

Al-Cu-Mg-Si 系锻铝合金夹杂相的微观结构^①

金头男 尹志民

(中南工业大学材料科学与工程系, 长沙 410083)

摘要 利用 X 射线能谱分析和选区电子衍射技术对工业 Al-Cu-Mg-Si 系锻铝合金中粗大夹杂物的成分和结构类型进行了研究。

关键词 锻铝合金 夹杂相 选区电子衍射 微观结构

粗大夹杂相对合金的断裂韧性和疲劳性能有着较大影响^[1], 因此对夹杂相尺寸及形态的控制是工业合金生产中较为关注的问题之一。Mondolfo^[2]对三元和四元铝合金中平衡夹杂相进行过评述, 然而, 在工业 Al-Cu-Mg-Si 系锻铝合金中由于添加了较多种类合金元素, 加上杂质元素的作用, 可能会形成结构类型复杂的夹杂相^[3]。因此, 有必要对该类合金中的夹杂相进行研究。

1 材料和实验方法

研究合金是由东北轻合金加工厂提供的 12 mm 厚 LD₁₀、LD₅、LD₂ 合金热轧板材。将板材在 420 °C 轧成 5 mm, 再加热至 500 °C 保温 1 h 后, 冷水淬。TEM 观察用薄膜采用 25% 硝酸甲醇溶液在 -25 °C 下双喷电解而成。利用大角度倾转双倾台在 H-800 电镜上完成选区电子衍射分析。

2 实验结果与讨论

在 LD₁₀、LD₅ 和 LD₂ 合金中均发现了呈块状或骨格状粗大夹杂相, 尺寸为 0.5~10 μm, 如图 1 所示。表 1 中列出了各类夹杂相的 X 射线能谱分析结果(%)。经分析可以确认一

类相为四方晶系的 Cu₂FeAl₇ 化合物, 其余初步推断为固溶了 Mn 元素的 Al₁₂Fe₃Si 相和另一类固溶了 Mn 的 AlFeSi 化合物。

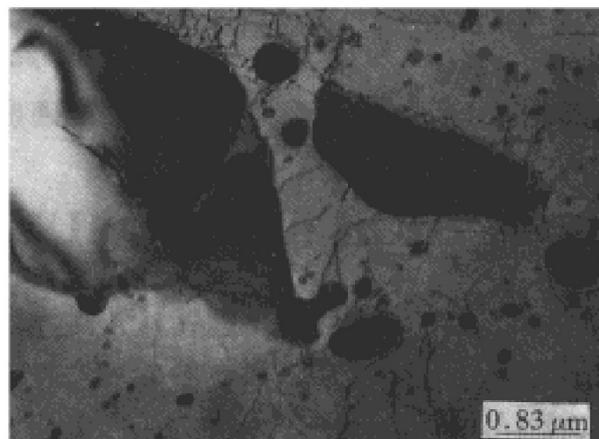


图 1 合金中粗大夹杂相形貌

表 1 合金夹杂相 X 射线能谱分析结果 (%)

夹杂相	Cu	Si	Mn	Fe
Cu ₂ FeAl ₇	16.77	1.26	1.85	5.83
I (AlFeMnSi)	1.65	2.61	2.14~6.30	16.26~13.11
II (AlFeMnSi)	1.72	5.38	3.89	12.51

图 2 为 I (AlFeMnSi) 类相的选区电子衍射花样。由图 2(a) 可知, 该花样属六方或立方点阵; 图 2(b) 是图 2(a) 沿密排斑点列旋转 54° 得到的, 因而排除了属六方点阵的可能性。由图 2(a) 进一步沿密排斑点列 [011]^{*} 旋转 35.2° 和 32.5° 得到图 2(c) 和图 2(d), 从而可以确定该相为体心立方点阵, 点阵参数 a = 1.24 nm, 与

① 国家教委专项基金资助项目 收稿日期: 1996-01-27

金头男, 男, 31 岁, 副教授

平衡三元化合物 $\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}$ 的结构完全相同, 只是点阵参数稍有变化, 这可能与 Fe 原子被 Mn 原子部分置换有关。

II(AlFeMnSi) 类相的选区电子衍射花样如图 3 所示, 各花样均是绕密排斑点列倾转试

样得到的, 表 2 中列出了样品的实际倾转角度。根据这些照片及数据, 采用倒易面重构法可得到该晶体衍射空间沿密排斑点列方向的投影图, 即 $(001)^*$ 面, 见图 4。显然, 初基胞呈正方形, 故为四方点阵。图 3 给出的允许反射

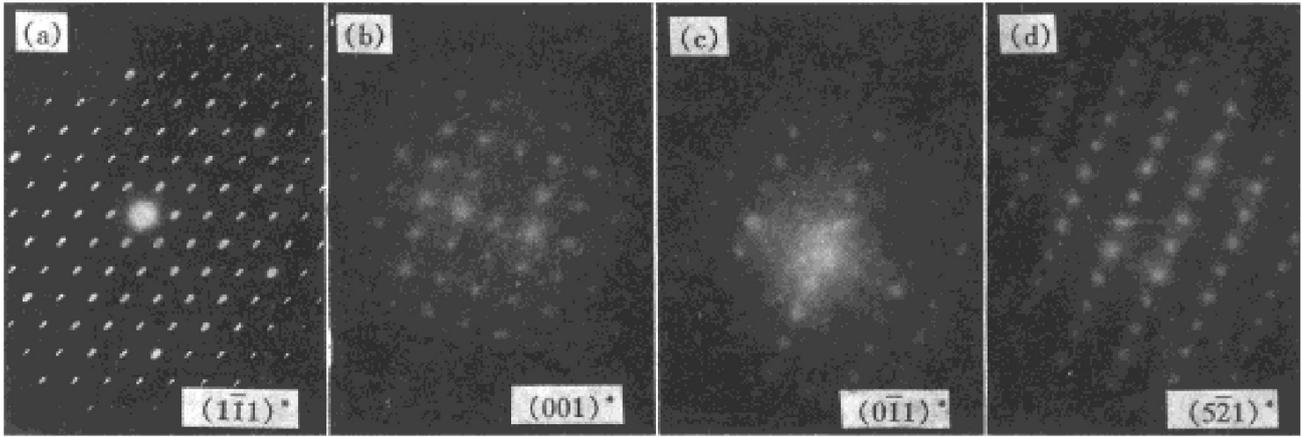


图 2 $\text{Al}_2(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}$ 相电子衍射谱

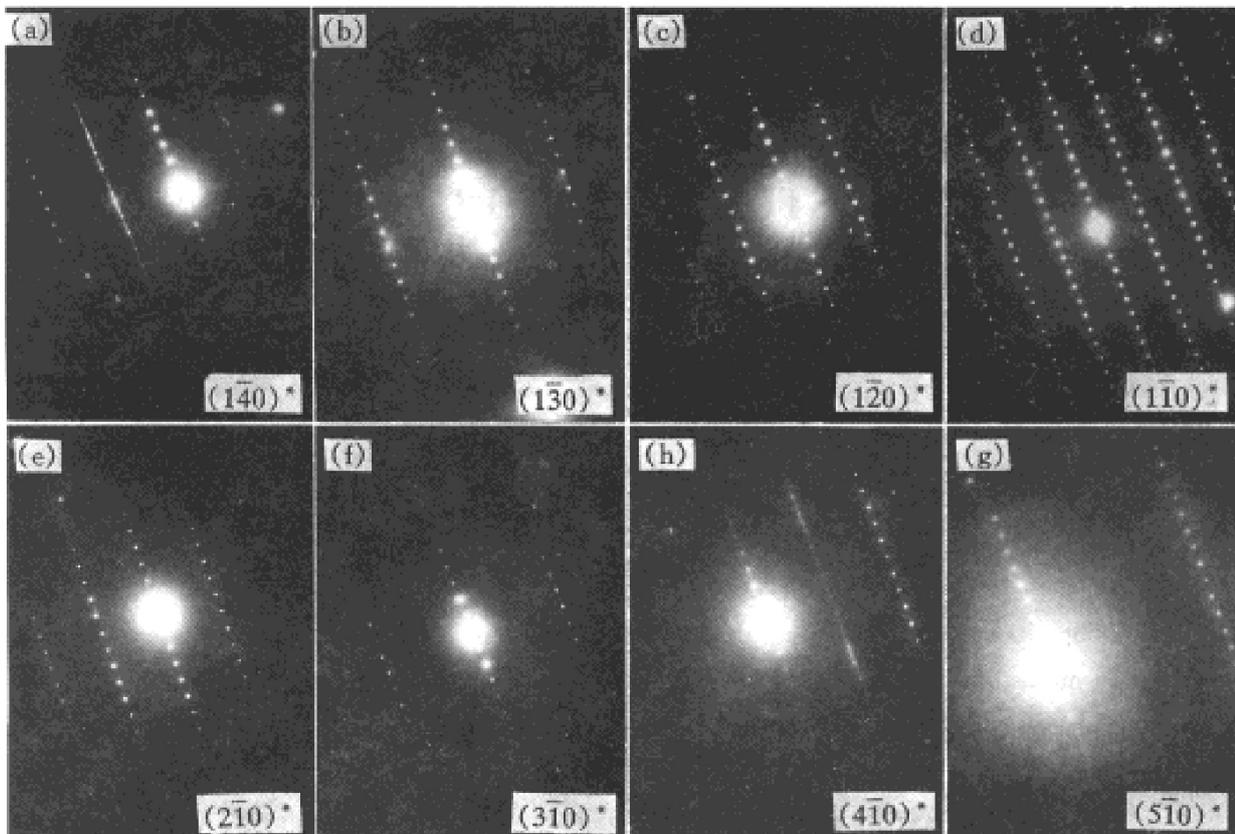


图 3 II(AlFeMnSi) 类化合物电子衍射谱

表 2 四方点阵 II(AlFeMnSi) 相各倒易面与 $(110)^*$ 面间夹角

倒易面	$(410)^*$	$(310)^*$	$(210)^*$	$(110)^*$	$(120)^*$	$(130)^*$	$(140)^*$	$(150)^*$
倾转角度	30.1	25.8	17.9	0	- 18.7	- 27.2	- 31.5	- 35.0
理论角度	30.96	26.57	18.43	0	- 18.43	- 26.57	030.96	- 33.69

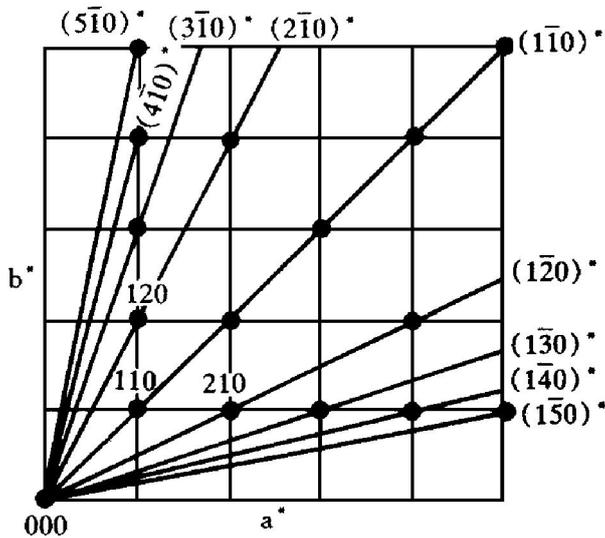


图4 沿密排斑点列(C*轴)将图3中各花样投影构成[001]界带电子衍射谱

条件为: $hkl, l = 2n$; 即 $h + k + l = 2n + 1$ 者并不消光, 表明该晶体属简单四方点阵。又由于 $hkl, l = 4n$ 斑点强度高, 其间存在弱斑点(如图3(d)), 说明该化合物在[001]方向存在有序周期结构, 周期长度为 $2c$ 。由图3(d)进一步推算出点阵参数, $a = 0.61 \text{ nm}$, $c = 2.07 \text{ nm}$ 。按四方点阵计算出的各倒易面与 $(110)^*$

面夹角理论值列入了表2, 与实际倾转试样角度较为吻合, 表明分析结果正确。

3 结论

(1) 工业 Al-Cu-Mg-Si 系锻铝中, 主要存在三种类型的夹杂相, 即体心立方点阵 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}$ 相, $a = 1.24 \text{ nm}$; 简单四方点阵 $\text{Al}(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Si}$ 相, $a = 0.61 \text{ nm}$, $c = 2.07 \text{ nm}$; 以及四方 Cu_2FeAl_7 相。

(2) 杂质 Fe 和合金元素 Si 的含量决定着所形成夹杂物的结构类型, 当 Mn 元素部分置换 Fe 元素时, 并不改变夹杂相晶体结构。

参考文献

- 1 Price C W, Rosenfield A R, Thompson D S. AD A002875. 1974: 76.
- 2 Mondolfo L F. Aluminium Alloys. London: Butterworth, 1976: 534, 641.
- 3 王祝堂等. 铝合金及其加工手册. 长沙: 中南工业大学出版社, 1989: 240.

MICROSTRUCTURE STUDY OF IMPURITY CONSTITUENT PHASES IN Al-Cu-Mg-Si SERIES FORGING Al ALLOY

Jin Tounan, Yin Zhimin

Department of Materials Science and Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACT The compositions and structures of the impurity constituent phases in Al-Cu-Mg-Si series forging Al alloys have been analyzed by means of X-ray microanalysis and selected area electron diffraction. The results showed that the dominant constituent phases in this kind alloy are $\text{Al}(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Si}$ which has primitive tetragonal crystal structure, $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}$ which has body center cubic crystal structure and Cu_2FeAl_7 phase. Partial Fe atoms in the phases substituted by Mn atoms have been found to occur, which results in unvariation of the constituent phases.

Key words forging Al alloy impurity constituent phase selected area electron diffraction microstructure

(编辑 朱忠国)