

Al-Si-Cu-Mg 系合金 W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) 相与 Al_2Cu 相的显示与鉴别

Displaying and Distinguishing of W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) and Al_2Cu Phases in Al-Si-Cu-Mg Alloy System

陈霞文 王天祥 (南京理工大学)

Chen Xiawen Wang Tianxiang (Nanjing University of Science and Technology)

[摘要] 研究了 Al-Si-Cu-Mg 系中富铜的 W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) 相与 Al_2Cu 相的金相显示鉴别法, 并用化学染色试剂彩色显示区分铸造铝硅铜镁系合金 ($\alpha + \text{Si} + \text{Al}_2\text{Cu} + \text{W}$) 四元共晶中的 W 相及 Al_2Cu 相。

关键词 金相显示 W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) 相 铸造铝硅铜镁合金

[Abstract] The present work was performed on the methods to display and distinguish W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) and Al_2Cu phases from copper-containing phases in Al-Si-Cu-Mg alloy system. By using chemical dyeing reagents, W and Al_2Cu phase from ($\alpha + \text{Si} + \text{Al}_2\text{Cu} + \text{W}$) quaternary eutectic in Al-Si-Cu-Mg casting alloys can be displayed and distinguished.

Keywords metallurgical display W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) phase Al-Si-Cu-Mg casting alloy

1 前言

Al-Si-Cu-Mg 系铸造合金含有较多合金元素, 如 Si、Cu、Mg、Mn、Ti、B 等及杂质 Fe。该系合金主要的相组成为: α (Al)、Si、 Al_2Cu 、 Mg_2Si 、W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$)、S ($\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_2$), 含有杂质 Fe 时可形成 β (AlFe_2Si_2)、N ($\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$)、 $\text{Al}_3\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ 和 AlFeMn-Si 相, 在含 Ti 的合金中还出现 Al_3Ti 相, 相组成复杂。随着 Cu、Mg 含量的变化, 在 521 °C 可发生 $\text{L} + \text{Mg}_2\text{Si}$ 反应, α (Al) + Si + W 的包共晶反应, 在 508 °C 可发生 $\text{L} + \alpha$ (Al) + Si + Al_2Cu + W 的四元共晶反应。W 相的成分、形态及生长条件当前尚不太清楚^[1], 在缓慢凝固的铸态组织中可见到这种含 W 相低熔共晶物, 常引起热处理过烧现象。金相检验时, 利有用灰度差别来进行 W 相鉴别较困难, 本文试验比较多种试剂, 研究化学蚀刻沉积膜彩色显示与鉴别 W、 Al_2Cu 相, 寻找适用的金相检验方法。

2 实验方法

在石墨坩埚电阻炉中配制合金。本文试验合金成分 (wt%) 为: Si 7.2, Cu 1.4, Mg 0.3, Mn 0.2, Ti 0.12, Fe 0.28, 其余为 Al。合金在 710 °C 浇入阶梯形试样的普

通砂型中, 截面为 $\phi 20$, $\phi 5$, $\phi 4.5$, $\phi 60$, $\phi 80\text{mm}$ 。从缓慢冷却的截面中制取金相试样及热分析试样。

金相试样经机械磨制、抛光、冲洗及热风吹干。试样在化学试剂中浸入深度应大于 1 cm, 以保证蚀刻的稳定性。试样用 DSC 7 差示扫描量热仪做升温曲线, 分析固液转变特点。用 PEM 型金相显微镜拍摄组织, 用 JSM-6300 型电镜及 QX200 LINK X-ray 能谱仪微区成分分析及相鉴别。

试验用化学试剂配方如表 1, 试验在室温下操作, 蚀刻时间 10 ~ 60 s。

3 试验结果

试验合金砂型铸造缓慢冷却时的金相组织见图 1。图 1a 是铸态组织全貌, 组织组成物主要是基体 α (Al), α (Al) + Si 二元共晶。共晶中 Si 相经变质呈细小纤维状, 左下角枝晶间存在复杂共晶组织。图 1b 是复杂共晶的放大, 试样未浸蚀, 可见基体 α 上有边界圆滑的亮白色 Al_2Cu 相、灰色显相界的 Si 相和 Al_2Cu 邻近处分布着不显相界青灰色 W ($\text{Al}_x\text{Si}_4\text{Mg}_5\text{Cu}_4$) 相, 即为 ($\alpha + \text{Si} + \text{Al}_2\text{Cu} + \text{W}$) 四元共晶体。在显微镜下 W 相较难与 Al_2Cu 相及 Si 相区别。用能谱仪分析 Al_2Cu 相与 W 相的成分如表 2。金相检查和能谱分析未找到 S ($\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_2$) 相。

表1 化学试剂配方

Table 1 Prescriptions of dyeing reagent

编号	组成	工艺
1	0.5mL 氢氟酸加99.5mL 蒸馏水	25 ~ 30 10 ~ 15s
2	0.5mL 氢氟酸 1.5mL 盐酸 2.5mL 硝酸 95.5mL 蒸馏水	25 ~ 30 10 ~ 15s
3	10g 硝酸铁 100mL 蒸馏水	25 ~ 30 20 ~ 30s
4	钼酸钠2 ~ 3g 盐酸 (35%) 5mL 氟化氢1 ~ 2g 100mL 蒸馏水	25 ~ 30 30 ~ 40s

表2 试验合金中相的微区成分测定值

Table 2 Composition (EDAX) of phases

相的名称	主要元素含量, wt%			
	Al	Cu	Si	Mg
Al ₂ Cu	68.10	31.78	0.11	—
	71.68	28.11	0.20	—
	76.31	23.69	—	—
W	18.87	14.24	38.26	28.63
	20.12	18.75	34.73	26.40
	18.11	20.28	31.81	29.80

合金的 DSC-7 典型曲线见图 2, 510 峰温对应 L = α + Si + Al₂Cu + W 的反应^[2], 此熔化峰面积为 8.46J/g, 与 2-3 峰相比较, 吸热热流较少, 说明这四元共晶的量较少。DSC-7 曲线也证实此四元共晶的存在。

试样蚀刻后共晶各相着色情况比较见表 3。

图 3a ~ d 均显示试验合金四元共晶组织。四种试剂对 α (Al)、Si 均不变化, 但不同试剂对 Al₂Cu 与 W 相有不同着色效果。用 HF 试剂, 四种相均不浸蚀, 由图 3a 可见, 四元共晶中 W 相带灰色, 但不显相界, 与未用试剂时图 1 那样, 与 Al₂Cu 相及 Si 相比较难区别。用硝酸铁试剂结果见图 3c, Al₂Cu 相着色呈深色 (暗棕-蓝紫色), 轮廓圆滑, 而 W 相不浸蚀, 但内部不均匀似蜂窝状。混合酸与钼酸钠浸蚀时见图 3b、3d, Al₂Cu 相不着色, 而 W 相着色, 混合酸浸蚀不均呈蓝色-褐色, 钼酸钠试剂可使 W 相呈深杂色 (紫-绿色) 可见, 试验用后三种试

剂均能使 W 相与 Al₂Cu 相区别, 尤其混合酸及钼酸钠两种试剂对 Al₂Cu 与 W 相的区别更清晰。

我们也曾对钼酸铵等试剂进行试验, 但由于 α (Al) 及 Si 均着色, 对识别四元共晶反而不易。



图1 试验合金的铸态组织

(a) 铸态 (F) 组织; (b) 复杂共晶组织

Fig. 1 Casting structure of tested alloy

(a) casting structure; (b) eutectic structure

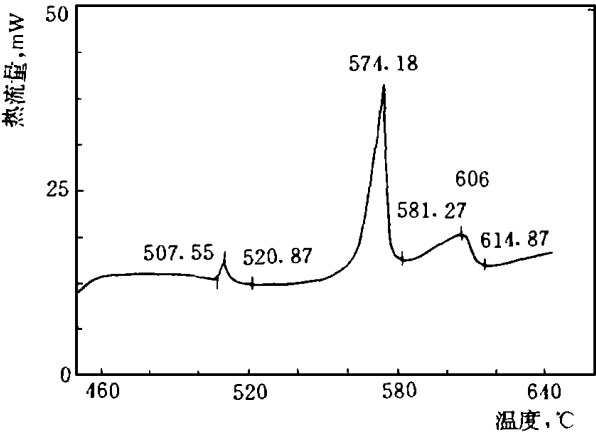


图2 试验合金的 DSC 曲线

Fig. 2 DSC curve of tested alloy

4 结论

Al-Si-Cu-Mg 系中 (α + Si + Al₂Cu + W) 四元共晶在未浸蚀的抛光试样中由于 W 相呈青灰色的块状不显相界, 与 Al₂Cu 相生长在一起, 普通金相较难识别, 用混

合酸与钼酸钠试剂可较清晰地鉴别 W 相与 Al₂Cu 相。

表3 试验合金四元共晶各相着色比较

Table 3 Dayeing effects of various phases in quaternary eutectic

相的名称	抛光未浸蚀 颜色与形态	1	2	3	4
		0. 5mL HF 99. 5mL H ₂ O	0. 5mL HF 1. 5m L HCl 2. 5mL HNO ₃ 95. 5mL H ₂ O	10gFe (NO ₃) ₃ • 9H ₂ O 100m L H ₂ O	2 ~ 3g Na ₂ MoO ₄ • 2H ₂ O 5mL HCl 1 ~ 2g NH ₄ HF ₂ 100mL H ₂ O
α (Al)	固体基体; 白色, 树枝状	无变化	无变化	无变化	无变化
Si	灰色, 具有淡红色内反射 片状, 针状, 点状	无变化	不浸蚀	不浸蚀	不浸蚀
Al ₂ Cu	稍带粉红色, 亮白色 轮廓圆滑	不浸蚀	不浸蚀	强烈浸蚀, 呈深色 (暗棕—蓝紫色)	不浸蚀
W (Al _x Si ₄ Mg ₅ Cu ₄)	青灰色块状或骨骼 状, 不显相界	不浸蚀	浸蚀色泽不均, 呈黑蓝—褐色	轻微浸蚀, 色泽不均 匀, 稍带浅褐色	强烈浸蚀, 呈深杂色 (紫—蓝)
对应组织图号	1b	3a	3b	3c	3d



图3 用不同试剂显示的试验合金的四元共晶组织 (α+ Si+ W+ Al₂Cu)

(a) 氢氟酸试剂; (b) 混合酸试剂; (c) 硝酸铁试剂; (d) 钼酸钠试剂

Fig. 3 Microstructure of quaternary eutectic (α+ Si+ W+ Al₂Cu) displayed by several reagents

(a) hydrofluoric acid; (b) mixture acid; (c) iron nitrate; (d) sodium molybdate

参考文献

1 龚磊清等. 铸造铝合金金相图谱. 长沙: 中南工业大学出版社, 27
2 L. F. Mondolfo. Aluminum Alloys: Structure and Properties. First Published 1976, Butterworth & CO Ltd, 645