● 特种铸造 Special Casting ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.11.009

一种大口径闸阀阀体复合精密铸造工艺

邵啊新,周东子
(中鸿阀门股份有限公司,河北 邯郸 056700)

摘　要:较大口径闸阀铸件水玻璃精密铸造及砂型铸造存在各种质量问题。随着时代的发展,铸钢阀门市场对产品质量要求的进一步提高、市场竞争的加剧,对产品的质量和生产周期要求越来越严格。采用计算机模拟软件对较大口径阀体铸件进行了工艺模拟,并采用硅溶胶+水玻璃复合精密铸造进行了试制。结果表明,成功开发了 16″-150LB 阀体铸件,产品质量达到要求,保证了交货周期。

关键词:铸钢;大口径闸阀;阀体;计算机模拟;复合型精密铸造工艺

中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)11-0964-05

Compound Precision Casting Process for Large Caliber Gate Valve Body

SHAO Axin, ZHOU Dongzi
(Zhonghong Valve Co., Ltd., Handan 056700, China)

Abstract: There are various quality problems in sodium silicate precision casting and sand casting of large caliber gate valve castings. With the development of the Times, the cast steel valve market on the product quality requirements to further improving, the intensification of market competition, the quality of products and production cycle requirements are more and more strict. The process of large caliber valve body casting was simulated by computer simulation software, and precision casting by silica sol+sodium silicate composite was carried out. The results show that 16″-150LB valve body casting is successfully developed, the product quality meets the requirements, and the delivery cycle is guaranteed.

Key words: cast steel; large caliber gate valve; valve body; computer simulation; complex precision casting process

随着现代工业化发展的进程,阀门作为一种通用机械零件被广泛应用于石油、化工、冶金、核电、化纤、城建、电力、建材、水泥等行业。根据阀门控制、输送介质及用途的不同,其工作压力从 1.3×10^{-3} MPa 到 103 MPa,工作温度由 -269 ℃到 1 430 ℃。根据工作环境不同,要求其具有良好的气密性,并具有一定的强度、刚度、耐蚀性能。因此,工业阀门的阀体、阀盖等主要零配件多选用铸钢或铸铁,大多采用砂型铸造、硅溶胶熔模铸造、水玻璃熔模铸造、覆膜砂铸造、消失模铸造等方式进行制造。

公司现有 2 条树脂砂铸造生产线,主要用于生产大口径、中高压阀门铸件;硅溶胶制壳线 1 条,主要用于生产中小口径、中低压不锈钢阀门铸件;水玻璃制壳线 3 条,主要用于生产中小口径、中低压碳钢阀门铸件;覆膜砂射芯机及 1 条 46 工位消失模铸造生产线,主要用于生产铸铁产品。根据铸件产品结构,目前口径为 DN350-450 压力 PN16/25 的国标闸阀及口径 304.8~406.4 mm 压力 150/300LB 的美标闸阀等较大口径中低压铸件仍以外协采购为主,但由于铸造原材料、人工成本等持续上涨,环境保护政策加强、力度加大,铸件价格水涨船高,采购成本较大幅度提高,采购交货期不能保证;另外,由于该系列产品大多供应商采用的是水玻璃精密铸造或砂型铸造,尺寸精度、表面质量均不理想,质量参差不齐,给成品阀加工生产带来很大困扰,结合现状,公司决定自主生产开发较大口径闸阀阀门铸件。

1　铸造方式的确定

首先,选用 406.4 mm-150LB 大口径美标闸阀阀体作为首批开发试制产品,由于该型号阀体体型相对较大,但壁厚相对较薄,浇注时钢液在型腔内流动性不好、补缩效果差,因此需较高的浇注温度,对造型材料要求高。若选用树脂砂型铸造,易产生错型、补缩不足、表面沾砂、浇不足等问题,造成铸件尺寸精度低、壁厚不均、内部缩松、表面质量差等质量

收稿日期:2021-03-21
作者简介:邵啊新(1986—),河南淮阳人,工程师,本科.主要从事精密铸造技术方面的工作.电话:15038582417,Email:shaoaxin_luobei@163.com

问题；熔模精密铸造为整体蜡模涂覆耐火材料,脱蜡后制成壳型经高温焙烧后热壳进行浇注,具有铸件整体性好,型壳强度高、耐冲刷、钢液流动好等优点,能够保证铸件尺寸精度、表面质量、薄壁铸件内部致密度,特别有利于薄壁复杂件的生产。因此,分析决定选用熔模精密铸造的方式进行生产试制。根据以往经验,该产品浇注温度偏高,一般的水玻璃型壳材料易造成表面黏砂，而采用硅溶胶制壳工艺,型壳成本过高,根据现有生产条件决定采用硅溶胶+水玻璃复合型壳工艺进行产品试制。

2　工艺设计

2.1　铸件情况

该产品外形尺寸为 750 mm×420 mm×600 mm,主体壁厚 17.5 mm，两侧流道法兰各均布 16 个 ϕ26 mm 螺孔，中口法兰均布 20 个 ϕ26 mm 螺孔,见图 1。该产品材质为 WCB 碳素钢，钢水流动性好,为了防止钢液在法兰螺栓孔处形成紊流,使钢液在型腔内保持良好的流动性,利于排气、除渣,决定将三个法兰上的螺栓孔全部铸实,法兰加工量单边设置 1.5 mm,阀座面放置 2 mm 加工量,根据易熔模料生产经验,WCB 材质阀体铸件缩尺整体设置为 2.5%,铸件单件毛重 300 kg,见图 2。

图 1　阀体零件示意图
Fig.1　Schematic diagram of valve body parts

2.2　浇冒口设计

精密铸造因其型腔为模壳结构，散热较快,模

图 2　阀体铸件示意图
Fig.2　Schematic diagram of valve body casting

壳强度高,耐钢液冲刷能力强。为了提高浇冒口的补缩效率,一般采用顶注式浇冒口系统,这样可以保证浇冒口内温度高于铸件温度，形成自上而下的温度梯度。这有利于补缩,提高浇冒口的补缩效率,减少铸件缩松、缩孔等缺陷的产生。

经分析，该铸件热节区位于三个法兰及中间阀座部位,如图 3 所示。为了保证铸件质量,应将浇冒口设置在厚大热节区,浇注时将铸件法兰纵向设置,以利于下部热节重力补缩。为保证冒口下补缩通道畅通，在冒口大小确定前，需在冒口下部先增设补贴,按照 1:1.1 热节滚圆法确定补贴斜度,如图 4(a)所示;中间阀座部位设置冒口座,将两侧热节区通过冒口座相连接,并将热节引至冒口座区域,如图 4(b)所示。

将铸件按照热节区分为四部分设置冒口，如图 5 所示,浇冒口重 85 kg,共需钢液 385 kg,工艺出品率 78%;钢液自冒口内浇入型腔,不再单设浇道,浇注时先从单侧法兰冒口浇入,待钢液上升至冒口 1/3 处时,再改由另外两个法兰冒口补浇,这样能够保证冒口内钢液温度高于铸件型腔内钢液温度，使热节处自上而下形成温度梯度,提高冒口的补缩效率,保证铸件内部质量。

铸件冒口设计完成后,采用计算机 CAE 模拟软件模拟确认工艺可行性。铸造浇注的第一股金属液进入型腔对铸件质量影响特别重要,经过模拟分析,图

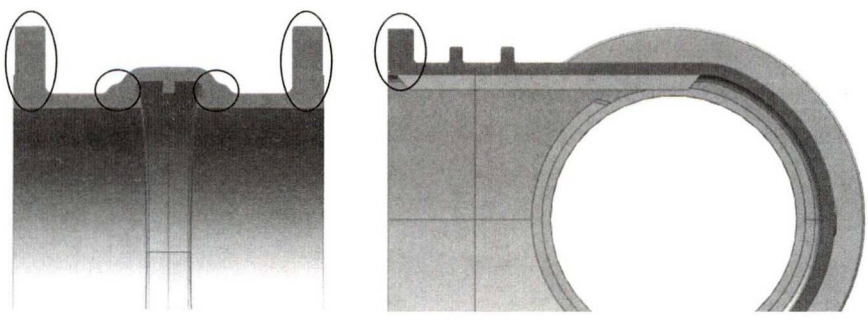
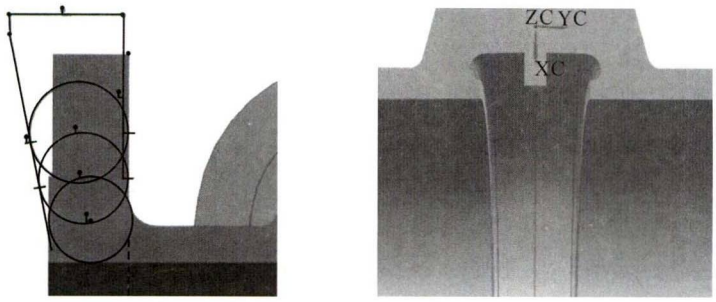


图 3　阀体热节分布区域示意图
Fig.3　Schematic diagram of distribution area of valve body hot joint



(a)热节滚圆法确定补贴斜度　　(b)中间阀座部位设置冒口座

图 4 用热节圆法加设冒口下补贴

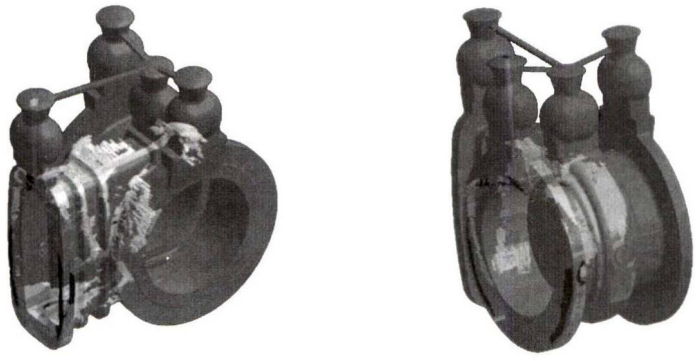
Fig.4 Add pad under riser with hot spot circle method

图 5 阀体浇冒口系统示意图

Fig.5 Schematic gating and riser system for the valve body casting

6 (a) 所示为从中口法兰冒口浇注时金属液分布情况，可以看到金属液弥散严重，易使金属液在型腔内二次氧化，形成氧化渣，造成铸件内部质量问题；图6(b)所示为从一侧流道法兰冒口浇注时金属液分布情况，可以看到金属液形成自上而下的稳定流态，不易造成二次氧化渣的卷入，所以选择从流道法兰冒口开始浇注。

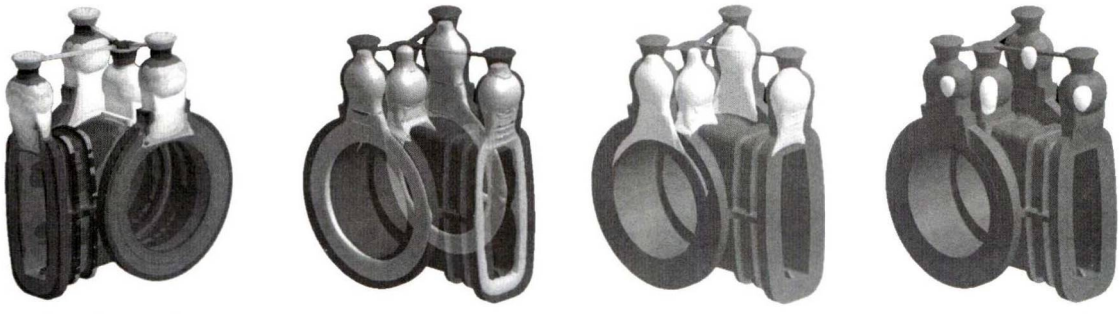
如图 7(a)所示，可以看到铸件温度分布情况，冒口内温度最高，铸件温度较低，能够形成自冒口至铸件的温度梯度，满足顺序凝固原则；通过图 7(b)(c)(d)，我们可以直观的观察到铸件凝固过程完全符合顺序凝固原理，补缩通道畅通，冒口最后凝固，能够保证铸件内部质量，防止缩松、缩孔缺陷的产生，确



(a)从中口法兰冒口浇注时金属液分布情况　　(b)从一侧流道法兰冒口浇注时金属液分布情况

图 6 浇注过程模拟

Fig.6 Simulation results of pouring process



(a)铸件温度分布情况　(b)开始凝固　(c)凝固尾声　(d)最后凝固阶段

图 7 CAE 模拟铸件温度分布及凝固过程

Fig.7 CAE simulation of casting temperature distribution and solidification process

定工艺可行。

3 制壳

精铸模壳采用硅溶胶面层+水玻璃加固层复合制壳工艺制作，这样既保证了模壳强度、耐火度及内腔光洁度要求，又降低了制壳成本。

面层采用硅溶胶涂料，配熔融石英粉，撒熔融石英砂，熔融石英砂因其 SiO_2 纯度高，具有良好的耐高温性能。又因其是经过高温电熔后二次加工制成，比普通型砂、粉具有更好的高温稳定性，热膨胀系数低，模壳稳定，不沾砂，铸件易脱壳，表面质量好，价格比锆英砂便宜。因此，采用熔融石英砂、粉作为面层制壳材料；过度层采用硅溶胶涂料，莫来砂作为型砂；由于硅溶胶制壳成本高、硬化周期长。为了节约成本、减小制壳周期，加固层改用水玻璃涂料制壳工艺，高铝砂作为加固层型砂，硬化液采用结晶氯化铝溶液。

制壳各层涂料粘度及型砂粒度要求见表 1。

脱蜡采用热水池脱蜡的方式，低温模料经 90~98 ℃热水加热熔化后借助浮力脱离模壳。脱蜡后的型壳转运至模壳焙烧炉，进行高温焙烧，进一步提高模壳强度，去除模壳内水分、残余蜡料、有机物等增加模壳透气性。

表1 大型碳钢精铸工艺各层涂料及型砂要求
Tab.1 Coating and molding sand requirements for investment casting process of large carbon steel

制壳参数	面层	过渡层	加固层
浆料粘度(s)	55~65	60~70	50~60
型砂名称	熔融石英砂	莫来砂	高铝砂
型砂型号(目)	50~100	30~60	10~20
制备层数(层)	2	2	4

4 熔炼、浇注

铸件材质为 WCB 碳素钢，执行 ASTM A216 标准，结合该材质力学性能、焊接性能要求及我司铸件加工情况，化学成分内控要求如下表 2。

表2 化学成分要求 w(%)
Tab.2 Requirements of chemical composition

元素	C	Si	Mn	P	S
ASTM A216	≤0.30	≤0.60	≤1.00	≤0.04	≤0.045
内控	0.18~0.21	0.35~0.55	0.8~1.0	≤0.035	≤0.030

熔炼过程采用 1T 中频感应炉，炉料为 70%回炉料加废钢、合金料配制。熔炼过程中用硅铁、锰铁预脱氧，炉内测温 1 600 ℃±10 ℃时扒渣加铝丝终脱氧，准备出钢；出钢时在包内加 0.01%铝丝进一步进行包内脱氧，防止铸件气孔的产生，浇注温度控制在 1 580 ℃左右；浇注需从一侧流道法兰开始浇注，第一股钢液要缓慢浇入型腔，防止钢液飞溅形成腔内氧化渣造成铸件缺陷；待钢水流动稳定后全速进行浇注，快速将钢液浇注至冒口根部后减缓浇注速度，观察冒口内钢液上升至冒口 1/3 处时停止浇注，等待数分钟待铸件表层结壳后再从 3 个法兰冒口逐个进行点浇至冒口顶面 20 mm 处，撒覆盖剂保温。这样可以使冒口内温度一直高于铸件型腔内温度，利于冒口补缩，增加冒口补缩效率，保证铸件内部质量。

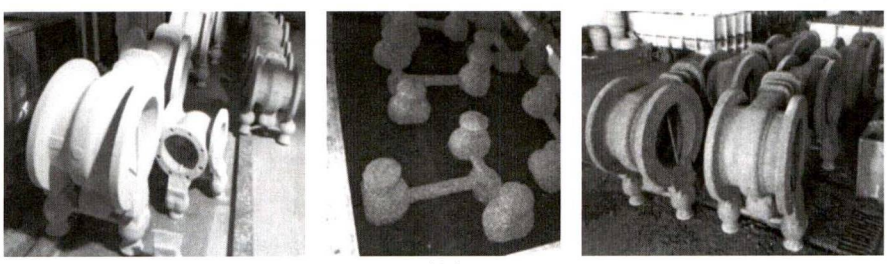


图 8 制壳过程
Fig.8 Shell making rocess

5 热处理

由于铸钢件的铸态组织普遍存在晶粒粗大、组织不均匀、偏析、铸造残余应力大、硬度大难加工等问题，需对铸件进行相应的热处理，以得到组织均匀、晶粒细化，具有满足材质性能要求的强度、塑性又便于加工的优质铸件。

采用正火工艺对铸件进行热处理，亚共析钢的正火是将钢加热到 Ac_3 以上适当温度，保温一定时间后在空气中冷却得到稳定珠光体组织的热处理工艺。

同炉试棒力学性能实验满足标准要求，数据见下表 3。

表3 同炉试棒力学性能
Tab.3 Mechanical properties of test bar in the same furnace

检测项目	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$/MPa	伸长率 A(%)	断面收缩率 Z(%)
标准值	485~655	≥250	≥22	≥35
实测平均值	512	324	42	51

图 9 为新工艺试制的经热处理和抛丸后的铸件。

图 9 新工艺试制的经热处理抛丸后的铸件
Fig.9 Trial-produced, heat treated and shot blasted valve body with new casting process

6 结语

开发试制的 16″-150LB 阀体铸件热处理后经过各项检验，尺寸、外观质量及磁粉检测均能满足设计要求。目前该产品已经批量化生产，该次通过 CAE 模拟软件工艺设计配合复合型精密制壳技术在 16″-150LB 阀体铸件上生产开发的成功经验为行业对大口径阀门铸件的精密铸造生产提供了一种可行方案，能够大幅度提高阀门铸件表面质量且有利于降低制造成本。

参考文献：

[1] 姜不居. 铸造手册.第 6 卷. 第三版[M]. 北京：机械工业出版社，2010.
[2] 陆培文. 实用阀门设计手册. 第三版 [M]. 北京：机械工业出版社，2012.
[3] 车顺强，景宗梁. 熔模精密铸造实践[M]. 北京：化学工业出版社，2015.
[4] 包彦堃，陈才金，朱锦伦. 熔模精密铸造技术[M]. 杭州：浙江大学出版社，2012.
[5] 阳海清. 大型不锈钢阀门精铸工艺的探讨 [J]. 特种铸造及有色合金，2008(1):45-46.

TSFA便携式非接触红外测温仪
铸造测温的跨越

采用德国技术，激光/望远镜瞄准，只要扣动按键，炉内熔化温度、出炉温度、浇包温度、浇注开始与终了温度、冒口溢流温度就会瞬间显示。全程检测，快速、准确、方便。4米内目标不受距离影响。测温范围：1000~2000℃，铸铁、铸钢、铝铜不同合金发射率可调。

产品特点及技术参数

- 瞄准方式：激光/望远镜瞄准
- 目标距离：4 m 内测量与距离无关
- 激光聚焦：3600 mm距离激光聚焦为24 mm光斑
- 测量模式：最大值/最小值显示/记忆功能
- 扫描功能：对测量目标快速扫描并显示出测量的最大值
- 报警方式：高低温声光报警
- 存储功能：2000 个数据点

唐盛电子

纳米级短波精确测量物体温度，特别是熔融金属液态温度；带USB接口及软件，可设定仪器参数、存取数据可下载、连接计算机可以显示实时温度及温度曲线，对合金熔化及浇注温度的控制提供可靠的适时测量。

西安唐盛电子有限责任公司

地址：西安市雁翔路132号开元新村4单元201室
电话：029-83290862　　传真：029-88473613
Email: xatomson@163.com　　QQ：517221382