

短时电磁搅拌和细化剂对 7A04 铝合金大体积半固态浆料组织的影响

李 微¹, 赵君文^{1,2}, 罗庆来¹, 吴树森², 韩 靖¹, 戴光泽¹

(1. 西南交通大学 材料先进技术教育部重点实验室, 四川 成都 610031)

(2. 华中科技大学 材料成形与模具技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 研究了短时电磁搅拌、细化剂及二者复合作用对 7A04 铝合金大体积半固态浆料组织及其径向均匀性的影响。结果表明: 短时电磁搅拌和添加晶粒细化元素 Zr, Sc 均可使 7A04 铝合金半固态浆料组织的初生 α -Al 晶粒细化和圆整, 并提高组织均匀性; 短时电磁搅拌和细化剂复合作用的 7A04 铝合金半固态浆料具有最佳的组织, 在 631 °C 下, 其晶粒直径和圆整度分别为 36 μm 和 0.68, 在直径 180 mm 的制浆室中浆料组织尺寸的变异系数 C_v 仅为 0.8%; 随着温度降低, 7A04 铝合金半固态浆料组织的尺寸变大, 均匀性变差, 但圆整度的变化不大。

关键词: 7A04 铝合金; 大体积; 电磁搅拌; 均匀性; 细化剂

中图分类号: TG146.2⁺1; TG292

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2016)10-2664-07

Al-Zn-Mg-Cu (7xxx) 系高强度铝合金, 具有高比强度、耐腐蚀、可热处理等优点, 广泛应用于航空、航天及军事工业^[1, 2], 其通过塑性加工可以获得性能优良的工件, 但塑性成形工序多、耗能大且无法生产形状复杂件。铸造可以实现 7xxx 系铝合金的近净成形, 经济效益明显, 但相比于传统铸造铝合金, 7xxx 系铝合金的流动性很差, 在铸造过程中具有很高的热裂倾向, 同时易出现气孔、缩孔等缺陷, 导致铸件性能较差^[3, 4]。半固态流变成形技术具有成形温度低, 气孔缩孔少, 模具寿命长, 废料回收方便, 易于自动化等特点^[5, 6]。近年来, 国内外学者已开始研究 7xxx 系铝合金的半固态流变成形技术, 并取得很大进展^[7-10]。

半固态浆料制备是金属流变成形中最重要的工序之一, 其关键是制备出组织细小、圆整、分布均匀的浆料。电磁搅拌因非接触、易控制、无污染等特性, 广泛应用于铝合金半固态浆料制备^[11, 12]。工业生产大型零件时所用的半固态浆料较多, 此时需要尺寸较大的制浆室, 而在电磁搅拌下高质量的大体积半固态浆料的获得是一个难题。基于此, 本实验主要探究在实验室大体积制浆 (一次制浆量 ≥ 5 kg, 坩埚直径约为 180 mm) 条件下, 短时电磁搅拌、细化剂添加及其复合作用对 7A04 铝合金半固态浆料组织及径向均匀性的影响。

1 实 验

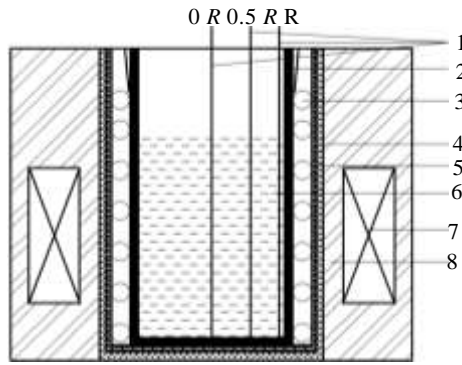
本实验采用的电磁搅拌机主要由可控温电磁搅拌炉、升降倾斜架和控制箱组成。图 1 所示为可控温电磁搅拌炉的示意图, 其中不锈钢坩埚内径为 180 mm、高度约 300 mm, 热电偶用于测量坩埚的边缘 (R), $1/2$ 半径 ($0.5R$), 坩埚中心 ($0R$) 的温度。本实验所采用的原材料是 7A04 铝合金, 其化学成分如表 1 所示, 由 DSC 测量其固液相线温度分别为 478, 635 °C。根据文献[13], 向 7A04 合金中添加质量分数分别为 0.20%, 0.15% 的细化剂元素 Sc 和 Zr (后文简称 7A04ZrSc 铝合金), 以探究细化剂、细化剂和短时电磁搅拌的复合作用对 7A04 铝合金半固态浆料组织和均匀性的影响, Sc 和 Zr 分别以 Al-2%Sc, Mg-30%Zr 中间合金的形式加入。

先在电阻炉中将原材料熔化, 升温至 750 °C 左右, 保温 0.5 h。然后向熔体中通入 Ar 气精炼 10 min。静置待熔体冷却到约 650 °C 时, 迅速将其转移进预热至约 500 °C 的电磁搅拌炉中。由于熔体和不锈钢坩埚间的热平衡, 坩埚内的熔体温度会迅速冷却至液相线附近。在浆料浇入电磁搅拌炉后立即启动短时电磁搅拌。根据前期的实验结果, 本实验电磁搅拌参数选择搅拌频率 5 Hz, 名义搅拌功率 3 kW, 搅拌时间 40 s。搅拌结束后

收稿日期: 2015-10-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2682013CX003); 材料成形与模具技术国家重点实验室开放课题研究基金资助 (P2015-10); 四川省科技成果转化项目 (2012CC0012)

作者简介: 李 微, 男, 1990 年生, 硕士, 西南交通大学材料科学与工程学院, 四川 成都 610031, 电话: 028-87600724, E-mail: 237749886@qq.com



1-Thermocouples; 2- Stainless crucible; 3- Resistance wire;
4-Insulating layer; 5- Water jacket; 6- Melt; 7-Electromagnetic stirring coils; 8-Heat insulating material

图 1 可控温电磁搅拌炉示意图

Fig.1 Sketch of heatable stirring furnace with controlled temperature

表 1 7A04 铝合金成分表

Table 1 Chemical composition of 7A04 aluminum alloy($\omega/\%$)

Zn	Mg	Cu	Cr	Mn	Fe	Si	Al
6.32	1.90	1.80	0.17	0.26	0.49	0.25	Bal.

熔体的温度降至约 631 °C, 在随后的静置过程中, 分别在 631, 629, 627, 625 °C 用取样勺在坩埚的 0R, 0.5R, R 处取浆料水淬, 以研究浆料的微观组织及组织均匀性。

水淬试样经研磨、抛光、腐蚀后, 用 VHX-1000 型激光共聚焦显微镜对试样进行金相观察和拍摄。使用

IMAGE PRO PLUS 金相分析软件测定初生 α -Al 晶粒的平均等效直径 D 和圆整度 F , 其计算公式如式(1)和式(2):

$$D=2(A/\pi)^{1/2} \tag{1}$$

$$F=4\pi A/P^2 \tag{2}$$

其中, A 为晶粒平均面积, μm^2 ; P 为晶粒平均周长, μm 。

各温度下浆料径向组织均匀性用平均晶粒直径的变异系数 C_v 来衡量, 如式(3):

$$C_v = \frac{S_T}{\overline{D_T}} \times 100\% \tag{3}$$

其中, S_T 和 $\overline{D_T}$ 分别表示 T 温度下坩埚 0R, 0.5R, R 三个位置处浆料组织的初生 α -Al 晶粒直径的标准差和平均值, 单位均为 μm 。

2 结果与讨论

2.1 短时电磁搅拌对 7A04 铝合金半固态浆料组织的影响

图 2 为未电磁搅拌和经短时电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料在 627 °C 下坩埚不同位置的微观组织。由图 2a~2c 可知, 未经电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料, 在坩埚各个位置的初生 α -Al 晶粒呈粗大的枝晶或蔷薇状, 且 0R 处的组织 (图 2a) 明显小于 0.5R、R 处的组织 (图 2b 和图 2c), 浆料组织沿坩埚径向呈明显的不均匀分布; 经短时电磁搅拌后的 7A04 半固态浆料组织 (图 2d~2f) 的初生 α -Al 晶粒绝大部分呈颗粒状, 相对于未电磁搅拌的 7A04 半固态浆料, 其晶粒尺寸得到了一定的细化, 同时坩埚 0R, 0.5R, R 处的初生 α -Al 晶粒尺寸并没有明显的差别, 浆料组织在坩埚径向上分布较均匀。

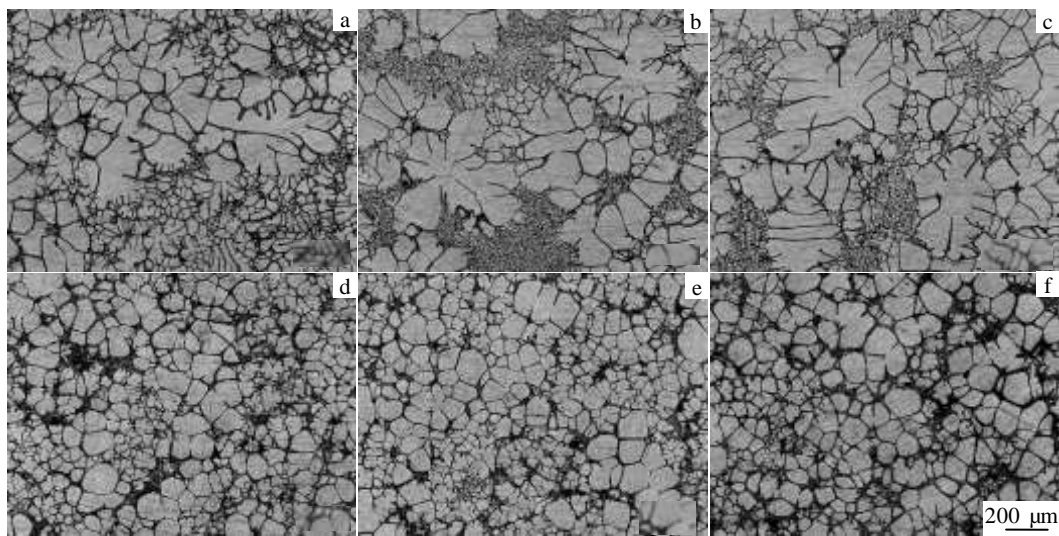


图 2 627 °C 下 7A04 铝合金非电磁搅拌和短时电磁搅拌的半固态浆料微观组织

Fig.2 Microstructures of 7A04 aluminum alloy semisolid slurry prepared without (a, b, c) and with (d, e, f) short-time electromagnetic stirring (EMS) at 627 °C for position 0R (a, d), 0.5 R (b, e), and R (c, f)

图 3 所示是非电磁搅拌和短时电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料组织在不同温度下的金相分析结果。

由图 3a 可以看出, 经短时电磁搅拌的 7A04 半固态浆料组织的尺寸整体上小于未电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料组织。在 631 °C 下, 未电磁搅拌和短时电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料的初生 α -Al 晶粒的整体平均直径 (0R、0.5R、R 3 处晶粒直径的平均值) 分别为 73 和 61 μm 。随着温度的降低 7A04 半固态浆料组织会有一定程度的长大。当温度降至 625 °C 时, 未电磁搅拌和经短时电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料组织的初生 α -Al 晶粒的整体平均直径分别增至 108 和 81 μm 。由图 3b 可知, 两种制浆方式所得的 7A04 半固态浆料组织的初生 α -Al 晶粒的圆整度受在坩埚中位置和温度变化的影响很小, 各自集中在一个小的区间内。经短时电磁搅拌的 7A04 半固态浆料的初生 α -Al 晶粒圆整度约为 0.49, 远高于未电磁搅拌的 7A04 半固态浆料组织的 0.32。可见施加短时电磁搅拌可以使 7A04 铝合金半固态浆料组织更加细小和圆整。

2.2 细化剂对 7A04 铝合金半固态浆料组织的影响

图 4 所示为未电磁搅拌的 7A04ZrSc 铝合金半固态浆料在 627 °C 下坩埚不同位置的微观组织。由图 4 和图 2a~2c 对比可知, 相比非电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料, 7A04ZrSc 铝合金半固态浆料组织得到了显著的细化, 初生 α -Al 晶粒均为类圆形, 浆料的整体质量得到极大的提高。但与短时电磁搅拌制备的 7A04 半固态浆料相比 (图 2d~2f), 7A04ZrSc 半固态浆料在 0R 处 (图 4a) 的组织仍明显小于 0.5R 和 R 处 (图 4b 和图 4c), 浆料组织在径向上的均匀性差于前者。

图 5 所示为不同温度下未经电磁搅拌的 7A04 和 7A04ZrSc 铝合金半固态浆料在坩埚不同位置的微观组织的金相分析结果。由图 5a 可知, 细化剂的添加明

显细化了 7A04 铝合金半固态浆料组织。631 °C 下, 7A04ZrSc 铝合金半固态浆料初生 α -Al 晶粒的整体平均直径为 46 μm , 温度降至 625 °C 时, 其值增至 65 μm ; 由图 5b 可见, 7A04ZrSc 半固态浆料组织的圆整度仍只在一个小范围内波动, 其值约为 0.63, 明显高于未电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料。可见, 细化剂的添加使 7A04 半固态浆料组织得到了显著的细化和圆整化。

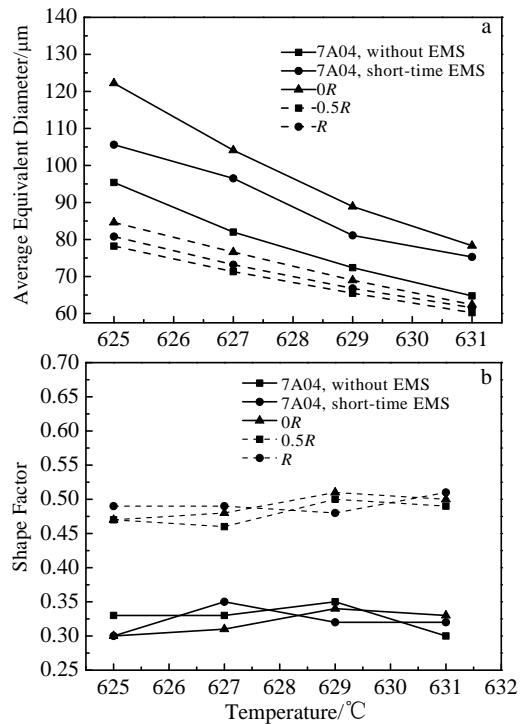


图 3 7A04 铝合金短时电磁搅拌和非电磁搅拌半固态浆料组织的统计结果

Fig.3 Statistical results of microstructures of 7A04 aluminum alloys slurry prepared with and without EMS: (a) average equivalent diameter and (b) average shape factor

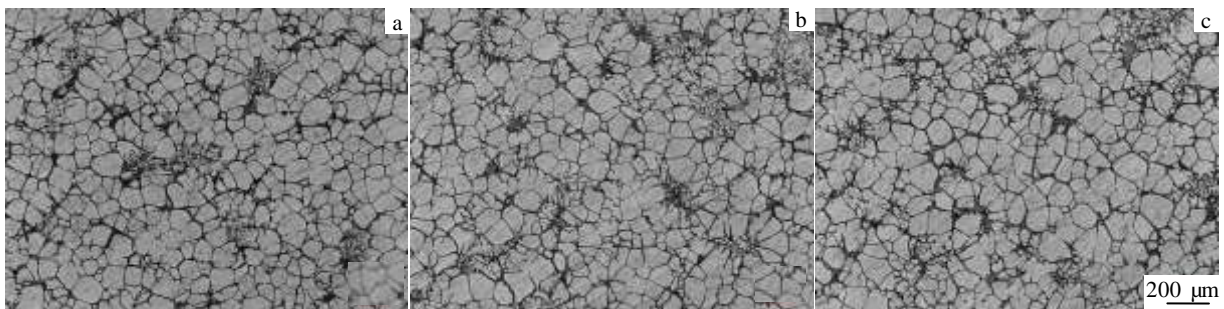


图 4 627 °C 下非电磁搅拌的 7A04ZrSc 半固态浆料的微观组织

Fig.4 Microstructures of 7A04ZrSc aluminum alloy semisolid slurry prepared without EMS at 627 °C for position 0R (a), 0.5R (b), and R (c)

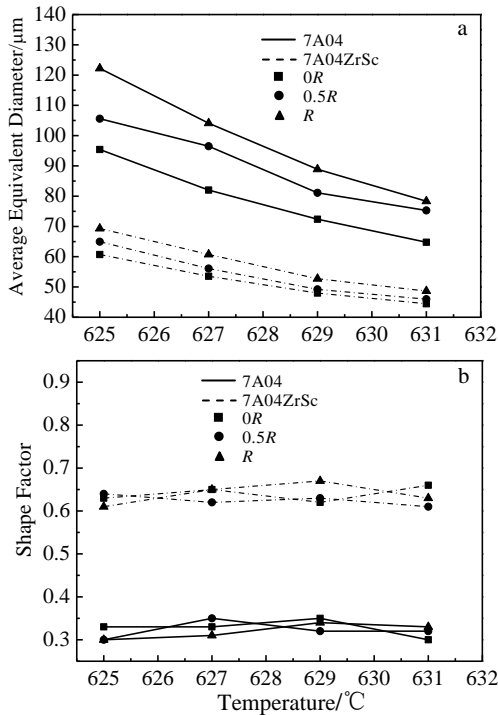


图 5 7A04 和 7A04ZrSc 铝合金非电磁搅拌半固态浆料组织的统计结果

Fig.5 Statistical results of microstructures of 7A04 and 7A04ZrSc aluminum alloy semisolid slurry prepared without EMS: (a) average equivalent diameter, and (b) average shape factor

2.3 短时电磁搅拌和细化剂的复合作用对 7A04 铝合金半固态浆料组织的影响

图 6 为 7A04ZrSc 铝合金经短时电磁搅拌后在 627 °C 下坩埚不同位置的半固态浆料组织。由图 6 和图 4 可见, 相比于未电磁搅拌的 7A04ZrSc 铝合金半固态浆料组织, 经过短时电磁搅拌的 7A04ZrSc 半固态浆料组织的初生 α-Al 晶粒尺寸有一定的下降, 晶粒均呈类圆形, 同时 0R、0.5R、R 处的组织没有明显差别, 浆料的均匀性良好。

图 7 为未电磁搅拌和短时电磁搅拌的 7A04ZrSc 在坩埚不同位置的半固态浆料组织的定量金相分析结果。由图 7 可知, 在 631 °C 下, 经过短时电磁搅拌的 7A04ZrSc 半固态浆料组织的初生 α-Al 晶粒整体平均直径仅为 36 μm, 当温度降至 625 °C 时仅增至 52 μm, 圆整度达 0.68, 浆料组织非常细小和圆整。可见短时电磁搅拌和细化剂的复合作用能得到最佳的 7A04 半固态浆料组织。

2.4 短时电磁搅拌和细化剂对 7A04 铝合金半固态浆料组织径向均匀性的影响

图 8 为各温度下 4 种制浆方式所得 7A04 铝合金半固态浆料组织的平均晶粒直径的变异系数 C_v。由图 8 可知, 在 631 °C 下, 未电磁搅拌的 7A04 半固态浆料组织的 C_v 值为 8.8%, 浆料组织的径向均匀性很差, 未电磁搅拌的 7A04ZrSc 半固态浆料和短时电磁搅拌

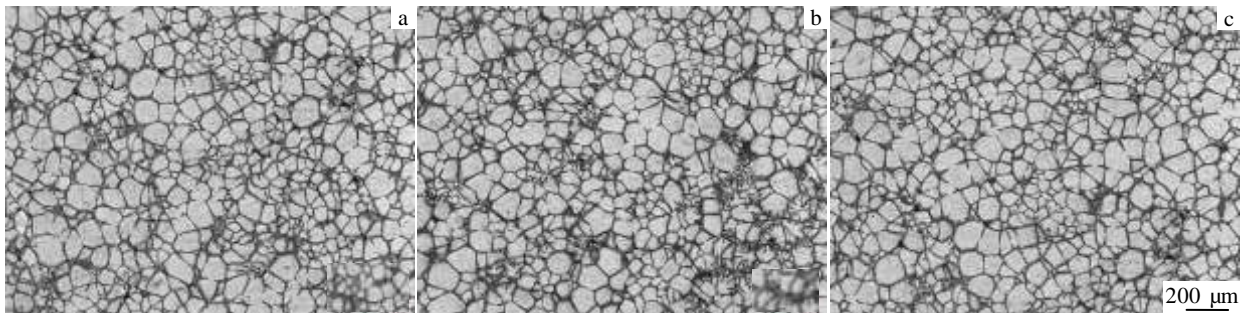


图 6 627 °C 下 7A04ZrSc 短时电磁搅拌半固态浆料的微观组织

Fig.6 Microstructures of 7A04ZrSc aluminum alloy semisolid slurry prepared with short-time EMS at 627 °C for position 0R (a), 0.5R (b), and R (c)

的 7A04 半固态浆料组织的 C_v 值分别为 4.6% 和 2.1%。可见添加细化剂和短时电磁搅拌都可以在一定程度上提高 7A04 铝合金半固态浆料组织的均匀性。短时电磁搅拌的 7A04ZrSc 铝合金半固态浆料组织在 631 °C 下的 C_v 值最低, 仅为 0.8%, 可见细化剂和短时电磁搅拌的复合作用可以极大的抑制 7A04 半固态浆料组织的径向不均匀性。随着温度的降低, 4 种制浆方式所得 7A04 半固态浆料组织的 C_v 值均有不同程度的增加。

2.5 分析与讨论

在制浆过程中对 7A04 铝合金施加电磁搅拌会在熔体中产生一定强度的强制对流。这一方面增大熔体的过冷度, 降低临界晶核半径和临界形核功, 促进熔体形核; 另一方面让枝晶或蔷薇状晶粒在运动过程中受到强烈的温度起伏, 使二次臂根部熔断, 达到晶粒增殖的效果^[14]。这两方面的作用均可提高浆料在凝固过程中的形核率, 达到细化晶粒的作用。在强制对流

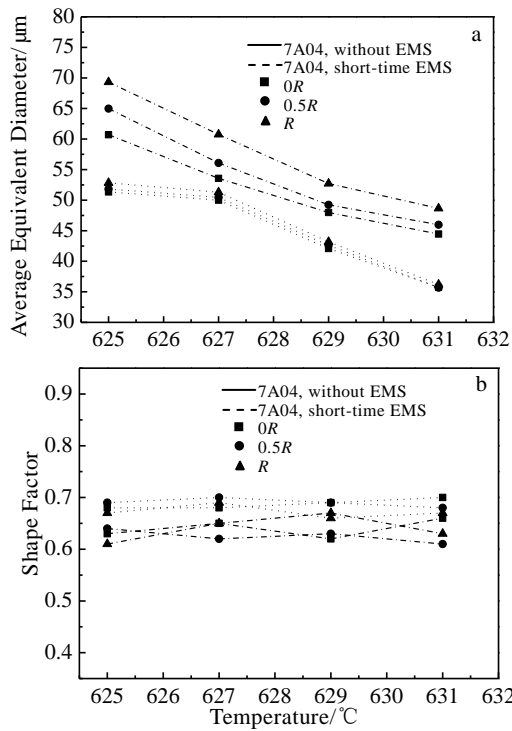


图 7 7A04ZrSc 铝合金短时电磁搅拌和非电磁搅拌半固态浆料组织的统计结果

Fig.7 Statistical results of microstructures of 7A04ZrSc alloy semisolid slurry prepared with and without EMS: (a) average equivalent diameter and (b) average shape factor

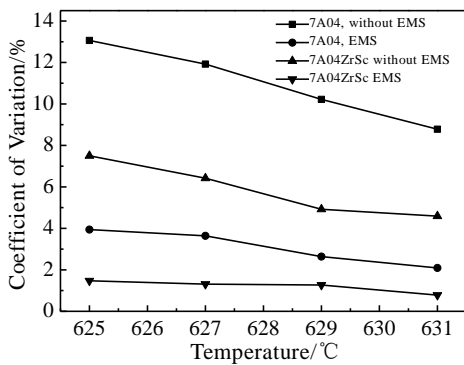


图 8 不同制浆方式所得的 7A04 铝合金半固态浆料组织的变异系数-温度曲线

Fig.8 Coefficient of variation vs temperature curves of microstructure of 7A04 aluminum alloy semisolid slurry prepared by different processes

作用下熔体的结晶潜热被快速释放，液固界面的溶质浓度梯度也因熔体的对流而大幅减小，成分过冷得到抑制甚至消除^[15]，而成分过冷是产生枝晶的必要条件^[16]，故电磁搅拌可以抑制初生 α -Al 的枝晶化，提高 7A04 半固态浆料组织的圆整性。

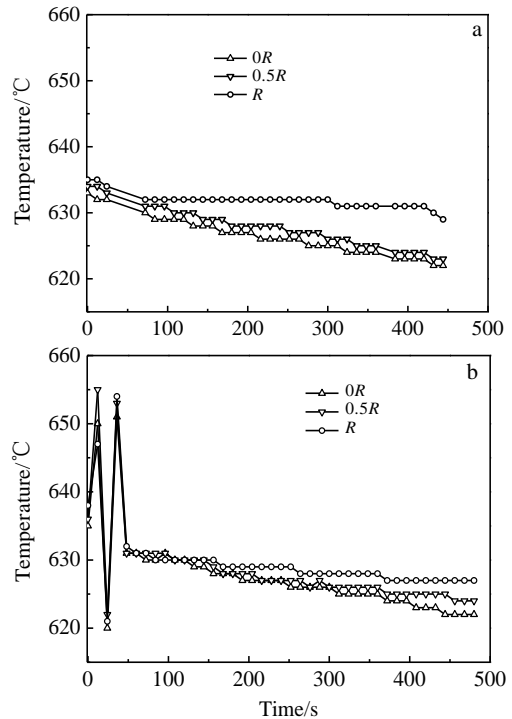


图 9 7A04 半固态浆料在未电磁搅拌和短时电磁搅拌下的降温曲线

Fig.9 Cooling curves of 7A04 aluminum alloy slurry without (a) and with (b) EMS

图 9 所示为非电磁搅拌和短时电磁搅拌过程中 7A04 半固态浆料在坩埚内的降温曲线。需要说明的是，电磁搅拌会对热电偶产生干扰，导致测温数据剧烈波动，图 9b 中的锯齿状部分即为电磁搅拌过程。

对于未经电磁搅拌的 7A04 半固态浆料，与坩埚壁之间的热交换是其散热的主要渠道，这造成熔体在坩埚内的温度呈现出中心高，边缘低的不均匀分布(图 9a)。坩埚内浆料组织的不均匀性主要来源于坩埚内熔体温度场的不均匀，坩埚边缘浆料的过冷度要大于坩埚心部，长大驱动力也大于心部，进而造成了坩埚边缘组织比心部组织更粗大。由图 9a 可知，随着温度的降低，0R 和 R 处的温度差值就越大，浆料均匀性就越差。由图 9b 可知，在降温过程中的约前 200 s 里，短时电磁搅拌使得 7A04 铝合金半固态浆料的温度场十分的均匀。在低过热度浇注时，熔体内的形核时间极短^[17]，电磁搅拌产生的强制对流使得晶核均匀的分布在熔体内，并且在坩埚均匀的温度场和溶质场内生长，故浆料的均匀性大大提高。但随着静置时间的增长，熔体温度有朝如图 9a 所示的分布发展的趋势，故随着温度的降低，浆料的均匀性会有一定程度的恶化。

在 7A04 中添加细化剂元素 Zr 和 Sc，熔体会在约

660 °C 时发生包晶反应生成 $\text{Al}_3(\text{Zr}, \text{Sc})$ 粒子, 其晶格类型 (L_{12} 型) 和晶格常数与铝基体极为相近, 热稳定性好, 是铝合金理想的非均质晶核^[18-20]。在浇注过程中, 对流作用使高温下形成的大量的 $\text{Al}_3(\text{Zr}, \text{Sc})$ 粒子分散到坩埚各个部位, 浇注完成后熔体在低过冷度下开始“爆发”式的形核, 其形核率远大于未短时电磁搅拌和短时电磁搅拌的 7A04 铝合金半固态浆料^[21,22], 这会极大的细化晶粒, 同时抑制初生 $\alpha\text{-Al}$ 枝晶化趋势, 这和文献[21, 23]结果相一致。由于没有施加外界干扰, 7A04ZrSc 熔体在静置降温过程中, 坩埚内的温度分布仍如图 9a 所示, 故浆料的均匀性较差。

细化剂和短时电磁搅拌的复合作用对 7A04 铝合金半固态浆料组织的影响主要体现在以下两点: (1) 短时电磁搅拌产生的强制对流使 $\text{Al}_3(\text{Zr}, \text{Sc})$ 形核粒子均匀分布在熔体各处, 使其不易团聚, 强化细化效果; (2) 数量巨大的晶核在电磁搅拌形成的均匀的温度场和溶质场中均匀的长大, 极大的限制了坩埚各处组织的不均匀性。故细化剂和短时电磁搅拌的复合作用使 7A04 半固态浆料组织得到了强烈的细化、圆整化和均匀化。

3 结 论

1) 在 631 °C 下, 短时电磁搅拌和添加 Zr, Sc 细化剂元素制备的 7A04 铝合金半固态浆料组织的初生 $\alpha\text{-Al}$ 晶粒的整体平均直径、圆整度分别为 61 μm , 0.49 和 46 μm , 0.63, 浆料组织得到了细化和圆整化。短时电磁搅拌和细化剂的复合作用可以得到最佳的 7A04 半固态浆料组织, 在 631 °C 下, 其初生 $\alpha\text{-Al}$ 晶粒的整体平均直径和圆整度分别为 36 μm 和 0.68。

2) 添加 Zr, Sc 细化剂和短时电磁搅拌都能提高 7A04 半固态浆料组织的均匀性。二者复合作用得到的 7A04 半固态浆料组织的均匀性最好, 在 631 °C 下, 直径 180 mm 的制浆室中浆料组织尺寸的变异系数 C_V 仅为 0.8%。

3) 在 631~625 °C 内静置降温, 各制浆工艺得到的 7A04 半固态浆料的平均晶粒直径和变异系数 C_V 均有不同程度的增大, 但圆整度的变化不大。

参考文献 References

[1] Warner T. *Mater Sci Forum*[J], 2006, 521(2): 1233
 [2] Xie G, Thompson D J, Jones C J C *et al. Journal of Sound and Vibration*[J], 2006, 293: 92
 [3] Guo H M, Yang X J, Wang J X *et al. Transaction of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2010, 20: 355
 [4] Yan Dejun(闫德俊), Liu Xuesong(刘雪松), Fang

Hongyuan(方洪渊) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2012, 22(12): 3313
 [5] Zhang Jun(张 军), Kang Yonglin(康永林), Zhang Fan(张 帆) *et al. Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2011, 31(8): 718
 [6] Yang L Q, Kang Y L, Zhang F *et al. Transaction of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2010, 20(S3): s862
 [7] Curle U A. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2010, 20: 1719
 [8] Mahathaninwong N, Plookphol T, Wannasin J *et al. Materials Science and Engineering A*[J], 2012, 532: 9
 [9] Yang B, Mao W M, Song X J. *China Foundry*[J], 2013, 10: 277
 [10] Curle U A, Govender G. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2010, 20(s): 832
 [11] Santara F, Delannoy Y, Autruffe A *et al. Journal of Crystal Growth*[J], 2012, 340: 41
 [12] Zhang L, Li W, Yao J P *et al. Journal of Alloys and Compounds* [J], 2013, 554: 156
 [13] Li Wenbin(李文斌). *Microstructure and Properties of Ultra-high Strength Al-Zn-Cu-Mg-Zr Alloy Containing Sc*(含 Sc 的超高 Al-Zn-Cu-Mg-Zr 合金微观组织与性能研究)[D]. Changsha: Central South University, 2010
 [14] Mao Weimin(毛卫民), Zhen Zisheng(甄子胜), Chen Hongtao(陈洪涛) *et al. Chinese Journal of Materials Research*(材料研究学报) [J], 2005, 19(3): 303
 [15] Li Tao(李 涛). *Researches on Microstructure Formation and Rheology during Semisolid Processing through in Situ Observation Technique*(半固态显微组织形成演化与流变性实时观察研究)[D]. Xian: Northwestern Polytechnical University, 2003
 [16] Li Tao(李 涛), Huang Weidong(黄卫东), Lin Xin(林 鑫) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报) [J], 2000, 10(5): 635
 [17] Dong Jie(董 杰), Lu Guimin(路贵民), Ren Qifeng(任栖峰) *et al. Acta Metallurgica Sinica*(金属学报)[J], 2002, 38(2): 203
 [18] Milman Y V, Sirko A I, Lotsko D V *et al. Materials Science Forum*[J], 2002, 396-402: 1127
 [19] Yu K, Li W X, Li S R *et al. Materials Science and Engineering A*[J], 2004, 368: 88
 [20] Dai Xiaoyuan(戴晓元), Xia Changqing(夏长清), Long Chunguang(龙春光) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2011, 40(2): 265
 [21] Senkov O N, Senkova S V, Shagiev M R. *Metallurgical and*

- Materials Transactions A*[J], 2008, 39A: 1034
- [22] Tang Mengou (汤孟欧). *Technical and Theoretical Research of Annulus Electromagnetic Stirring*(环缝式电磁搅拌理论与工艺研究)[D]. Beijing: General Research Institute for Nonferrous Metals, 2011
- [23] He Yongdong(贺永东), Zhang Xinming(张新明), Chen Jianmei(陈健美) *et al. Journal of Central South University of Technology, Natural Science*(中南大学学报, 自然科学版)[J], 2005, 36(6): 919

Effects of Short-time Electromagnetic Stirring and Grain Refiner on Microstructure of Semisolid Slurry of 7A04 Alloy

Li Wei¹, Zhao Junwen^{1, 2}, Luo Qinglai¹, Wu Shusen², Han Jing¹, Dai Guangze¹

(1. Key Laboratory of Advanced Technologies of Materials (Ministry of Education), Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

(2. State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The effects of short-time electromagnetic stirring (EMS), grain refiners and their combined effects on microstructure and radial homogeneity of large-volume semisolid slurry of 7A04 alloy were investigated. The results indicate that 7A04 alloy semisolid slurry with fine and globular primary α -Al grains can be achieved and the homogeneity of slurry is improved by either short-time EMS or addition of grain refining elements Zr and Sc. Optimum microstructure with average equivalent diameter of 36 μm , shape factor of 0.68, coefficient of variation C_v of 0.8% at 631 $^{\circ}\text{C}$ is obtained by the combined action of short-time EMS and grain refiners. As the temperature decreases, the microstructure of semisolid slurry of 7A04 alloy coarsens and the microstructure homogeneity of the slurry deteriorates, while the shape factor has little change.

Key words: 7A04 aluminum alloy; large-volume; electromagnetic stirring; homogeneity; grain refiner

Corresponding author: Zhao Junwen, Ph. D., School of Material Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P. R. China, Tel: 0086-28-87600724, Email: swjtuzjw@swjtu.cn