

电磁场对 AZ80 镁合金组织结构的影响

牛海山

辽宁石油化工大学职业技术学院, 辽宁抚顺 113001

摘要 将 AZ80 镁合金铸锭在锯床上锯成 8mm 厚的薄片, 然后在剪床上剪成长约 120mm、宽约 5mm 的小条, 放入电阻炉内, 加热到 660℃, 施加不同的电磁场, 研究在电磁场下凝固的 AZ80 镁合金晶内溶质含量及凝固组织的变化。结果表明, 与未施加磁场的试样相比, 经过交直流磁场处理后, AZ80 镁合金中 Al、Zn 2 种溶质元素在晶粒内部的含量均增加。此外, 交流磁场作用下, 晶粒细化, 夹杂物的尺寸和数量有所减少, 10Hz 比 30Hz 的效果更加明显。经直流磁场处理后, 晶粒大小与无磁场差别不大, 但夹杂物的尺寸减小。

关键词 AZ80 镁合金; 电磁场; 晶内溶质含量; 凝固组织

中图分类号 TG146.2

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)07-0100-04

The Effect of Electromagnetic Field on the Solidification Structure of AZ80 Mg Alloy

NIU Haishan

Vocational Technology College, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, Liaoning Province, China

Abstract The ingot of AZ80 magnesium alloy was sawed into sheets of 8mm in thickness, then cut into strips of 120mm long and 5mm wide. Applying different electromagnetic fields, AZ80 magnesium alloy strips were heated to 660℃ in the resistance furnace. The influence of electromagnetic fields on the solidification structure of the AZ80 Mg alloy was examined. It is found that the grain becomes finer and the size and amount of inclusions are reduced in the sample with the AC magnetic field compared to the sample without the magnetic field. The grain sees no significant change in the DC magnetic field. The electron microprobe analysis shows that the Al and Zn contents inside the grain are increased.

Keywords AZ80 Mg alloy; electromagnetic field; the solute content inside grain; solidification structure

在合金凝固过程中利用电磁场控制金属的凝固组织, 是近年发展起来的一项新技术, 目前该领域的研究已取得了较大进展。王艳等^[1]在研究直流磁场作用对 Al-18Si 合金的凝固行为时发现, 过共晶 Al-Si 熔体在直流磁场作用下发生宏观偏聚, 中心处为共晶组织, 初晶 Si 颗粒偏聚到试样棒外表面。班春燕等^[2]研究了 Al-Cu 合金在磁场下的凝固现象, 发现在直流磁场中凝固, 合金液相线温度和固相线温度均有所降低, 结晶温度间隔变大, 随磁场强度增强, 变化幅度越大, 而且纯铝的熔点随直流磁场强度的增加而降低。时海芳等^[3]对直流磁场作用下 Al-Cu 合金定向凝固组织的变化进行了研究, 发现在直流磁场作用下, 宏观组织中柱状晶的宽度增加,

且枝晶的一次臂平均间距减小, 枝晶的取向较为一致。许光明等^[4]研究发现, 在镁合金的凝固过程中施加低频或静态磁场能有效细化晶粒, 但静磁场的细化效果优于低频交流磁场, 随磁场强度的增加, 静磁场细化晶粒的效果明显提高; 在静磁场条件下, 晶界共晶体组织的厚度明显减小, 晶内出现大量细小块状化合物, 这有利于提高镁合金的综合性能。韩逸等^[5]研究了直流磁场、交流磁场对液态铝和固态铁界面微观组织的影响, 结果表明, 在直流磁场和交流磁场作用下, 固态铁界面内形成的扩散层厚度比无磁场时小, 在交流磁场作用下, 液态铝和固态铁的界面变得凹凸不平。张志强等^[6]研究了电磁场施加方式对 AZ31 锭坯微观组织和力学性能的影响。

收稿日期: 2009-12-09

作者简介: 牛海山, 讲师, 研究方向为材料加工工程, 电子信箱: niuhaishan@163.com

响,结果表明,与常规直接水冷半连铸锭坯相比,单感应线圈通电(LFEC)或两组感应线圈同时通电(LFEVC)铸造锭坯时,组织细化,锭坯横截面边部与中心部位晶粒大小差别明显降低。

上述研究主要针对电磁场对凝固组织的细化等方面,有关电磁场对溶质元素的固溶度影响方面的研究较少,关于AZ80 镁合金方面的研究更少。影响金属最终性能的重要因素除金属的凝固组织外,合金中溶质元素的含量也是十分重要的指标。本研究着重探讨电磁场作用下 AZ80 镁合金凝固组织的变化及其晶内溶质含量的变化。

1 实验部分

1.1 实验装置

装置可分为加热、控温、磁场 3 部分,示意图见图 1。其中,加热部分由电阻炉等组成;控温部分 NiCr-NiAl 热电偶和可控硅控温仪组成;磁场部分由 380 匝彼此绝缘的铜线圈组成,所加磁场由交/直流电源控制。

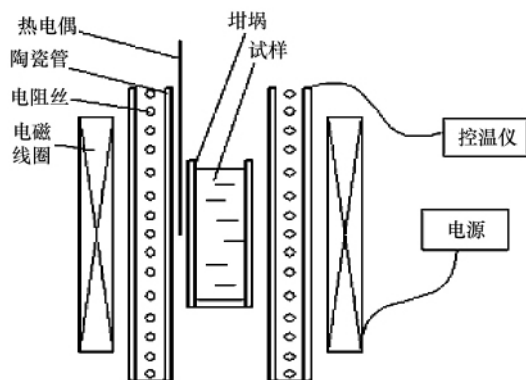


图 1 实验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

1.2 材料及方法

实验所用镁合金为 AZ80 镁合金铸锭,其化学成分的质量分数为:Al 7.8%~9.2%,Zn 0.7%~0.8%,Mn 0.12%~0.15%,Si 0.01%,Fe 0.01%,其余为 Mg。将 AZ80 镁合金铸锭在锯床上锯成 8mm 厚的薄片,然后在剪床上剪成长约 120mm、宽约 5mm 的小条备用。

将制备好的一定质量(约 40g)的合金小条装入一端封闭的圆柱状陶瓷坩埚内,放入自制电阻炉(图 1)内加热,当加热到 450℃时,通入氩气到炉膛里,对镁合金进行保护。继续加热到合金液相线以上 60℃(660℃),保温 20min,并搅拌均匀后开始冷却,冷却速度为 10℃/min,冷却过程中分别研究无磁场、施加交流 10 和 30Hz 磁场、直流电磁场的情况。

借助电子探针(EPM-810),对试样进行微区成分分析,测定试样不同部位晶粒内部合金元素的含量,取平均值,以确定合金元素的晶内含量,研究磁场对溶质晶内含量的影响。

将凝固后圆柱状样品沿中部横向截取试样,试样经砂纸初磨和细磨、机械抛光、鹿皮抛光,经硝酸酒精腐蚀后,制成金相样品。用德国 Leica 金相显微镜观察试样的显微组织。

2 结果与讨论

2.1 交流磁场对晶内溶质元素含量的影响

图 2 显示了电子探针测得 AZ80 镁合金晶内 Al 和 Zn 元素的含量。与无磁场作用的试样相比,在交流磁场作用下,AZ80 镁合金中溶质元素 Al、Zn 在晶内含量均不同程度的增加,表明对于 AZ80 镁合金,交流磁场可以促进 Al、Zn 2 种溶质元素在 Mg 基体中的溶解。

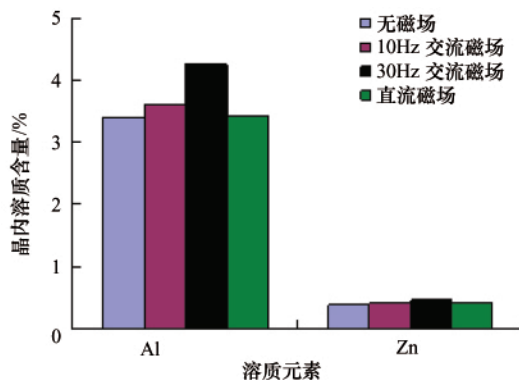


图 2 不同条件下凝固时的晶内溶质含量

Fig.2 The solute content inside grain of AZ80 Mg alloy under different solidification conditions

设一个质量为 m 、电荷为 q 的粒子,无磁场时,以速度 v 在空间自由运动。施加一个均匀恒定的磁场 B , 称平行于 B 的方向为纵向,垂直于 B 的方向为横向。可把速度 v 分解为纵向和横向分量:

$$v = v_{//} + v_{\perp} \quad (1)$$

可得到带电粒子受到的洛伦兹力为

$$F = qv \times B = q(v_{//} + v_{\perp}) \times B = qv_{\perp} \times B \quad (2)$$

由于洛伦兹力垂直于速度 $v_{\perp}$, 它只改变速度 $v_{\perp}$ 的方向,不改变其大小。而洛伦兹力的大小

$$|F| = F = |q| v_{\perp} B \quad (3)$$

恒定不变,因此,带电粒子在垂直磁场的平面内(横向)绕磁力线做匀速圆周运动。回旋运动的方向与电荷 q 符号有关。

按照牛顿第二定律 $F = ma$,对于匀速圆周运动的粒子,由式(3)有

$$|q| v_{\perp} B = \frac{mv_{\perp}^2}{r_c} \quad (4)$$

得回旋半径

$$r_c = \frac{mv_{\perp}}{|q| B} \quad (5)$$

由式(5)可得,粒子的回旋半径取决于粒子的质量和电荷。粒子的 m 越大, $|q|$ 越小,其 r_c 越大^[7]。

因为 Mg、Al 和 Zn 的质量和电荷数各不相同,那么,Mg、

Al 和 Zn 离子在磁场中的回旋半径也各不相同,因此,各溶质粒子对基体镁产生了相对运动,这种运动使溶质在镁中的扩散增强,导致溶质在镁中的含量增加。

2.2 磁场对 AZ80 合金凝固组织的影响

图 3 显示了不同条件下合金的凝固组织,其中图 3(a)、

(c)、(e)、(g) 为边部组织,图 3(b)、(d)、(f)、(h) 为中部组织。从图 3 可以看出,未经磁场处理的试样,晶粒比较粗大,夹杂物的也较多(图 3(a)、(b))。经交流磁场处理后,晶粒有所细小,夹杂物的尺寸和数量均有所减少,其中 10Hz 的效果更加明显(图 3(c)、(d)),这同 Al-18%Si 合金凝固相似^[8]。而经直

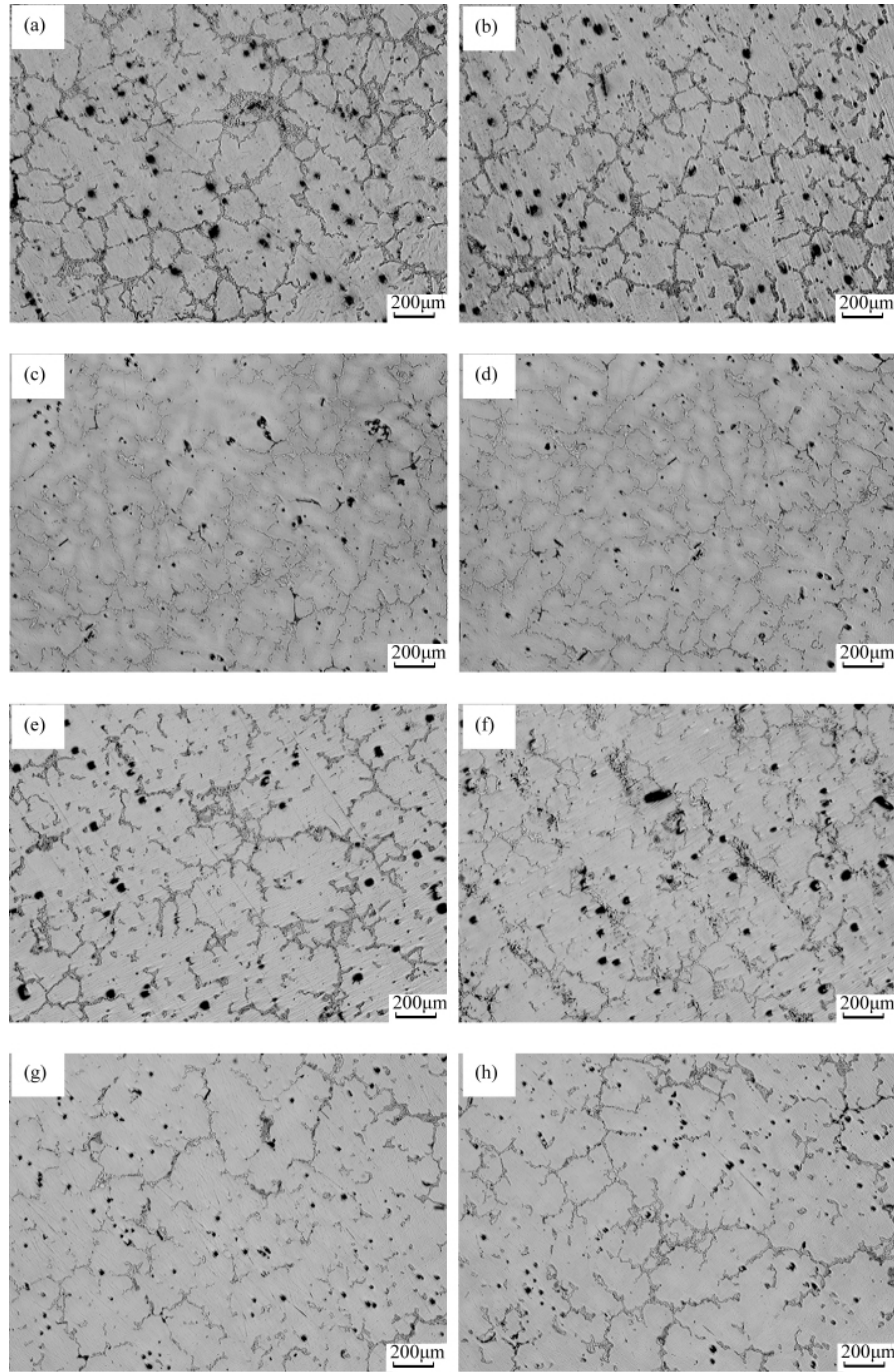


图 3 电磁场对 AZ80 合金凝固组织的影响(横截面)

Fig. 3 The influence of electromagnetic fields on the solidification structure of the AZ80 Mg alloy(cross section)

注:(a) 无磁场,边部;(b) 无磁场,中部;(c) 交流磁场(10Hz),边部;(d) 交流磁场(10Hz),中部;(e) 交流磁场(30Hz),边部;

(f) 交流磁场(30Hz),中部;(g) 直流磁场,边部;(h) 直流磁场,中部

Notes: (a) Without magnetic field, in edge parts; (b) Without magnetic field, in middle parts; (c) AC magnetic field (10Hz), in edge parts;

(d) AC magnetic field (10Hz), in middle parts; (e) AC magnetic field (30Hz), in edge parts; (f) AC magnetic field (30Hz), in middle parts;

(g) DC magnetic field, in edge parts; (h) DC magnetic field, in middle parts

流磁场处理后,晶粒大小与无磁场差别不大,只是夹杂物的尺寸减小。

3 结论

1) AZ80 镁合金经交流磁场处理后,晶粒细化,夹杂物的尺寸和数量均有所减少,10Hz 比 30Hz 的效果更加明显;经直流磁场处理后,晶粒大小与无磁场差别不大,但夹杂物的尺寸减小。

2) 与未经磁场处理的试样相比,经交流磁场或直流磁场处理后,晶界都有所变窄,其中 10Hz 时最显著。

3) 通过电子探针分析可知,经交流磁场和直流磁场处理后,Mg 的晶粒内部 Al 和 Zn 的含量比未经磁场处理有了明显增加。

参考文献 (References)

- [1] 王艳, 边秀房, 徐昌业, 等. 直流磁场作用对 Al-Si 合金的凝固行为[J]. 金属学报, 2000, 36(2): 159-161.
Wang Yan, Bian Xiufang, Xu Changye, et al. *Acta Metallurgica Sinica*, 2000, 36(2): 159-161.
- [2] 班春燕, 韩逸, 龙春仙, 等. 交流磁场对 7075 铝合金中溶质分布的影响[J]. 铸造技术, 2006, 27(3): 263-265.
Ban Chunyan, Han Yi, Long Chunxian, et al. *Foundry Technology*, 2006,

27(3): 263-265.

- [3] 时海芳, 顾春雷, 刘晴. 直流磁场对 Al-Cu 合金定向凝固组织的影响[J]. 有色金属, 2003, 55(1): 13-17.
Shi Haifang, Gu Chunlei, Liu Qing. *Nonferrous Metals*, 2003, 55(1): 13-17.
- [4] 许光明, 包卫平, 郑佳伟, 等. 不同磁场作用下 AZ61 镁合金的凝固组织[J]. 铸造, 2003, 52(12): 1160-1162.
Xu Guangming, Bao Weiping, Zheng Jiawei, et al. *Foundry*, 2003, 52(12): 1160-1162.
- [5] 韩逸, 班春燕, 巴启先, 等. 磁场对液态铝和固态铁界面微观组织的影响[J]. 物理学报, 2005, 54(6): 2955-2960.
Han Yi, Ban Chunyan, Ba Qixian, et al. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54(6): 2955-2960.
- [6] 张志强, 乐启志, 崔建忠. 电磁场施加方式对半连续铸造镁合金锭坯组织与性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(8): 1469-1471.
Zhang Zhiqiang, Le Qizhi, Cui Jianzhong. *Rare Metal Material and Engineering*, 2009, 38(8): 1469-1471.
- [7] 张北江, 崔建忠, 路贵民, 等. 电磁场频率对电磁铸造 7075 铝合金微观组织的影响[J]. 金属学报, 2002, 38(2): 215-218.
Zhang Beijiang, Cui Jianzhong, Lu Guimin, et al. *Acta Metallurgica Sinica*, 2002, 38(2): 215-218.
- [8] 龙春仙, 班春燕, 巴启先, 等. 电磁场对 Al-18%Si 合金凝固组织的影响[J]. 铸造, 2006, 55(7): 740-741.
Long Chunxian, Ban Chunyan, Ba Qixian, et al. *Foundry*, 2006, 55(7): 740-741.

(责任编辑 陈广仁)

第二十五届世界纯电动车、混合动力车和燃料电池车大会暨展览会

时间: 2010年11月5-9日

地点: 广东·深圳

主办单位: 中国电工技术学会
中国汽车工程学会
亚太电动车协会

联系人: 中国电工技术学会
联系电话: 010-68595355, 68594993
传真: 010-68595110
通信地址: 北京市三里河路46号 (100823)

会议网站: <http://www.evs25.org/event/2009ddc/index.html>