

Al-Ti-B 晶粒细化合金中的有效形核相^①

孝云祯 马宏声 路贵民
(东北大学压力加工系, 沈阳 110006)

刘劲波
(洛阳有色加工设计院, 洛阳 471000)

摘 要 研究了 Al-Ti-B 晶粒细化合金中各化合物相 TiAl₃、TiB₂ 和 AlB₂ 对铝晶粒的细化作用。结果表明, TiAl₃ 相是有效形核相, TiB₂ 和 AlB₂ 相不能单独作为形核相, B 对 Al-Ti-B 的细化作用有显著影响, 但 B 及硼化物不能单独影响细化过程, 而是富集在 TiAl₃ 相中对细化过程产生重要影响。

关键词 晶粒细化 TiAl₃ 相 有效形核相 Al-Ti-B 中间合金

Al-Ti-B 中间合金是铝及铝合金的高效晶粒细化剂^[1], 已取代了传统的 Al-Ti 二元中间合金。近年来, 国外学者对其细化机理进行了大量研究, 但迄今仍是众说纷纭, 没有统一的看法。已发现 Al-Ti-B 中间合金中主要化合物有铝化物 TiAl₃(体心正方晶胞(BCT)^[2])、硼化物 TiB₂ 和 AlB₂。作者通过实验研究, 观察分析了各化合物相在铝中的有效细化作用, 确定了能作为有效结晶核心的质点, 为进一步研究细化机理奠定了基础。

1 实验方法

实验选用 Al-Ti、Al-B、Al-Ti-B 三种中间合金和一种 TiB₂ 粉末(其成分见表 1), 配成各种细化剂(其组成如表 2), 对工业纯铝进行细化处理, 以便研究各组细化剂之间细化效果的差异。

实验均在同一条件下进行: 熔炼温度 750 ℃, 各组细化剂加入铝液充分搅拌后, 保持 0.5、1、2、5、30、60、120 min 后分别取样, 检测细化效果采用 XJG-40 显微镜、日本理学 XD/MAX-RB X 射线衍射仪, PHILIPS SEM505 扫描电镜和 EPM-810 电子探针。

2 实验结果与讨论

2.1 Al-Ti-B 中间合金中的化合物

图 1 为 Al-5Ti-1B 中间合金的 X 射线衍射谱, 表明该合金中 Ti 和 B 除少量固溶到 α(Al) 中之外, 大部分以化合物 TiAl₃ 和 TiB₂(或 AlB₂) 形式存在。各相点阵常数测试结果见表 3, 可见, Al-5Ti-1B 中 TiAl₃ 相的晶格常数与标准值符合得很好, 而 TiB₂(或 AlB₂) 相的晶格常数与标准值有较大差别, 这是由于 TiB₂ 相与 AlB₂ 相晶型相同, 晶格常数相差不大, 它们之间可能产生固溶体(Al, Ti)B₂^[3, 4], X 射线衍射测得的 TiB₂(或 AlB₂) 相很可能就是 (Al, Ti)B₂ 相。这些化合物便是起细化作用的粒子, 是固溶体铝的有效形核基底^[5], 因此本

表 1 实验用工业纯铝和细化合金成分(%)

合金或 细化剂	Ti	B	Fe	Si	Cu	Al	化合物
Al-1	0.006	0.008	0.10	0.13	0.007	99.7	-
Al-5Ti-1B	4.87~ 5.24	0.88~ 0.98	-	-	-	余量	TiAl ₃ TiB ₂ AlB ₂
Al-3Ti	3	-	-	-	-	余量	TiAl ₃
Al-2B	-	1.77	-	-	-	余量	AlB ₂
TiB ₂	纯度大于 99%, 粒度为 1 μm						TiB ₂

① 收稿日期: 1996-07-08; 修回日期: 1996-09-26

孝云祯, 男, 50 岁, 副教授, 硕士

表 2 各种细化剂对工业纯铝的细化效果

细化剂	添加量 / %	细化效果(晶粒平均面积/mm ²)								组织特征
		30 s	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min	
Al-5Ti-1B	Ti, 0.03	0.1~0.3	0.018 ~ 0.03	0.018 ~ 0.03	0.018 ~ 0.03	0.018 ~ 0.03	0.018 ~ 0.03	0.018 ~ 0.03	0.018 ~ 0.03	细小等轴晶
Al-3Ti	Ti, 0.03	1~3	4~8	1~3	1~3	4~8	4~8	1~3	1~3	粗等轴晶
Al-2B	B, 0.03	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	10~12	发达柱状晶
TiB ₂	Ti, 0.03	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	发达柱状晶
Al-3Ti+ TiB ₂	Ti, 0.03 Ti/B=5	1~3	7~8	4~8	15~17	1~3	1~3	1~3	15~17	多数粗等轴晶 少数发达柱状晶
Al-3Ti+ Al-2B	Ti, 0.03 Ti/B=5	15~17	15~17	15~17	15~17	1~3	15~17	15~17	15~17	大多为发达柱状晶
-	-	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	15~17	发达柱状晶

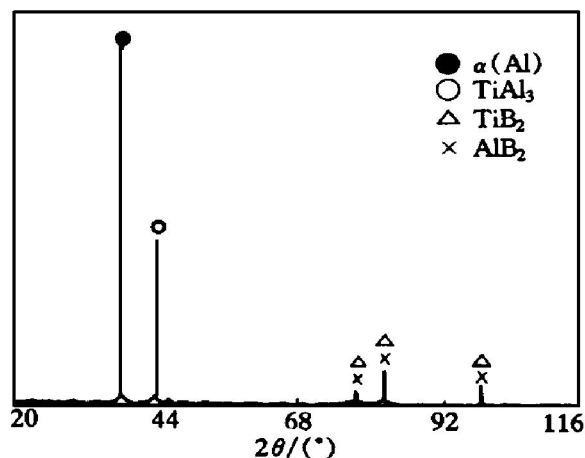


图 1 Al-5Ti-1B 中间合金的 X 射线衍射谱线

表 3 Al-5Ti-1B 合金中物相点阵常数测试结果

物相	晶系	实测值/Å		JCPDS 标准/Å	
		a	c	a	c
TiAl ₃	正方	5.437	8.593	5.438	8.596
TiB ₂	六方	3.015	3.301	3.028	3.228
AlB ₂	六方	3.015	3.301	3.009	3.262

文采用含有这些化合物的各种细化剂对纯铝进行细化实验。

2.2 细化效果及机理分析

从表 2 的实测数据和金相观察记录可以看出,工业纯铝为发达的柱状晶组织,晶粒平均面积为 15~17 mm²; Al-5Ti-1B 的细化效果最好,并且响应时间快,抗衰减能力强,被其细化后的纯铝铸态组织均为细小等轴晶,晶粒平均面积为 0.018~0.03 mm²; Al-3Ti 有一定的细化作用,使纯铝发达的柱状晶变为粗大的等

轴晶,晶粒平均面积为 1~3 mm²。比较 Al-5Ti-1B 和 Al-3Ti 两种细化剂的细化效果,可见 B 对改善细化性能的作用显著。

添加 Al-2B 对纯铝的组织几乎没有影响,这表明 AlB₂ 的形核作用很微弱;添加 TiB₂ 粉对纯铝组织也没有影响,发达的柱状晶依然存在,这证明熔体中仅有 TiB₂ 粒子是不能细化晶粒的。当添加 TiB₂ 粉的同时,再加入 Al-3Ti 合金,细化效果也不好,大多数铸锭的晶粒平均面积为 1~3 mm²,这与单独加入 Al-3Ti 的效果相当,可见 TiB₂ 对细化晶粒没起作用。这说明铝熔体中虽然有合适的 Ti/B 比,但是 TiB₂ 独立存在时仍不能起细化作用^[6]。

同时加入 Al-3Ti 和 Al-2B 合金时, Ti、B 的加入量与 Al-5Ti-1B 的相同,仍不能得到加 Al-5Ti-1B 那样的细晶组织。表明铝熔体中仅含有 Ti、B 溶质、TiAl₃ 和 AlB₂(或 TiB₂) 相,而不满足某种条件时,也得不到优异的细化性能;也就是说,在 Al-Ti-B 合金中 Al、Ti、B 三元素形成的化合物之间存在着某种关系,这种关系在同时加入 Al-Ti、Al-B 合金或 TiB₂ 粉时都难以满足,它是在 Al-Ti-B 合金的制备过程中建立起来的。

2.3 B 与形核相 TiAl₃ 的关系

表 4 为 TiAl₃ 相的波谱成分分析结果,可见, Al-Ti-B 试样中两个 TiAl₃ 粒子均含有 B,且含量高于合金的平均成分。这就是说,在 Al-Ti-B 中间合金的制备过程中, B 优先在 TiAl₃ 相富集。由细化试验可知, TiB₂ 和 AlB₂

单独使用没有细化作用, 因此可以认为对细化效果产生显著影响的是包含在 TiAl_3 相中的 B, 这种含 B 的 TiAl_3 相的细化效果比不含 B 的 TiAl_3 相提高 1~ 2 个数量级。由此可见, Al-Ti-B 细化合金中最有效的形核质点是含 B 的 TiAl_3 相。

表 4 Al-Ti-B 合金中 TiAl_3 相成分波谱分析结果

分析相	分析成分/ %				TiAl ₃ 金属间化合物	
	Al	Ti	B	Al/Ti	Ti/ %	
					Ti/ %	Al/Ti
TiAl ₃ (I)	59.934	36.181	3.885	1.64	3.67	1.72
TiAl ₃ (II)	57.515	35.182	7.357	1.67	3.67	1.72

3 结论

(1) Al-Ti-B 晶粒细化合金中含 B 的 TiAl_3 相是铝的有效形核相。

(2) AlB_2 相形核能力很差, TiB_2 相单独不能成为铝的有效形核相。

(3) Al-Ti-B 合金中的 B 对细化效果有显著影响, B 主要是通过富集在 TiAl_3 相中起作用。

参考文献

1 Cibula A. J Inst Met, 1951/ 52, 80: 1- 16.

2 Aronbog L, Backerud L, Klang H. Metals Technology, 1982, 9: 1- 6, 7- 13.

3 Davies I G, Dennis J M, Hellawell A. Metall Trans, 1970, 1: 275- 280.

4 Maxwell I, Hellawell A. Metall Trans, 1972, 3: 1487- 1493.

5 Kobayashi K F, Hashimoto S, Shinghu P H. Z Metalkunde, 1983: 751.

6 孝云祯. 东北工学院硕士论文. 1987.

EFFECTIVE NUCLEATION PARTICLES IN GRAIN
REFINING OF Al-Ti-B MASTER ALLOY

Xiao Yunzhen, Ma Hongsheng, Lu Guimin

Department of Metal Working, Northeastern University, Shenyang 110006

Liu Jinbo

Luoyang Nonferrous Metal Forming Institute, Luoyang 471000

ABSTRACT The effects of TiAl_3 , TiB_2 and AlB_2 phases in the Al-Ti-B master alloy on grain refining of aluminium were studied. The results showed that the TiAl_3 phase is an effective nucleation agent, while the TiB_2 and AlB_2 phases can not be nucleation particles alone. The boron which has marked influence on the grain refining of Al-Ti-B master alloys does not have effect on refining process alone, but it would produce important effect on the refining process when it concentrates in the TiAl_3 phases.

Key words grain refining Ti_3Al phase effective nucleation phase Al-Ti-B master alloy

(编辑 彭超群)