

文章编号:1673-9981(2007)01-0037-03

AC61 铸造镁合金中物相和显微组织分析

肖峰

(华南理工大学机械工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:介绍了 AC61 铸造镁合金的显微组织,并利用光学显微镜和 X 射线衍射以及扫描电镜对其显微组织进行了分析.结果表明,AC61 铸造镁合金是由 α -Mg 基体、共晶体以及弥散分布于晶内的细小析出相组成,是典型的铸造离异共晶体组织. α -Mg 晶粒为粗大的等轴晶,粒径约为 150 μm ,共晶体由 α -Mg 与 γ -Mg₁₇Al₁₂ 组成,沿晶界成不连续网状分布,而 U-AlCuMg 则弥散分布于晶体内部.

关键词: Mg-Al-Cu 合金; 铸造组织; α -Mg; γ -Mg₁₇Al₁₂; U-AlCuMg

中图分类号: TG113.12

文献标识码: A

镁及其合金是目前应用于工业领域中最轻的金属结构材料^[1],它具有密度小、比强度和比刚度、震性和切削加工性好、铸造性能优良等优点,广泛应用于汽车工业、通讯电子工业和航空航天工业等领域中^[2-3].其中,用于汽车工业的镁合金大多数是以 Mg-Al 为基的合金^[2].目前,国内外对 Mg-Al 系列合金的研究很广泛,在这一类合金中晶界处以 α 和 γ 相混合的离异共晶为主,并存在其它的二元或三元相.一般情况下, γ 相在固溶时溶入基体,时效时从基体中析出.本文研究的是 AC61 镁合金在铸态下的相组成.

1 实验方法

将 AC61 镁合金在容量 5.5 kg 的钢制坩埚里熔化后,用砂模浇铸成块状试样.先用 180~800 号的水磨砂纸打磨试样,然后用粒度为 1 μm 的人造金刚石研磨膏抛光,将试样在 50% HPO₃ 和 50% CH₃OH 的混合溶液里腐蚀 10~15 s 后,进行光学显微组织观察. AC61 镁合金的化学成分列于表 1.

用 Philip X-pert 型 X 射线衍射仪分析相的组成,用 Olympus PME3 型光学显微镜观察表面形

貌,用 LEO1530 型装载 X 射线能谱仪的扫描电镜对铸造组织进行观察及成分分析.

表 1 AC61 的化学成分

Table 1 Chemical compositions of AC61 magnesium alloy

	w/%		
	Mg	Al	Cu
名义含量	93	6	1
实际含量	91.12	6.08	2.80

2 结果和分析

2.1 X 射线衍射分析

图 1 为 AC61 铸造镁合金的 XRD 图谱,其中 α -Mg 的八个强峰所对应的 d 值与 PDF 卡片上 α -Mg 的 d 值吻合,这表明 AC61 铸造镁合金中的基本物相是 α -Mg. Mg 的晶格常数 $a = 0.3209 \text{ nm}$, $c = 0.5211 \text{ nm}$,空间点群为 p63/mmc(194).

除 α -Mg 外,图 1 中在 2θ 为 36.113°,40.079°及 64.940°处的衍射峰可标定为 γ -Mg₁₇Al₁₂ 的 (411), (332) 及 (721) 晶面,分别对应于第一、第二及第三强峰,其中 γ -Mg₁₇Al₁₂ 属立方晶系,其晶格常数 $a = b = 1.054 \text{ nm}$,空间点群为 $\bar{1}42(217)$. 另外,在 2θ 为

收稿日期:2006-07-19

作者简介:肖峰(1980-),男,湖南武冈人,硕士研究生.

41.581°, 42.399°及 46.786°处的衍射峰可标定为 U-AlCuMg 的(11 $\bar{2}$ 4), (20 $\bar{2}$ 2)及(0004)晶面, 分别对应于第一、第三和第十强峰, 其中 U-AlCuMg 的晶格常数 $a = 0.5070 \text{ nm}$, $c = 0.8290 \text{ nm}$, 空间点群为 $p63/mmc(194)$, 但其衍射峰不明显, 这与 U-AlCuMg 在 AC61 中形成的量比较少有关, 有些地方是 X 射线检测的盲区。

由此可知, AC61 铸造镁合金是由基体相 α -Mg 和少量的 γ -Mg₁₇Al₁₂ 及 U-AlCuMg 相组成的。

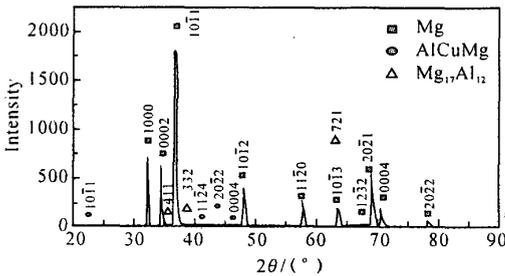


图 1 X 射线衍射分析图谱

Fig. 1 X-ray diffraction pattern

2.2 显微组织及成分分析

图 2 为 AC61 在铸态下的金相组织。由图 2 可见, 晶内颗粒比较均匀, 平均颗粒直径约 150 μm 。晶界上的共晶组织成不连续的网状分布, 其中晶内存在弥散分布的点状或块状析出物, 是典型的铸造离异共晶组织。

由 Mg-Al 二元合金相图^[4]可知, Mg-Al 合金发生由液相转变为 α -Mg 和 γ -Mg₁₇Al₁₂ 的共晶反应温度为 437 $^{\circ}\text{C}$ 。在此温度下 Al 在 Mg 中的溶解度最大, 达到 12.7%, 共晶点 $w(\text{Al}) = 32.3\%$ 。随着温度的下降 Al 在 Mg 中的溶解度降低, 100 $^{\circ}\text{C}$ 时降为 2.6%。AC61 镁合金中 Al 的质量分数约为 6%, Mg-Al 合金固-液两相区的温差较大, 且 α -Mg 是密排六方晶体结构, 使得合金元素在 α -Mg 基体中的固溶率低, 易发生非平衡凝固而形成离异共晶体组织。共晶体组织中的 γ -Mg₁₇Al₁₂ 相分布在从共晶体中先析出的 α -Mg 相的晶粒边界上(见图 2)。许光明等人^[6]在 AZ31 镁合金中也观察到类似的共晶体组织, 同时还发现, 凝固过程在较强静磁场的作用下, 合金元素在晶粒内的固溶度有所提高, 共晶体组织明显减少, 共晶体网络组织变得不连续, 在晶内和晶界附近有大量近似球状的共晶体质点。

根据三元合金相图^[6], Mg, Al, Cu 可形成 Al-CuMg 三元相, 故合金铸造组织是由灰白色基体相(α)、黑白相混的共晶相($\alpha + \gamma$)和晶粒内部的黑色析出颗粒(U)组成。

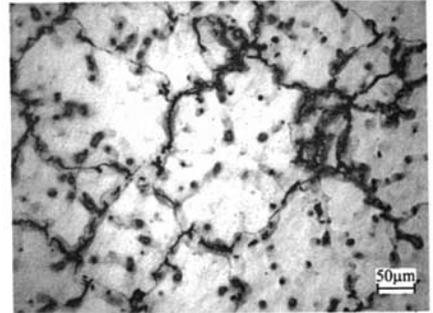


图 2 AC61 镁合金铸态组织

Fig. 2 As-cast microstructure of AC61 magnesium alloy

利用背散射电子(BSE)观察 AC61 镁合金, 图 3 为 AC61 镁合金晶界处的 SEM 图。由图 3 可见, 图中三种不同的亮度, 分别为前面提到过的三种不同的相。最暗的相为 AC61 的基体 α -Mg 相, 它的原子序数最小。图中 a 点最亮, 其 Mg, Al 和 Cu 的原子百分比约为 1 : 1 : 1, 综合 2.1 节的 XRD 分析, 可以确定, 铸态下的 AC61 中存在 U-AlCuMg 相。图 3 中亮度较低的 b 点, 其 Mg 和 Al 的原子百分比接近 2 : 1, 而 Cu 原子所占百分比很小, 可以认为 b 点主要存在 Mg 和 Al 两种元素。b 点的 Mg 原子百分比比较之 γ -Mg₁₇Al₁₂ 相的偏高。这是由于在微米尺度的能谱分析中, 往往会带入基体的信息, 象镁合金这样的轻合金, 在能谱分析时梨状效应的区域会增大, 因而增加带入基体(Mg)信息的机会, 但这与先前判定的 γ -Mg₁₇Al₁₂ 相并不矛盾。

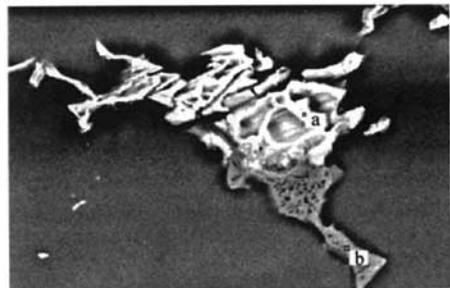


图 3 晶界处的 SEM 图

Fig. 3 Microstructure of grain boundary

图3中a点和b点的EDS能谱成分分析结果列于表2。由表2可见,a点的Mg,Al和Cu的原子百分比基本相等,而b点的Mg,Al和Cu的原子百分比相差较大,所以a,b两点的亮度不同。

表2 图3中a和b点的EDS能谱成分分析结果

Table 2 Chemical composition determined by EDS analysis for a and b positions shown in fig. 3

位置	原子分数/%		
	Mg	Al	Cu
a	38.18	29.54	32.29
b	67.35	30.70	1.95

图4为a和b点的能谱图。由图4可见,a点的Mg,Al和Cu的强度基本一致,而在b点Mg的峰很强,而Al和Cu峰的强度很弱。

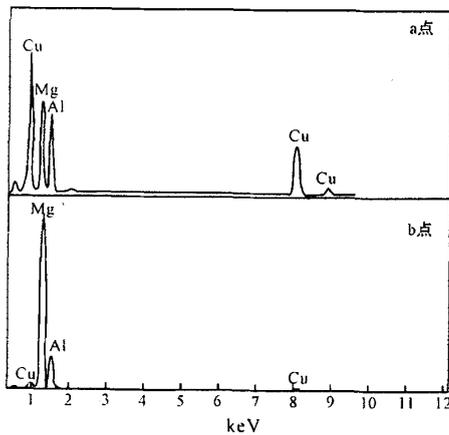


图4 图3中a和b点的能谱分析

Fig. 4 EDS analysis corresponding to a and b in fig. 3

3 结论

AC61 铸造镁合金由 α -Mg 基体、共晶体及弥散分布于晶内的细小析出相组成,是一种典型的铸造离异共晶体组织。 α -Mg 晶粒为粗大的等轴晶,平均粒径约为 $150 \mu\text{m}$ 。共晶体由 α -Mg 与 γ - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 组成,呈不连续的网状分布在晶界上,具有多边形块状和片层类似粗珠光体状两种形态,而 U-AlCuMg 则弥散分布于晶粒内部。

一般认为 γ - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相在热处理过程中会引起合金性能的改变,至于 γ - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相对 AC61 合金性能的具体影响以及合金中是否还存在其他相,还有待于对合金进行固溶、时效等热处理,并利用透射电子显微镜(TEM)进行物相鉴定。

参考文献:

- [1] MORDIKE B L, EBERT T. Magnesium properties application potential[J]. Materials Science and Engineering A, 2001(302): 37245.
- [2] NEITE G, KUBOTA K, HIGASHI K, et al. Magnesium-based alloys[J]. Material Science and Technology, 1996, 8: 113.
- [4] 刘正, 张奎, 曾小勤. 镁基轻质合金理论基础及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 许光明, 包卫平, 郑佳伟, 等. 磁场作用下合金元素在 AZ31 镁合金中的分布[J]. 稀有金属, 2004, 28(1): 97-100.
- [6] 侯增寿, 陶岚琴. 实用三元合金相图[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.

Phases and microstructure analysis of as-cast AC61 magnesium alloy

XIAO Feng

(College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The microstructure of as-cast AC61 magnesium alloy was reported with optical microscopy, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy. AC61 as-cast magnesium alloy showed a typical non-equilibrium cast structure consisting mainly of α -Mg matrix, eutectic and some dispersive precipitates. The α -Mg matrix showed equiaxed grains with the average grain size of about $150 \mu\text{m}$. The eutectic consisted of α -Mg and γ - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ that are discontinuously distributed along the grain boundaries, and the U-AlCuMg precipitated dispersedly in the grain.

Key words: Mg-Al-Cu magnesium alloy; as-cast microstructure; α -Mg; γ - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$; U-AlCuMg