

Al_{70-x}Cu₈Fe₁₀Cr₁₂Ce_x 准晶合金的 凝固形貌及组织^①

齐育红 张占平 黑祖昆 马永庆 史雅琴

(大连海事大学金属材料工艺研究所, 大连 116026)

摘 要 研究了 Ce 对 AlCuFeCr 准晶合金凝固特性的影响。结果表明加入 Ce 能提高 AlCuFeCr 合金的硬度, 加入适量的 Ce 可细化晶粒; 而且固-液界面的生长方式随着 Ce 含量的增加而明显改变, 使合金凝固形貌表现出由胞状晶向胞状枝晶再向树枝晶转变的规律。

关键词 准晶 稀土 Ce 凝固形貌

准晶自 1984 年首次被报导以来^[1], 随着对其原子结构、电子结构、热稳定性及缺陷等研究的深入, 人们对其电、热和力学性能等有了进一步的认识, 这些都为其应用研究提供了基础。近年来国内外都有关于准晶应用研究的报道^[2, 3, 4]。法国学者对 AlCuFe、AlCuFeCr 系准晶进行了较系统的研究, 发现准晶具有较高硬度、低摩擦系数、不粘性、耐蚀、耐热、耐磨等良好的综合性能, 且已成功地用于不粘锅^[5]。由于稀土元素对于许多材料有净化与细化作用, 能改善材料的性能; 因此, 本文试图研究 Ce 对 Al₇₀Cu₈Fe₁₀Cr₁₂ 准晶凝固形貌及组织的影响。

1 实验材料与方法

将工业纯 Al(99.80%)、Cu(99.95%)、Fe(99.95%)、Cr(98.86%) 及 Ce 按 Al_{70-x}Cu₈Fe₁₀Cr₁₂Ce_x 成分配料, 在氩气保护电弧炉中经多次熔化制备成合金锭, 从合金锭中底部取样制备金相试样, 观察组织和测量显微硬度; 取上部(缩松区)观察缩松区凝固形貌。

用 JCSA-733 型电子探针、H-800 型透射电镜、D/max-III A 型 X 射线衍射仪进行显微组织、形貌分析。用 LeitzMM6 显微硬度计测量硬度。

2 实验结果分析讨论

2.1 显微硬度

显微硬度测量结果见表 1, 载荷 25 g, 测量中压痕清晰, 无裂纹。结果表明, 加入 Ce 可不同程度地提高 AlCuFeCr 合金的硬度。这是由于加入 Ce 不同程度地改变了合金的凝固形貌和组织(见图 1、2)。

表 1 Ce 含量与显微硬度的关系

编 号	Ce/ 摩尔分数	HV(25 g)
A1	0	697
A2	0.1	810
A3	0.5	757
A4	1.0	822
A5	3.0	718

2.2 显微组织分析

图 1 为各试样研磨成粉末后的 XRD 谱, 表明在选用工业纯度的原料及电弧炉熔炼的条

① 辽宁省教育委员会资助项目(编号 95121302)

收稿日期: 1996-06-05; 修回日期: 1996-09-09

齐育红, 女, 33 岁, 博士

量较高时, 为 Ce 的复杂化合物相提供了聚集、

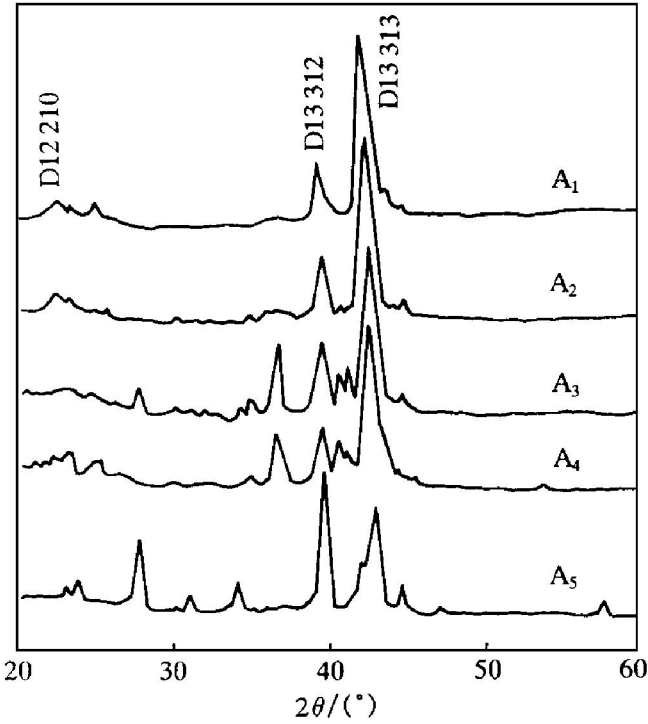


图 1 各个试样的 XRD 谱

件下可以得到 AlCuFeCr 十次准晶(D 相), 而且随着 Ce 含量的增加, D 相的量有所降低, 富 Ce 晶体相的量逐渐增加。各试样缩松区的形貌见图 2, 图 3 为粉末样品中十次准晶的 TEM 选区电子衍射谱, EPMA 相成分定量(表 2)结果表明, D 相中含微量 Ce, 富 Ce 相中 Ce 含量随合金加入的 Ce 量增加而增加。

2.3 Ce 对 AlCuFeCr 合金凝固组织及形貌的影响

$\text{Al}_{70}\text{Cu}_8\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{12}$ 合金在铸态下的凝固形貌为柱状晶, 具有规则形状(图 2), 这与文献[6]中报道的 Al-Cu-Co 十次准晶缓冷条件下的凝固形貌相似。可以看出随着 Ce 含量的增加, 合金凝固形态发生显著变化。Ce 从 0 增加到 0.5% 时, 晶粒数量增加, 晶粒细化。Ce 含量达到 1.0% 时, 晶粒变粗变短, 晶粒数量有所减少; Ce 量进一步增加到 3.0%, 晶粒进一步粗大。随着 Ce 含量的增加, 凝固形貌发生由胞状晶向胞状枝晶再向树枝晶的转变, 其凝固形貌转变的示意图见图 4。分析认为, 这是由于当 Ce 含量较低时, 增加 Ce, 合金的过冷度增加, 形核率增加, 从而导致晶粒细化。而 Ce

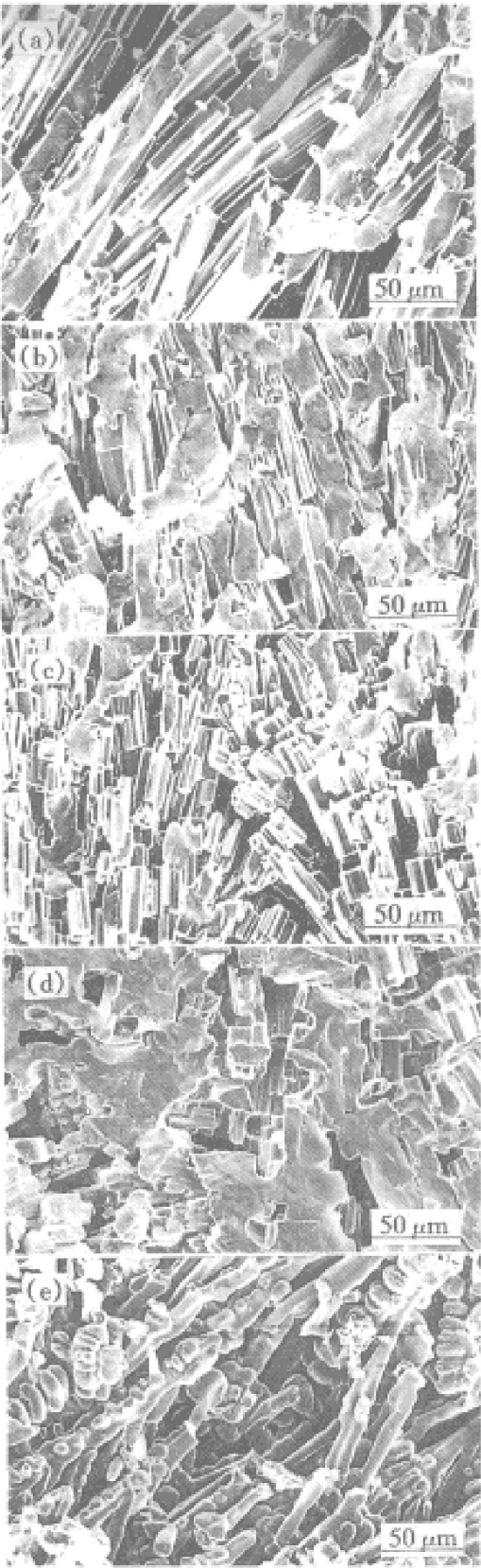


图 2 缩松区的二次电子相
(a) $-x = 0$; (b) $-x = 0.1$;
(c) $-x = 0.5$; (d) $-x = 1.0$;
(f) $-x = 3.0$

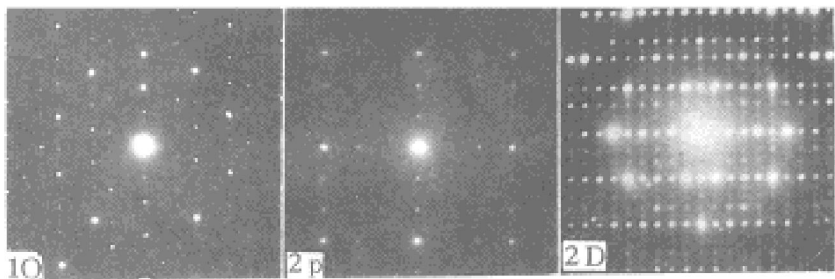


图 3 十次准晶的 TEM 选区电子衍射谱

表 2 各试样中相成分(摩尔分数%)

编 号	基体相(D 相)					富 Ce 相				
	Al	Cu	Fe	Cr	Ce	Al	Cu	Fe	Cr	Ce
A1	69.0	7.6	9.6	13.8	0					
A2	68.3	7.9	8.9	14.9	0.02	65.2	17.5	7.7	8.3	1.3
A3	68.6	8.5	9.4	13.5	0.03	65.0	12.6	10.7	8.5	3.2
A4	68.7	5.6	10.7	15.0	0.02	67.1	15.1	5.3	8.0	4.5
A5	67.8	7.6	9.2	15.4	0.03	64.0	10.5	8.8	8.5	8.2

长大条件,形核率有所降低,侧向生长速度增加,晶粒较粗大。另一方面 Ce 是 Al 及其合金的表面活性元素,能降低液态铝合金的表面能,故 Ce 将富集在固-液界面前沿的液相中,根据凝固理论的成分过冷判据 $G/R \geq \frac{mc_0(1-k)}{DK}$,随着合金中 Ce 含量的增加,式中其它参数变化不大,而溶质偏析系数 K 增加,造成固-液界面前沿的液相中成分过冷也随之增大,使凝固界面的不稳定性增加,从而使凝固形貌表现出由胞状晶向胞状枝晶再向树枝晶转变的规律,显著地改变了 AlCuFeCr 合金的凝固特性。

3 结论

- (1) AlCuFeCr 合金中加入 Ce 后,组织中除了十次准晶基体相外,还形成了富 Ce 的复杂晶体化合物相。
- (2) 加入 Ce 不同程度地提高了 AlCuFeCr 合金的硬度。
- (3) 加入适量的 Ce 可以细化 AlCuFeCr 合金晶粒。
- (4) Ce 显著地改变了 AlCuFeCr 合金的凝固特性,使其凝固形貌表现出由胞状晶向胞状枝晶再向树枝晶转变的规律。

参考文献

- 1 Shechtman D, Blech I, Gratias D *et al.* Phys Rev Lett, 1984, 53: 1951.
- 2 Dubois J M, Kang S S. J mater Sci Lett, 1991, 10: 537.
- 3 李松瑞,蒙冕武,朱建海等.中南矿冶学院学报,1993,24: 638.
- 4 董 闯.材料研究学报,1994,8: 481.
- 5 Dubois J M, Weinland P. French Patent No. 8810559. 1988.
- 6 陈立凡,陈熙琛.金属学报,1995,1: A1.

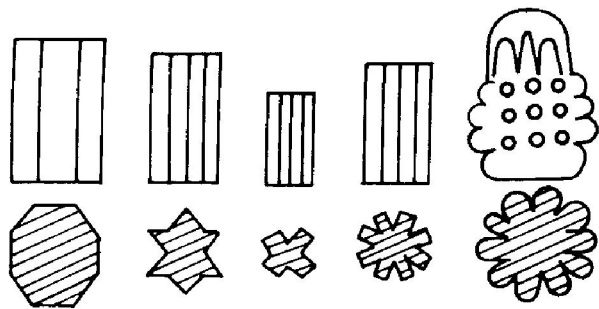


图 4 凝固形貌示意图

SOLIDIFICATION MORPHOLOGY AND STRUCTURE OF $\text{Al}_{70-x}\text{Cu}_8\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{12}\text{Ce}_x$ QUASICRYSTALS

Qi Yuhong, Zhang Zhanping, Hei Zukun, Ma Yongqing, Shi Yaqin

Institute of Metal and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026

ABSTRACT The solidification morphology and structure of AlCuFeCr quasicrystals were studied. The results showed that the hardness of AlCuFeCrCe is higher than that of AlCuFeCr , and the suitable content of Ce in the alloy refines the grain size. With increase of Ce content in alloy, the solidification morphology of the alloy occurs the transformation from cellular crystal to dendrite crystal.

Key words quasicrystals rare earth element Ce solidification morphology

(编辑 黄劲松)

(From page 93)

TENSILE PROPERTIES AND CHANGE IN MICROSTRUCTURE OF AIR COOLED TC4 ALLOY SUBJECTED TO CYCLIC TEMPERATURE FIELD

Geng Hongbin, He Shiyu, Lei Tingquan

*School of Materials Science and Engineering,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*

ABSTRACT The thermal cycling tests between -196 and $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ were performed on the TC4 alloy air cooled from $1\ 020$, 950 and $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. The tensile properties before and after thermal cycling were evaluated. Experimental results show that after $1\ 000$ thermal cycles, the strength increases, the ductility decreases and the dislocation density or amount of deformation twins increase, among which the specimens air cooled from $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ have the largest increase in strength and have the largest residual ductility.

Key words titanium alloy thermal cycling tensile property microstructure

(编辑 彭超群)