

[文章编号] 1004- 0609(2001)01- 0047- 04

预变形及液固两相区等温处理对 ZA27 合金铸态组织的影响^①

谢 辉, 许丽君, 袁中岳, 郑红星, 郭学锋
(西安理工大学 材料科学与工程学院, 西安 710048)

[摘 要] 研究了固液两相区等温处理对铸态 ZA27 合金初生相形貌的影响。结果表明: 在固液两相区进行等温处理时, 枝晶熔断受固液界面处原子的扩散控制, 提高等温温度、延长等温时间因有利于 Zn 和 Al 原子的扩散而促进初生相由枝晶向颗粒状晶演变; 预变形促进初生相形貌演变的根本原因在于等温处理时液相沿预变形产生的亚晶界的熔渗。

[关键词] 固液两相区; 等温处理; 预变形

[中图分类号] TG 111.4

[文献标识码] A

处于液固两相区的半固态金属成形技术具有如下优点^[1, 2]: 凝固收缩小, 易实现无余量铸造; 对金属型热冲击小, 可延长模具寿命; 易实现生产自动化; 能配制合金组元密度差大的合金; 能获得晶粒细小的铸造组织, 有利于后续加工和提高产品质量等。因此, 从 1970 年至今, 该技术一直是材料界研究的热点之一^[3]。

要实现半固态金属成形, 必须首先制备出初生相为颗粒状的半固态合金浆料或坯料。最具有工业应用前景的, 使初生相粒状化的主要方法有机械搅拌和电磁搅拌法^[4]。机械搅拌法由于存在搅拌头的腐蚀、不易实现强三维流、不适用于高熔点合金制备等缺点, 而难以实现工业化应用。电磁搅拌法虽克服了机械搅拌法存在的缺陷, 但从实现搅拌的方式来说, 不论是采用线圈式还是采用永磁式都存在设备投资大、操作工艺复杂的问题。随后发展了一种借助于常规设备将铸锭经过一定变形, 在固液两相区处理后得到半固态金属成形所需的材料的方法, 即应变诱发熔化激活法^[5] (简称 SIMA)。Cau 等^[6]运用该技术对 Al-Cu, Al-Si 和 M-2 工具钢等材料进行了研究。朱鸣芳等^[7]用半固态等温处理也获得了适用于半固态成形的 ZA27 合金非枝晶粒状组织。而采用 SIMA 法研究 ZA27 合金组织中初生相的演化过程目前国内报道甚少。

作者以铸态 ZA27 合金为原材料, 采用 SIMA

法研究经固液两相区等温处理后凝固组织中初生相形貌与等温温度、等温时间和预变形之间的关系。

1 实验方法

采用纯 Al 和 Zn 及 Al-Cu 和 Al-Ti 中间合金熔制 ZA27 合金, 待合金在电阻炉中熔化后, 于 550 ℃浇入金属型制成 $d 40 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 铸锭, 将铸锭截取成 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的实验用试样。

ZA27 合金液、固相线温度分别约为 430 和 500 ℃, 在固液两相区选取 430, 450 和 470 ℃3 个等温温度参数, 当炉温稳定在选定温度后, 将试样放入 SRJX-2-9 箱式电阻炉并开始计时进行等温处理, 处理过程温度波动为 $\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 等温时间分别为 15 和 30 min, 等温处理结束后快速取样水淬。用光学显微镜进行组织分析。

作者还考察了预变形对等温处理过程的影响。预变形工艺为: ZA27 合金在 280 ℃下保温 30 min 后进行变形, 变形量控制在 10% 左右。

2 实验结果

普通凝固条件下合金的原始组织为细密发达的枝晶和枝晶间共晶组织, 如图 1 所示。

图 2 所示为铸态 ZA27 合金直接经固液两相区等温处理后的组织, 与图 1 相比, 枝晶分支特征消失, 出现大的团块状枝晶, 随温度的升高, 枝晶的

① [基金项目] 陕西省自然科学基金资助项目(98C13); 陕西省教委基金资助项目

[收稿日期] 2000- 01- 23; [修订日期] 2000- 05- 17

[作者简介] 谢 辉(1972-), 男, 讲师, 硕士。

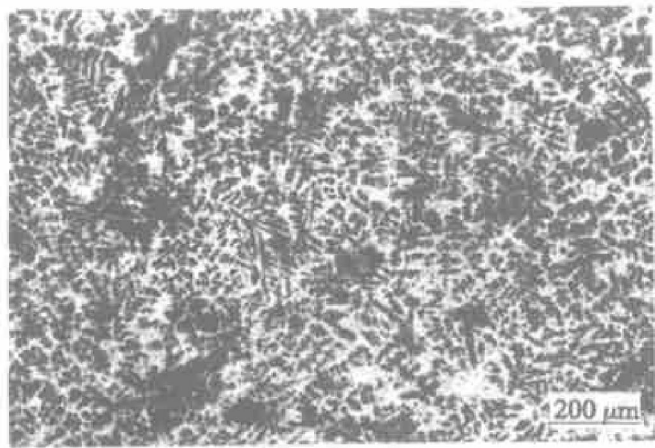


图 1 ZA27 合金正常凝固下的组织

Fig. 1 Microstructure of ZA27 alloy in conventional solidification

熔断加剧, 出现了少量游离的粒状晶。

图 3所示为铸态ZA27合金经预变形后进行固液两相区等温处理后的组织, 与图 2 相比发现: 等温温度较低或处理时间较短时, 除了有团块状枝晶外(见图 3(a), (b)), 还形成了许多多边形晶粒; 在相同的等温温度和等温时间下, 预变形明显促进初生相形貌的演化; 变形量相同时, 随等温温度的提高和等温时间的延长, 晶粒分离更完全。

由此可见, ZA27 合金在等温处理时, 初生相形貌存在枝晶—团块状枝晶—粒状晶的演化过程; 提高等温温度、延长等温时间和引入预变形均有助于铸态组织中初生相由枝晶向粒状晶的演化。

3 结果分析

3.1 等温处理对初生相形貌演化的影响

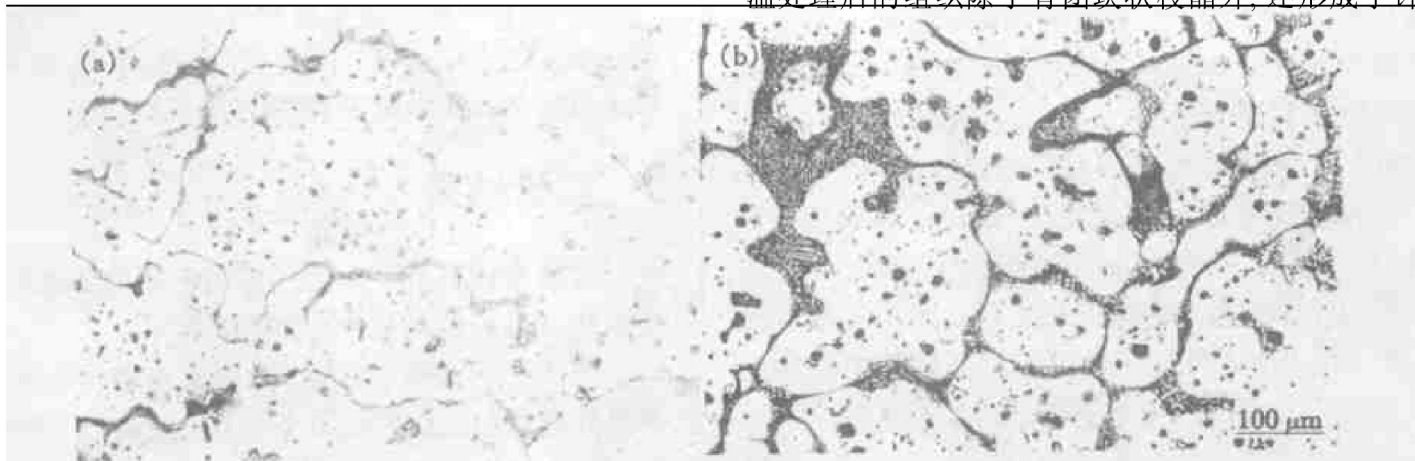


图 2 ZA27 合金经半固态等温处理后的组织

Fig. 2 Microstructures of ZA27 alloy by isothermal treatment

(a) $-430\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min; (b) $-470\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min

等温处理对初生相形貌演化的影响, 实质是影响枝晶的熔断过程。从实验结果来看, 无论是否采用预变形, 等温处理后的 ZA27 合金水淬组织中都有液相存在, 这说明与液相接触的初生相形貌的演化可以用枝晶熔断机制解释^[8]: 当将 ZA27 合金放入炉内进行处理时, 试样首先发生成分均匀化, 枝晶分支特征消失, 而形成团块状枝晶, 低熔点相则偏聚在团块状枝晶间隙内。当温度超过固相线温度后, 偏聚在团块状枝晶间隙内的低熔点相转变为液相, 团块状枝晶出现游离。同时, 与液相接触的团块状枝晶的凹凸边界存在着曲率上的差异, 根据熔点与曲率的关系, 凹谷部位曲率较大, 熔点相应下降而首先出现熔化, 并使曲率进一步增大而继续熔化。伴随凹谷熔化的同时, 还存在枝晶凸起部位的长大, 熔化与长大过程的控制性环节为 Zn 和 Al 原子的扩散。根据 Witten 和 Sander 提出的有限聚合 (DLA) 模型^[9], 液相中的 Al 原子向固液界面扩散时, 更容易附着在枝晶凸起处而使该部位长大, 长大过程排出的 Zn 原子则易聚集在枝晶的凹谷处, 导致凹谷部位熔点进一步降低。因此, 枝晶更容易从凹谷部位熔断, 熔断后形成的近粒状组织会在表面张力的作用下自发收缩成球形(如图 4 所示)。

提高等温温度, 可使 Al 和 Zn 原子的扩散加快、液相增多, 从而加快团块状组织的形成和缩短枝晶凹谷部位的熔断时间。延长等温时间可以实现 Al 和 Zn 原子的充分扩散, 使初生相形貌的演化过程进行得更为彻底。

3.2 预变形对初生相形貌演化的影响

铸态 ZA27 合金经预变形后进行固液两相区等温处理后的组织除了有团块状枝晶外, 还形成了许

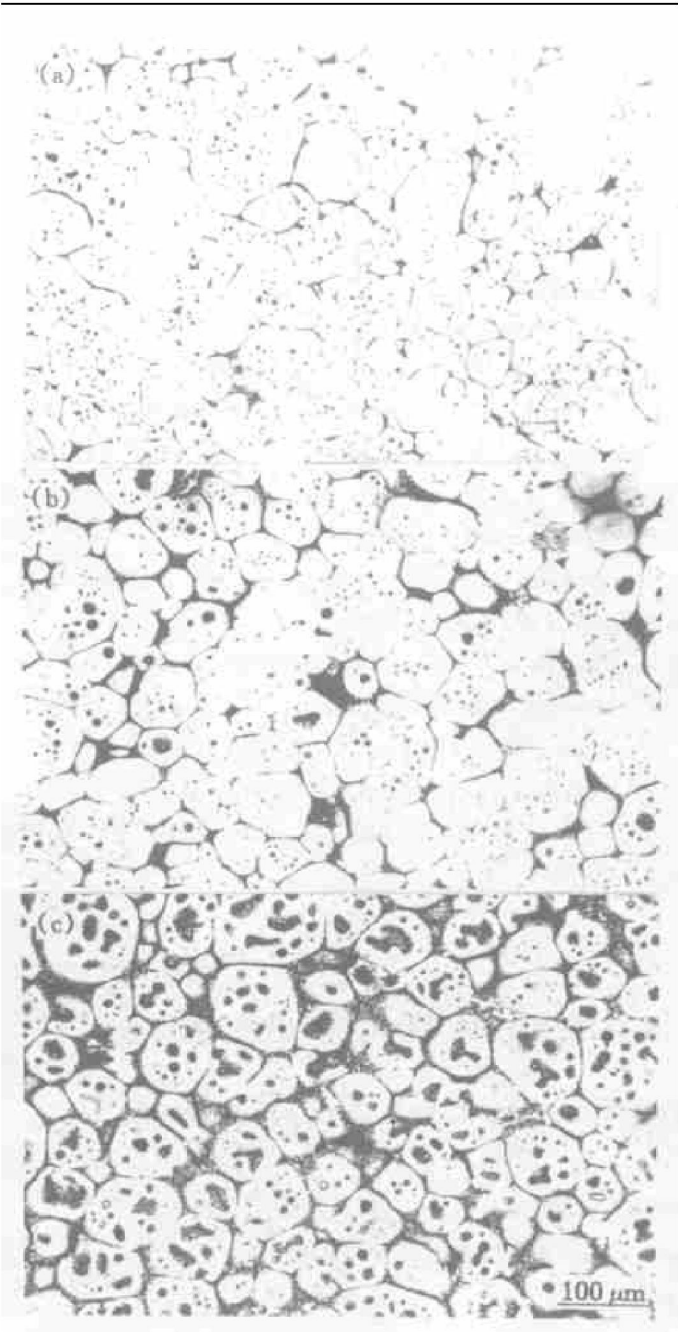


图 3 变形 ZA27 合金经半固态等温处理后的组织

Fig. 3 Microstructures of ZA27 alloy by pre-deformation and isothermal treatment

(a) $-470\text{ }^{\circ}\text{C}$, 15 min;
(b) $-450\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min; (c) $-470\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min

多多边形晶粒，可以认为，在等温处理时，引入预变形后的ZA27合金在升温过程中除了成分的均匀化形成团块状枝晶以外，还会发生高温回复、再结晶，形成许多多边形亚晶粒。当温度超过固相线温度后，在发生枝晶熔断的同时，还有可能发生液相沿亚晶界的熔渗。熔渗过程能否进行取决于亚晶界稳定存在的能量判据^[10, 11]：

$$\Delta E = \Delta S(\sigma_{gb} - 2\sigma_{sl}) < 0$$

式中 ΔE 为互相接触的亚晶粒能量的变化， ΔS

为界面面积， σ_{gb} 为亚晶界的界面能， σ_{sl} 为固液界面能。亚晶界实质是预变形产生的晶格畸变、空位、位错等缺陷聚合形成高能晶界。如果 $\sigma_{gb} > 2\sigma_{sl}$ ，即能量判据 $\Delta E > 0$ ，意味着亚晶界是不稳定的，液相沿亚晶界会发生熔渗(见图 5 的 A，B 处)，熔渗的结果导致多边形亚晶粒的分离，分离开的晶粒会在液相和表面张力的作用下收缩为球形。可见液相沿等温处理形成的亚晶界的熔渗是预变形促进初生相形貌演变的根本原因。

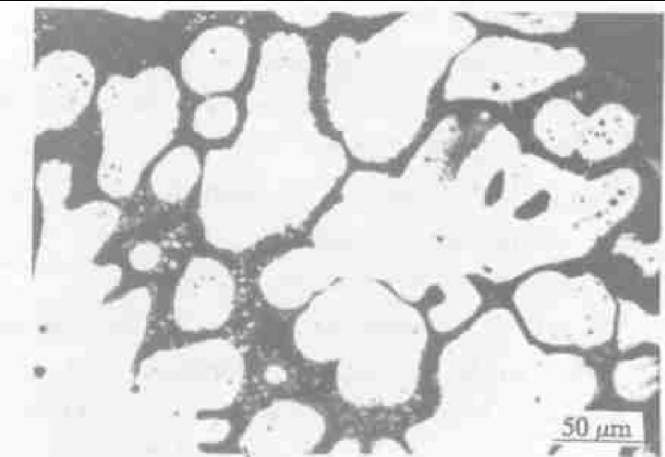


图 4 等温处理中的枝晶熔断

Fig. 4 Dendrite remelting and breeding during isothermal treatment

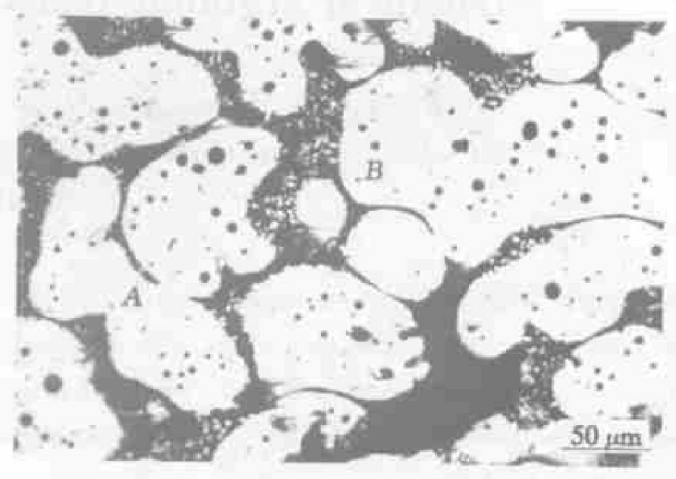


图 5 等温处理中的熔渗

Fig. 5 Liquefying during isothermal treatment

4 结论

- 1) 铸态 ZA27 合金在固液两相区进行等温处理时，提高固液两相区等温温度，延长等温时间可使枝晶充分熔断和分离，有助于初生相形貌由枝晶向粒状晶演化。
- 2) 液相沿等温处理形成的亚晶界的熔渗是预

变形明显促进初生相形貌演化的根本原因。

[REFERENCES]

- [1] Moschini R. Manufacture of automotive components by semi-solid forming process [A]. Brown S B. Proceeding of the 2nd International Conference on the Semi-solid Processing of Alloys and Composites [C]. Cambridge: Massachusetts, 1992. 149.
- [2] Kaye A and Street A. Die Casting Metallurgy [M]. Butterworth Scientific, 1982.
- [3] SU Hua-qin(苏华钦), ZHU Ming-fang(朱鸣芳) and GAO Zhi-qiang(高志强). Overview and prospect of semi-solid casting [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys(特种铸造与有色金属), 1998, 5: 1.
- [4] Vives C H. Elaboration of semi-solid alloys by means of new electromagnetic rheocasting processes [J]. Metall Trans B, 1992, 23B(3): 189.
- [5] Young K P. Semi-solid metal automatic component new markets for die casting [A]. North Americans Die Cast Association 17th IDCCE Transactions [C], 1993. 1.
- [6] Cau E R and Robert M H. Obention of rheocasting structures of M-2 and 308-L stainless steel by SIMA [A]. Brown S B. Proceeding of the 2nd ICSSPAC Transactions [C]. Cambridge: Massachusetts, 1992. 6. 119.
- [7] ZHU Ming-fang(朱鸣芳) and SU Hua-qin(苏华钦). A study on producting ZA12 alloy with globular structure using semi-solid isothermal treatment [J]. Foundry(铸造), 1996. 4: 1.
- [8] ZHU Ming-fang(朱鸣芳) and SU Hua-qin(苏华钦). The effects of the previous deformation and the isothermal temperature in semi-solid state on the thixotropic microstructure [J]. Foundry(铸造), 1996, 1: 8.
- [9] Chen C P and Tsao C Y A. Response of spray-deposited stirred-cast and conventional cast Pb-Sn alloys to deformation in semi-solid state [J]. Journal of Material Science, 1995, 30: 4019.
- [10] Lee H L, Doherty R D, Feest F A, et al. Crystal growth in solidification [J]. Metall Trans, 1986, 17A (12): 2049-2062.
- [11] Vogel A, Doherty R D and Cantor B. Solidification and Casting of Metals [M]. London: The Metals Society, 1977.

Effects of pre-deforming and isothermal treatment on structural granular transformation of as-cast ZA27 alloy

XIE Hui, XU Li-jun, YUAN Zhong-yue, ZHENG Hong-xing, GUO Xue-feng
(School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology,
Xi'an 710048, P. R. China)

[Abstract] The effects on transformation of primary phase morphology were studied by using isothermal heat treatment of the as-cast ZA27 ingots in semi-solid state. The results show that remelting of dendrite is controlled by atom diffusion in the solid-liquid interface. Increasing isothermal temperature and prolonging isothermal time, which promoted the diffusion of Zn and Al atoms, are helpful to the transformation. Liquefaction along hypo-grain boundaries caused by pre-deforming is the radical reason for the morphological transformation.

[Key words] semi-solid state; pre-deformation; isothermal treatment

(编辑 朱忠国)