

浇注温度对压铸 Al-10Si-0.3Mg 铝合金组织演变及性能影响

闫俊<sup>1</sup> 石帅<sup>2</sup> 范卫忠<sup>1</sup> 高伟全<sup>1</sup>

[1.华劲新材料研究院(广州)有限公司; 2.河钢集团钢研总院]

**摘要** 研究了 Al-10Si-0.3Mg 铝合金压铸过程中不同浇注温度对其组织演变及性能的影响。结果表明,当浇注温度为 650 ℃ 时,合金的力学性能与热导率最优。随着浇注温度升高,合金冷却速率减小,一次枝晶和二次枝晶间距增加,初晶 Si 及 α-Al 的尺寸增大,强度下降;气孔数量增加,有效导热面积减小,热导率下降,合金断口中韧窝数量和尺寸减少,从而使合金的塑性降低。

**关键词** 浇注温度;力学性能;热导率;断口形貌

**中图分类号** TG146.21;TG249.2

**文献标志码** A

**DOI:**10.15980/j.tzzz.2021.11.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Pouring Temperature on Microstructure Evolution and Properties of Die-casting Al-10Si-0.3Mg Aluminum Alloy

Yan Jun<sup>1</sup>, Shi Shuai<sup>2</sup>, Fan Weizhong<sup>1</sup>, Gao Wei-quan<sup>1</sup>

[1.Huajin New Material Research Institute (Guangzhou) Co., Ltd.;

2.HBIS Group Technology Research Institute]

**Abstract:** The influence of different casting temperatures on the microstructure evolution and properties of the Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy was investigated during die-casting process. The results show that the mechanical properties and thermal conductivity of the alloy present satisfied effects at 650 ℃. With the increase of casting temperature, cooling rate of the alloy is decreased, and the distance between primary and secondary dendrite is increased, meanwhile the size of primary crystal silicon and α-Al are increased with decrease of the strength. In addition, the number of pores in the alloy is increased, and the effective thermal area is declined with decreasing in the thermal conductivity, and the number and size of the dimples in the fracture of the alloy are decreased, which leads to the decrease of the plasticity of the alloy.

**Key Words:** Pouring Temperature, Mechanical Properties, Thermal Conductivity, Fracture Morphology

随着 5G 通讯时代的到来,交通与通讯领域产品的结构朝着集成化、轻量化方向发展,因此对材料散热性能及承载能力的要求不断增加。由于通讯和交通领域复杂的散热结构件大多壁厚不均,对材料流动性及散热性能要求越来越高,使用铸造 Al-Si 合金既可以满足其成形性又能大批量生产。但传统的 Al-Si 系铸造铝合金,如 ADC12 铝合金的热导率为 92 W/(m·K),屈服强度为 156 MPa,已经不能满足使用要求<sup>[1]</sup>。研究者根据成分、工艺、组织性能展开一系列研究,以提高铝合金的综合性能<sup>[2,3]</sup>。近年来,日本开发了 DMS 系列及 DX 系列高导热铸造铝合金,其中 DMS1、DMS3、DX17、DX19 合金的热导率高达 150~210 W/(m·K),但屈服强度小于 120 MPa。DMS5 合金是 ADC12 铝合金的换代产品,热导率约为 ADC12 铝合金的 1.6 倍,屈服强

度与 ADC12 铝合金相近。本课题自行设计的 Al-10Si-0.3Mg 压铸铝合金具有良好的流动性,可热处理强化,热导率与 DMS5 接近,屈服强度高于 DMS5 合金,成形性与 ADC12 相当,耐蚀性优于 ADC12 铝合金,可以满足新一代通讯器件及汽车散热零部件对于较高热导率及屈服强度的迫切需求。

浇注温度对铸件性能影响很大,房元明等<sup>[4]</sup>通过对铝合金的连杆压铸件模拟,发现浇注温度对铸件的缺陷有显著影响;王绍著等<sup>[5]</sup>使用近液相线温度的浇注温度生产铝合金汽车支架,可获得均匀细小的球状组织。采用 JMatPro 软件模拟 Al-10Si-0.3Mg 铝合金的液相线较 ADC12 铝合金高 10 ℃,因此选择合适的浇注温度对于改善其综合性能有着重要的作用。当低温浇注时,铝合金流动性降低,导致压铸充型较为困难,而采用较

收稿日期:2021-01-25;修改稿收到日期:2021-05-16

第一作者简介:闫俊,男,1982 年出生,工程师,广州(510115),E-mail:yanjun615@163.com

通信作者:石帅,男,1992 年出生,硕士,石家庄(050023),E-mail:18232538992@163.com

引用格式:闫俊,石帅,范卫忠,等. 浇注温度对压铸 Al-10Si-0.3Mg 铝合金组织演变及性能影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(11): 1 446-1 449.  
YAN J, SHI S, FAN W Z, et al. Effects of pouring temperature on microstructure evolution and properties of die-casting Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(11): 1 446-1 449.

高的浇注温度会使合金的收缩增加,铝液中的气体溶解度增大,缩松和气孔等缺陷容易产生,从而降低合金的性能甚至造成产品报废<sup>[6]</sup>。因此,本课题以 Al-10Si-0.3Mg 铝合金为对象,研究了浇注温度对其组织、力学性能及热导率的影响,确定了 Al-10Si-0.3Mg 合金合适的浇注温度,旨在实现改善合金性能、提升铸件品质的目的。

1 试验方案

1.1 合金成分

试验采用自主设计的 Al-10Si-0.3Mg 铝合金,其化学成分见表 1。采用的主要原料为 99.9% 的纯铝、2202 结晶硅、纯镁锭、75% 铁添加剂。

表 1 Al-10Si-0.3Mg 合金的主要成分

| Tab.1 Main composition of the Al-10Si-0.3Mg alloy % |     |     |          |       |         |         |    |
|-----------------------------------------------------|-----|-----|----------|-------|---------|---------|----|
| Si                                                  | Mg  | Fe  | Sr       | $w_B$ |         | Zn      | Al |
| 10                                                  | 0.3 | 0.6 | <0.000 2 | B     | Mn      | 0.017 9 | 余量 |
|                                                     |     |     |          | 0.02  | 0.006 2 |         |    |

1.2 制备过程

配制 Al-10Si-0.3Mg 铝合金质量为 200 kg,在 300 kg 电阻炉中熔化,首先进行烘炉,待炉温达到 700 ℃ 时加入 99.9% 纯铝锭,熔化 3 h,待铝锭完全熔化并且铝液温度达到 800 ℃ 时加入 2202 结晶硅,升温至 850~900 ℃ 不断搅拌,直至完全熔化。随后加入铁添加剂并搅拌,待完全熔化后将镁块完全浸入铝液中,杜绝明火,搅拌 5 min 后进行熔剂精炼,精炼温度为 710~730 ℃,精炼剂使用无钠无钙精炼剂,使用量为炉料质量的 0.2%,转速为 250~350 r/min,气体流量为 5~10 L/min,精炼时间为 20 min。精炼完成后扒渣,待成分达到稍高设计值时取样,在斯派克 M12(LAB)直读光谱仪上进行分析,成分合格后进行压铸,本试验过程在同一炉次中完成,且顺序为低温到高温。

采用 DCC280 型 2 800 kN 压铸机,其锁模力为 280 kN,料柄厚度约为 15 mm,采用模温机控制模具表面温度,设定为 200 ℃。压射力为 330 kN,压射时间为 3.5 s,冷却时间为 2.0 s,压铸时冲头的行程位置:一快位置设定为 100 mm,二快设定为 250 mm,选择增压的位置为 280 mm,所成形的标准拉伸试样见图 1。为了研究浇注温度对试样显微组织、力学性能及热导率的影响,在 650、680、720 ℃ 浇注温度下制备 3 组试样。

1.3 组织性能分析

采用三思电子万能试验机测试拉伸试棒的力学性能,拉伸速率为 1 mm/mm;压铸标准热导率试样尺寸为  $\phi 12.7\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ (见图 1),采用 LFA467 激光闪射



图 1 压铸力学性能试棒及热导率试样

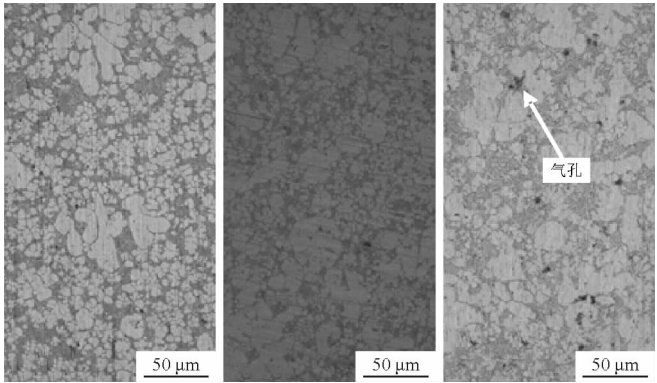
Fig.1 Mechanical properties of die casting bar and thermal conductivity specimens

仪测试;从拉伸试棒中间标距段内取样,通过标准制样程序制备金相试样并腐蚀后,采用 Olympus GX53 型显微镜及 Phenom XL 台式扫描电镜对试样进行显微组织观察和分析。

2 试验结果与讨论

2.1 显微组织观察

图 2 为 3 种浇注温度下 Al-10Si-0.3Mg 铝合金的金相组织。可以看出,组织中白色的圆状与椭圆状组织为初生  $\alpha$ -Al,短小针状与枝晶间白色  $\alpha$  固溶体构成( $\alpha$ +Si)共晶,并且有少量初生 Si 存在,黑色的点状物为气孔。由于合金中的 Mg 含量较低,只有少量的  $Mg_2Si$  呈颗粒状态、鱼骨状、树枝状存在。另外,可以看出,随着压铸温度升高,合金的气孔逐渐增多,初生 Si 及  $\alpha$ -Al 的尺寸增大。因为铝具有很好的塑性,但是其强度较低,然而随着浇注温度升高,合金中气孔数量增加,致使塑性下降,且初生 Si 为脆性相,尖端及边部容易造成应力集中,其尺寸增大致使合金的强度进一步降低。



(a) 650 ℃ (b) 680 ℃ (c) 720 ℃

图 2 不同浇注温度时 Al-10Si-0.3Mg 铝合金的微观组织

Fig.2 The microstructure of Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy at different pouring temperatures

2.2 不同浇注温度下合金 X 光无损检测

图 3 为不同浇注温度下合金 X 光无损检测图。可

以明显看到随着浇注温度升高,铸件中的气孔逐渐增多,由 650 ℃ 压铸时的点状分布的气孔变成 720 ℃ 时的网状分布的气孔。当压铸温度升高时,金属液的冷却梯度变大,凝固时的体积收缩量大,铸件内部形成气孔,这与铸件金相组织中观察到的结果一致。

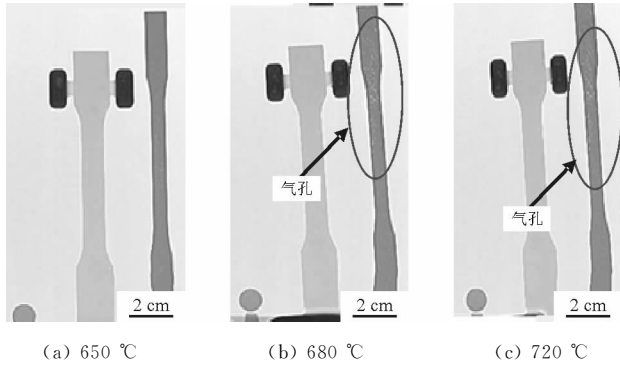


图 3 不同浇注温度下 Al-10Si-0.3Mg 铝合金 X 光无损检测图  
Fig.3 X-ray nondestructive testing of Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy at different casting temperatures

### 2.3 不同浇注温度的铝合金的力学性能

图 4 为浇注温度对 Al-10Si-0.3Mg 铝合金力学性能的影响。可以看出,压铸试样的平均力学性能随着浇注温度的升高而降低。浇注温度为 650 ℃ 时,合金抗拉强度、屈服强度及伸长率取得最大值,分别为 298 MPa、201 MPa、5.62%。当浇注温度升高,其他参数(速度、时间、压力)保持不变时,合金的凝固时间增加,导致其凝固速度降低,因此造成合金晶粒变得粗大,一次枝晶和二次枝晶间距增加,气孔数量增加,从而导致合金的力学性能变差。压铸铝合金的性能取决于初生  $\alpha$ -Al 相、共晶 Si、初生 Si、二次相金属间化合物及气孔的形态、大小和分布<sup>[6]</sup>。

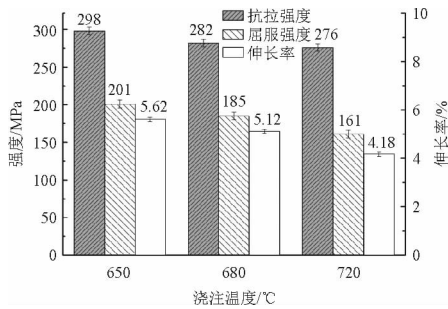


图 4 不同浇注温度下 Al-10Si-0.3Mg 铝合金的力学性能  
Fig.4 Mechanical properties of Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy at different pouring temperatures

### 2.4 不同浇注温度下铝合金热导率及密度

图 5 为不同浇注温度下 Al-10Si-0.3Mg 合金的热导率和密度。可以看出,随着浇注温度升高,合金的热导率和密度均下降,这是因为,浇注温度升高,合金中气孔的数量增多,有效导热面积减小,从而使得合金的热

导率下降。同时第二相形貌的改变,造成晶格畸变增大。电子、晶格震动波和电磁辐射是金属中传导热量的载体,传导的总热量是各载体传导的叠加。金属中存在大量的自由电子,能够迅速实现热量传递,电子传热是其主要传热方式。因此凡是对金属内部的组织产生不均匀的因素,都会增加电子波的散射,从而导致合金的热导率降低<sup>[7]</sup>。

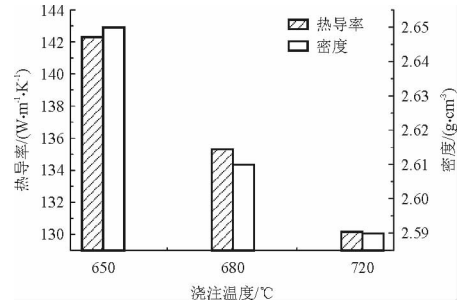


图 5 不同浇注温度下 Al-10Si-0.3Mg 铝合金的热导率与密度  
Fig.5 Thermal conductivity and density of Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy at different casting temperatures

### 2.5 不同浇注温度下合金的断口形貌

图 6 是不同浇注温度下 Al-10Si-0.3Mg 铝合金试样拉伸断口形貌。对于 Al-Si 合金来说,随着枝晶尺寸的变小,合金的断裂模式由穿晶断裂转变为沿晶断裂。试验中 Al-10Si-0.3Mg 铝合金组织中的第二相主要为金属间化合物、初生 Si、共晶 Si,这些第二相对合金的拉伸断裂有很大的影响<sup>[8~10]</sup>。当浇注温度为 650 ℃ 时,断口表面有大量的韧窝,韧窝较浅且小,在断口表面大量分布着准解理面,同时可以看到分布着河流状花纹,因此合金塑性较好,见图 6a。当压铸温度升高到 680 ℃ 时,断口形貌中有撕裂棱存在,韧窝数量及尺寸减少,见图 6b。从图 6c 可以看出,在 720 ℃ 浇注时试样断口形貌存在平坦面且韧窝数量极少,使塑性进一步变差,这和力学性能测量结果一致。

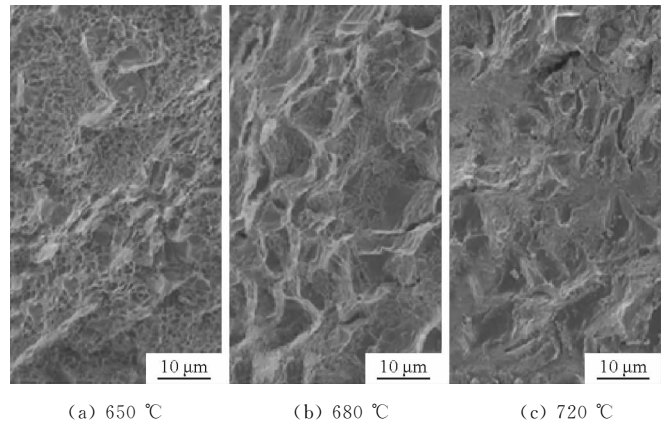


图 6 不同浇注温度时 Al-10Si-0.3Mg 铝合金拉伸断口形貌

Fig.6 Tensile fracture morphology of Al-10Si-0.3Mg aluminum alloy at different pouring temperatures

基于试验设计的压铸汽车横梁结构件热处理工艺

陆淳佳 汪学阳 朱 宇 闫 锋 安肇勇  
(广东鸿图科技股份有限公司)

**摘 要** 介绍了 AlSi10MnMg 合金试棒进行固溶和时效 T7 热处理,通过 Minitab 试验设计和响应优化工具得出热处理工艺参数与铸件力学性能的影响关系模型以及最优热处理工艺参数,并通过高真空压铸汽车横梁结构件的本体切片验证,确认最优参数组合的有效性。

**关键词** 高真空压铸;结构件;T7 热处理;实验设计

**中图分类号** TG249.2      **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.11.025      开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Heat Treatment Process for Die-casting Automotive Beam Structural Parts  
Based on Experimental Design

Lu Chunjia, Wang Xueyang, Zhu Yu, Yan Feng, An Zhaoyong  
(Guangdong Hongtu Die-casting Co., Ltd.)

**Abstract:** AlSi10MnMg alloy test bar was treated by solid solution and aging of T7 treatment. Through Minitab experiment design and response optimization tools, the influence of heat treatment process parameters on mechanical properties of castings was analyzed, and the optimized heat treatment parameters were presented. Through observing the high vacuum die casting automobile crossbeam structure, the effectiveness of the optimal parameter was verified.

**Key Words:** High Vacuum Die-casting, Structure, T7 Heat Treatment, Experimental Design

收稿日期:2021-03-24;修改稿收到日期:2021-05-16  
第一作者简介:陆淳佳,男,1982 年出生,工程师,广东高要(526108),E-mail:anzhaoyong@ght-china.com  
通信作者:安肇勇,男,1981 年出生,高级工程师,广东高要(526108),E-mail:anzhaoyong@ght-china.com  
引用格式:陆淳佳,汪学阳,朱宇,等. 基于试验设计的压铸汽车横梁结构件热处理工艺[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(11): 1 449-1 452.  
LU C J, WANG X Y, ZHU Y, et al. Heat treatment process for die-casting automotive beam structural parts based on experimental design [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(11): 1 449-1 452.

3 结 论

(1)浇注温度为 650 ℃ 时, Al-10Si-0.3Mg 合金抗拉强度、屈服强度及伸长率取得最大值,分别为 298 MPa、201 MPa 和 5.62%,随着浇注温度升高,冷却速率小,组织中的初生 Si 及 α-Al 的尺寸增大,一次枝晶和二次枝晶间距增加,合金的力学性能下降。

(2)随着浇注温度升高, Al-10Si-0.3Mg 铝合金吸气严重,合金密度减小,有效导热面积减小,从而使得合金的热导率下降。

(3)通过扫描电镜观察断口形貌发现,当浇注温度升高时, Al-10Si-0.3Mg 铝合金的断口中韧窝数量减少、尺寸减小,从而使合金的塑性下降。

参 考 文 献

[1] 陈小村,翁文凭,长海博文,等.固溶时效过程中高导热 Al-9Si 合金组织性能演变[J].特种铸造及有色合金, 2020, 40(7): 727-731.

[2] 刘洪雷. 高强高导电 7000 系铝合金棒材制备工艺与组织性能研究

[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

[3] 王剑,曹东,许德英.高导热共晶 Al-Si 合金的制备及其性能[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(4): 441-445.

[4] 房元明,徐骏,高志华,等.浇注温度对 7075 铝合金连杆铸件缺陷及组织的影响[J].特种铸造及有色合金, 2015, 35(11): 1 178-1 180.

[5] 王绍著,赵密,胡茂良,等.近液相线挤压铸造工艺对 ADC12 铝合金支架显微组织和力学性能的影响[J].中国有色金属学报, 2015, 25(6): 1 428-1 434.

[6] 梁涛. 亚共晶铝硅合金 AlSi10Mg 的压铸工艺研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.

[7] 唐正伟,周鹏飞. Mg 含量对高导电铝合金压铸性能的影响[J]. 铸造技术, 2017, 38(2): 395-397.

[8] 吴永福,邹纯,钟鼓,等. 挤压铸造高强韧 AlSiMgMn 合金的组织性能[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(12): 1 277-1 279.

[9] 张瑞忠,钟鼓,邱楚,等. 挤压铸造对 A356.2 合金微观组织和力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38(6): 604-606.

[10] 李威威,左孝青,刘占勇. 高强韧铝合金的组织特征及其研究进展[J]. 热加工工艺, 2015, 44(10): 12-14.

(编辑:张正贺)