

流量计主体压铸工艺数值模拟与优化

徐鹏辉

(新乡职业技术学院汽车技术系)

摘 要 基于流量计主体铸件结构,设计两种压铸浇注系统,采用 ProCAST 软件进行数值模拟。通过分析充型过程,凝固过程及产生的缩孔缺陷的位置和原因,选择一种较优的浇注系统并通过增加冷却水管方式进行工艺优化。结果显示,工艺优化后铸件缩孔缺陷减少,采用优化工艺进行实际生产,铸件表面无冷隔、裂纹等缺陷,满足要求。

关键词 流量计主体;压铸工艺;数值模拟;工艺优化

中图分类号 TG249.2;TP311 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.09.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Numerical Simulation and Process Optimization of the Die Casting Process
for Flow Meter Housing

Xu Penghui

(Department of Automotive Technology, Xinxiang Vocational and Technical College)

Abstract: Based on the casting structure, two casting systems were designed and simulated by ProCAST software. The filling process, solidification process and the reason and location of shrinkage were analyzed, then a optimized gating system was presented and the die casting process was optimized by adding cooling system. The result show that the defect of shrinkage is decreased obviously with optimized casting process. The actual product was produced with absence of cold shut or crack in the casting surface, meeting requirement.

Key Words: Flow Meter Body, Die Casting, Numerical Simulation, Process Optimization

数值模拟软件以流体力学、传热学、应力学等为基础,通过温度场、速度场、压力场相互耦合作用,有效地计算出温度变化梯度,预测缩孔和卷气产生的位置,从而对工艺进行优化,既降低了成本,又提高了生产效率^[1,2]。本课题采用 ProCAST 软件对某流量计主体铸件压铸工艺进行数值模拟,旨在通过模拟分析,获得优化的方案,为其应用提供参考。

1 产品介绍

某流量计主体铸件,材质为 ADC12 铝合金^[3],化学成分见表 1,其三维结构见图 1,外形尺寸为 185 mm×185 mm×127 mm,主要壁厚为 6 mm,最厚壁达 22 mm,铸件左、右、前、后、右后 5 个方向都有侧孔,需

设置抽芯机构,模具结构复杂,采用 1 模 1 腔成形。铸件要求表面无冷隔、裂纹、缩孔等缺陷;起模斜度为 1.5°~2°;耐水压在 4 MPa 以上。

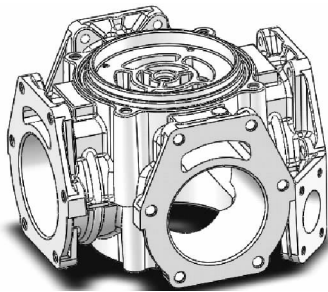


图 1 铸件三维造型示意图

Fig.1 Three-dimension diagram of the flow meter body

2 压铸工艺设计

2.1 分型面选择

采用压铸工艺,使用卧式热室压铸机,分型面选择在铸件外形尺寸截面最大处^[4];保证铸件的尺寸精度和

表 1 ADC12 铝合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of the ADC12 alloy %								
w _B								
Si	Cu	Mn	Ni	Zn	Mg	Pb	Fe	Al
9.5~11.5	2.0~3.0	≤0.50	≤0.30	≤2.90	≤0.10	≤0.10	≤1.0	余量

收稿日期:2021-03-26;修改稿收到日期:2021-04-29

作者简介:徐鹏辉,男,1988 年出生,讲师,河南新乡(453006),E-mail:2993956401@qq.com

引用格式:徐鹏辉. 流量计主体压铸工艺数值模拟与优化[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(9):1 176-1 181.

XU P H. Numerical simulation and process optimization of the die casting process for flow meter housing[J]. Special Casting &. Nonferrous Alloys, 2021, 41(9):1 176-1 181.

表面质量^[4],采用直线分型面,其位置设置在铸件圆形直径水平方向,这样铸件可以随着动模顺利脱出,铸件右后方向的侧孔在同一型腔形成可以保证精度,分型面示意图见图 2。

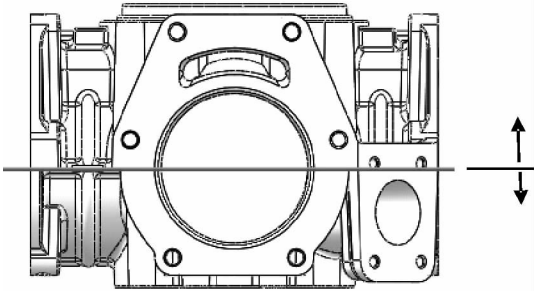


图 2 分型面示意图

Fig.2 Schematic diagram of parting surface

2.2 浇注系统设计

2.2.1 内浇口设计

铸件结构复杂,为了避免铸件在充型过程中发生飞溅现象,设置两种压铸工艺方案。方案 1:设置 7 个梯形内浇口,2 个内浇口位置分别设置在左、右侧孔台阶处,2 个内浇口设置在后侧孔的台阶处,3 个内浇口设置在铸件的后侧孔面上;方案 2:在铸件顶端设置 1 个圆形内浇口。内浇口的截面积计算如下^[5]。

$$A_g = \frac{V}{vt} \tag{1}$$

式中, A_g 为内浇口截面积, mm^2 ; V 为溢流槽和铸件体积, mm^3 ; v 为内浇口处金属液充填速度, m/s ; t 为充型时间, s 。压铸件平均壁厚为 6 mm,其充填时间推荐值为 0.056~0.064 s^[3],铝合金铸件一般常充填速度为 20~60 m/s,取 $t=0.06\text{ s}$, $v=40\text{ m/s}$,内浇口截面积 $A_g=327.5\text{ mm}^2$,壁厚 6 mm 铸件内浇口厚度一般为铸件壁厚的 40%~60%^[3],因此取内浇口厚度为 2.5 mm,长度为 131 mm。方案 1 内浇口在台阶位置的 4 个内浇口长度为 16 mm,在后侧孔面的内浇口长度分别为 22、23、22 mm。

2.2.2 横浇道与直浇道设计

根据内浇口形式,两种浇注系统的横浇道采用平直式结构,为了便于模具加工,减少热量损失,横浇道截面形状采用梯形,横浇道厚度为^[3]:

$$h = (1.5 \sim 2)a \tag{2}$$

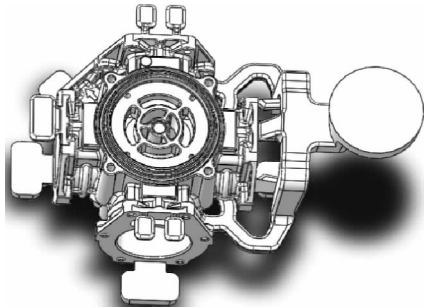
式中, h 为横浇道厚度,取 10 mm; a 为铸件平均厚度,为 6 mm。

直浇道尺寸与压室直径有关,压室直径为 90~110 mm,取直浇道直径为 90 mm,设置料饼厚度为 15 mm。

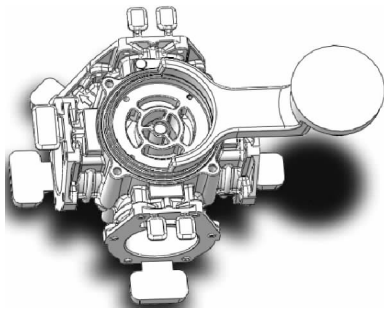
2.3 溢流系统设计

由溢流槽位置设计原则^[5]:①型腔附近不易排气区

域,铸件有 5 个侧孔,在充型过程中会产生气体,不易排出,在前、左、右 3 个侧孔圆形中心位置各设置一个圆形溢流槽,尺寸为 $\phi 40\text{ mm} \times 14\text{ mm}$,在底端各设置 1 个梯形溢流槽,尺寸为 $34\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 18\text{ mm}$,在顶端各设置 2 个小溢流槽,尺寸为 $23\text{ mm} \times 18\text{ mm} \times 6\text{ mm}$;在右后侧孔下方设置一个梯形溢流槽,尺寸为 $34\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$;②金属液最先填充部位,在铸件前侧孔面底部设置一个溢流槽,尺寸为 $34\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 18\text{ mm}$,图 3 为 2 种浇注系统的三维示意图。



(a) 浇注系统 1



(b) 浇注系统 2

图 3 2 种方案浇注系统三维示意图

Fig.3 Three-dimension diagram of the two casting systems

3 数值模拟与工艺优化

3.1 预处理

3.1.1 网格划分

将两种浇注系统三维造型以 .x_t 格式导入 Pro-CAST 软件中进行面网格划分,划分铸件网格尺寸为 2 mm,内浇口、溢流槽网格尺寸为 1 mm,模具网格尺寸为 10 mm,划分后浇注系统 1 共有 4 838 803 个单元格,浇注系统 2 共有 4 766 980 个单元格。

3.1.2 边界条件参数设置

边界条件参数设置:选择高压压力铸造方式;金属液从下往上填充,料饼在下方;模具选择 H13 钢;模具与铸件传热系数为 $1\,000\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ^[6];铸件浇注温度见表 2,取浇注温度为 630 ℃,模具预热温度见表 3,取模具预热温度为 170 ℃,压射速度计算见下式^[6],取

压射速度为 3.2 m/s;铸件冷却方式采用空冷。

表 2 铝合金浇注温度参考值(壁厚>3 mm)

合金种类	浇注温度/℃	
	结构简单	结构复杂
含 Si	590~630	610~630
含 Cu	600~640	620~650

表 3 铝合金模具预热温度参考值

Tab.3 Recommended value of mold preheating temperature of Al alloy		
壁厚/mm	模具预热温度/℃	
	结构简单	结构复杂
≤3	150~280	200~230
>3	120~150	150~180

$$v_1 = \frac{4A_2v_2}{\pi d^2}$$

(3)

式中, v_1 为铸件压射速度, m/s; A_2 为内浇口截面积,

m^2 ; v_2 为填充速度, m/s; d 为压铸机压室直径, m。

3.2 充型过程分析

浇注系统 1 铸件充型过程示意图见图 4。可以看出, 铸件充型 25% 时, 金属液从内浇口位置充填铸件右型腔, 上、下型腔, 见图 4a; 铸件充型 50% 时, 铸件右型腔充填完成, 铸件下型腔金属液发生飞溅导致其部分区域(白色圆圈)未填充而其他区域已经完成填充, 预测此区域产生卷气缺陷, 见图 4b; 铸件充型 75% 时, 铸件主型腔几乎充填完成, 金属液充填铸件的上、下型腔、并有少量金属液流向溢流槽, 见图 4c; 铸件充型 95% 时, 铸件基本充填完成, 金属液流向左、下型腔溢流槽。整个充型过程, 金属液从铸件的内浇口流向铸件右型腔、主型腔、上型腔、下型腔, 左型腔, 最后流向溢流槽, 在充填过程中, 有部分区域发生飞溅现象, 易会产生卷气缺陷。

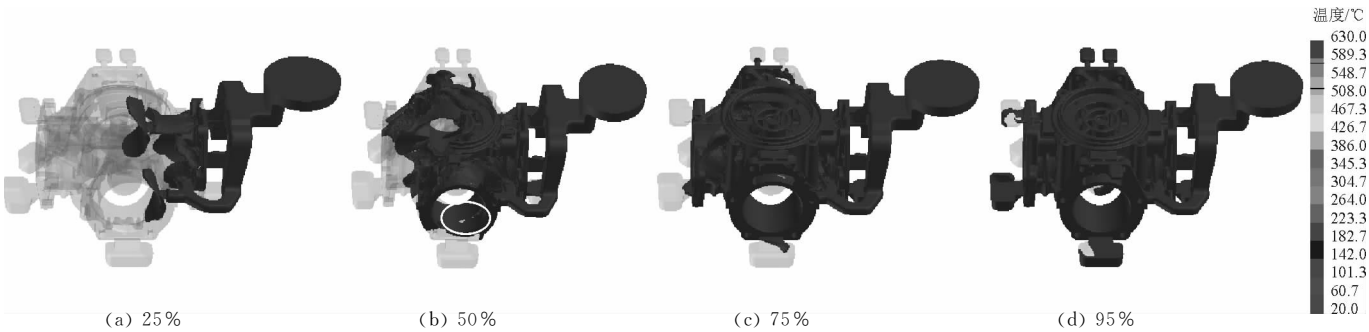


图 4 浇注系统 1 充型过程示意图

Fig.4 Schematic diagram of filing time of casting system 1

浇注系统 1 卷气含量分布见图 5。可以看出, 铸件在下型腔区域产生的卷气含量较高, 这是因为金属液在此区域发生飞溅现象, 金属液卷入大量的气体, 测量铸件产生气体含量为 1.74 g。

浇注系统 2 铸件充型过程示意图见图 6。可以看出, 铸件充型 25% 时, 金属液从主型腔顶端流入充填铸件上、下、右型腔, 见图 6a; 铸件充型 50% 时, 铸件的下、右型腔几乎充填完成, 金属液充填铸件左型腔, 少量金属液流向铸件的溢流槽; 铸件充型 75% 时, 铸件的上型腔几乎充填完成, 少量金属液流向上型腔的溢流槽, 见

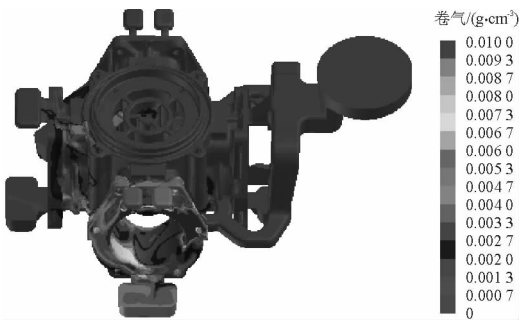


图 5 浇注系统 1 卷气示意图

Fig.5 Schematic diagram of air entrainment of casting system 1

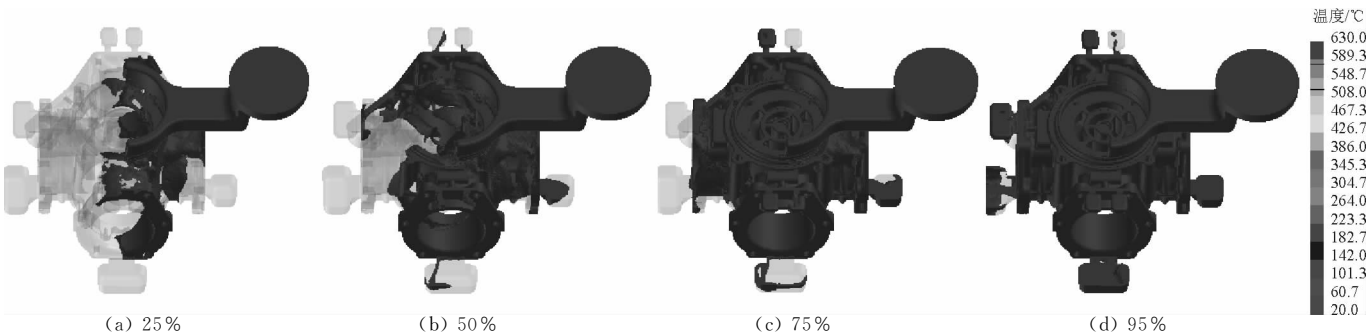


图 6 浇注系统 2 充型时间示意图

Fig.6 Schematic diagram of filling time of casting system 2

图 6c;铸件充型 95%,铸件几乎充填完成,金属液流向溢流槽,整个充型过程金属液流动平稳,无飞溅现象产生。浇注系统 2 产生的卷气气体分布见图 7,铸件在下型腔顶端产生少量的卷气,测量铸件产生卷气含量 0.30 g。

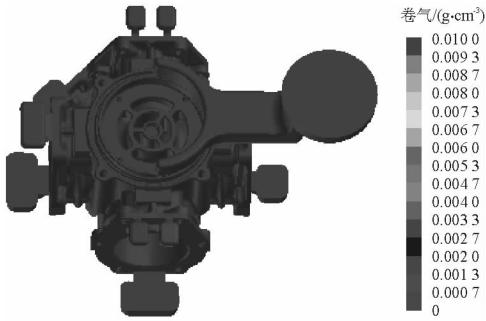


图 7 浇注系统 2 卷气示意图

Fig.7 Schematic diagram of air entrainment of casting system 2

3.3 凝固过程分析

图 8 为浇注系统 1 铸件凝固过程中液相分布图。

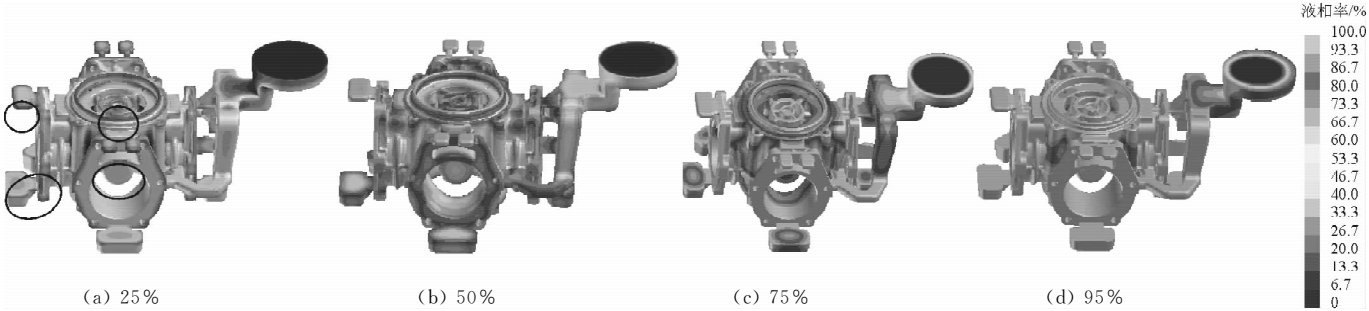


图 8 浇注系统 1 凝固过程液相分布图

Fig.8 The liquid phase distribution for the solidification process of casting system 1

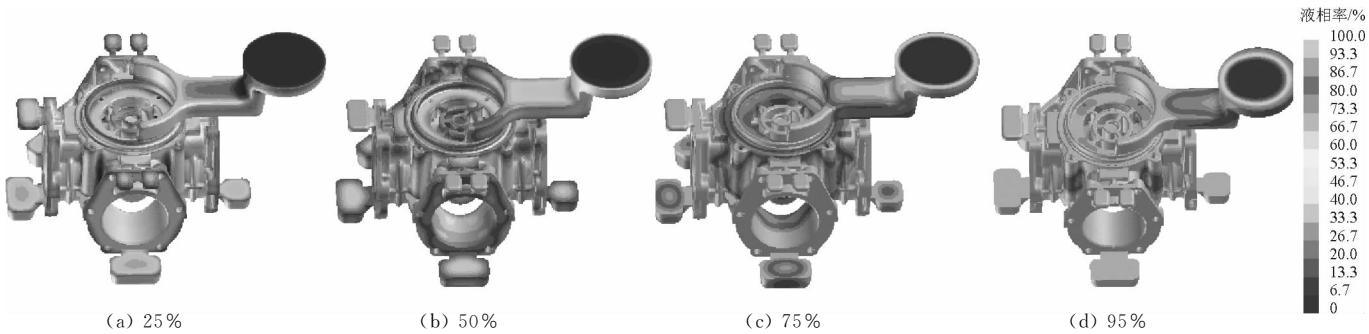


图 9 浇注系统 2 凝固过程液相分布图

Fig.9 The liquid phase distribution for the solidification process of casting system 2

缩,预测壁厚区域产生缩孔缺陷。

3.4 缺陷分析

浇注系统 1 产生缩孔缺陷示意图见图 10,可见缩孔缺陷主要集中在铸件主型腔壁厚 4 个区域,缩孔体积为 5.61 cm³,缩孔密集的 A、B 两处切面的缩孔率约为 85%,主要原因是铸件主型腔外侧的 4 处区域壁厚太大,在凝固过程中凝固速率慢,得不到金属液补缩,形成

由图 8a 可知,铸件凝固 25%时,内浇口区域已凝固,铸件不能得到横浇道和直浇道金属液的补缩,外轮廓区域开始凝固;铸件凝固 50%时,铸件外轮廓大部分区域已凝固,与主型腔相连的 4 个型腔还未完全凝固,见图 8b;铸件凝固 75%时,铸件的 4 个型腔外侧变为灰色,外侧区域已经凝固,主型腔壁厚区域为浅灰色,还未完全凝固,见图 8c;铸件凝固 95%时,除型腔 4 处壁厚区域还未凝固,其他部位几乎完全凝固,壁厚区域得不到金属液补缩,预测 4 处壁厚区域产生缩孔缺陷。

浇注系统 2 铸件凝固过程中液相分布图见图 9。由图 9a 可知,铸件凝固 25%时,内浇口与铸件顶端接触区域已凝固,横浇道和直浇道金属液不能补缩铸件,铸件主型腔壁厚区域还处于液体状态;铸件凝固 50%时,铸件外轮廓大部分区域已凝固,与主型腔相连的 4 个型腔还未完全凝固,见图 9b;铸件凝固 75%时,铸件 4 个型腔外侧已经凝固,主型腔壁厚区域还未完全凝固,见图 9c;铸件凝固 95%时,铸件型腔壁厚区域还有液相未完全凝固,此区域液相被孤立,得不到金属液补

细小的孔洞。

图 11 为浇注系统 2 产生的缩孔缺陷,与浇注系统 1 相同,缩孔缺陷主要集中在铸件主型腔壁厚 4 个区域,缩孔体积为 1.8 cm³,缩孔密集的 A、B 两处切面缩孔率为 80%。浇注系统 2 产生的缩孔缺陷比浇注系统 1 产生的缩孔缺陷少,原因是浇注系统 2 内浇口位置距离壁厚区域近,在凝固过程中得到横浇道和直浇道金属

液补缩比浇注系统 1 多,产生的孤立液相区域小。可见浇注系统 2 产生的卷气、缩孔缺陷少,浇注系统 2 更优。

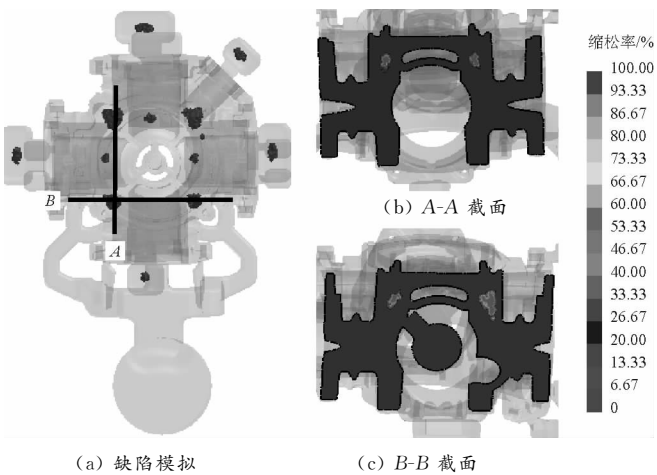


图 10 浇注系统 1 缩孔缺陷示意图

Fig.10 Schematic diagram of shrinkage defects of the casting system 1

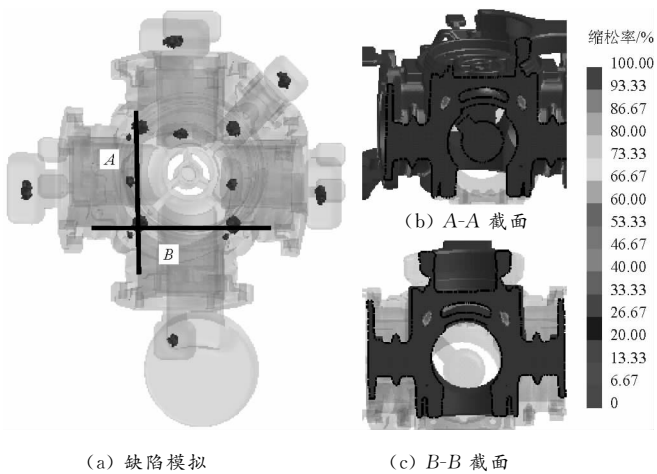


图 11 浇注系统 2 缩孔缺陷示意图

Fig.11 Schematic diagram of shrinkage defects of the casting system 2

3.5 工艺优化

铸件产生缩孔缺陷的主要原因是厚壁区域凝固速率慢,在凝固过程中金属液补缩不充分。为了提高铸件厚壁区域凝固速率,在铸件 4 个厚壁区域增加冷却水管对浇注系统 2 进行工艺优化。将优化后的三维造型以“.x_t”的形式导入 ProCAST 软件并设置边界条件,点冷却水道区域设置水冷,冷却水与模具传热系数为 $2\,000\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{[7,8]}$,其余参数设置不变。

图 12 为工艺优化后产生的缩孔缺陷示意图。可见铸件在拱形区域靠近内浇口厚壁处产生缩孔缺陷,产生缩孔体积为 0.12 cm^3 ,由剖面图知缩孔率只有 20%,工艺优化后,铸件厚壁区域凝固速率变大,产生孤立液相区域变小,产生的缩孔缺陷减少,而产生缩孔缺陷的位

置是流量计主体起固定作用的位置,并不影响实际使用性能。

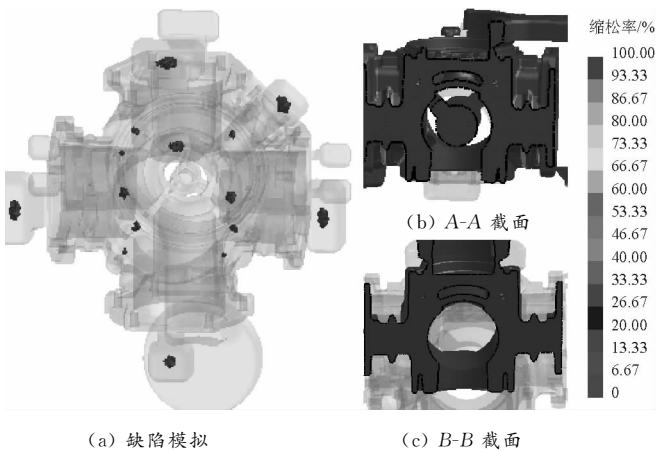


图 12 工艺优化铸件产生缩孔缺陷示意图

Fig.12 Schematic diagram of shrinkage defect of optimized casting

3.6 生产验证

采用优化工艺生产流量计主体,见图 13,可见铸件表面无冷隔、裂纹、缩孔等缺陷,对其进行耐压力测试,满足技术要求,验证了数值模拟准确性。



图 13 铸件生产实物图

Fig 13 Production drawing of the casting

4 结 论

(1)采用 ProCAST 软件对设计的某流量计主体压铸件 2 种浇注系统进行数值模拟,通过分析充型、卷气、凝固、缩孔缺陷,发现产生缩孔缺陷主要原因是铸件壁厚区域凝固速率慢,凝固过程中有孤立液相产生,在后续凝固过程中得不到金属液的补缩。对比两种浇注系统,浇注系统 2 更优。

(2)通过在铸件厚壁区域增加冷却系统进行工艺优化,结果显示铸件缩孔缺陷明显减少,且得到了生产验证,满足技术要求。

参 考 文 献

[1] 黄振东. 铝合金压铸件浇注系统与生产工艺参数优化设计[D]. 福建厦门:厦门大学, 2006.

宽带馈源产品一体化熔模精密铸造新工艺

刘正勇¹ 张永红¹ 林晨阳¹ 李甫迅¹ 刘月其²

(1.中国电子科技集团公司第二十九研究所工艺部; 2.成都瑞华机械制造有限公司)

摘 要 采用石膏型熔模精密铸造工艺铸造了宽带馈源一体化铸件,通过对其内部组织、尺寸精度、电性能、环境试验等进行测试,发现其测试值完全满足设计要求,并且一致性比相同机加件优良。该铸件整体制造工艺生产效率高、生产成本低。

关键词 宽带馈源;精密铸造;电性能

中图分类号 TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.09.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



New Process of Integration for the Wideband Feed Product by Investment Casting

Liu Zhengyong¹, Zhang Yonghong¹, Lin Chenyang¹, Li Fuxun¹, Liu Yueqi²

(1.Department of Technology, the 29th Research Institute of CETC;

2.Chengdu Ruihua Machinery Manufacturing Co., Ltd.)

Abstract: The integration of wideband feed components by investment precision casting was introduced. The internal microstructure, dimensional accuracy, electrical performance and environmental test of monolithic wideband feed products were tested, which fully meet design requirements, and have a superior consistency to the same machined products. In conclusion, the new process achieves higher efficiency and lower cost.

Key Words: Wideband Feed, Investment Casting, Electrical Performance

某宽带馈源产品截面呈梯形空心并具有拓展带宽的内芯结构(见图 1),属于高增益天线功能结构产品,被广泛应用于微波的能量和信息传输^[1]。为了保证宽带馈源产品的功率容量损耗和衰减较低、色散尽量小,要求所传输波型为单一模式,宽带馈源天线产品需具有比较高的内腔壁表面粗糙度(内壁 Ra 要求达到 1.6 μm)和尺寸精度(精度达±0.05 mm)。宽带馈源功能结构产品的制造技术在国内外报道很少,可借鉴和参考的资料很少。在国内通用的生产工艺是将产品拆解成 10 多个零部件,通过机械切削、线切割、钎焊等 100 多道生产工序,并用很多紧固件组合装配而成。该生产工艺复杂繁琐,效率低、周期长、成本高。另外,由于在制

造过程中要经过一百多道加工工序,会产生较大的加工累积误差,产品品质一致性较差;采用紧固件连接,会严重降低宽带馈源产品密封性和结构整体性;而且焊接外形不美观,钎剂会溢流到内腔产生堆积难以清除,从而导致部分成品报废。

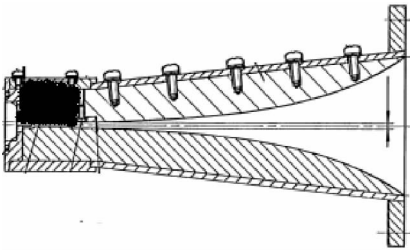


图 1 传统宽带馈源机加工件
Fig.1 The traditional wideband feed products

收稿日期:2020-12-05;修改稿收到日期:2021-02-15

第一作者简介:刘正勇,男,1968 年出生,高级工程师,成都(610036),E-mail:Liuzhyong@163.com

引用格式:刘正勇,张永红,林晨阳,等. 宽带馈源产品一体化熔模精密铸造新工艺[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(9):1 181-1 183.

LIU Z Y, ZHANG Y H, LIN C Y, et al. Newprocess of integration for the wideband feed product by investment casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(9):1 181-1 183.

[2] DINI H, ANDERSSON N E, JARFORS A E W. Effect of process parameters on distortion and residual stress in high-pressure die cast AZ91D components after clean blasting and painting[J]. International Journal of Metal Casting, 2020, 15(1): 18-20.

[3] 江昌勇. 压铸成形工艺与模具设计[M]. 北京:北京大学出版社, 2012.

[4] 王鹏驹,殷国富. 压铸模具设计师手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.

[5] 黄勇,黄尧. 压铸模具设计实用教程[M]. 北京:化学工业出版社, 2011.

[6] 张芳. 阀体压铸工艺设计及优化[J].特种铸造及有色合金, 2020, 40(12): 1 353-1 356.

[7] 徐秋湘,赵占西. 工艺参数对铝合金梯级铸件压铸过程的影响[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(5): 518-521.

[8] 张国强,赵占西,勾健,等. 壳体压铸工艺设计及优化[J].铸造, 2020, 69(5): 501-505.

(编辑:张正贺)