

机械振动对 ZL101 消失模铸造组织及性能的影响

潘迪 樊自田 赵忠 唐波 成平

(华中科技大学材料成形及模具技术国家重点实验室)

摘要 将自制变频三维振动台应用于 ZL101 铝合金消失模铸造中,研究了不同频率、不同振动方向的机械低频振动对 ZL101 组织及性能的影响。试验结果表明,在 ZL101 铝合金消失模铸造凝固过程中进行机械振动能有效细化铸件组织,降低针孔率,提高铸件抗拉强度和伸长率。对比分析表明,振动频率为 20~60 Hz 且采用垂直方向振动时,铸件的组织较好,抗拉强度和伸长率可达 180 MPa 和 2.7%。

关键词 消失模铸造; 铝合金; 振动凝固; 组织性能

中图分类号 TG249.6; TG146.2⁺1

文献标志码 A 文章编号 1001-2249(2009)03-0290-03

DOI: 10.3870/tzzz.2009.03.033

振动凝固是指凝固过程中对金属液施加一段时间振动,借助液相和固相间的相对运动破碎枝晶,显著增加液相内结晶核心,使铸件最终凝固组织细化和力学性能提高,是一种操作简便、成本低廉、无环境污染的物理变质方法^[1]。在消失模铸造过程中,采用三维振动台紧实,并将该机械振动应用到金属液的凝固过程中,在 AZ91D 镁合金消失模铸造凝固过程中应用机械振动,对细化组织有显著作用^[2,3]。本课题组采用自制的可在 0~60 Hz 变频的三维振动装置,使金属液在动力学激励下形核,并达到细化组织的目的,分析不同振动方向及振动频率对铸件组织及性能的影响,从而获得最佳的振动参数。

1 试验材料及方案

试验采用 ZL101 铝合金锭,其构成为 Al7.10Sr0.32Mg0.39Fe,采用的 EPS 泡沫模样密度为 0.020 g/cm³,使用线切割的方法制作成 20 mm × 20 mm × 150 mm 的长方体模样、30 mm × 30 mm × 260 mm 的直浇道和 30 mm × 30 mm × 100 mm 的横浇道,然后将试样棒与浇冒口部分由热熔胶粘接而组成整个模样,见图 1。涂刷自制涂料后进行烘干,将烘干的模样放入振动凝固装置上的砂箱内,用宝珠砂填充紧实,上面盖塑料薄膜后抽真空,使散砂、模样和砂箱成一体,这样可保证它们一起振动。

在 400~500 °C 时将 ZL101 铝合金锭放入 5.5 kW 电阻坩埚炉中加热,采用镍铬-镍硅热电偶测温。730 °C 时采用 Al7.10Sr 中间合金对合金液进行变质, Sr 加入量(质量分数)为 0.05%,然后在 730~750 °C 用多孔头吹氩精炼除气,并静置 10~15 min,待 750 °C 进行浇注。

振动采用自制的可在 0~60 Hz 之间变频的三维振动装置(见图 2),通过调节振动电机的偏心块来改变电机激振力,激振力设为 2 kN,通过变频控制器改变振动方向和振动频率,浇注时真空度保持在 0.03 MPa,然后开启振动,直到金属液凝固为止。

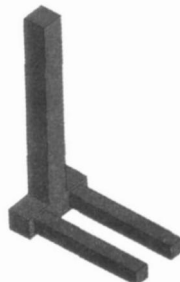


图 1 试样模型三维形状

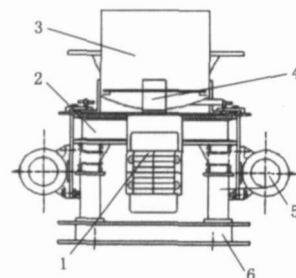


图 2 变频三维振动装置

1. 水平振动电机 2. 上底座
3. 砂箱 4. 砂箱支架 5. 垂直振动电机 6. 下底座

金相试样从试样棒夹头切取,用体积分数为 0.5% 的 HF 水溶液腐蚀,晶粒直径尺寸通过 JX-2000 分析软件对金相图处理计算得到。拉伸试验在 WE2100 型 600 kN 万能材料试验机上进行,拉伸速率为 1 mm/min。

2 试验结果与分析

2.1 不同振动方向对铸件组织和性能的影响

选择无振动、水平振动、垂直振动、复合振动(水平和垂直同时振动)4种振动形式,而振动频率选择 50 Hz,激振力 2 kN。不同方向振动得到的试样金相图见图 3。ZL101 铝合金的组织由白色的基体 α 相、晶界处的 α Si 共晶体和黑色 Mg_2Si 组成。无振动凝固时, α 树枝晶较粗大且二次枝晶发达,共晶 Si 沿 α 树枝晶布满整个基体组织;合金经过机械振动后, α 树枝晶破碎,组

收稿日期: 2008-10-08; 修改稿收到日期: 2008-12-03

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2007AA03Z113)

第一作者简介: 潘迪,女,1985 年出生,硕士研究生,华中科技大学材料科学与工程学院,武汉(430074),电话: 027-87543876, E-mail: pandi126@yahoo.com.cn

通讯作者: 樊自田,男,1962 年出生,教授,华中科技大学材料科学与工程学院,武汉(430074),电话: 027-87543876, E-mail: fanzt@mail.hust.edu.cn

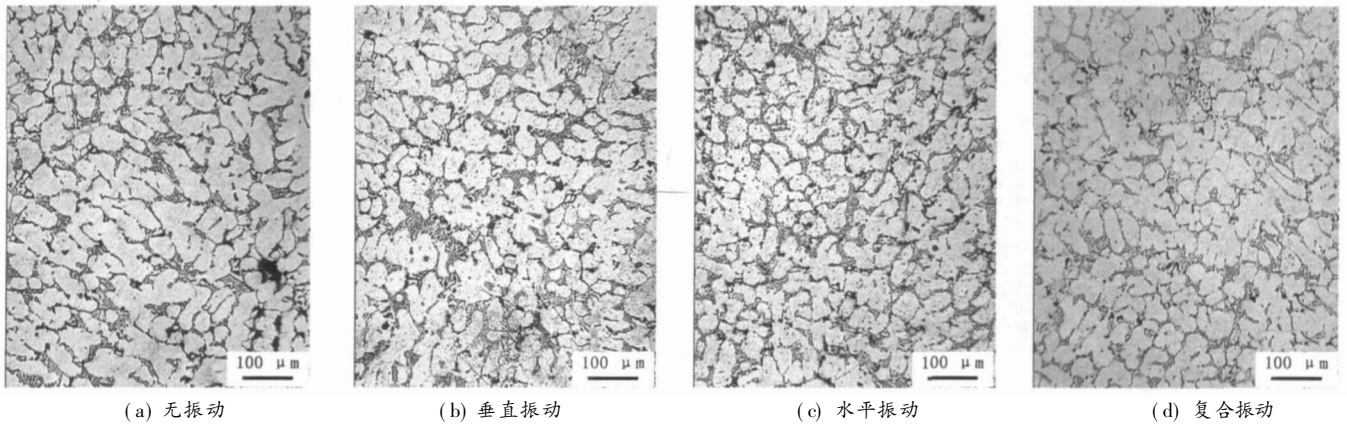


图3 无振动及不同振动方向的试样金相图

织明显细化,共晶硅在基体中的分布均匀而且细小。对金相图采用软件分析,得到不同方向的振动凝固试样晶粒尺寸(见图4),发现垂直振动之后的试样晶粒尺寸更为细小。

机械振动细化 α 树枝晶的原因主要是,振动使金属液的各部分之间产生相对滑移,各部分之间的速度差产生了“粘性剪切”,使得浮游在液体中的 α 树枝晶和共晶体被剪切折断、破碎而形成新晶核。振动抑制了 α 树枝晶和共晶组织的自由长大,和无振动相比,整个组织得到了细化^[4]。

图5是不同振动方向的试样抗拉强度和伸长率比较,从图5中可看出,振动凝固的铸件抗拉强度和伸长率比无振动的铸件明显增大。原因主要是振动凝固的合金晶粒细化,分布均匀,而晶粒越细,晶界面积越大,晶界对晶内位错的阻碍作用就越大,因此,迫使晶粒发生变形所需的外力就越大,即合金的抗拉强度提高。

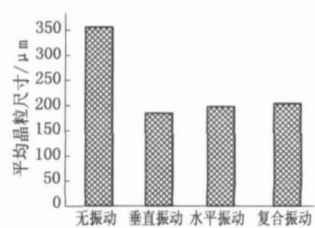


图4 无振动及不同振动方向试样晶粒尺寸比较

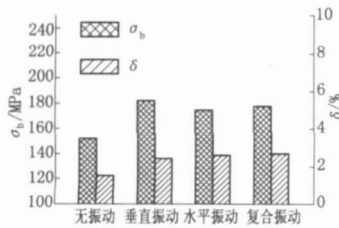
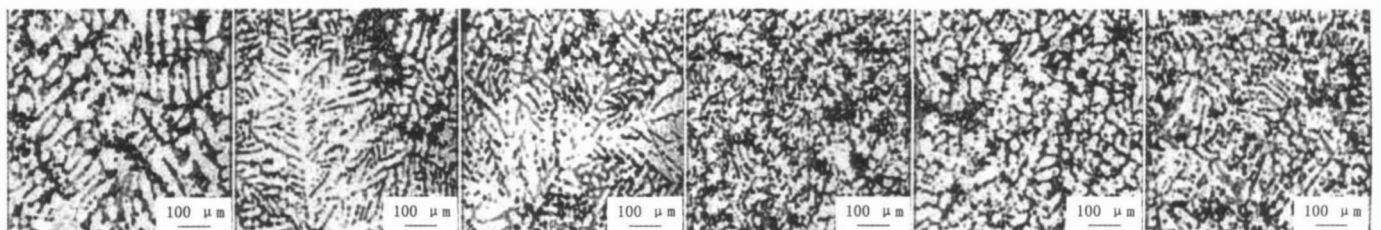


图5 无振动及不同振动方向试样抗拉强度和伸长率比较

2.2 不同振动频率对铸件组织及性能的影响

在 ZL101 铝合金消失模凝固过程中垂直振动不同频率下的试样金相图见图6。根据金相图,通过软件分析计算出初生相 α 枝晶的平均晶粒尺寸变化见图7。由图6和图7可知,不同振动频率对铸件的组织影响不同。随着振动频率增加,发达 α 树枝晶组织显著减少,存在于晶界上的共晶组织变得细小。当以某一振幅的较低频率振动时,由于共晶组成相以较小的生长速度生长,向液相排出的溶质原子增多,加快了界面前的横向扩散,同时也增加了横向扩散所能利用的时间,从而使层间距变大,共晶硅粗化;当施以频率较高的振动时,由于熔体剧烈运动,晶核大量增加,生长速度加快,虽然界面向前的横向扩散有所加快,但由于向液相排出的溶质原子减少,同时,横向扩散所能利用的时间减少,从而使层间距变小,层片增多,组织细化^[5]。

在不同垂直振动频率下凝固试样的抗拉强度和伸长率变化见图8。从图8中可以看出,随着振动频率的增加,试样的抗拉强度和伸长率逐渐增大,频率在0~20 Hz之间,性能提高显著,但20~60 Hz振动频率,试样抗拉强度和伸长率增加趋缓。根据Hall-Petch公式和改进的Taylor理论可知,具有较少滑移系的六方结构金属的晶界对晶粒的滑移变形具有强烈的阻碍作用,晶粒细化将显著提高ZL101合金的强度^[2]。随着振动频率的增加,晶粒变得更为细小,因此对应的强度也逐



(a) 10 Hz (b) 20 Hz (c) 30 Hz (d) 40 Hz (e) 50 Hz (f) 60 Hz

图6 不同频率下垂直振动凝固试样组织

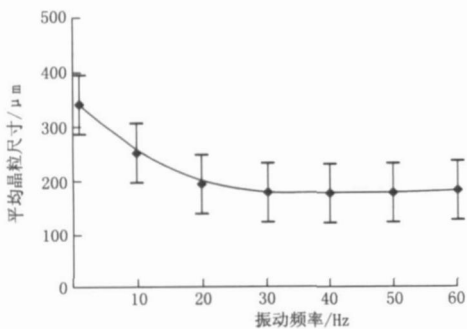


图7 不同振动频率下试样的晶粒尺寸

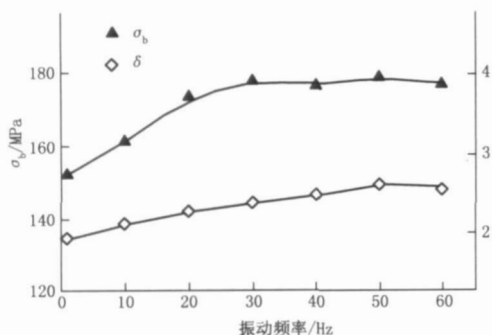
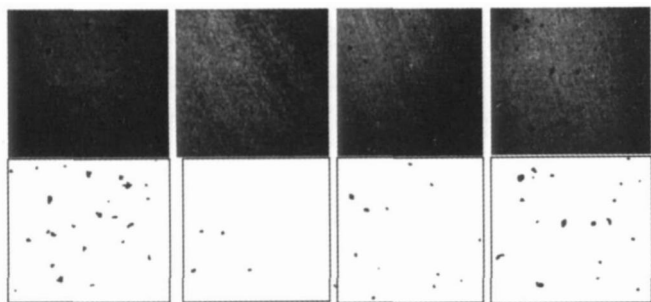


图8 不同振动频率下试样的抗拉强度和伸长率

渐增大。综合分析,垂直振动频率在20~60 Hz之间,铸件品质相对较好, σ_b 和 δ 可达180 MPa和2.7%。

2.3 振动对铸件针孔率的影响

铝镁合金液在振动中凝固,有利于氢气的析出和聚集长大并排出^[6~8]。试验中制作不同厚度的阶梯试样,分别在不同振动方向下进行浇注和凝固。从阶梯试样的纵向锯切,观察断面,无振动及不同振动方向的试样局部断面图和二值图见图9。经分析,这些针孔主要是合金在熔炼过程中,高温液态时溶入的部分氢气,在铸件凝固时没能完全逸出,而在金属内部和凝固较缓慢的铸件上部析出形成的。



(a) 无振动 (b) 垂直振动 (c) 水平振动 (d) 复合振动

图9 无振动及不同振动方向的试样断面针孔外观图和二值图

图10为无振动和不同振动方向试样断面针孔率,可以发现,无振动的试样断面针孔率最大,而振动条件下,针孔率明显降低,但是针孔略有增大。这是由于振动使铝合金熔液中的氢扩散速率增大,有利于氢气的析

出而使气泡长大,当合金液温度较高和实现顺序凝固时,长大的氢气泡逐渐聚集到最后凝固的冒口处,使最先凝固的铸件气孔减少。同时振动下凝固细化了晶粒,抑制了枝晶的生长,大大提高了合金的补缩性能,使得显微缩松向集中缩孔转变,从而使孔洞数目减少。

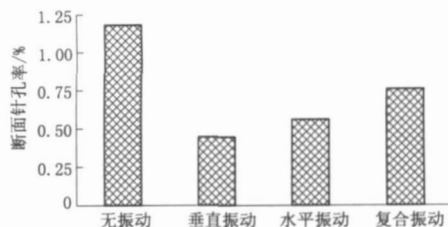


图10 无振动及不同振动方向的试样断面针孔率比较

3 结论

(1) ZL101 铝合金消失模铸造中,实施机械振动能够显著细化合金组织,提高抗拉强度和伸长率。对比分析表明,振动频率为20~60 Hz的垂直方向振动下铸件组织最好, σ_b 和 δ 可达180 MPa和2.7%。

(2) 振动凝固下的ZL101铝合金消失模铸件的孔洞明显减少,断面针孔率显著减低,这是由于振动使铝合金熔液中的氢扩散速率增大,有利于氢气的析出,气泡的长大和排出。

参 考 文 献

- [1] KOCATEPE K, BURDETT C F. Effect of low frequency vibration on macro and microstructures of LM6 alloys[J]. Journal of Materials Science, 2000, 35: 3 327-3 335.
- [2] 李继强,樊自田,王元庆,等. 振动和合金化对消失模铸造AZ91D组织与性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2007, 17(7): 1 047-1 052.
- [3] 田学锋,樊自田,黄乃瑜. 机械振动对消失模铸造镁合金组织及力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(11): 1 838-1 844.
- [4] 侯文生. 振动对Al+Si合金凝固结晶的影响[J]. 铸造设备研究, 2001(1): 16-18.
- [5] 梁济,蔡惠民. 低频振动对共晶合金铸态组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 1987(3): 2-8.
- [6] LIU X B, YOSHIKI O, SUSUMU T. Grain refinement of AZ91 alloy by introducing ultrasonic vibration during solidification [J]. Materials Letters, 2008, 62: 2 872-2 875.
- [7] YOSHIKI M, TAKUYA T, KENJI M. Microstructural refinement process of pure magnesium by electromagnetic vibrations[J]. Materials Science and Engineering, 2005, A413-414: 205-210.
- [8] 吴国华. 消失模铸造铝合金针孔研究[D]. 武汉: 华中理工大学, 2000.
- [9] 韩富银,杨巧莲,赵浩峰. 振动对Zr 27Al+Si合金组织性能的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004(5): 324-327.
- [10] 林颖. 机械振动台振动特性研究[J]. 精密制造与自动化, 2003(21): 31-33.

(编辑: 栗万仲)

structure can be obtained if structure evolution in non-steady unidirectional solidification process keeps in the form of planar interface for the binary Cu-Cr eutectic series alloy.

Key Words: Cu-Cr Alloy, Directional Solidification, Interface Morphology, Initial Transient Zone

Flow Stress Behavior of Cu-Ni-Sr-Cr Alloy for Lead Frame Materials Fan Li, Liu Ping, Jia Shuguo, Tian Baohong, Yu Zhisheng (School of Materials Science and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, China) 2009, 29(3) 0283~ 0285

Abstract: Flow stress behavior of Cu-Ni-Sr-Cr alloy was examined on the Gleeble 1500D testing machine with strain rate of $0.01 \sim 10 \text{ s}^{-1}$ at $600 \sim 800^\circ\text{C}$. It is found that dynamic recrystallization in the alloy is closely related with strain rate and deformation temperature. With increasing in deformation temperature, dynamic recrystallization behavior is easier to be observed, in turn, with decreasing in strain rate, it is easier to be observed. Hot deformation activation energy of the Cu-Ni-Sr-Cr alloy is 265.9 kJ/mol . In addition, a formula for strain rate is proposed based on exponent-type equation from the Zener-Hollomon parameters.

Key Words: Cu-Ni-Sr-Cr Alloy, Dynamic Recrystallization, Thermal Simulation

Effects of RE Elements on Microstructure and Electric Conductivity of Pure Copper Meng Xia ngfeng¹, Zhang Weiqiang² (1. Liaoning Engineering and Technical University, Fuxin, China; 2. Shenyang Ligong University, Shenyang, China) 2009, 29(3) 0286~ 0288

Abstract: Effects of rare earth element including La, Ce, Nd and Y on the electric conductivity, hardness and microstructure of pure copper were investigated. The results show that appropriate RE elements, such as La, Ce, Nd and Y can improve electric conductivity of pure copper as a result of purification and impurity removal. The desirable La, Ce, Nd and Y additions are 0.05%, 0.06%, 0.06% and 0.02%, respectively, in which Y element exhibits the optimum effects

on improvement of electric conductivity of pure copper. Mechanical properties of pure copper can be improved with RE element addition as a result of refining grain size, especially Y element addition.

Key Words: Pure Copper, RE Element, Electric Conductivity, Hardness

Common Defects Analysis in EPC (Expandable Pattern Casting) Aluminum Alloy Parts Sun Ping, Sun Zhicheng (Fuqing Longtai Machinery Co., Ltd., Fuzhou, China) 2009, 29(3) 0288~ 0289

Abstract: Difficulty in eliminating the defects in EPC aluminum alloy parts resulted from very complicated processing inhibited the development of EPC aluminum alloy at home. Origination of common defects in EPC aluminum alloy was described, including cold shut, inclusion, deformation, and so on, and countermeasures were proposed, such as controlling pouring temperature and melting quality, using rational filling velocity, and so on.

Key Words: Aluminum Alloy, EPC, Defects Analysis

Effects of Mechanical Vibration on Microstructure and Properties of Lost Foam Casting (LFC) ZL101 Alloy Pan Di, Fan Zitian, Zhao Zhong, Tang Bo, Cheng Ping (State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China) 2009, 29(3) 0290~ 0292

Abstract: We have developed a three-dimensional mechanical vibrating table to be used for LFC ZL101 alloy to understand effects of varied frequency and varied direction on microstructure and properties of ZL101 alloy. The results show that tensile strength and elongation of LFC ZL101 alloy can be improved as a result of greatly refining grain size and decreasing pinhole rate by mechanical vibration. In addition, the optimum microstructure and properties of the LFC alloy can be obtained with vibrating at $20 \sim 60 \text{ Hz}$ in vertical direction.

Key Words: LFC, Aluminum Alloy, Vibration Solidification, Microstructure and Properties

Sponsors: Foundry Institution of Chinese Mechanical Engineering Society

Editor in Chief: Yuan Zhenguo

Publisher: Journal Agency of Special Casting & Nonferrous Alloys

Address: Unite 2-401, Block 1, Qianxiyuan, Wansongyuan Road, Hankou, Wuhan, Hubei Province of P. R. C

Tel: 0086-27-85358206 85486024

Fax: 0086-27-85358127

E-mail: tzzz@public.wh.hb.cn

<http://www.specialcast.com>

<http://www.periodicals.net.cn>

<http://www.chinajournal.net.cn>

Overseas Distributor: China International Book Trading Corporation (P. O. Box 399, Beijing China)

Code No: BM6644 (ISSN 1001-2249/CODEN: T ZJHEE)

Start Publication: 1980