

# 流量计阀体精铸工艺设计

徐贵强 王立新 秦晓朋 武志勇 郑蕊  
(石家庄盛华企业集团有限公司)

**摘要** 针对流量计阀体熔模铸件要求内部组织致密、流道尺寸精度高、流道表面粗糙度低等,采用 ProCAST 软件对其凝固过程进行数值模拟,优化组树工艺,保证铸件内部品质。采用水溶蜡芯配合制壳中封填砂工艺,保证流道尺寸及表面品质,从而得到优质铸件,缩短开发周期,降低试制成本。

**关键词** 流量计阀体;数值模拟;水溶蜡芯

**中图分类号** TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.07.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Investment Casting Process Design of Flowmeter Valve Body

Xu Guiqiang, Wang Lixin, Qin Xiaopeng, Wu Zhiyong, Zheng Rui  
(Shijiazhuang Shenghua Group Co., Ltd.)

**Abstract:** Aiming at requirements of dense internal microstructure, flow channel with high dimensional accuracy and high surface roughness for investment castings of flow metervalue body, the liquid metal solidification process was simulated by ProCAST software, and the assembling process of wax tree was optimized to ensure the internal quality. Meanwhile, water soluble core was adopted to coordinate with filling process in shell to ensure the flow channel size and surface quality, which helps to shorten the development cycle and reduce the cost of trial production.

**Key Words:** Flowmeter Valve Body, Numerical Simulation, Water Soluble Core

液体流量计是用于测量密封管道中液体、气体、蒸汽流量的精密仪表,由于检测元件密封在检测体内,且内部无可动部件,无需进行现场维护,因此被广泛用于纺织印染、石油、化工、冶金制药、热电、造纸和消防工业

收稿日期:2022-08-15;修改稿收到日期:2022-10-25

第一作者简介:徐贵强,男,1980 年出生,工程师,石家庄(050800),E-mail:xuguiqiang1980@163.com

引用格式:徐贵强,王立新,秦晓朋,等. 流量计阀体精铸工艺设计[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(7):970-973.

XU G Q, WANG L X, QIN X P, et al. Investment casting process design of flowmeter valve body[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(7):970-973.

对粒子数判断。

(2)接近辐条的轮辋部位冷隔生成量几乎为 0,生成冷隔的可能性较小。

(3)对比发现模拟结果与试验结果中冷隔的生成位置一致。

### 参 考 文 献

- [1] 蒋德平,姚宗湘.压铸镁合金件冷隔缺陷的分析及对策[J].铸造技术,2016,37(11):2 518-2 520.
- [2] 杨群收,康晋辉.铸件产生冷隔的原因及防止措施[J].金属加工(热加工),2021(6):108-110.
- [3] 王荣,王维昌.铸件浇不足和冷隔缺陷的成因及防止措施[J].金属加工(热加工),2008(17):60-62.
- [4] CAO L, LIAO D M, SUN F, et al. Numerical simulation of cold-lap defects during casting filling process[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 97(5-8):2 419-2 430.
- [5] 曹流.铸造充型过程中成形类缺陷演化机理及数值模拟研究[D].武汉:华中科技大学,2018.
- [6] 薄延强,王晨晨,王涵,等.基于 SPH 法纯镁包套等通道挤压三维数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2019,39(11):1 198-1 201.
- [7] 宋婷婷,薄延强,牛晓峰,等.基于 SPH 法的 AZ31 镁合金 BP-ECAP 过程三维数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2021,41(2):219-222.
- [8] COLAGROSSI A, LANDRINI M. Numerical simulation of interfacial flows by smoothed particle hydrodynamics[J]. Journal of Computational Physics, 2003, 191(2):448-475.
- [9] GRENIER N, ANTUONO M, COLAGROSSI A, et al. An hamiltonianinter face SPH formulation formulti-fluid and free surface flows[J]. Journal of Computational Physics, 2009, 228:8 380-8 393.
- [10] 赵静雨.基于光滑粒子流体动力学的铸造充型过程三维数值模拟[D].太原:太原理工大学,2020.

(编辑:刘晨辉)

的计量管理及过程控制。在流量计中,阀体是除了传感器之外最重要的部件,内部有复杂且不规则的流道,如采用管材焊接而成,内部存在接头缝隙导致在液体流过时出现紊流而导致测量误差增大。精密铸造可直接形成复杂流道且流道光滑无缝隙,保证液体流动顺畅,无紊流,从而大大增加了计量的准确度。

精密铸造能近净成形精密复杂铸件<sup>[1-4]</sup>,广泛用于军工、航空航天、石油化工、医药和食品等领域。

精密铸造工艺常通过试错法进行设计,需耗费大量的人力物力,增加开发成本。ProCAST 软件能够快速模拟铸造浇注过程及凝固过程<sup>[5-11]</sup>,可有效、快速、准确地对浇注系统进行数值模拟,并根据模拟结果进行工艺优化,从而缩短开发周期,降低试制成本,稳定铸件品质,提高开发效率。

1 浇注系统的初始工艺设计

1.1 铸件结构分析

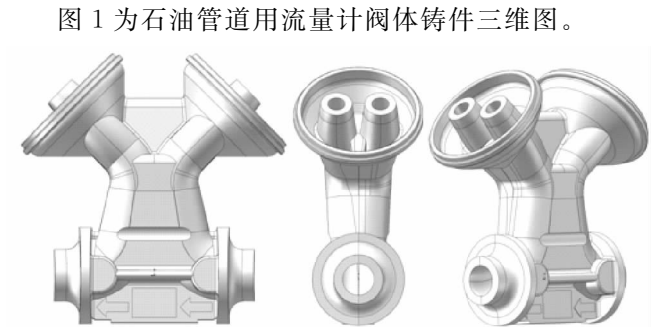


图1 流量计阀体铸件  
Fig.1 Flowmeter valve body

阀体铸件轮廓尺寸为 150 mm×170 mm×100 mm,壁厚最厚为 45 mm,最薄为 3 mm,质量为 3.85 kg。材质为 CF8M 奥氏体不锈钢,其成分见表 1。生产发现,在铸件厚大处易出现缩孔、缩松缺陷,薄壁内部存在层状缩松缺陷。选用热节圆比例法计算内浇道尺寸<sup>[1,3,11]</sup>。根据内浇道位置,选用侧注、封闭式浇注系统。初步设计铸造工艺方案见图2,每组两件,在厚大

部位设置 2 个内浇道,内浇道尺寸为 18 mm×45 mm,内浇道总截面积为 1 620 mm<sup>2</sup>,直浇道截面积为 2 200 mm<sup>2</sup>。薄壁处易出现浇不足、冷隔等缺陷,为此将薄壁处放置在下部,保证浇注时的充型速度及补缩压头。

表 1 CF8M 不锈钢的化学成分

| Tab.1 Chemical composition of CF8M stainless steel % |       |       |       |       |       |      |       |    |
|------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----|
| w <sub>B</sub>                                       |       |       |       |       |       |      |       |    |
| C                                                    | Si    | Mn    | P     | S     | Cr    | Ni   | Mo    | Fe |
| ≤0.08                                                | ≤1.50 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 17~21 | 8~11 | ≤0.50 | 余量 |

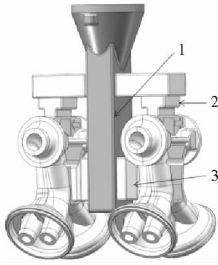


图2 工艺方案  
Fig.2 Process scheme

- 1.直浇道(40 mm×55 mm) 2.内浇道 1(18 mm×45 mm)
- 3.内浇道 2(18 mm×45 mm)

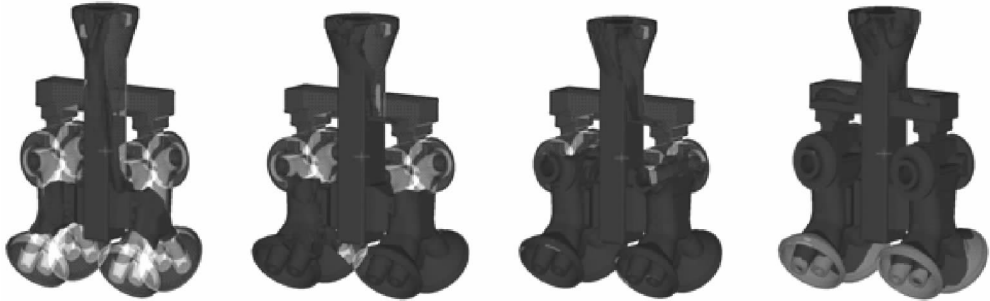
1.2 数值模拟分析

1.2.1 数值模拟参数设置

铸件材质选用软件中的 Steel\_Stainless\_Austenitic 材质,其液相线温度为 1 449 ℃,固相线温度为 1 397 ℃。型壳材料为莫来砂,模拟选用 REFRACTORY\_Mullite,型壳厚度为 8 mm。铸件-型壳间的界面传热系数为 500 W/(m<sup>2</sup>·K)。型壳选择空冷(Air\_cooling),传热系数为 10 W/(m<sup>2</sup>·K)。浇注温度为 1 660 ℃,型壳焙烧温度为 1 100 ℃。

1.2.2 充型过程分析

图 3 为铸件充型不同时段钢水的充型状态。可以看出,在充型时钢水从内浇道 2 先充入型壳,然后进入薄壁处,再以底注式充满整个型腔,充型时间为 6.5 s。总体充型平稳,无明显卷气,符合充型要求。



(a) 充型 1.5 s (b) 充型 3 s (c) 充型 4 s (d) 充型 5.5 s

图3 不同时间的充型状态  
Fig.3 Filling status at different time

1.2.3 凝固过程分析

图 4 为阀体铸件不同凝固时间的温度场。可以看

出,浇注后铸件中间最薄处最先凝固,然后是左、右两个法兰盘及底部法兰盘凝固,最后是两侧法兰盘与中间相

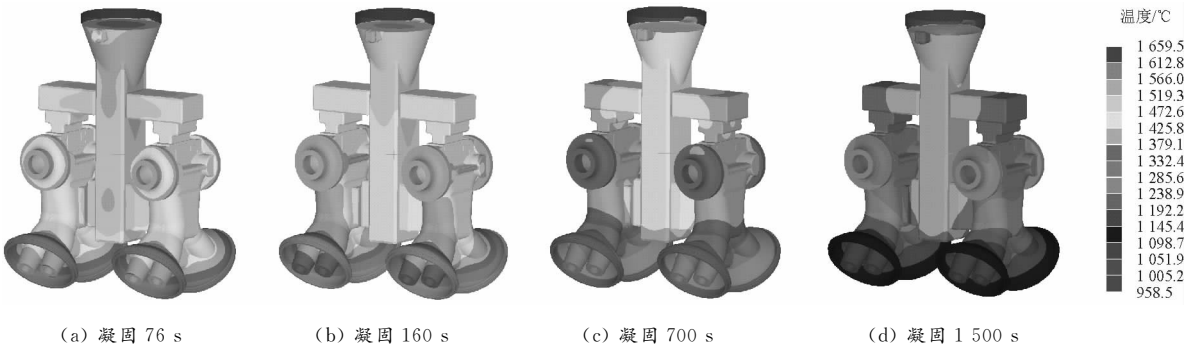


图 4 各时间段铸件的温度场分布  
Fig.4 Temperature field distribution at different time

连处及靠近内浇道的法兰盘凝固。

1.2.4 缩孔、缩松倾向分析

图 5 是孔隙率设定为 2.5%时的零件缩孔、缩松位置的预测。可以看出,缩孔、缩松集中出现在直浇道上,铸件上没有缩松倾向,说明此组树工艺方案符合要求。

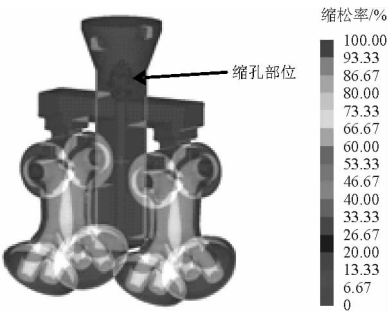


图 5 缩孔、缩松位置  
Fig.5 Location of shrinkage cavities and porosities

2 初始工艺设计

根据铸件结构,中间有对称弯曲,流道直径最大处为  $\phi 22\text{ mm}$ ,最小处直径只有  $\phi 11\text{ mm}$ ,弯曲角度达到  $140^\circ$ ,制作蜡模时用传统金属型芯无法成形,因此采用陶芯成形。陶芯制作简单,且大大降低制壳难度。由于内部流道为产品的关键特性,因此对形成流道的陶芯尺寸及位置要求严格,为保证生产陶芯的稳定性,根据使用性能设计、制作陶芯检具(见图 6),对陶芯成品进行 100% 检验。在设计射蜡模具时,陶芯放置在模具型腔时由于中间部位与芯头不在同一直线上,会出现陶芯向下偏转,导致蜡模中陶芯位置出现偏移而报废。所以,在陶芯易出现偏转的位置增加芯杆支撑,芯杆形成的孔洞在蜡件成形后用软蜡填平并修整。由于陶芯自身韧性很差,为防止芯头在模具射蜡时被模具压坏,射蜡时陶芯芯头处增加 O 型圈来调整配合间隙(见图 7)。

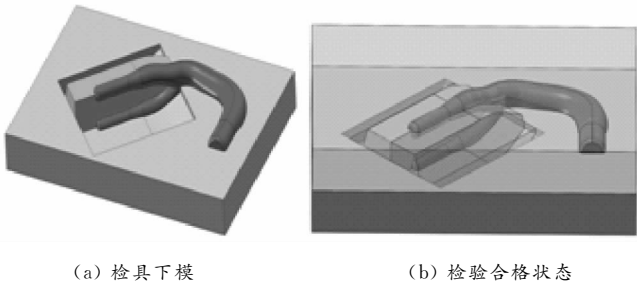


图 6 陶芯检具示意图  
Fig.6 Schematic diagram of ceramic core gage

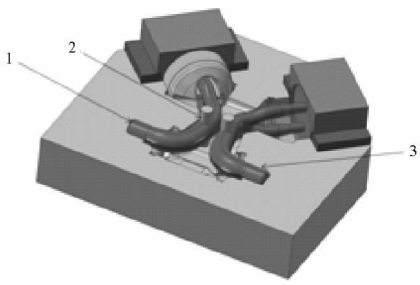


图 7 模具设计示意图  
Fig.7 Design diagram of mold  
1.陶芯 2.陶芯定位 3.O 型圈

3 工艺方案验证及改进

根据初步工艺设计方案制作蜡模及陶芯模具,在射蜡过程中发现有 30%~40% 的陶芯断裂。对铸件进行检验发现无明显的缩孔、缩松等缺陷,但流道内存在薄片状多肉,导致流道不通及流道内表面凸起、凹坑、气孔等表面缺陷(见图 8),缺陷比例达 60%。

经过分析,发现缺陷都与陶芯有关<sup>[12-13]</sup>。首先蜡件断芯芯头部位均不同程度变形,陶芯较脆,在射蜡时,模具芯头定位尺寸一定,导致合模时陶芯受力产生断裂,这是致使蜡件废品率高的主要原因。其次,由于陶芯材质主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,而制壳采用的耐火材料是莫来砂粉,两种材质在高温焙烧时收缩不一致,导致陶芯在焙烧过

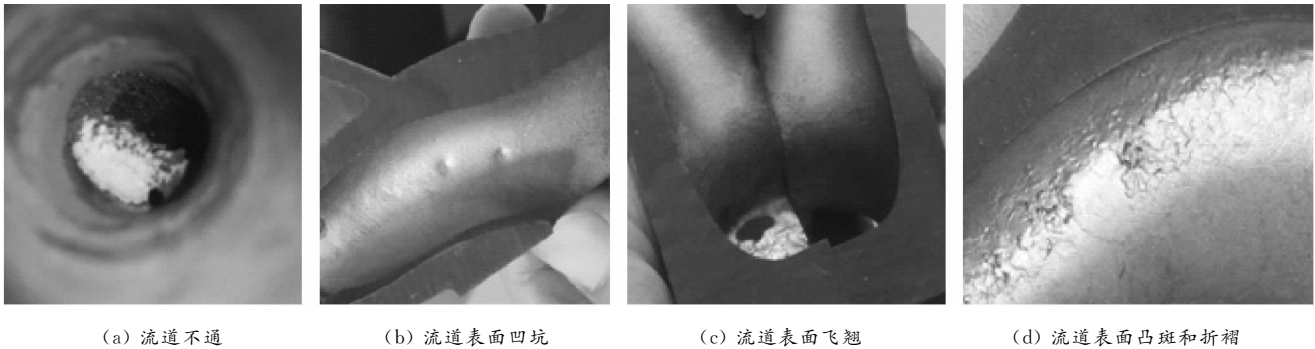


图 8 流道内缺陷照片  
Fig.8 Images of defects in the runner

程中出现裂纹。浇入钢水后,钢水进入陶芯裂纹处,形成铁片,导致流道不通。另外,由于陶芯组织不致密,造成陶芯形成的流道表面出现凹凸不平缺陷。

因此,采用水溶蜡芯替代陶芯。水溶蜡芯工艺简单,且水溶蜡芯不经过二次烧结,减少了水溶蜡芯的变形,从而解决了射蜡时出现的断芯缺陷。采用水溶蜡芯工艺后增加了制壳工序的操作难度,主要是流道内需要逐层制壳,不易干燥,且容易出现制壳浆料堆积,型砂挂砂不到位,流道内形成空腔,浇入钢水后,导致钢水进入空腔,最终形成内漏而报废。为避免此缺陷,在制壳时采用针对细长孔制壳的中封填砂及细长孔干燥装置技术,保证流道内型壳涂挂紧实,干燥彻底。

改进后的工艺方案投入生产,射蜡废品率降至 2% 以下,且流道内光滑,形状稳定,经过剖切、激光扫描,轮廓度符合图纸设计要求。在生产中铸件品质稳定,工艺出品率为 53%,合格率为 95%,大大降低了生产成本。

4 结 语

通过计算机数值模拟可有效分析铸造方案中铸造缺陷可能出现的部位,并根据模拟结果进行工艺改进,保证了工艺方案的合理性,提高工作效率。采用水溶蜡芯,对于要求严格且流道直径较大,流道弯曲曲率较大的铸件效果要优于陶芯,且生产周期较陶芯工艺大大缩短,降低了成本,合格率大大提高。

参 考 文 献

[1] 中国机械工程学会铸造分会.铸造手册(第 6 卷)特种铸造[M]. 北京:机械工业出版社,2003.  
[2] 姜不居.实用熔模铸造技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2008.  
[3] 姜不居.特种铸造[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.  
[4] 中国铸造协会.熔模铸造手册[M].北京:机械工业出版社,2000.  
[5] 李日.铸造工艺仿真 ProCAST 从入门到精通[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.  
[6] 熊守美,许庆彦,康进武,等.铸造过程模拟仿真技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.  
[7] 刘晶峰,李洪友,江开勇.大型铸钢件凝固过程数值模拟[J]. 铸造技

术, 2011, 32(4): 443-445.

[8] 徐贵强,鞠富,郝素斌,等.精铸支架浇不足缺陷解决方案[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(2): 180-182.  
[9] 鞠富,徐贵强,郝素斌,等.某阀体浇注系统工艺设计[J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39(11):729-731.  
[10] 徐贵强,郑蕊,包学春,等.薄壁汽车零部件精铸工艺设计[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(7): 1 229-1 231.  
[11] 孙丹,徐新成,汪东红,等.基于 3D 打印的叶轮快速熔模铸造工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(4): 1 172-1 174.  
[12] 《航空制造工程手册》编委会.航空制造工程手册特种铸造[M]. 北京:航空工业出版社, 1994.  
[13] 陈冰,王义虎.熔模铸件缺陷分析及对策[A].中国铸造协会精铸年会论文集[C].西安, 2007.

(编辑:刘卫)

镁市先扬后抑 镁价承压回落——  
5 月份镁市场回顾及展望

2023 年 5 月份,国内镁日均价波动区间 2.15 万~3.00 万元/t,月均价 25 375 元/t,同比下降 24.81%。1~5 月份,镁平均价格为 22 676.92 元/t,同比下降 43.6%。“五一”国际劳动节后的镁市场,受兰炭整改政策的影响,工厂减产,报价坚挺在 2.4 万元/t,虽然下游观望情绪浓厚,但采购有所跟进,镁市场持稳运行。临近 5 月中旬,原镁主产区陕西省榆林市府谷县召开中央环保督察典型案例兰炭产业问题整改专题推介会,会议指出要严格按照中央环保督察组的整改要求,坚决完成整改任务。受此影响,工厂惜售挺价,镁价快速上涨,报价一度高达 3 万元/t,但下游用户对高价镁的接受度有限,市场有价无市、成交清淡。随后,工厂根据市场整体需求情况,灵活松动报价,镁市场高位盘整运行。5 月下旬,镁厂虽开始停炉改造,但下游用户需求疲软,加之外单较少,市场承压仍重,镁价回落至 5 月初的 2.4 万元/t。5 月末,下游需求持续低迷,成本端又受大宗商品价格普降的影响,硅铁价格回落,镁市场缺乏成本支撑,下行压力突显,镁价持续走低,镁市整体呈弱势运行。

截至 5 月底,山西地区厂商主流报价 2.17 万~2.19 万元/t,宁夏地区报价 2.15 万~2.17 万元/t,陕西地区报价 2.15 万~2.17 万元/t。

出口方面,5 月份,FOB 价格较去年同期下跌,月均价 3 831.25 美元/t,同比下降 27.93%;1~5 月份,FOB 均价 3 485.9 美元/t,同比下降 46.8%。截至 5 月底,部分厂商、贸易商 FOB 出口报价 3 230 美元~3 260 美元/t。

(摘自中国有色金属报)