

文章编号: 1005-8893 (2006) 01-0041-04

半固态 ZA27 合金电磁搅拌工艺及其组织和性能的研究

苗乃明

(江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 采用电磁搅拌装置制备 ZA27 合金半固态浆料, 研究不同搅拌参数对非枝晶组织和性能的影响。结果表明: 搅拌电流越大, 晶粒越细小致密, 搅拌时间短不足以打碎、圆整 ZA27 凝固时的先结晶组织, 搅拌时间长, 先结晶相易发生聚集长大, 导致力学性能下降。搅拌时间 10 min 左右, ZA27 合金的组织 and 性能较佳。

关键词: 半固态; 电磁搅拌; ZA27 合金; 组织; 性能

中图分类号: TG 249

文献标识码: A

Study of the Process, Structure and Properties of the Semi—Solid ZA27 Alloy by Electromagnetic Stirring

MIAO Nai—ming

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: ZA27 semi—solid slurries were prepared by electromagnetic stirring setting, the effect of different stirring parameters on non—dendritic structure and its mechanical properties have been studied. Results of experiments are as follows: grains of crystals are fine and close along with the increase of electric current. When the stirring time is short, it is difficult to break up and round the microstructure of earlier crystals. When the stirring time is long, earlier crystal phase is easy to conglomeration and grow up, it weakens the mechanical properties of ZA27 alloy. When the stirring time is about 10 min, the structure and properties of ZA27 alloy are better.

Key words: semi—solid; electromagnetic stirring; ZA27 alloy; microstructure; properties

制备具有非枝晶组织的半固态浆料是实现半固态成形的首要环节。这个问题的关键就在于打碎液态金属正在凝固时的树枝状晶, 使其初晶球状化、细晶化。

半固态金属坯料的制备方法很多, 常用的有机械搅拌法、电磁搅拌法、应变诱发熔体激活法、液相线铸造法等。其中电磁搅拌法因为具有不会污染

金属浆料, 也不会卷入气体, 电磁参数控制方便灵活等优点而在实际生产中得到最为广泛的应用。

在锌铝合金中, ZA27 以其优良的综合力学性能受到人们的日益重视, 主要用于工业产品中的耐磨件生产。传统 ZA27 耐磨件的生产多采用普通铸造法进行。本研究采用在感应线圈内通交变电流的电磁搅拌器对 ZA27 合金在液固两相区进行电磁搅

收稿日期: 2005-10-09

作者简介: 苗乃明 (1977—), 男, 山东寿光人, 硕士。

拌以制备 ZA27 半固态坯料, 并对其组织和性能进行研究, 考察了不同参数变化对组织及性能的影响, 旨在通过半固态搅拌组织的转变进一步提高其综合力学性能。

1 实验部分

1.1 电磁搅拌实验装置及原理

本文所采用的电磁搅拌装置是在感应线圈内通交变电流的 DJMR-1616W 型外装式直接水冷电磁搅拌器。如图 1 所示, 本装置中可通过改变定子线圈电流 I 来改变磁感应强度 B , 从而达到不同的搅拌效果。

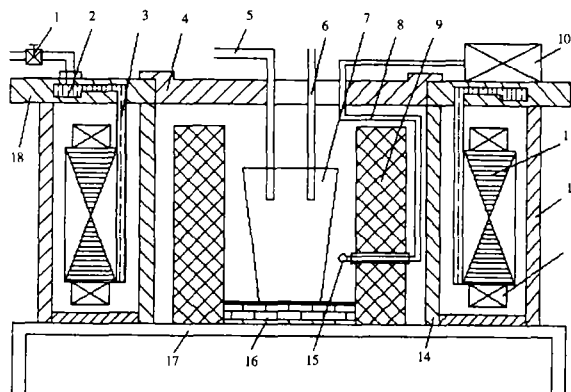
1.2 实验方法与过程

首先配制一定化学成分的 ZA27 合金, 经熔炼后在固液两相区内对其进行电磁搅拌, 将搅拌好的半固态浆料冷却凝固即可得到 ZA27 半固态坯料。通过观察不同搅拌参数下 ZA27 的金相组织并测定其相应的力学性能, 可以得出 ZA27 合金的组织性能随搅拌参数的变化规律, 从而得出较为优化 ZA27 半固态坯料制备的工艺参数。本实验所采用的合金成分见表 1。

表 1 ZA27 合金的化学成分

Table 1 Composition of ZA27 alloy

元素	Al	Cu	Mg	Zn
w/%	27	2.3~2.5	0.01~0.03	其余



1. 阀门; 2. 冷却水; 3. 喷水孔; 4. 上盖板; 5. 保护气体导入管; 6. 测温仪; 7. 坩埚; 8. 导线; 9. 加热套; 10. 控温仪; 11. 搅拌线圈; 12. 外壳; 13. 铁芯; 14. 内壳; 15. 热电偶; 16. 耐火砖; 17. 支架; 18. 上端盖

图 1 电磁搅拌装置示意图

Fig. 1 The electromagnetic stirring setting

为了制备非枝晶 ZA27 合金半固态浆料, 将铸态 ZA27 原材料放入电阻炉的石墨坩埚中重新熔

炼, 完毕后将坩埚取出, 放入电磁搅拌器中, 在金属液体冷却到临界温度时启动电磁搅拌装置, 同时在金属液体上方通氩气保护防止液体被氧化。在电磁搅拌器腔内放置一不锈钢加热套并与热电偶和温控仪相连组成一个加热控温系统, 用于补偿金属熔液向四周散热导致的温度下降, 控制搅拌温度和金属液体的冷却速率。在搅拌过程中要特别注意对搅拌强度, 搅拌温度, 固相分数以及冷却速率的控制。其中搅拌强度可由搅拌电流的大小来控制, 搅拌温度和冷却速率可由加热控温系统控制, 而固相分数 f_s 的数值由合金液体的温度 t 来决定, 根据 Scheil^[1] 公式, 二者有如下对应关系:

$$f_s = 1 - \left(\frac{t_m - t_l}{t_m - t} \right)^{\frac{1}{1-k_0}} \quad (1)$$

式中: t_m —纯溶剂 (ZA27 合金中为 Zn) 熔点; t_l —合金的液相线温度; k_0 —平衡分配系数。

在搅拌过程中, 半固态金属浆料的温度用镍铬—镍铝热电偶测定, 由搅拌电流决定的磁感应强度变化用磁感应强度仪测出, 最后将半固态浆料在圆筒形金属模中凝固成型 (冷却条件为冷水激冷)。

2 实验结果及分析

将不同搅拌参数下制备的 ZA27 半固态坯料按金相常规的方法制样后, 用 $\varphi(\text{HF}) : \varphi(\text{HCl}) : \varphi(\text{HNO}_3) : \varphi(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 1.5 : 2.5 : 95$ 的混合腐蚀液对其进行腐蚀后, 在卧式显微镜下观察其组织形貌, 并将在不同参数下搅拌制得的 ZA27 组织形貌进行比较。在 HB-3000 型布氏硬度仪上与万能拉伸试验机上测定制备样品的硬度、抗拉强度和延伸率数值。

2.1 组织形貌及力学性能

为考察 ZA27 合金半固态电磁搅拌成形时的组织和性能的特殊性, 在半固态成形试验前, 浇铸了金属模铸造试样 (冷却条件为冷水激冷), 从试样的金相组织 (如图 2 所示) 可以看出, 常规铸造普通凝固条件下 ZA27 合金的原始组织为细密发达的枝晶和枝晶间共晶组织。经测定其性能见表 2。

表 2 常规铸造 ZA27 的力学性能

Table 2 Mechanical properties of ZA27 alloy in conventional casting

力学性能	抗拉强度/MPa	延伸率/%	布氏硬度/HB
金属模铸造	405	2	103

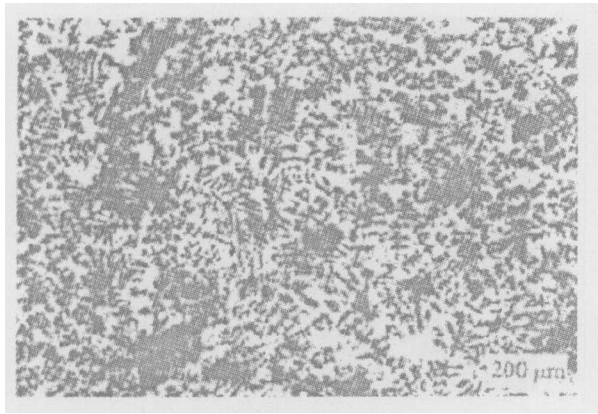


图 2 常规铸造 ZA27 的金相组织 (×50)

Fig. 2 Microstructure of ZA27 alloy in conventional casting

2.2 电磁搅拌强度的影响

表 3 与图 3 分别记录了经电磁搅拌后制备的坯料机械性能指标与金相形貌。其制备条件是：搅拌温度为 470 ℃；搅拌时间为 10 min；电流强度为 100、200、300、400 A。

表 3 ZA27 经不同磁感应强度搅拌后的力学性能

Table 3 Mechanical properties of ZA27 alloy with different magnetic induction

试样号	B1	B2	B3	B4
搅拌电流/A	100	200	300	400
磁感应强度/T	0.010 5	0.030 1	0.052 3	0.068 2
布氏硬度/HB	117	122	126	125
抗拉强度/MPa	433	439	446	451
延伸率/%	7.4	11.0	13.5	10.2

从表 3 来看，电磁搅拌后的 ZA27 合金的力学性能随搅拌电流强度升高（磁搅拌强度随之升高）大体上呈上升的趋势。从图 3 可见：随搅拌强度的提高，一方面使半固态浆液中初生相的形状圆整，另一方面使晶粒均化；随磁感应强度增大，初生相由玫瑰状枝晶演变为熟化态的玫瑰状，最终演变为球状、类球状，同时晶粒尺寸有所减少。

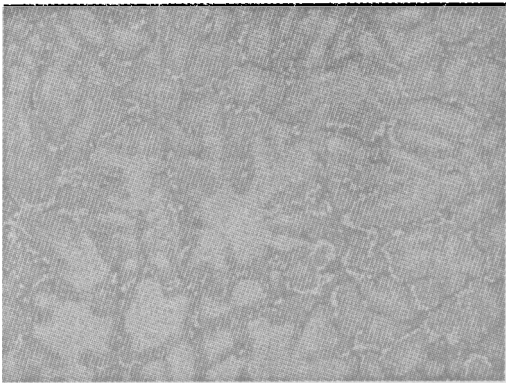
2.3 电磁搅拌时间的影响

固定搅拌时搅拌线圈的电流为 400 A（此时搅拌器中的磁感应强度为 0.068 2 T），搅拌时等温温度为 470 ℃，改变搅拌时间进行试验。试验测定的力学性能结果见表 4，获得的金相组织见图 4。

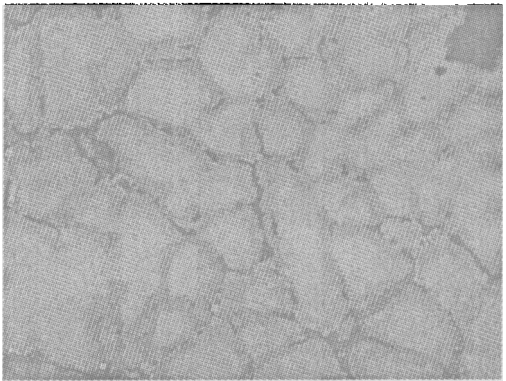
表 4 电磁搅拌时间对 ZA27 合金力学性能的影响

Table 4 Mechanical properties of ZA27 alloy after being stirred for different periods of time

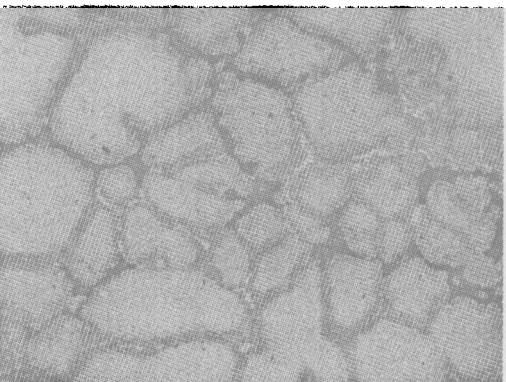
试样号	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5
搅拌时间/min	2	5	10	15	20
布氏硬度/HB	107	119	126	124	111
抗拉强度/MPa	412	434	455	443	427
延伸率/%	3.8	7.5	10.2	8.7	6.8



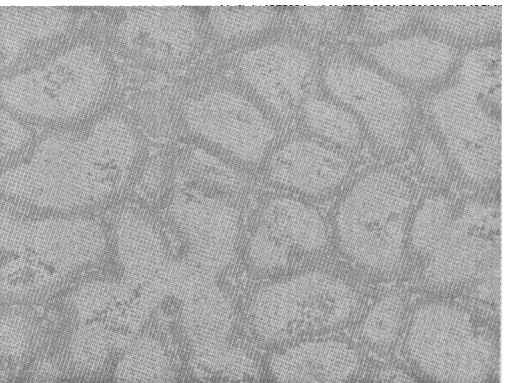
(a) I=100 A



(b) I=200 A



(c) I=300 A



(d) I=400 A

图 3 不同搅拌强度后 ZA27 合金的金相组织 (200×)

Fig. 3 Microstructure of ZA27 alloy with different magnetic induction

由表 4 可见, ZA27 合金的力学性能在搅拌 10 min 左右后的综合力学性能较好。由图 4 金相组织的变化可以明显看出, 搅拌时间为 2 min 时, α 相初生相的形态为与枝晶相似的穗状晶体, 当时时间为 5 min 时, 出现了玫瑰状组织和熟化态的玫瑰状组织, 10 min 时便出现了较圆整的组织, 搅拌时间进一步延长, 出现晶粒聚集合并, 形成“大结构”, 晶粒尺寸逐渐增大^[2]。可见搅拌时间短不足以打碎、圆整 ZA27 合金液中的先结晶相; 搅拌时间长, 先结晶相易发生聚集长大, 导致力学性能下降。

3 结 论

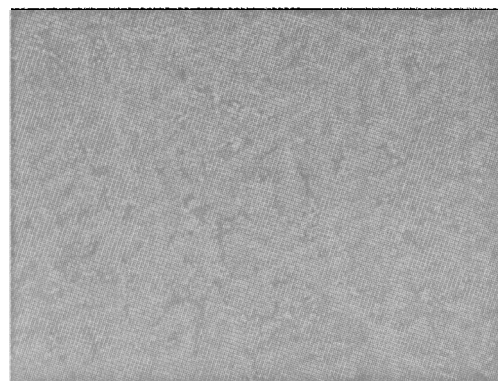
(1) 常规铸造普通凝固条件下 ZA27 合金的原始组织为细密发达的枝晶和枝晶间共晶组织。而经过电磁搅拌后铸造的 ZA27 合金的初生相由颗粒状近球形晶粒组成。

(2) 电磁搅拌不仅球化了初生相晶粒, 而且提高了 ZA27 合金的力学性能。

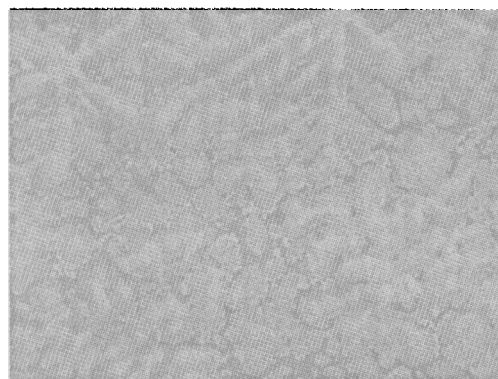
(3) ZA27 合金在搅拌电流为 300~400 A、等温搅拌温度为 470 °C、搅拌时间为 10 min 左右时的综合力学性能较好。

参考文献:

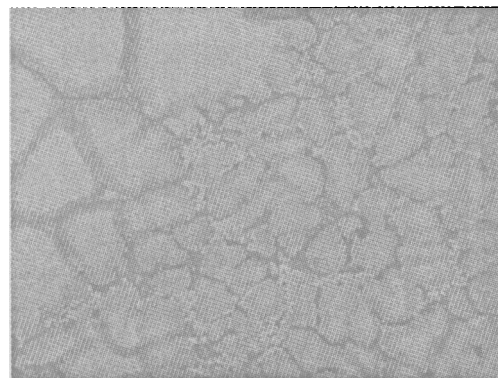
- [1] Martin C L, Kumar P, Brown S. Constitutive Modeling and Characterization of the Flow Behavior of Semi-Solid Metal Alloy Slurries — Structure Evolution under Shear Deformation [J]. *Acta Metal Mater*, 1994, 42 (11), 3 603—3 614.
- [2] 谢水生. 半固态金属加工技术及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.



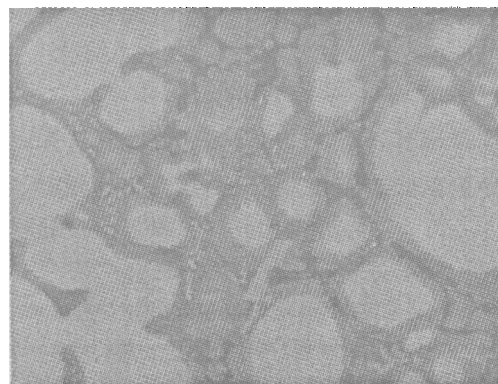
(a) 搅拌 2 min



(b) 搅拌 5 min



(c) 搅拌 10 min



(d) 搅拌 20 min

图 4 电磁搅拌时间对 ZA27 合金组织的影响 (200×)

Fig. 4 Microstructure of ZA27 alloy after being stirred for different periods of time