional variation effects on the microstructure and properties of a refractory high-entropy superalloy $\text{AlMo}_{0.5}\text{NbTa}_{0.5}\text{TiZr}$ [J]. Materials & Design, 2018, 139: 498-511.
- [21] SENKOV O N, WOODWARD C, MIRACLE D B. Microstructure and properties of aluminum-containing refractory high-entropy alloys[J]. JOM, 2014, 66(10): 2 030-2 042.
- [22] GHOSH G, VAN DE WALLE A, ASTA M. First-principles calculations of the structural and thermodynamic properties of bcc, fcc and hcp solid solutions in the Al-TM ($\text{TM}=\text{Ti}, \text{Zr}$ and Hf) systems: A comparison of cluster expansion and supercell methods[J]. Acta Materialia, 2008, 56(13): 3 202-3 221.

La 和 Ce 对铸造 Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe 合金组织及性能的影响

吴顺意^{1,2} 葛富彪^{1,2} 甘培原² 胡振光^{1,2} 黎永生³ 谭海军¹

(1.桂林理工大学化学与生物工程学院;2.南宁市桂工教育科技有限公司;3.中国科技开发院广西分院)

摘 要 采用光学显微镜、扫描电镜和激光导热等手段,研究了单独或复合添加 La、Ce 对铸造 Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe 合金微观组织、力学性能和热导率的影响。结果表明,添加 0.3% 的(La+Ce)后,合金中 α -Al 相得到了较大程度的细化,二次枝晶臂间距(SADS)达到较小值(13.1 μm),共晶 Si 形貌转化为细小的颗粒状且均匀地分布于晶界处,富 Fe 相长度降低了 57.51%,其合金的热导率为 159.68 W/(m·K)、抗拉强度为 231.3 MPa、伸长率为 6.89%,与未添加稀土合金相比,分别提高了 13.79%、24.96% 和 118.73%。

关键词 Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe 合金;La 和 Ce;热导率;微观组织;力学性能

中图分类号 TG146.21;TG113.25

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.04.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of La and Ce on the Microstructure and Properties of Cast Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe Alloy

Wu Shunyi^{1,2}, Ge Fubiao^{1,2}, Gan Peiyuan², Hu Zhengguang^{1,2}, Li Yongsheng³, Tan Haijun¹

(1.College of Chemistry and Bioengineering, Guilin University of Technology; 2.Nanning Gult Education Technology Co., Ltd.; 3.Guangxi Branch of Chinese Science and Technology Development Institute)

Abstract: The effects of microstructure, mechanical properties and thermal conductivity of cast Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe alloy were investigated with single or compound addition of La and Ce by means of optical microscope, scanning electron microscope and laser flash apparatus. The results indicate that the alloy with 0.3% (La+Ce) addition, the α -Al phase is refined to a greater extent, and the secondary dendrite arm spacing(SDAS) achieves a minimum value of 13.1 μm . In additon, the morphology of eutectic Si is transformed into fine particles and uniformly distributed at the grain boundaries, and the length of Fe-rich phase is reduced by 57.51%. Where the thermal conductivity is 159.68 W/(m·K), tensile strength is 231.3 MPa, and elongation is 6.89%, which are increased by 13.79%, 24.96% and 118.73%, respectively compared with the alloy without rare earth addition.

Key Words: Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe Alloy, La and Ce, Thermal Conductivity, Microstructure, Mechanical Properties

随着 5G 通讯和新能源汽车等行业的快速发展,用于 5G 通讯基站密封腔体外壳和新能源汽车电池组冷却模块所用的散热材料受到了广泛的关注^[1-2]。Al-Si 系合金具有密度小、强度高、热导率高、耐腐蚀性好等特

收稿日期:2022-06-17;修改稿收到日期:2023-01-05

基金项目:广西电磁化学功能物质重点实验室开放课题资助项目(RZ2100001194)

第一作者简介:吴顺意,男,1986 年出生,学士,南宁(530004),E-mail:568627761@qq.com

通信作者:胡振光,男,1975 年出生,高级工程师,广西桂林(541006),E-mail:huzg2008@163.com

通信作者:黎永生,男,1986 年出生,高级工程师,南宁(530015),E-mail:gxcdmlys@foxmail.com

引用格式:吴顺意,葛富彪,甘培原,等. La 和 Ce 对铸造 Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe 合金组织及性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(4):529-535.
WU S Y, GE F B, GAN P Y, et al. Effects of La and Ce on the microstructure and properties of cast Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(4):529-535.

[23] TANG Z, GAO M C, DIAO H, et al. Aluminum alloying effects on lattice types, microstructures, and mechanical behavior of high-entropy alloys systems[J]. JOM, 2013, 65(12): 1 848-1 858.

[24] EASTON M, DAVIDSON C, ST JOHN D. Effect of alloy composition on the dendrite arm spacing of multicomponent aluminum alloys[J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2010, A41(6): 1 528-1 538.

[25] GAO S, KONG T, ZHANG M, et al. Effects of titanium addition on microstructure and mechanical properties of CrFeNiTi_x ($x = 0.2\sim 0.6$) compositionally complex alloys[J]. Journal of Materials Research, 2019, 34(5): 819-828.

[26] GE S, FU H, ZHANG L, et al. Effects of Al addition on the microstructures and properties of MoNbTaTiV refractory high entropy alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2020, A784: 139 275.

[27] SENKOV O N, GORSSE S, MIRACLE D B. High temperature strength of refractory complex concentrated alloys[J]. Acta Materialia, 2019, 175: 394-405.