

中小型铝合金铸件半固态流变压铸技术研究

龙文元¹, 龚 杰², 宋国金²

(1. 南昌航空大学航空制造工程学院, 江西南昌 330063; 2. 厦门格耐尔科技有限公司, 福建厦门 361028)

摘要: 基于智铸超云—压铸领域专业CAE云平台, 采用扣手铝合金铸件为研究对象, 模拟分析了压射工艺参数对半固态流变压铸充型过程的影响, 优选出了一种最佳的匀加速料筒孕育半固态流变压铸工艺方案进行实际产品的生产试验。结果表明: 采用五段低速射出模式B压铸工艺方案, 可使合金液在压室中流动平稳, 呈层流状态, 没有出现紊流; 根据模拟结果优化了料筒孕育半固态流变压铸工艺, 成功实现了扣手铸件的半固态流变压铸成形, 得到了合格的压铸件, 组织中初生 α -Al相主要呈近球状或颗粒状, 内部无气孔缺陷, 可进行T6处理和焊接加工。

关键词: 半固态浆料; 流变压铸; 云计算; 工艺优化

压力铸造作为一种生产率高、成本低、尺寸精度高的近净成形方法, 在汽车、电子通信、仪器仪表和五金电器等领域获得了广泛应用和迅速发展。在传统压铸过程中, 液态熔体会以紊流状态充填型腔, 使得型腔内气体无法及时排出而卷入合金内部, 形成气孔缺陷。气孔减少了铸件的有效承载面积, 造成应力集中, 从而降低铸件力学性能。Dong 等^[1]认为压铸件内部的气孔问题是目前限制压铸技术进一步扩大其应用领域的主要问题。

为了消除压铸件的内部气孔缺陷, 半固态压铸新技术获得了越来越多的研究者关注。在半固态压铸过程中, 由于金属浆料固相率大、粘度高、晶粒圆整, 在合适的压射参数下金属浆料将以接近层流方式流动充满型腔, 充型过程平稳、均匀, 可以获得无气孔缺陷的压铸件。半固态成形技术有诸多独特的优点而被广泛用于汽车、电子通信、电器、航空航天及医疗等领域^[2-3]。目前已经形成了搅拌法^[4-5]、自孕育法^[6-7]、GISS^[8-9]、RSF^[10-11]、剪切低温浇注法^[12]和蛇形通道法^[13-14]等流变压铸技术。虽然半固态成形技术已经得到应用, 但半固态成形技术无论在理论上还是技术上, 都需要进一步完善与发展^[15-16]。

目前, 大部分半固态流变压铸技术都存在半固态浆料的制造环节, 在制浆过程难免会产生一些卷气、氧化等现象, 特别是中小型铸件, 由于制浆量小, 温度不易控制, 从而影响产品质量。为此, 本文将针对中小型铝合金铸件, 基于智铸超云—压铸领域专业CAE云平台, 通过对半固态流变压铸充填过程进行数值模拟优化, 开发了无制浆环节的匀加速料筒孕育半固态流变压铸新技术, 并在相关高强高导类铝合金压铸件中获得了实际生产应用。

1 压铸件分析及工艺设计

本文以一个形状简单、有T6处理要求的结构件扣手为研究对象, 探索匀加速料筒孕育半固态流变压铸新技术。扣手铸件三维形状如图1所示, 该铸件尺寸不大, 但壁厚均匀, 薄壁处约为3 mm, 最大外形尺寸约为136 mm × 49 mm × 23.5 mm, 材质采用AlSi9Cu3合金, 非常适合压力铸造, 材料的物性参数为: 密度2.5 g/cm³, 液相线温度595 ℃, 固相线温度540 ℃。根据现有压铸机吨位和铸件的投影面积, 选择一模

作者简介:

龙文元(1971-), 男, 教授, 主要从事有色合金铸造成形技术和金属基复合材料的研究。E-mail: longwy@nchu.edu.cn

中图分类号: TG244

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)06-0651-06

收稿日期:

2021-05-10。

一腔，内浇口厚度为2.5 mm，宽度为125 mm，压射冲头的直径为50 mm，其详细压铸工艺方案如图2所示。

2 匀加速半固态流变压铸工艺及模拟

应用智铸超云—压铸领域专业CAE云平台进行数值模拟。先用三维造型软件UG进行三维图的造型并生

成STL文件，然后上传至智铸超云的云计算平台进行前置处理实现网格的自动剖分，对铸件压铸充型过程进行了模拟。分别设置了如图3所示的四种压射曲线对扣手铸件的压铸过程进行了模拟，对压射过程中合金液在压室中的流动情况进行分析。

单段低速射出模式压铸工艺方案的充型过程模拟结果如图4所示。从图中可以看出，在压射初期，由于



图1 扣手铸件三维图

Fig. 1 Three-dimensional drawing of button casting

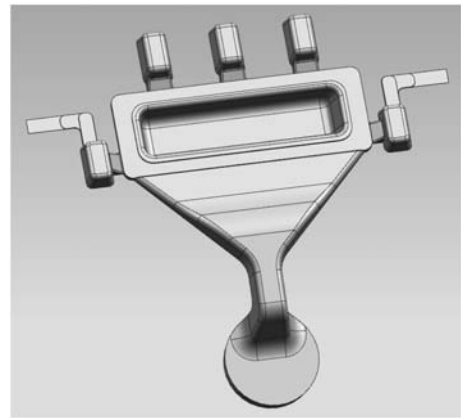
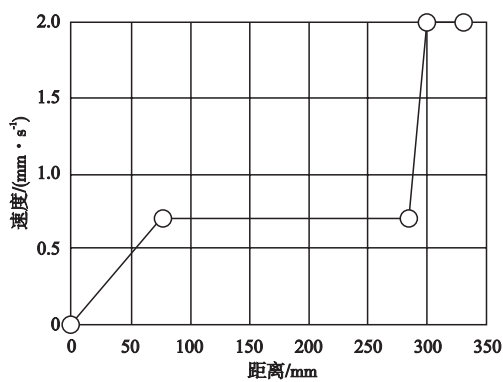
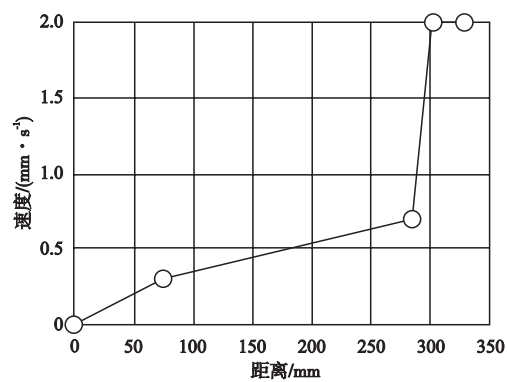


图2 扣手铸件压铸工艺方案

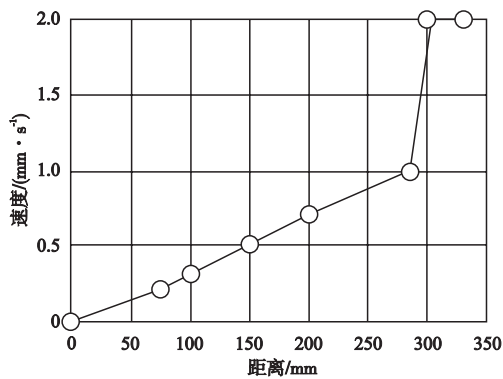
Fig. 2 Injection casting process of button



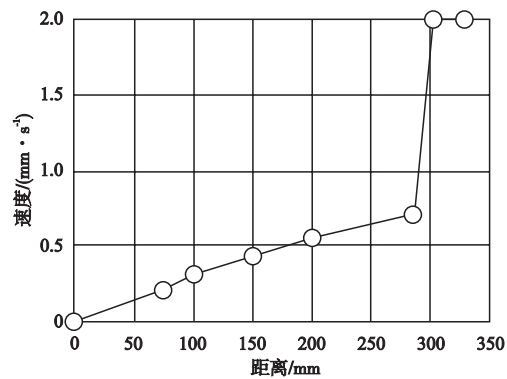
(a) 单段低速射出模式



(b) 两段低速射出模式



(c) 五段速度射出模式A



(d) 五段速度射出模式B

图3 压射工艺曲线

Fig.3 Injection process curves of casting

是从零直接加速到低速速度，加速度过大，从而会在冲头前端形成涡流，如图4a-b所示，而且合金液到达并充满压室分流锥位置时，靠近冲头前端位置却还没有充满，从而造成合金液出现回流，如图4c所示。压射过程压室中产生的涡流和最后的回流现象，都容易裹入气体和氧化夹杂等，而且会在最后的高速压射过程带入铸件的任意位置，从而影响铸件的质量。

图5所示为两段低速射出模式压铸工艺方案的充型过程模拟结果。由图可见，其充填过程与单段低速射出模式基本一致，合金液在压室的运动过程仍然存在涡流和回流现象。五段低速射出模式A压铸工艺方案的充型过程模拟结果如图6所示。从图中可看出，在压射初期，合金液在压室中平稳流动，没有出现紊流，如图6a所示；当前端合金液接近分流锥位置时，会逐

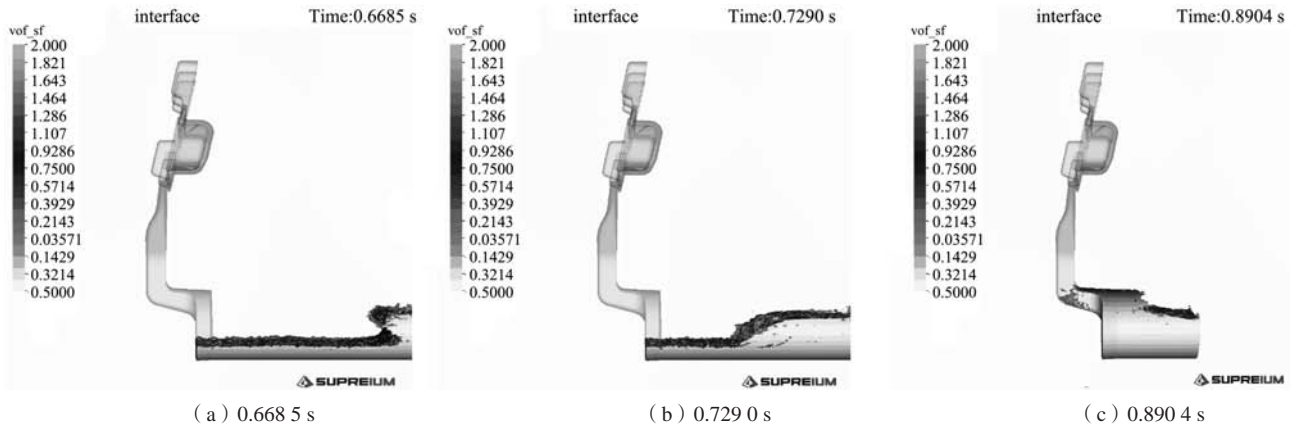


图4 单段低速射出模式压射过程的模拟结果

Fig. 4 Simulation results of injection process with single stage low speed

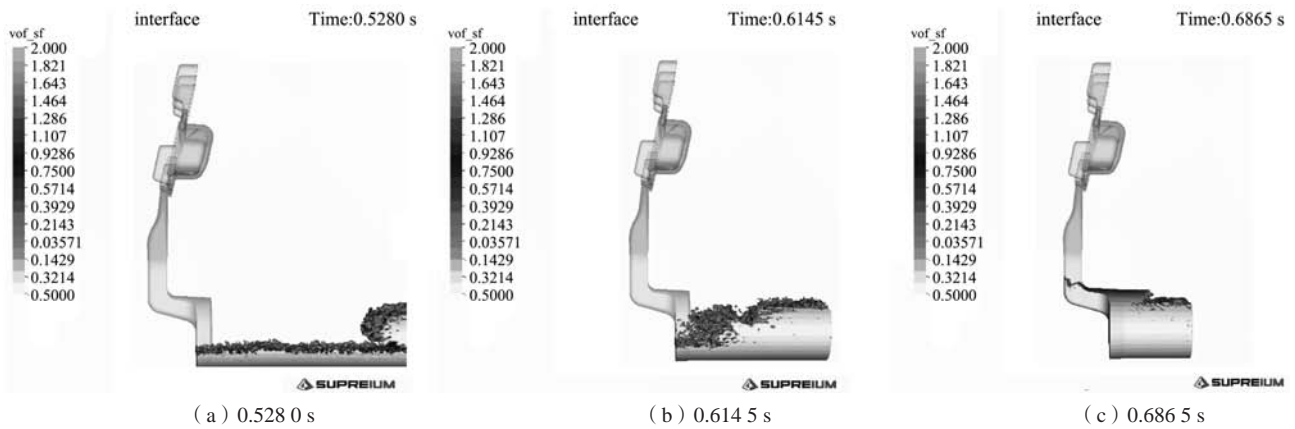


图5 两段低速射出模式压射过程的模拟结果

Fig. 5 Simulation results of injection process with twice stage low speed

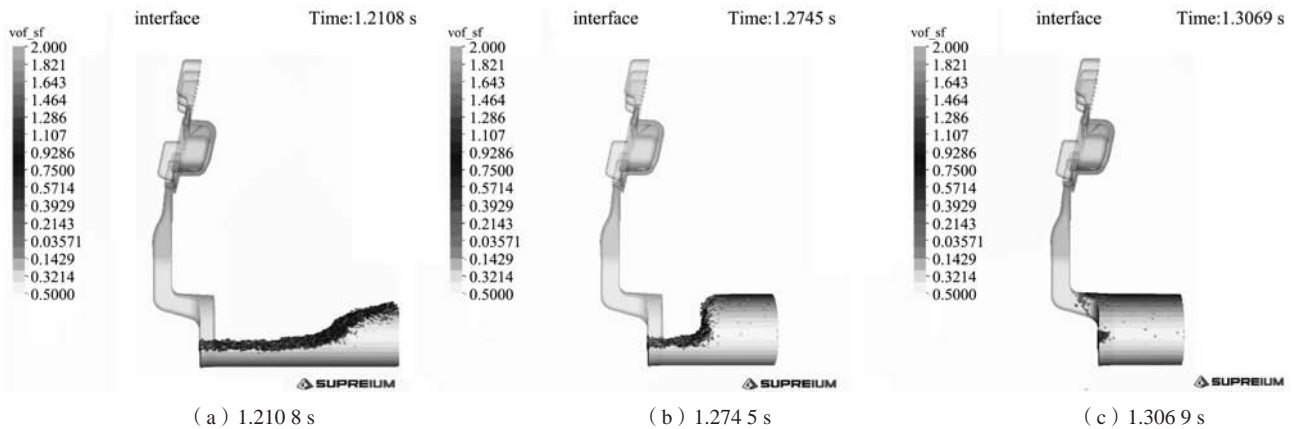


图6 五段速度射出模式A压射过程的模拟结果

Fig. 6 Simulation results of injection process with five stage low speed injection A

渐形成一定的涡流裹气现象,如图6b-c所示。五段低速射出模式B压铸工艺方案的充型过程模拟结果如图7所示。从图中可以看出,整个压射过程合金液在压室中流动平稳,呈层流状态,没有出现紊流,从而避免了在压室中裹入气体或氧化夹渣等。基于数值模拟结果,提出了半固态制浆与压铸成形一体化的匀加速料筒孕育半固态流变压铸工艺。通过控制合金液出炉温度和料筒的温度,使得合金液浇入料筒后,会形成一定的固相,然后,在多段低速压射过程形成的固相进一步增加,同时流动进入合金液中成为异形形核的晶核,最后进入型腔后,由于大量晶核的存在,会抑制枝晶的生长,从而形成非枝晶的半固态组织。

3 生产验证

根据五段速度射出模式B的压射工艺曲线,应用匀加速料筒孕育半固态流变压铸工艺进行扣手铸件的实

际生产试验,并同单段低速射出模式的普通压铸产品进行了比较分析。铝合金液浇注温度为640℃,压射冲头的最高低速速度为0.7 m/s、高速速度为2 m/s,模具预热温度为200℃。采用该压铸工艺获得了外形轮廓清晰、表面光滑、尺寸精度高、无缺陷的扣手压铸件,如图8所示。通过对压铸件进行解剖分析可以看到,采用普通压铸工艺的铸件剖面存在大量的气孔缺陷,如图9a所示;而半固态压铸件的剖面没有发现气孔,如图9b所示,另外通过对铸件整体的X光透射探伤表明,扣手铸件内部无明显缩松、缩孔、气孔和氧化夹杂等缺陷。图10为扣手铸件的铸态和T6的微观组织。从图中可以看出,初生 α -Al相呈近球状,晶粒细小,分布均匀,具有较明显的半固态组织特征。另外还对铸件进行了T6处理和焊接试验,经过535℃、8 h的固溶处理后,可以明显看到,普通压铸件表面存在较多的鼓泡现象,而半固态铸件表面没有发现,如图11所示;同样,在焊接后普通压铸件的焊缝附近存在鼓泡现

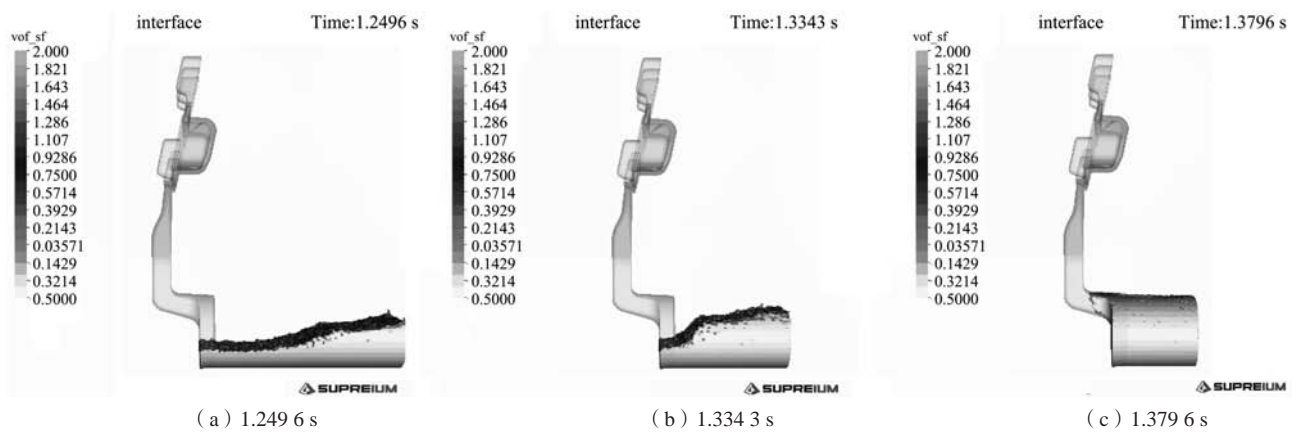


图7 五段速度射出模式B压射过程的模拟结果

Fig. 7 Simulation results of injection process with five stage low speed B

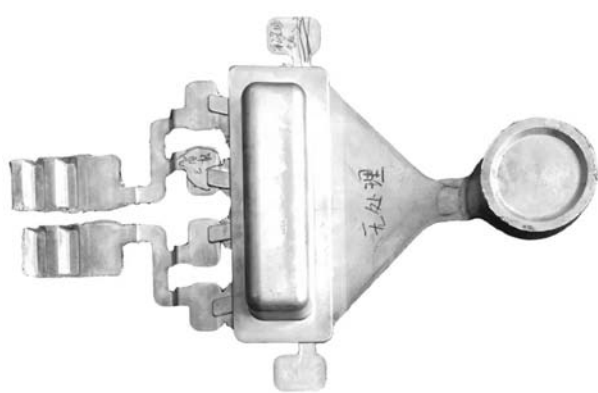


图8 扣手压铸件产品图

Fig. 8 Button casting produced using semi-solid rheo-diecasting process with uniform acceleration barrel inoculation



(a) 普通压铸

(b) 半固态压铸

图9 扣手压铸件(T6)剖切图

Fig. 9 Dissected button castings

象, 而半固态铸件不存在, 如图12所示。由此可见, 采用匀加速料筒孕育半固态流变压铸工艺进行压铸件

的生产, 可以有效消除普通压铸件的内部气孔问题, 实现了压铸件的T6热处理和焊接加工。

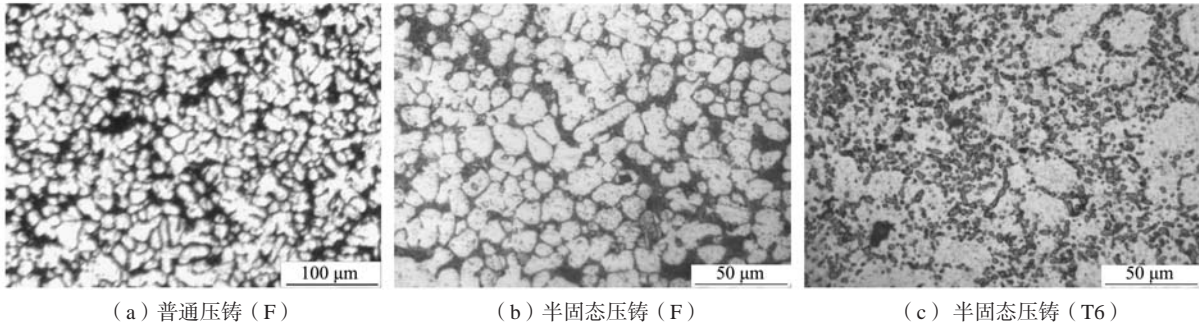


图10 压铸件显微组织

Fig. 10 Microstructure of button castings



(a) 普通压铸 (b) 半固态压铸

图11 T6处理后的压铸件

Fig. 11 Button die castings with T6 treatment



(a) 普通压铸 (b) 半固态压铸

图12 焊接后的压铸件

Fig. 12 Button die castings after welding

4 结论

(1) 通过采用智铸超云—压铸领域专业CAE云平台对设计的不同压射工艺方案进行压射过程模拟分析, 结果表明, 采用五段低速射出模式B压铸工艺方案时, 可使合金液在压室中流动平稳, 呈层流状态, 没有出现紊流, 从而避免了在压室中裹入气体或氧化夹渣等。

(2) 根据模拟结果优化了料筒孕育半固态流变压铸工艺, 采用五段低速射出模式B压铸工艺方案成功实

现了扣手铸件的半固态流变压铸成形, 得到了合格的压铸件, 铝液浇注温度为640 ℃, 压射冲头的最高低速速度为0.7 m/s、高速速度为2 m/s, 模具预热温度为200 ℃。

(3) 扣手普通压铸件的组织主要呈枝晶状或蔷薇状, 内部存在较多的气孔缺陷, 不能进行T6处理和焊接加工; 而扣手半固态压铸件内部无气孔缺陷, 组织中初生 α -Al相主要呈近球状或颗粒状, 可进行T6处理和焊接加工。

参考文献:

- [1] DONG Xixi, ZHU Xiangzhen, JI Shou-xun. Effect of super vacuum assisted high pressure die casting on the repeatability of mechanical properties of Al-Si-Mg-Mn die-cast alloys [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2019, 266: 105-113.
- [2] 赵立津, 门海豹, 赵高瞻, 等. 半固态压铸技术的现状与前景 [J]. 精密成形工程, 2012, 4(4): 31-38.
- [3] 罗晓强, 李正阳, 燕青芝. 半固态金属成形技术的研究进展 [J]. 新技术新工艺, 2015(6): 135-137.
- [4] 祁明凡, 康永林, 周冰, 等. 流变压铸 A380 铝合金的显微组织与力学性能 [J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(8): 2029-2039.
- [5] 杨依珉, 赵君文, 巫国强, 等. 半固态流变压铸铝合金件疲劳性能研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(1): 83-87.
- [6] LI M, LI Y D, ZHENG H Q, et al. Solidification behavior of 6061 wrought aluminum alloy during rheo-diecasting process with self-inoculation Method [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2018, 28(5): 879-889.
- [7] 李明, 张玉, 杨文龙, 等. 6061 铝合金自孕育流变压铸薄壁件制备及组织性能 [J]. 材料热处理学报, 2020, 41(6): 15-22.
- [8] 祁明凡, 李静媛, 康永林, 等. 大体积流变浆料制备与压铸成形一体化工艺及其应用 [J]. 精密成形工程, 2020, 12(3): 12-19.
- [9] QI Mingfan, KANG Yonglin, LI Jingyuan, et al. Improvement in mechanical, thermal conductivity and corrosion performances of a new high-thermally conductive Al-Si-Fe alloy through a novel R-HPDC process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2020, 279: 116586.
- [10] JAIN A. Non-dendritic structural changes in Al-7Si alloy cast through rapid slurry formation (RSF) process [J]. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2012, 65(6): 545-551.
- [11] 张宇, 王连登, 许朋朋, 等. 薄壁铝合金滤波器散热壳体RSF半固态压铸工艺模拟 [J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(2): 165-168.
- [12] GUO H M, YANG X J, WANG J X, et al. Effects of rheoforming on microstructures and mechanical properties of 7075 wrought aluminum alloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20(3): 355-360.
- [13] 宋晓俊, 毛卫民, 杨斌, 半固态7075铝合金流变压铸充填性与组织分布 [J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33(3): 243-246.
- [14] MAO W M, ZHU W Z. Tensile properties and microstructure of rheo-diecast 7075 alloy prepared by serpentine channel process [J]. China Foundry, 2019, 16(3): 161-167.
- [15] 郭洪民, 刘斌, 杨湘杰. 高强铝合金流变成形的研究现状与展望 [J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38(6): 612-615.
- [16] 李干, 卢宏兴, 罗敏, 等. 铝合金半固态流变成形技术研究进展 [J]. 精密成形工程, 2020, 12(3): 29-48.

Semisolid Rheological Die Casting Technology for Small and Medium-Sized Aluminum Alloy Castings

LONG Wen-yuan¹, GONG Jie², SONG Guo-jin²

(1. School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, Jiangxi, China; 2. Xiamen Gnaire Technology Co., Ltd., Xiamen 361028, Fujian, China)

Abstract:

Based on the professional CAE cloud platform in the field of die casting, the influence of injection process parameters on the filling process of semi-solid rheo-diecasting buttons was studied by using computer numerical simulation. The simulation results show that the flow of the alloy liquid in the chamber is steady, laminar and without turbulence by adopting the five stage low-speed injection mode B. According to the simulation results, the semi-solid rheo-diecasting process with uniform acceleration barrel inoculation was optimized, and the semi-solid rheo-diecasting of button castings was successfully realized. The qualified die castings were obtained and no porosity defects were observed. The primary α -Al phase in the microstructure of the button semi-solid die casting is mainly spherical or granular. The die cast buttons can be processed by T6 treatment and welding.

Key words:

semisolid slurry; rheological die-casting; cloud computing; process optimization