

凝固条件对 $AlSi_7Mg$ 合金半固态 加热时组织的影响*

毛卫民 钟雪友

北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083

摘要 利用电阻炉研究了凝固条件对 $AlSi_7Mg$ 合金半固态加热时组织的影响。研究表明: 电磁搅拌的 $AlSi_7Mg$ 合金在 589 或 597℃ 下保温, 在较短的时间内 (5~10 min), 共晶体即可重熔, α 相可转变为球状, 而且保温温度越高, 试样共晶体重熔和 α 相球化的过程越快; 相比较, 未电磁搅拌的细小枝晶的 $AlSi_7Mg$ 合金在同样的加热温度下, 即使保温 60 min, 也无法获得完全球状 α 相的半固态组织。

关键词 $AlSi_7Mg$ 合金; 重熔; 电磁搅拌; 枝晶

分类号 TG292

70 年代初, D. B. Spencer 在研究 Sn-15%Pb 合金的高温热裂时, 偶然发现了金属的非枝晶半固态力学行为和组织特点, 引起 M. C. Flemings 等 M. I. T. 学者们的重视, 并进行了广泛研究, 较系统地提出金属非枝晶半固态成形 (Partially Solidified Forming) 新工艺^[1]。金属非枝晶半固态成形与液态铸造或固态锻造相比, 具有许多独特的优点: 减轻了成形中的裹气和凝固收缩, 增加了毛坯的致密性和强度; 减轻了成分偏析, 提高了毛坯性能的均匀性; 减轻了成形应力, 可以制造复杂零件的毛坯; 成形效率高, 废品率极低; 充型温度低, 模具寿命长; 可以实现高度自动化生产。基于上述优点, 金属非枝晶半固态成形有广阔的发展前景^[2,3]。

在金属的非枝晶半固态成形中, 主要成形工艺为: 流变成形 (Rheoforming) 和触变成形 (Thixoforming), 尤其后者在目前的条件下占有主导地位。在触变成形中, 首先要搅拌制备非枝晶坯料, 再将已经凝固的坯料进行半固态重熔加热, 控制适当的固相率, 并使初生固相呈球状, 因此坯料制备时的凝固条件和加热工艺对金属的非枝晶半固态组织有重要影响, 对非枝晶半固态金属的后续触变成形也有重要意义。本文则是研究坯料制备时的凝固条件—搅拌与细化—对 $AlSi_7Mg$ 合金半固态加热时组织的影响规律, 为 $AlSi_7Mg$ 合金的非枝晶半固态成形提供理论借鉴。

1 试验方法

1.1 试验材料

试验选用 $AlSi_7Mg$ 合金 (质量分数, Si 7%, Mg 0.45%, 其余为 Al) 作为试验材料, 这是因

1997-10-15 收稿 毛卫民 男, 39岁, 副教授

*国家“863”基金资助项目

为该合金是目前半固态成形较为成熟的一种合金。

以下列 2 种凝固条件制备原始 AlSi_7Mg 合金坯料:

(1) 电磁搅拌凝固试样. 试样尺寸 $\phi 70 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$; 石墨铸型预热 410°C ; 合金浇注温度 740°C ; 对凝固中的合金进行激烈的电磁搅拌, 在坯料凝固期间不用水 (20°C) 激冷铸型, 坯料凝固时间约为 3 min. 图 1a 为试样重熔前的原始组织, 由图看出, 白色的初生 α 相 (部分共晶 α 相也沉积在初生的 α 相之上) 为团块状, 并非呈常规凝固的粗大树枝状, 深色的共晶硅分布在 α 相晶界。

(2) 快凝固试样. 试样尺寸 $\phi 70 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$; 石墨铸型温度 25°C ; 合金浇注温度 750°C ; 当试样凝固 1 min 时, 用水 (20°C) 激冷铸型. 图 1b 为试样重熔前的原始组织, 由图看出, 白色的初生 α 相 (部分共晶 α 相也沉积在初生的 α 相之上) 为树枝状, 二次枝晶臂细小, 深色的共晶硅分布在 α 相晶界。

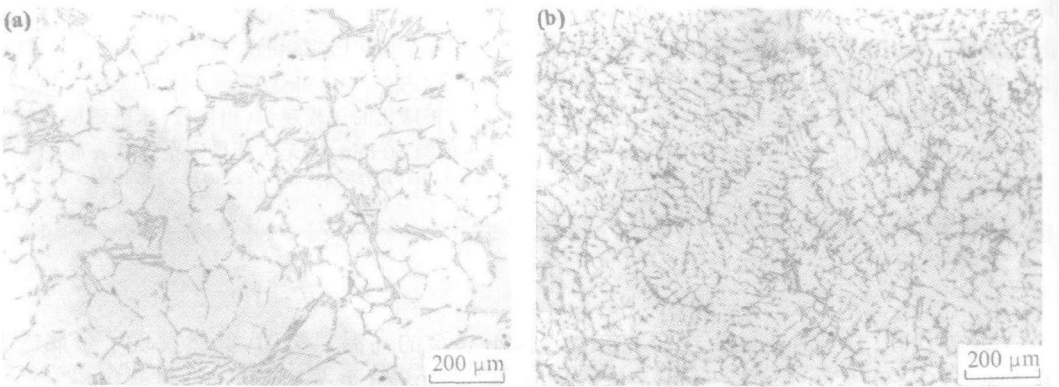


图1 AlSi_7Mg 合金坯为半固态重熔前的组织 (a)电磁搅拌, (b)快速凝固

1.2 半固态加热工艺

加热设备采用管式电阻炉, 控温精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$. 保温时间以试样附近炉温达到预定温度 5 min (均热试样) 后的时刻算起. 试样保温到预定时刻时, 立即水淬试样. 试样保温温度选择为 $(597 \pm 1)^\circ\text{C}$, 对应的固相率约为 30%; $(589 \pm 1)^\circ\text{C}$, 对应的固相率约为 40%. 试样保温时间为 5~60 min. 加热小试样的尺寸为 $\phi 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$.

1.3 组织观察

将淬火试样进行粗磨、细磨和抛光, 用 0.5% HF 水溶液浸蚀试样, 在光学显微镜下观察试样的组织。

2 试验结果与讨论

2.1 凝固条件对 589°C 下试样半固态等温加热时组织的影响

图 2 为 2 种试样在 589°C 下保温不同时间的组织演变结果. 从图 2(a), (c), (e) 中可以看出, 在 10 min 内, 电磁搅拌的试样变化很大, 共晶体已经重熔, 液相均匀分布在 α 相之间, 部分 α 相中尚裹有少量液相小岛; 在试样共晶体重熔的同时, α 相球团化速度很快, 如在 10 min 内, α 相已经球团化, 再延长保温时间至 30~60 min 时, α 相变得更加圆整, 尺寸也缓慢增大, 可以认为, 在 60 min 内保温, α 相的尺寸变化不大. α 相尺寸和形态的这一变化规律与其半固态下保温有关. 由于有部分液相存在, 在界面曲率和界面能的作用下, 小的 α 相晶粒会逐渐熔

化,大的 α 相晶粒不断长大,而且变得更加圆整,结果使得整个系统的固液界面缩小,并降低系统能量.但 α 相长大和圆整化的过程需要Al, Si等原子的长距离扩散,在半固态重熔不存在液相流动的情况下,原子的扩散是一个缓慢的过程,所以 α 相长大的速度很慢.

从图2(b), (d), (f)中可以看出:在保温初期,如10 min,枝晶试样的共晶体已经重熔,液相均匀分布在 α 相枝晶周围.在共晶体重熔后较短时间内, α 枝晶迅速粗化,即 α 枝晶的主干变粗、二次枝晶臂也合并粗化,但枝晶的基本形态尚未发生重大变化.即使保温至30~60 min,从主干上熔断的短小的二次枝晶臂发生了球化,但是还有许多未熔断、球化,枝晶主干基本不变,这说明枝晶主干的熔断和球化很困难.这样的组织不是非枝晶半固态组织,不适合半固态成形,因为枝晶半固态成形成容易引起毛坯中产生裂纹、偏析,而且成形应力很大.

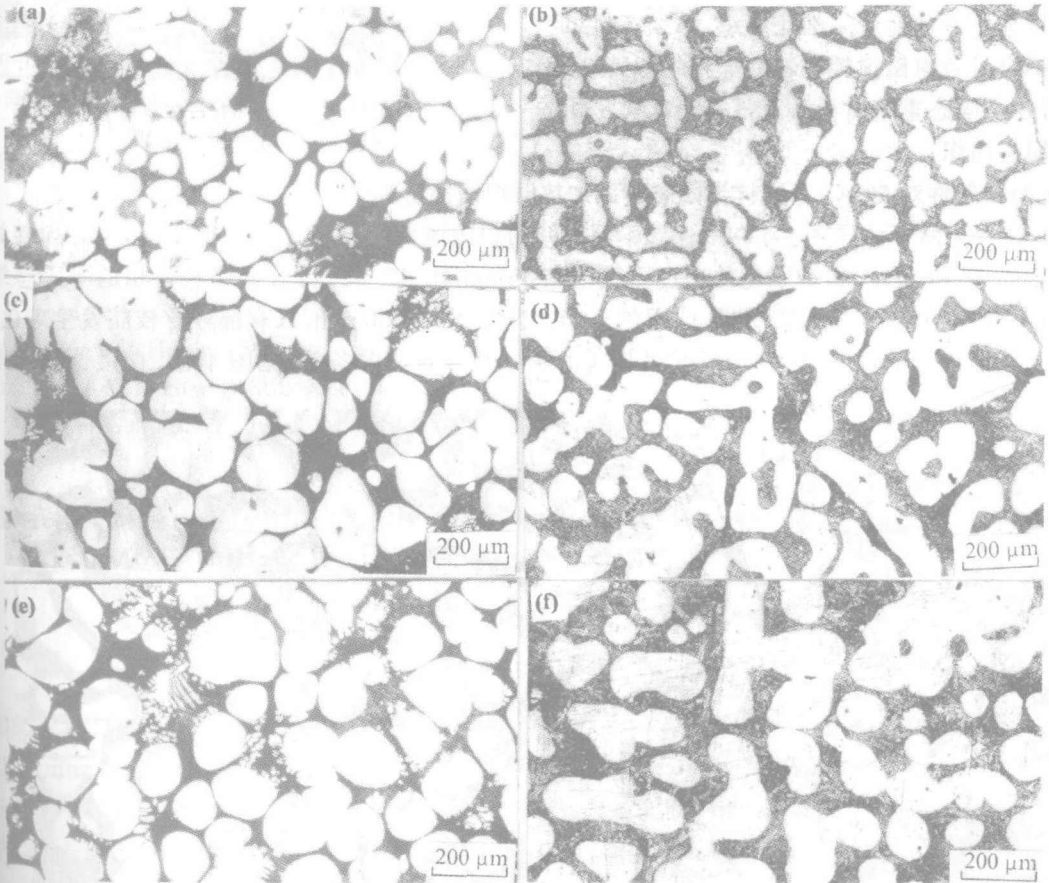


图2 AlSi₇Mg合金试样半固态重熔加热时组织的演变过程
(a), (c), (e)为电磁搅拌试样; (b), (d), (f)为细枝晶试样
保温温度为(589±1)℃,保温时间/min: (a), (b) 10; (c), (d) 30; (e), (f) 60

图2的试验结果表明:AlSi₇Mg合金坯料凝固时,只要经过激烈的电磁搅拌,即使凝固速度较慢(石墨铸型预热410℃),坯料在589℃下加热10 min也可获得球团状 α 相的半固态组织;如果AlSi₇Mg合金坯凝固时不经过电磁搅拌,即使凝固速度较快(石墨铸型不预热,约25℃),二次枝晶臂细小(但枝晶主干仍然较长),坯料在589℃下加热60 min,仍然无法获得完全的球状 α 相的半固态组织,这证明电磁搅拌对顺利获得球团状 α 相的半固态组织具有重大作用.通过电磁搅拌,在凝固中的合金坯料内产生激烈流动,破碎了枝晶,也促使二次枝晶

臂的缩颈、熔断,如图3所示.图3中白色的大块为搅拌时析出的初生 α 相,白色的细块为淬火过程中析出的初生 α 相,黑色区域为淬火时的液相.图3是从正在电磁搅拌的半固态金属中取样的淬火组织,组织中存在不少熔断的枝晶臂,二次枝晶臂缩颈明显,枝晶主干弯曲,缩短.这说明坯料凝固时虽然冷却速度较慢,但经过电磁搅拌,使初生 α 相具有上述特征,这些特征加速了半固态重熔时 α 相的球化进程.如果对制备中的坯料不加以电磁搅拌,仅仅靠加快冷却速度来细化组织,那么坯料组织就不会具备电磁搅拌坯料的那种组织特征,因此,在半固态重熔时无法获得完全球状 α 相的半固态组织.

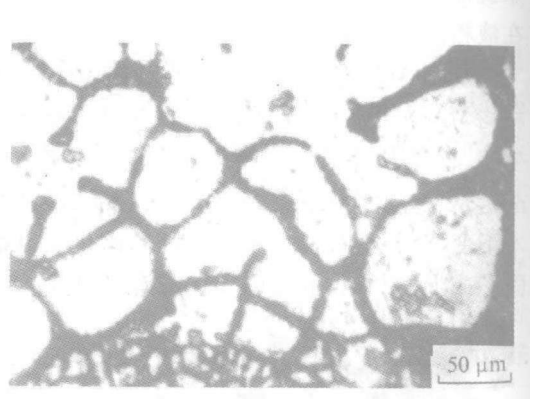


图3 电磁搅拌AlSi₇Mg合金试样
半固态重熔前的淬火组织

2.2 凝固条件对 597℃ 下试样半固态等温加热时组织的影响

图4为两种试样在 597℃ 下保温不同时间的组织演变结果.在 597℃ 下保温,电磁搅拌试样半固态重熔和 α 相球团化的速度更快,如在 5 min 内,基本可以获得球状 α 相的半固态组织,见图4(a), (c).相比较,枝晶试样在 597℃ 下保温 30~60 min,只有部分 α 枝晶发生球化,还有相当部分的 α 枝晶尚未球化,呈粗大的长条状或弯曲的条状,见图4(b), (d).这些结果

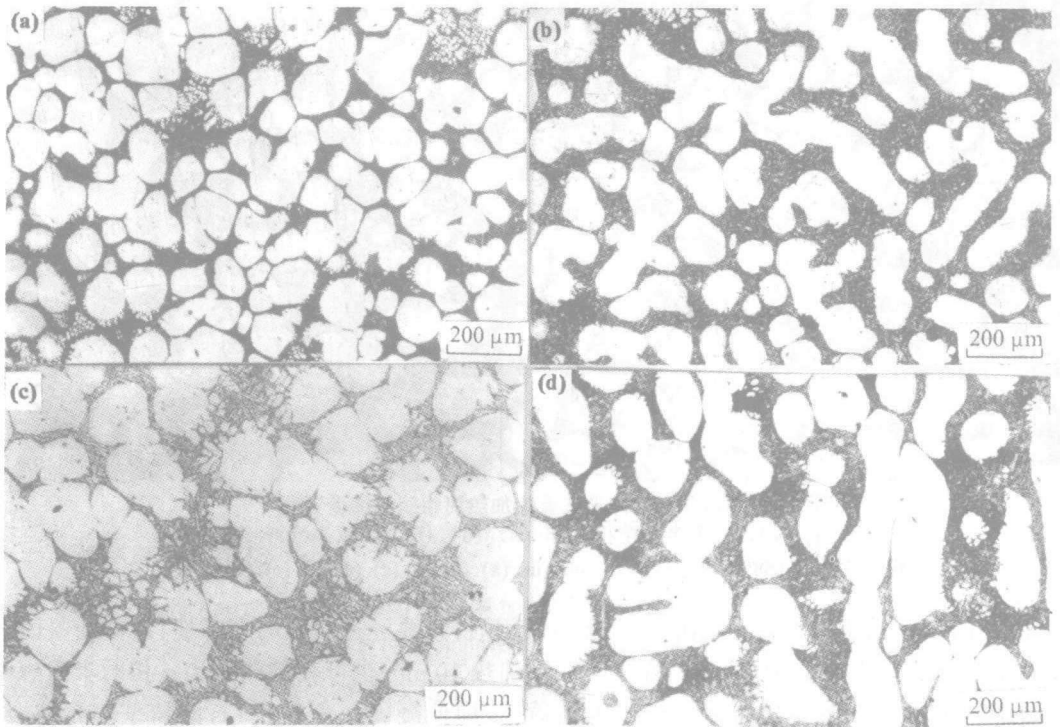


图4 AlSi₇Mg合金试样半固态重熔加热时的组织演变
(a), (c)为电磁搅拌试样; (b), (d)为细枝晶试样
保温温度为(579±1)℃,保温时间/min: (a) 5; (b), (c) 30; (d) 60

证明:在 597℃ 的重熔温度下,电磁搅拌对 AlSi₇Mg 合金半固态重熔时 α 相的球化也具有重大影响,仅对枝晶组织加以细化的措施无法使 AlSi₇Mg 合金半固态重熔时的 α 相获得完全的球化。

3. 结论

经过电磁搅拌的 AlSi₇Mg 合金,在 589℃ 或 597℃ 下半固态加热保温,在较短的时间内(5~10 min),即可获得球团状 α 相的半固态组织;而细小枝晶的 AlSi₇Mg 合金,在同样的加热温度下,即使保温 60 min,也无法获得完全球状 α 相的半固态组织。经过电磁搅拌的 AlSi₇Mg 合金在半固态重熔时, α 相能够快速球化的主要原因是,搅拌破碎了粗大的枝晶,促使二次枝晶臂的缩颈、熔断。

参考文献

- 1 Spencer D B, Mehrabian R, Flemings M C. Rheological Behaviour of Sn-15% Pb in the Crystallization Range. Metall Trans, 1972, 3A:1925
- 2 Flemings M C. Behaviour of Metal Alloy in the Semi-solid State. Metall Trans, 1991, 22A:957
- 3 Hirt G, Zillgen M, Cremer R, et al. Recent Advances in Thixoforming to Produce Near Net shape Components. In: Proceedings of the First China International Die Casting Congress, Beijing, China, 1997, 259
- 4 Brown S B, Flemings M C. Net-shpe Forging via Semi-solid Processing. Adv Mater Process, 1993, 143:36
- 5 Young K P, Fitze R. Semi-solid Metal Cast Aluminium Automotive Components. In: The 3rd Int Conf of Semi-Solid Processing of Alloys and Compositions. Tokyo: University of Tokyo, 1994

Effect of the Solidification Conditions on the Microstructures of AlSi₇Mg Alloy during Semi-solid Remelting

Mao Weimin Zhong Xueyou

Material Science and Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACTS The effect of the solidification conditions on the microstructures was studied during partial remelting of AlSi₇Mg alloy with the help of an electrical pipe-type furnace. The results show that the eutectic is remelted above all and α phases are gradually evolved into spheroidal shape, if the AlSi₇Mg alloys stirred strongly by rotating electromagnetic field during the first solidification are heated again to 589℃ or 597℃ and have been held for a short time (for example, 5~10 min), and moreover, the higher the holding temperature, the faster the eutectic remelting process and α phase's evolution are. In contrast, even though the AlSi₇Mg alloy's samples non-stirred with fine dendritic microstructures are heated to the same temperatures as those stirred by rotating electromagnetic field and have been held for 60 min, it is not possible to change all the dendritic α phases to spheroidal α phase.

KEY WORDS AlSi₇Mg; remelting; electromagnetic stirring; dendrite