文章编号: 1008-1542(2011)02-0173-04

充型速度对半固态 AlSi9Mg 组织及性能的影响

谭建波, 刘　冉, 郝跃光

(河北科技大学材料科学与工程学院, 河北石家庄　050018)

摘　要: 采用倾斜冷却剪切流变法制备半固态 AlSi9Mg 合金熔体, 流变压铸标准力学性能试样并进行了力学性能测定, 用定量金相技术对力学性能试样的初生固相微观组织特征参数(固相率、晶粒尺寸和形状因子)进行了分析, 研究了充型速度对半固态 AlSi9Mg 合金组织及性能的影响。研究结果表明: 随着充型速度的提高, AlSi9Mg 合金组织的初生固相率和形状因子先增大后减小, 晶粒平均直径先变小后变大, 力学性能也发生很大变化, 布氏硬度随充型速度的增大而增大, 但抗拉强度和冲击韧性分别增大到 275 MPa 和 129.8 kJ/m^2 后又开始下降。本实验条件下合理的充型速度为 1.9 m/s 左右。

关键词: 充型速度; AlSi9Mg; 微观组织; 半固态; 力学性能

中图分类号: TG146.4　　文献标志码: A

Influence of filling velocity on semi-solid microstructures and properties of AlSi9Mg alloy

TAN Jian-bo, LIU Ran, HAO Yue-guang

(College of Material Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

Abstract: Semi-solid AlSi9Mg alloy melt and corresponding standard test specimens were prepared by rheo-diecasting process on incline cooling and shearing bench. Then the specimens were tested on their mechanical properties. The characteristic parameters of primary solid phase (including solid fraction, diameter of grains and shape factor) were analyzed through quantitative metallographic techniques. The influence of fulling velocity on the semi-solid microstructures and properties of AlSi9Mg were researched into. The results show that: the primary solid fraction and shape factor of AlSi9Mg alloy first increase and then decrease, and the average diameter of grains becomes smaller at first and then becomes bigger along with the increase of the filling velocity. Simultaneously their mechanical properties change significantly, the Brinell hardness increases along with the filling velocity, but the tensile strength and impact toughness increase respectively to 275 MPa and 129.8 kJ/m^2, and then begin to decline. In this experiment, a reasonable rate of filling is about 1.9 m/s.

Key words: filling velocity; AlSi9Mg; microstructure; semi-solid; mechanical properties

压力铸造因生产效率高、尺寸精确、适于大批量生产铝合金、镁合金铸件, 因此得到了广泛应用。目前, 限制压铸技术应用的主要问题是压铸件的多孔性以及由此带来的强度问题。多孔性导致压铸件力学性能下降, 通常无法进行热处理, 从而限制了压铸件应用范围的扩大[1]。为了提高压铸件的致密度, 目前主要有两大技术: 以真空压铸为代表的直接消除型腔气体法和以半固态压铸(包括流变压铸和触变压铸)为代表的层流压铸法[2]。其中半固态流变压铸由于生产成本低, 工艺流程短, 生产效率高, 成形件的性能、质量、经济性

收稿日期: 2010-07-16; 修回日期: 2010-12-31; 责任编辑: 张士莹
基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2010000880); 河北科技大学大学生科技创新基金资助项目(10001)
作者简介: 谭建波(1964-), 男, 河北定州人, 教授, 博士, 主要从事半固态成形技术与理论方面的研究。

等方面都具有极强的竞争力, 受到了学术界和工业界的广泛关注[3-5]。尽管人们在半固态流变压铸技术以及理论方面的研究工作已取得了一些研究成果[6-9], 但在成形工艺参数方面的研究还是不够深入, 因此有必要继续深入研究。笔者采用自制的倾斜流变装置制备半固态合金熔体并直接进行流变压铸, 研究了充型速度对半固态 AlSi9Mg 组织及性能的影响。

1 实验过程

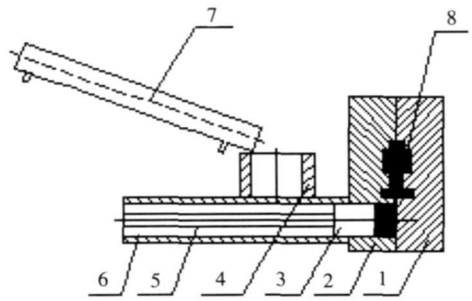
1.1 材料

实验所用材料为 AlSi9Mg 合金, 成分为 9%(质量分数, 下同) Si, 0.4% Mn, 0.25% Mg, 余量为 Al。实际测得合金的液相线为 595 ℃, 固相线为 555 ℃。

1.2 方法

采用倾斜冷却剪切流变法制备半固态合金熔体, 实验设备为自行设计、振动频率可调的倾斜冷却剪切装置[10], 流变压铸原理示意图如图 1 所示。

根据文献[10] 的实验结果, 实验条件如下: 倾斜板的倾斜角度为 30°, 预热温度为 120 ℃, 浇注温度为 600 ℃, 浇注长度为 600 mm, 振动频率为 50 Hz, 浇注量为 260 g(通过浇注勺容积控制), 保压时间为 5 s。改变充型速度, 进行流变压铸。待试样凝固后, 顶出试样, 测定力学性能。成形试样沿长度方向截取, 在相同高度上截取相等长度的试样制成金相试样, 用定量金相技术测定初生固相的微观组织特征参数, 成形的流变压铸试样如图 2 所示。



1—定模;2—动模;3—压射头;4—接料口;
5—压射杆;6—压室;7—倾斜板;8—零件

图 1 流变压铸示意图

Fig. 1 Sketch map of rheo-diecasting process

试样用 4%(质量分数) 的 NaOH 溶液侵蚀。利用图像分析技术测定水淬组织中初生固相的平均周长、平均尺寸, 计算初生固相晶粒的尺寸和形状因子[10]。为了减小误差, 对每个试样的 6 – 8 个视场进行了测量, 然后取其平均值作为该试样初生固相的组织特征。

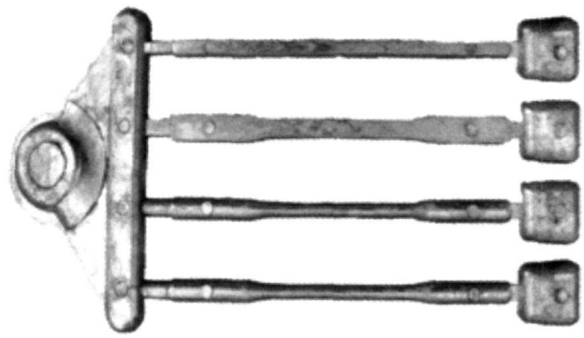


图 2 流变压铸试样

Fig. 2 Sample of rheo-diecasting process

2 结果与讨论

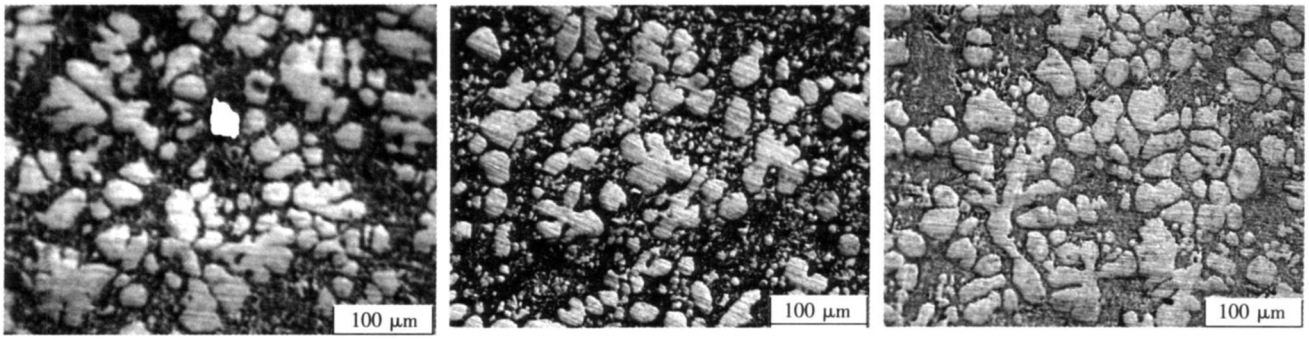
2.1 充型速度对半固态 AlSi9Mg 合金组织的影响

选取压射比压力为 75 MPa, 模具预热温度为 160 ℃, 充型速度分别取 1.5, 1.9, 2.3 m/s。将不同充型速度下的成形试样沿长度方向截取, 在相同高度上截取相等长度的试样制成金相试样, 观察其组织, 见图 3。

在充型速度较低(1.5 m/s) 时, 初生相晶粒尺寸相对较大, 形貌不圆整, 一次枝晶臂较粗大, 还有二次枝晶出现, 如图 3 a) 所示。当充型速度增加到 1.9 m/s 时, 晶粒之间经过激烈碰撞和摩擦, 初生相被细化, 晶粒较圆整, 如图 3 b) 所示。当充型速度继续增大(2.3 m/s) 时, 又会有二次枝晶出现, 晶粒圆整度降低, 见图 3 c)。利用图像分析软件对半固态 AlSi9Mg 合金不同充型速度下压铸试棒的组织特征进行分析, 得到组织特征随充型速度的变化曲线, 如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 初生固相率(f_s) 随充型速度(x) 的增大呈线性减小, 根据回归系数的点估计法建立一次线性回归方程为

$$f_s = 75.63 - 14.86x。 \quad (1)$$



a) 充型速度为 1.5 m/s　　b) 充型速度为 1.9 m/s　　c) 充型速度为 2.3 m/s

图 3　不同充型速度下半固态 AlSi9Mg 合金组织

Fig. 3　Microstructure of semi-solid AlSi9Mg alloys in different filling velocities

随着充型速度的增加, 晶粒大小先减小到 64 μm 后又增大, 形状因子先增加到 0. 69 后又开始减小, 对充型速度与晶粒大小(I_s)、形状因子(F_c)进行回归分析, 建立非线性回归方程分别为

$$I_s = 64.06 + 1.73x - 0.048x^2, \quad (2)$$

$$F_c = 0.67 + 0.019x - 0.018x^2。 \quad (3)$$

当半固态 AlSi9Mg 在较小的充型速度下充型时, 合金流动速度较慢, 充型过程中晶粒之间的碰撞不激烈, 没有足够的能量使得晶粒尖角圆钝, 初生相有足够的时间长大、集聚, 所以晶粒尺寸较大, 圆整度较低。随着充型速度的增加, 合金熔体充填能力越大, 紊乱程度也就随之增大, 晶粒与晶粒之间碰撞的几率也大大提高, 组织相对较好。当充型速度继续增大时, 与模具型腔接触先凝固的固相晶粒在高剪切速率的作用下易进入合金内部, 从而在合金熔体中产生新的 α 相, 增加了初生相的数量, 这些新相与原来的相互黏结在一起, 使晶粒的圆整度下降。由此可见, 充型速度并非越大越好, 本实验选取的充型速度为 1. 9 m/s。

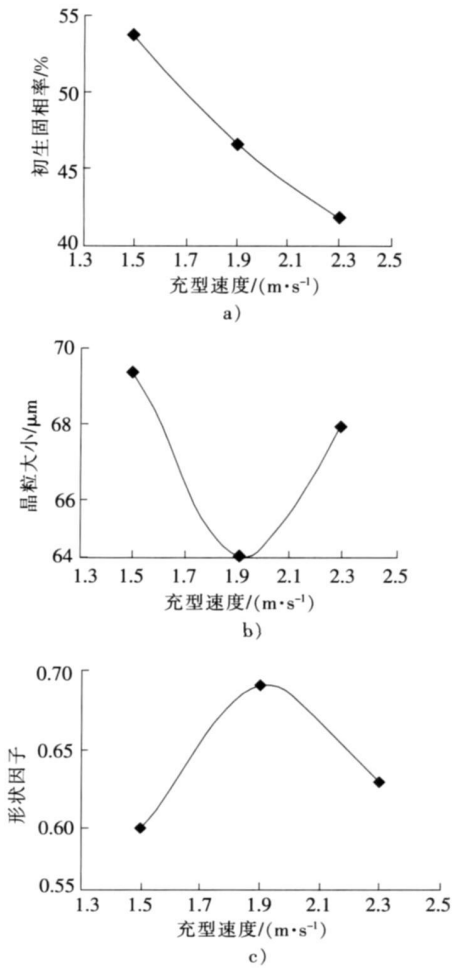


图 4　充型速度与组织特征之间的关系

Fig. 4　Relation between filling velocity and structure character

2. 2　充型速度对半固态 AlSi9Mg 合金性能的影响

在压射比压为 75 MPa, 充型速度分别为 1. 5, 1. 9, 2. 3 m/s 时对流变压铸成形的试样进行抗拉强度、布氏硬度及冲击韧性等力学性能的测定, 结果见表 1。根据表 1 可绘制充型速度与力学性能的关系曲线, 如图 5 所示。

由图 5 可以看出, 半固态 AlSi9Mg 合金的抗拉强度和冲击韧性随着充型速度的增加先增大后减小, 曲线为抛物线; 而布氏硬度随着充型速度的增加是一直增大的, 具有线性关系。

表 1 力学性能试验结果

Tab. 1 Experimental results of mechanical property

充型速度/(m· s^{-1})	抗拉强度/MPa	布氏硬度/HBS	冲击韧性/(kJ· m^{-2})
1.5	230	76.3	110.9
1.9	275	79.6	129.8
2.3	270	84.5	120.1

根据表 1 建立充型速度(x) 与抗拉强度(σ)、布氏硬度(y)、冲击韧性(α) 的回归方程分别为

$$\sigma = 140.21 + 75.03x - 6.67x^2, \quad (4)$$

$$y = 60.54 + 10.31x, \quad (5)$$

$$\alpha = 80.75 + 30.18x - 4.79x^2。 \quad (6)$$

当充型速度比较低时, 由于半固态合金熔体温度较低, 流动很慢, 合金以层流的方式充型, 导致充型不充分, 致使远离浇道部位的收缩得不到充分补偿, 从而形成较多的缩松、浇不足等缺陷。当充型速度较大时, 缩短了充型时间, 半固态 AlSi9Mg 合金将以紊流的方式充型, 合金的流动能力增加, 能够很好地补缩晶粒之间的缩孔, 使组织更加致密, 提高了力学性能。但是当充型速度增加到一定程度时, 由于合金流动能力很强, 合金以高速紊流充型, 压铸模中的气体在很短的时间内来不及排出, 使铸件中存在气孔、夹杂等缺陷, 降低了铸件力学性能。所以充型速度为 1.9 m/s 时比较合适。

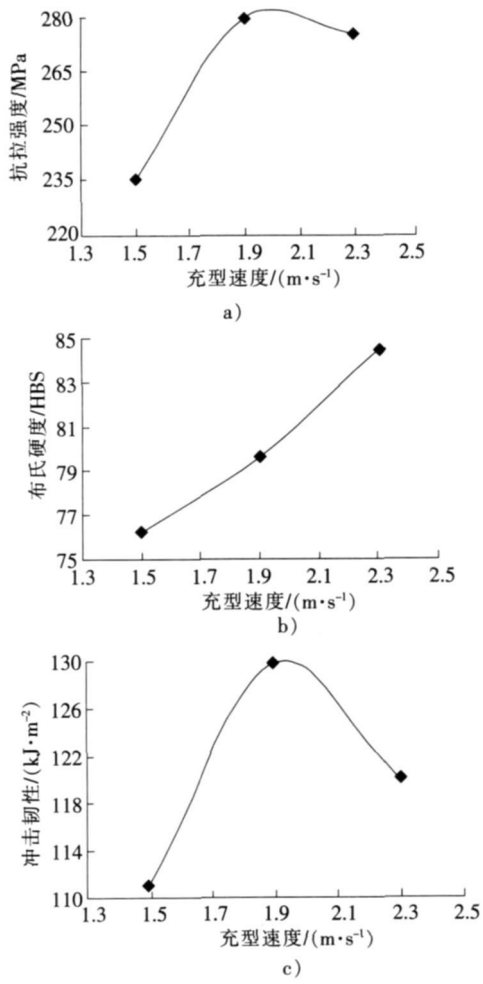


图 5 充型速度与力学性能的关系

Fig. 5 Relation between filling velocity and mechanical property

3 结 语

随着充型速度的提高, AlSi9Mg 合金组织的初生固相率和形状因子先增大后减小, 晶粒平均直径先变小后变大; 力学性能也发生很大变化, 布氏硬度随充型速度的增大而增大; 但抗拉强度和冲击韧性分别增大到 275 MPa 和 129.8 kJ/m^2 后又开始下降。在本实验条件下, 合理的充型速度为 1.9 m/s 左右。

参考文献:

[1] 潘宪曾. 压铸工艺与模具[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[2] 郭洪民, 杨湘杰. 流变压铸 YL112 铝合金的热处理与力学性能[J]. 中国有色金属学报(The Chinese Journal of Nonferrous Metals), 2008, 18(3): 394-398.

[3] FAN Z. Semisolid metal processing[J]. International Materials Reviews, 2002, 47(2): 49-85.

[4] MIDSON S P. Rheocasting processes for semi-solid casting of aluminum alloy[J]. Die Casting Engineer, 2006, 50(1): 48-51.

[5] 侯文杰, 谭建波, 刘江成. 半固态流变压铸的研究现状与发展趋势[J]. 铸造技术(Foundry Technology), 2009, 30(1): 91-94.

[6] 孙永忠, 邢书明, 张 琳. 铝合金半固态熔体流变压铸的气孔缺陷与防止[J]. 特种铸造及有色合金(Special Casting and Nonferrous Alloys), 2007(S1): 372-373.

[7] 邹茂华, 刘明昌, 左宏志. ZL112Y 半固态压铸摩托车零件的组织和性能研究[J]. 特种铸造及有色合金(Special Casting and Nonferrous Alloys), 2005, 25(1): 42-44.

(下转第 191 页)

表 10　桩对压力的阻挡与自然地面相比较

Tab. 10　Pile resistance to stress compared with natural ground

夯击能/ kN·m	不同桩位及距夯点距离的水平应力及衰减幅度			自然地面不同位置(距夯点距离)的水平应力及衰减幅度		
	2# 桩 5 m	5# 桩 7.25 m	8# 桩 9.5 m	5 m	7.25 m	9.5 m
1 000.00	65.23 kPa	14.957 kPa	8.125 kPa	30.198 kPa	18.345 kPa	9.569 kPa
		衰减 87.5%	衰减 87.5%		衰减 39.3%	衰减 68.3%
2 343.75	104.63 kPa	25.94 kPa	18.19 kPa	48.303 kPa	26.985 kPa	18.31 kPa
		衰减 75.2%	衰减 82.6%		衰减 44.5%	衰减 62.1%
4 687.50	135.203 kPa	35.74 kPa	24.908 kPa	60.794 kPa	34.642 kPa	19.903 kPa
		衰减 73.5%	衰减 81.5%		衰减 43.0%	衰减 67.3%
9 375.00	175.123 kPa	53.75 kPa	35.25 kPa	75.459 kPa	39.306 kPa	22.879 kPa
		衰减 69.3%	衰减 79.8%		衰减 47.8%	衰减 69.6%

3　结　语

通过模型试验, 研究了不同夯击能下强夯振动对 CFG 桩复合地基的水平冲击作用, 揭示了强夯振动的作用:

1) CFG 桩复合地基桩身水平应力最大值主要分布在桩上部 1/5~ 1/4 桩长范围内, 工程上可针对此范围采取必要的减振措施;

2) CFG 桩复合地基群桩在受强夯振动时, 边桩对水平冲击有较好的阻挡作用, 但阻挡效果不及减振沟, 不可忽视强夯对中心桩的破坏作用。

参考文献:

[1] 黄　瑛. 强夯对周围已建建筑物的影响[J]. 中国港湾建设(China Harbour Construction), 2007(3): 24-26.

[2] 刘振国, 吕淑然, 杨　军. 强夯振动效应研究[J]. 安全与环境学报(Journal of Safety and Environment), 2003(6): 14-17.

[3] 蔡袁强, 王大力, 徐长节, 等. 强夯加固机理及环境影响的数值分析[J]. 岩土力学(Rock and Soil Mechanics), 2005(5): 159-162.

[4] 靳国礼, 金　刚, 任正为, 等. 强夯施工对周围环境振动影响分析及施工方案优化[J]. 施工技术(Construction Technology), 2010(6): 75-78.

[5] YSJ 209—1991, YBJ 45—1992, 强夯地基技术规程[S].

[6] 方　磊, 经　绯, 刘松玉. 强夯振动影响与构筑物安全距离研究[J]. 东南大学学报(自然科学版)(Journal of Southeast University (Natural Science Edition)), 2001, 31(3): 29-32.

[7] 赵全胜, 张春会. 改进 Duncan-Chang 模型及其在基坑开挖数值模拟中的应用[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2009, 30(2): 146-151.

(上接第 **176** 页)

[8] 高松福, 毛卫民, 白月龙. 半固态 A356 合金的流变压铸充填性与组织分布[J]. 特种铸造及有色合金(Special Casting and Nonferrous Alloys), 2005, 25(10): 598-600.

[9] 杨柳青, 康永林, 张　帆. A357 铝合金半固态流变压铸成形组织工艺研究[J]. 材料工程(Journal of Materials Engineering), 2009(6): 64-66.

[10] 谭建波, 李志勇, 王英杰. 倾斜冷却剪切流变参数对半固态 A1Si9Mg 合金组织的影响[J]. 中国有色金属学报(The Chinese Journal of Nonferrous Metals), 2009, 19(4): 607-612.

[11] 谭建波, 李　迅, 李立新, 等. 半固态金属成形技术的发展及应用现状[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2003, 24(4): 24-28.

[12] 谭建波, 李增民, 李立新, 等. 浇注长度对流变压铸 A1Si9Mg 组织及性能的影响[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2010, 31(6): 568-571.