

水冷紊流通道制备半固态 A356 铝合金浆料及流变压铸

王菊清^{1, 2}, 陈正周^{1, 2}, 宋朝辉^{1, 2}

(1. 慈溪阿尔特新材料有限公司, 浙江慈溪 315301; 2. 慈溪汇丽机电股份有限公司, 浙江慈溪 315333)

摘要: 在采用水冷紊流通道制备半固态A356铝合金浆料并进行直接流变压铸, 对铸件不同位置处的显微组织和铸件T6热处理后的力学性能进行了研究。结果表明: 在内浇道的远端, 初生 α (Al)晶粒形貌比较圆整; 靠近内浇道处, 初生 α (Al)晶粒的形貌较差, 但是初生 α (Al)晶粒的平均直径差别不大。铸件经T6热处理后, 试样的抗拉强度达到308 MPa, 伸长率达到6.5%, 强韧性较高。

关键词: 半固态; 流变压铸; A356铝合金; 紊流通道

半固态铝合金流变压铸件组织比较致密, 力学性能较好, T6热处理后能够替代一部分铝合金锻件, 因而在新能源汽车、通信、机械装备等领域得到一定的应用。半固态铝合金流变压铸的首要条件是廉价地制备出高质量的半固态铝合金浆料。管道或通道浇注制浆法如直管浇注法^[1]、蛇形通道浇注法^[2-6]、阻尼管法^[7-8]等, 这些半固态浆料的制备方法及机理基本相同, 可以归为同一类制浆方法。这类制浆方法的工艺特点是设备投资少、生产操作简便, 因而得到一些企业的推崇, 具有较好的发展前景。

本研究采用水冷紊流通道制浆, 通过将水冷紊流通道与压铸机衔接成一个整体, 制好的浆料将直接流进压铸机的压室进行流变压铸。这种水冷紊流通道制浆工艺已经获得中国实用新型专利^[9], 其制备方法见文献[10]。

1 试验方法

水冷紊流通道制浆设备如图1a。将该设备置于压铸机压室的垂直上方, 衔接方式如图1b所示。压铸机为某公司500T冷室压铸机。

铸件的外形尺寸为303 mm × 201 mm × 60 mm, 材料为A356铝合金, 重2.1 kg, 最薄处为4 mm, 最厚处为10 mm, 该铸件要求具有较高的强度和韧性, 铸件如图2a所示。为了保证半固态浆料层流充型并且不产生冷隔, 内浇道开设在壁厚最厚处, 慢压射充填速度为0.25 m/s, 在铸件充填75%左右时, 再开始增压, 整个充填过程没有快压射。

材料选用商用A356铝合金, 主要化学成分(质量分数)为: 7.25% Si、0.37% Mg、0.18% Fe。根据铸件性能要求, 需要进行T6热处理, 热处理制度为538 ℃固溶5 h+175 ℃时效2.5 h。T6热处理后, 从如图2a所示位置处截取本体拉伸试样, 距离内浇道较远, 其尺寸如图2b所示。

从铸态铸件4个位置处分别截取金相试样, 截取位置如图2a所示, 对试样进行粗磨、精磨和抛光, 然后用0.5vol% HF水溶液浸蚀, 最后用带有金相组织分析系统

作者简介:

王菊清(1974-), 女, 工程师, 主要从事新金属材料研究和质量管理工作。
E-mail: syqwjq@126.com

中图分类号: TG249.9;
TG146.2
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2019)
01-0038-04

基金项目:

国家重点研发计划
(2017YFF0207902-01)。
收稿日期:
2018-08-22 收到初稿,
2018-10-10 收到修订稿。

的Olympus光学显微镜进行分析。初生 α (Al) 晶粒直径可以用显微镜直接测量，形状因子利用公式 (1) 计算。

$$F = 4 \pi A / P^2 \quad (1)$$

式中： A 为晶粒的面积， P 为晶粒的周长。

2 结果与分析

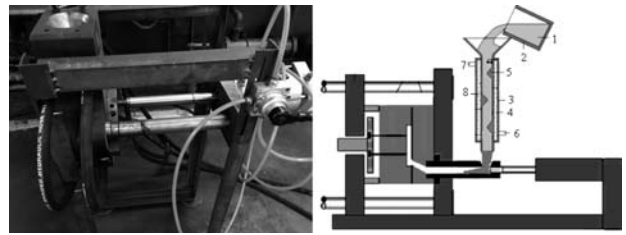
2.1 半固态浆料的制备

浇注时铝液温度为640~645℃，浇注的铝液质量为2.7 kg，浇注时间为12 s。从通道导流口流出的熔体流进压铸机压室时的温度为608~610℃，说明此时的熔体温度已经处于固液温度区间，熔体已经变成半固态浆料。采用Scheil公式计算，此时浆料的固相率约15%左右。浇注完毕后，打开紊流通道，内壁无挂料现象。

2.2 铸件铸态显微组织

铸件不同位置处的铸态显微组织如图3所示。图3a、b分别为图2a中“a”和“b”处的显微组织，初生 α (Al) 晶粒主要由近球晶和蔷薇晶组成，初生 α (Al) 晶粒的平均直径为37 μm ，平均形状因子为0.78。图3c为图2a中“c”处的显微组织，初生 α (Al) 晶粒主要由蔷薇晶组成，其中含有少量的树枝晶，初生 α (Al) 晶粒的平均直径为40 μm ，平均形状因子为0.70。图3d为图2a中的“d”处的显微组织，初生 α (Al) 晶粒主要由蔷薇晶和树枝晶组成，明显含有较多的二次凝固 α (Al) 晶粒，初生 α (Al) 晶粒的平均直径为35 μm ，平均形状因子为0.68。

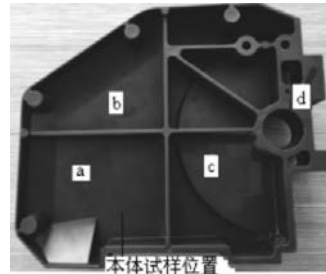
“a”和“b”处距离内浇道较远，半固态浆料在模具型腔内的流程较长。在增压前，半固态浆料能够进一步在模具型腔内激冷和熟化，所以初生 α (Al) 晶粒形貌比较圆整。“c”处距离内浇道较近，半固态



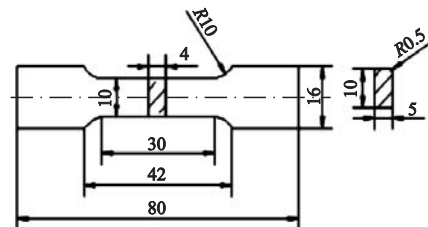
1. 液态合金 2. 熔化坩埚 3. 紊流通道 4. 冷却水套
5. 紊流叶片 6. 进水口 7. 出水口 8. 冷却水
(a) 水冷紊流通道制浆设备 (b) 与压铸机衔接示意图

图1 水冷紊流通道制浆设备及与压铸机衔接示意图

Fig. 1 Water-cooled turbulent channel equipment and connection schematic diagram with die casting machine



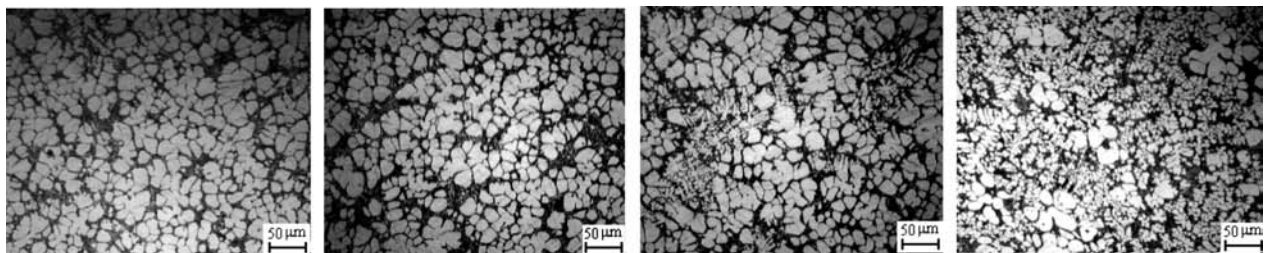
(a) 流变压铸铸件



(b) 本体拉伸试样尺寸

图2 铸件的取样位置及本体拉伸试样尺寸

Fig. 2 Sampling position and size of tensile sample from casting itself



(a) a处

(b) b处

(c) c处

(d) d处

图3 铸件不同位置处的显微组织

Fig. 3 Microstructure of castings at different positions

浆料的流程较短,在模具型腔内激冷和熟化作用较弱,所以初生 α (Al)晶粒形貌较差。图3d是铸件内浇口处的显微组织,此处的半固态浆料没有得到模具型腔内壁的激冷和熟化就很快在压力下凝固,所以初生 α (Al)晶粒仍为蔷薇晶和树枝晶,并且具有较多数量的二次凝固 α (Al)晶粒。

由此看到,对于投影面积较大的半固态铝合金流变压铸件,在距离内浇道远近不同的位置,初生 α (Al)晶粒的平均直径相差不大,但是平均形状因子差别较大。在内浇道的远端,初生 α (Al)晶粒形貌比较圆整,而且距离内浇道越近,初生 α (Al)晶粒的形貌越差。这个试验结果说明,对于投影面积较大的半固态流变压铸件,显微组织是不均匀的。同时,从导流口流出的半固态浆料没有经过收集坩埚的收集,因而半固态浆料没有得到混合和进一步熟化^[11-12],所以,初生 α (Al)晶粒的形貌与文献[10]中的初生 α (Al)晶粒形貌相比,相差较大,平均直径也小得多。

2.3 T6热处理后的显微组织

T6热处理后的显微组织如图4a所示。二次凝固的初生 α (Al)和共晶组织全部消失,整个组织由 α (Al)颗粒和点状强化相组成。 α (Al)颗粒形貌变得更加圆整,平均直径变大,点状强化相组织分布于 α (Al)的晶界。为了观察点状强化相组织的形貌,将图4a局部放大,如图4b SEM图像所示。这些鹅卵石形状的白色颗粒为富Si的强化相^[13],当量直径为3~5 μm ,主要沿着晶界分布。

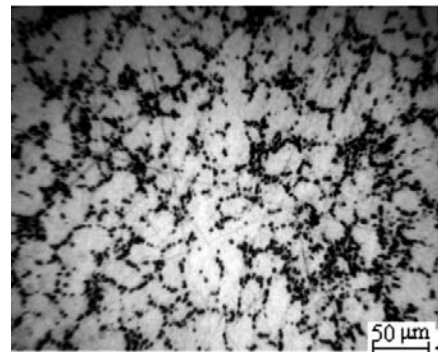
2.4 T6热处理后的力学性能及断口形貌

图5a是T6热处理后本体试样的拉伸应力-应变曲线,抗拉强度达到308 MPa,伸长率达到6.5%,具有较高强韧性。图5b本体拉伸试样断口电镜扫描形貌显示有许多撕裂棱和韧窝,说明T6热处理后的A356铝合金具有较高的断裂韧性。

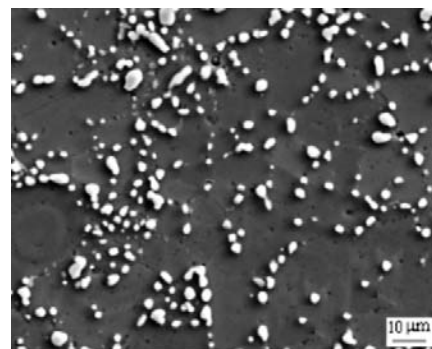
3 结论

(1) 水冷紊流通道制备半固态铝合金浆料,可以直接流进压铸机的压室进行流变压铸。如果铸件投影面积较大,在内浇道的远端,初生 α (Al)晶粒形貌比较圆整;距离内浇道越近,初生 α (Al)晶粒的形貌越差,但是初生 α (Al)晶粒的平均直径相差不大。

(2) 水冷紊流通道制备的半固态铝合金浆料,不经过收集坩埚收集而是直接流变压铸。铸件T6热处理后,抗拉强度达到308 MPa,伸长率达到6.5%,拉伸试样断口有许多撕裂棱和韧窝,合金的强韧性较高。



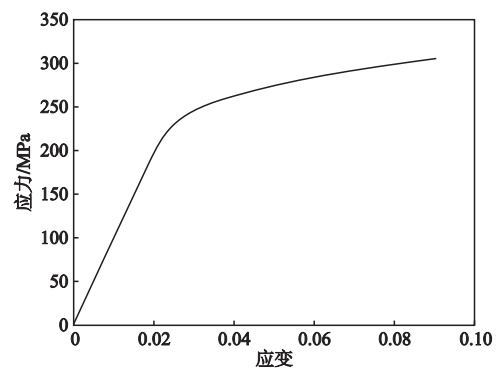
(a) T6热处理后的显微组织



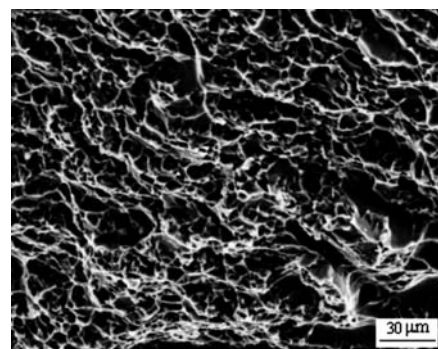
(b) 图4a局部SEM像

图4 T6热处理后的显微组织

Fig. 4 Microstructure of T6 heat treated specimen



(a) 拉伸应力-应变曲线



(b) 试样断口形貌

图5 T6热处理后的本体试样力学性能和断口形貌

Fig. 5 Mechanical properties after T6 heat treatment and fracture morphology of the body sample

参考文献:

- [1] Yang Xiaorong, Mao Weimin, Pei Sheng. Preparation of semi-solid A356 alloy feedstock cast through vertical pipe [J]. Materials Science and Technology, 2007, 23 (9) : 1049-1053.
- [2] Chen Zhengzhou, Mao Weimin, Wu Zongchuang. Preparation of semi-solid aluminum alloy slurry poured through a water cooled serpentine channel [J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2012, 19 (1) : 48-53.
- [3] 毛卫民, 高冲, 朱达平, 等. 蛇形通道制备半固态铝合金浆料的研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29 (10) : 915-917.
- [4] 陈正周, 毛卫民, 吴宗闯. 多弯道蛇形管浇注法制备半固态A356铝合金浆料 [J]. 中国有色金属学报, 2011, 21 (1) : 95-101.
- [5] 张云涛, 毛卫民, 陈正周, 等. A356铝合金半固态浆料的蛇形通道制备工艺 [J]. 铸造, 2011, 60 (8) : 739-782.
- [6] 毛卫民, 朱达平, 郑秋, 等. 半固态A356铝合金浆料的LSPWES制备和流变成形 [J]. 铸造, 2009, 58 (1) : 10-13.
- [7] Xie S S, Huang G J, Zhang X L, et al. Study on numerical simulation and experiment of fabrication magnesium semisolid slurry by damper cooling tube method [J]. AIP Conference Proceedings, 2007, 908 (1) : 557-562.
- [8] 张小立, 谢水生, 李廷举, 等. 阻尼冷却管法制备A356铝合金半固态浆料的研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2007, 36 (5) : 915-919.
- [9] 陈正周, 罗军宇, 罗旭刚. 一种制备半固态金属浆料紊流通道浇注方法的专用设备: CN201420143502.5 [P]. 2014-09-10.
- [10] 陈正周, 任伟钢. 紊流通道浇注制备半固态A356铝合金浆料 [J]. 铸造, 2014, 63 (1) : 34-37.
- [11] 郭洪民, 杨湘杰. 过冷熔体中球晶组织的形成规律 [J]. 中国有色金属学报, 2008, 18 (4) : 651-659.
- [12] 陈正周, 毛卫民, 吴宗闯. 蛇形通道浇注制备半固态A356铝合金浆料微观组织的演变 [J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31 (1) : 32-35.
- [13] 陈正周, 宋朝辉, 罗文博. 热处理对流变压铸铝合金力学性能和显微组织的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2018, 28 (3) : 518-527.

Preparation of Semi-Solid A356 Al Alloy Slurry by Water-Cooled Turbulent Channel and Rheo-Diecasting

WANG Ju-qing^{1,2}, CHEN Zheng-zhou^{1,2}, SONG Chao-hui^{1,2}

(1. Cixi ALT Advanced Materials Co., Ltd., Cixi 315301, Zhejiang, China; 2. Cixi Huili Machinery and Electric Co., Ltd., Cixi 315333, Zhejiang, China)

Abstract:

The semi-solid A356 aluminum alloy slurry was prepared by using water-cooled turbulent channel process, and then the rheo-diecasting of slurry was directly performed. The microstructure of the castings at different positions and the mechanical properties after T6 heat treatment were studied. The results show that the morphology of the primary α (Al) grains is fairly round at far-end of the inner runner. The nearer the distance to the ingate is, the worse the morphology of the primary α (Al) grains is. However, the average diameter of primary α (Al) grains has little difference. After T6 heat treatment, the tensile strength and elongation reach 308 MPa and 6.5%, respectively. This implies that the castings produced by the casting process have high strength and toughness.

Key words:

semi-solid; rheo-diecasting; A356 aluminum alloy; turbulent channel