

船用铝青铜直角截止阀体的铸造工艺改进

苏 磊¹, 刘春梅¹, 杨为勤²

(1. 柳州职业技术学院, 广西柳州 545006; 2. 武昌船舶重工集团有限公司, 湖北武汉 430064)

摘要: 用于舰船上的直角式截止阀体, 材质为铝青铜ZCuAl9Mn2, 要求以4.0 MPa进行水压试验。介绍了铝青铜ZCuAl9Mn2的铸造特性。铝青铜阀体件铸造, 因缺乏成熟的工艺模式, 在试制过程中遇到了很大困难。首制时在水压试验中整批发生渗漏; 在改进工艺后, 生产的铝青铜阀体铸件在水压试验中仍然整批发生渗漏。经过不断铸造工艺优化, 有效地解决了该阀体的渗漏难题, 现已生产出多批质量良好的直角式截止阀体铸件。

关键词: 铝青铜; 直角截止阀体; 砂型铸造

截止阀的作用是切断或接通管路介质, 广泛地用于船舶、石油、锅炉、化工、电力、制药、化肥、暖通等行业的各种工况管路上。所谓直角式截止阀是因为液体流进阀的方向和流出阀的方向成90度角。所不同的是船用直角式截止阀是在海水中使用, 甚至是用于潜器, 泵压要求较高, 考虑到耐腐蚀性和强度要求, 故材质常为铝青铜ZCuAl9Mn2。本直角式截止阀的技术要求为: 以4.0 MPa进行水压试验, 持续时间5 min不允许有渗漏现象。本文研究船用铝青铜直角截止阀体的铸造工艺优化, 旨在生产高质量满足要求的直角截止阀体铸件。

1 材料特性分析

1.1 ZCuAl9Mn2 的化学成分及力学性能

ZCuAl9Mn2的化学成分、力学性能见表1^[1]。

1.2 合金特性分析

铸造铝青铜凝固特点为层状凝固, 容易形成集中缩孔。铸造铝青铜在熔炼过程中合金液极易形成一次氧化夹杂, 在浇注过程中合金液也易形成二次氧化夹杂, 故在充型过程中液面应尽可能平稳上升^[2]。工艺设计时需注意: 一是采用带过滤网、先封闭后开放的浇注系统, 这样不但能尽量排除浇注过程中产生的二次氧化夹杂, 还可以使合金液进入型腔后平稳上升不产生喷溅及涡流, 又能使型腔内自由表面的氧化膜不被破坏; 二是采用敞开式砂型大冒口, 既能减小合金液上浮的阻力, 还能增加大气压对冒口的作用; 三是对壁厚较厚的部位以冷铁激冷, 帮助其进行凝固。

2 阀体形状结构分析

直角式截止阀体如图1所示。该阀体看似结构简单, 基本上可以看成是由1个圆

表1 ZCuAl9Mn2的化学成分及力学性能(砂型铸造)
Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the ZCuAl9Mn2

化学成分/%			室温力学性能(砂型铸造), 不低于			
Al	Mn	Cu	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A/%	布氏硬度HBW
8.0~10.0	1.5~2.5	余量	390	150	20	85

作者简介:

苏磊(1985-), 女, 讲师, 主要研究方向为机电一体化。电话: 0772-3156666, E-mail: lspis356@sina.com

中图分类号: TG291

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

02-0206-04

收稿日期:

2021-03-29 收到初稿,

2021-05-19 收到修订稿。

盘和1个丁字形筒套拼接而成,但从铸造工艺的角度来看较复杂。一是从补缩的角度来看,阀体的法兰厚度为32 mm,和其相邻直管的壁厚为18 mm,若补缩不足,相交处容易产生缩裂。如采用立浇方案,丁字形筒套的高度为265 mm, $265 \text{ mm}/18 \text{ mm} = 14.7 < 17$,即补缩通道畅通,故补缩没有问题。二是从起模的角度来看,只有按图1所示的平面来分型,才能方便地将木模从型腔中取出。三是从浇注位置的角度来看,由于铝青铜易产生氧化夹杂,对不同形状的铸件,浇注位置是大相径庭的。如对于法兰(板类铸件),要将平板侧立,采用底注,使合金液平稳上升,以便氧化夹杂能浮到平板顶部,从冒口中浮出;如对于圆筒(套类铸件),要将筒套直立,采用底注,使合金液平稳上升,以便氧化夹杂能浮到筒套顶部,从冒口中浮出。但该铸件,且不论圆筒上丁字形的凸出部分,仅仅是法兰和圆筒这两者的浇注位置就是矛盾的,法兰要卧浇,而圆筒要立浇。手册^[3]上所说的“使合金液进入型腔后平稳上升不产生喷溅及涡流,又能使型腔内合金液自由表面的氧化膜不被破坏”,这只是一种理想状态(如板类铸件及套类铸件),而对于阀体类铸件,无法满足这种理想状态。铝青铜阀体的铸造难度关键不在于补缩,而在于氧化夹杂的不可控,这是导致阀体在水压试验时发生渗漏的主要原因。

本铝青铜直角截止阀体,从手册和资料上得不到指导意见,我们只能采用不断试错的方法进行观察和改进,笔者曾经和专业生产船用铜合金阀体的公司负责人进行过交流,对于铝青铜阀体,他们也是采用在不断试错中进行改进的方法。

3 首次工艺试制方案

为了便于木模从型腔中取出,采用卧浇方案,即以两半对称的中间剖面为分型面,如图2所示。

加工面的加工余量为3 mm。外模收缩率1.5%,芯盒收缩率0.5%。在法兰外侧设置1个圆冒口 $\Phi 70 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$,在丁字形圆筒的两端口处设置1个圆冒口

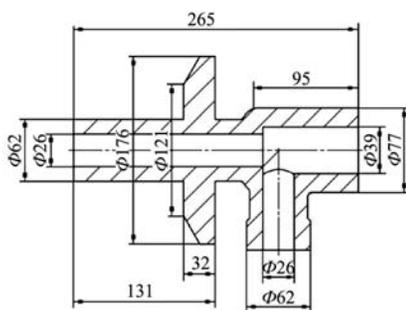


图1 截止阀体铸件尺寸简图

Fig. 1 Dimensional sketch of the cut-off valve body casting

$\Phi 60 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ 。采用中注式浇注系统,直浇道 $\Phi 30 \text{ mm}$,合金液进入带集渣包的砂质过滤网($\Phi 4 \text{ mm} \times 23$ 孔),通过侧冒口对法兰和丁字形圆筒进行补缩。

经铸件凝固模拟软件分析,该铸造工艺方案无问题,铸件凝固得到充分补缩。粘土砂干模干芯,型、芯烘干温度为 $400 \sim 430 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

在浇注前,采用真空含气试验装置进行了炉前含气量测定。试样放入真空试样罐后,将罐中的压力由原来的1个大气压抽真空到0.1个大气压,待试样完全凝固后,取出试样仔细观察。若试样上表面呈凹陷、中部撕裂形成孔洞(图3),则表示合金液含气检测合格;若试样表面平整或者凸起则表示合金液中含有气体或者气体含量严重,需要继续用综合精炼剂,或吹 Ar_2 重新对合金液进行除气和精炼处理。

在首次工艺试验时,试样表面呈凹陷、中部撕裂形成孔洞,合金液真空试样含气检测合格。该截止阀体的铸件质量为9 kg,浇注质量为20 kg,工艺出品率为45%。实际生产情况为:首批6件产品,在水压试验时全部发生渗漏。

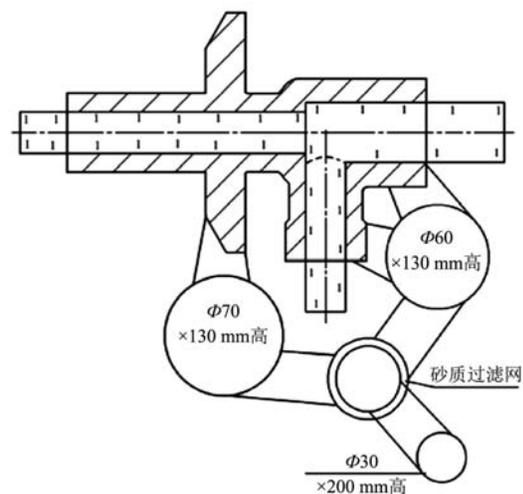


图2 截止阀体试制方案的铸造工艺简图

Fig. 2 Process sketch of casting process of trial production scheme for the cut-off valve body

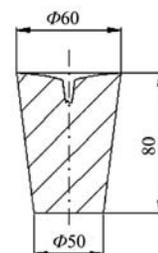


图3 真空试样凹陷检测示意图

Fig. 3 Schematic diagram of depression detection of the vacuum sample

4 工艺改进

从阀体首制的情况来看，虽然在水压试验时全部发生渗漏，但却没有缩孔缩裂及浇不足的情况，也没有出现气孔，之所以发生渗漏是因为合金液中含有的一次氧化夹杂和在型腔中产生的二次氧化夹杂未能从型腔中排出而留在了铸件中，从而在泵压时成为渗漏的通道。道理很简单，目标也很明确，但针对性的措施却很难，因为氧化夹杂在型腔中的停留位置难以控制。

在工艺改进中，采取了以下措施：①将中注式浇注系统改为底注式浇注系统，从法兰底部开底注内浇口，虽然在阀体型腔内难以做到不产生紊流，但能够使合金液面在上升过程中相对平稳，减少二次氧化的产生；②在法兰的小圆部位（锥面侧），设置石墨冷铁（ $2 \times 1/2$ 圈，厚度为16 mm），帮助法兰面在凝固时形成一个致密层；③在法兰的上部，增加一个尺寸为 $100 \text{ mm} \times 32 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ （高）的冒口，取消原来的两个圆冒口；④采用铬铁矿砂（粒度为50~100目，粘结剂比例为高岭土4%，膨润土4%），以提高对铸件的激冷作用。芯砂采用铬铁矿砂，型砂的面砂也采用铬铁矿砂，背砂仍为粘土砂。但铬铁矿砂的激冷作用有限。改进后的铸造工艺如图4所示。保留原来的砂质过滤网，型、芯烘干工艺和浇注温度不变。

本次工艺试验时，采用真空含气试验装置进行了炉前含气量测定，试样表面呈凹陷、中部撕裂形成孔洞，合金液真空试样含气检测合格。该截止阀体的铸件质量为9 kg，浇注质量为17 kg，工艺出品率为53%。实际生产情况为：第二批6件产品，在泵压时全部发生渗漏，该案例说明，凝固模拟软件只是保证了铸件的补缩，合金液试样含气检测只是保证了不出现气渣相伴，如何避免铸件中有氧化夹杂就成为主要的难题。

5 成功方案

经过不断试错，逐步从前面的工艺改进中看出，尽管在法兰上方设置了方冒口，法兰部位的氧化夹杂能够顺利排出，但其他部位的氧化夹杂却难以排出，

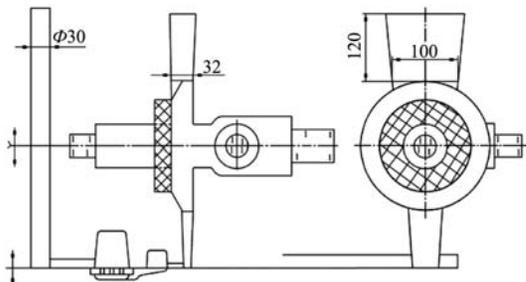


图4 第一次工艺改进方案的铸造工艺简图

Fig. 4 Sketch of the casting process of the first process improvement scheme

这也可能是泵压时发生渗漏的重要原因，要尽可能地减少这方面的影响。

在后续的工艺改进中，我们又采取了以下措施：

①除了保留法兰上部冒口，还在丁字形圆筒上部增加了一个尺寸为 $60 \text{ mm} \times 28 \text{ mm} \times 168 \text{ mm}$ （高）的冒口，以便于丁字形圆筒部位的氧化夹杂能够浮出；②在丁字形圆筒的下方，即和新增冒口的对应部位增加一个底注内浇道，以保持合金液流的平稳性；③将法兰上原来整圈石墨冷铁改为只在下型设置（ $1 \times 1/2$ 圈，厚度为16 mm）；④直浇道尺寸为 $\Phi 30 \text{ mm}$ ，横浇道截面尺寸为 $30 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ ，将原来的砂质过滤网改为泡沫陶瓷过滤网（牌号为PTW-T-15PPI），尺寸规格为 $75 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ ，能够较好地解决产生二次氧化夹杂的问题。将泡沫陶瓷过滤网两侧横浇道面积开大一些（是横浇道截面积的2.5~3倍），以增加泡沫陶瓷过滤网的通透性；⑤在熔炼中注意控制合金液的含气量。最终的铸造工艺如图5所示。

因熔炼质量较为稳定，并且经常将同一炉合金液的真空含气与大气压含气的检测试样凹陷程度进行比较，经验较为丰富，故在后来的工艺试验时就没有采用炉前试样真空含气量测定，而是采用在大气压下试样含气的检定。浇注铸件前，先将合金液浇入试样模中，待试样完全凝固后进行观察，若试样上表面略呈凹陷（图6），则表示合金液中的含气量较少；若试样表面平整或者凸起，显示合金液中含有气体或者气体含量严重，则需要继续用综合精炼剂，或向合金液中

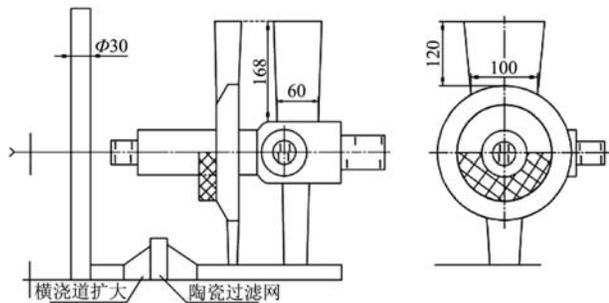


图5 最终成功方案的铸造工艺简图

Fig. 5 Sketch of the casting process of the final scheme

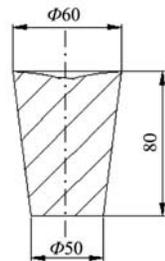


图6 大气压试样凹陷检测示意图

Fig. 6 Schematic diagram of depression detection of the atmospheric pressure sample

吹Ar₂, 继续对合金液进行除气和精炼处理, 直到试样上表面略呈凹陷方可浇注。

该截止阀体的铸件质量为9 kg, 浇注质量为19.5 kg, 工艺出品率为46%。实际生产情况为: 第三批6件产品, 除了1件在泵压时只达到3.8 MPa, 稍低于技术要求的4.0 MPa, 其余5件都达到6.0 MPa, 远远高于4.0 MPa, 该工艺获得的铸件满足了技术要求。

6 结论

(1) 铝青铜虽然在海水中的耐腐蚀性能好, 材料组织致密, 但其致命的弱点是易产生氧化夹杂, 且难

以排除, 而留在了铸件中, 从而在水压试验时易成为渗漏的通道。因而, 铝青铜阀体件的铸造工艺难度要高于锡青铜和硅黄铜。

(2) 在铝青铜阀体件的型腔中, 合金液很难做到平稳上升, 应采用先封闭后开放的底浇注系统, 尽量减少合金液产生紊流及氧化夹杂, 从而降低泵压时渗漏的几率。

(3) 铝青铜ZCuAl9Mn2吸气倾向较大, 在熔炼过程中气渣往往相伴, 这也是泵漏的重要原因之一, 在熔炼中要注意控制合金液的含气量, 浇注前可观察试样模中合金液面凝固的形态进行判断。

参考文献:

- [1] 机械工程学会铸造分会组编. 铸造非铁合金: 铸造手册第3卷 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [2] 《铸造有色合金手册》编写组. 铸造有色合金手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [3] 《铸造有色合金及其熔炼》联合编写组. 铸造有色合金及其熔炼 [M]. 北京: 国防工业出版社.1981.

Casting Process Improvement of Marine Aluminum Bronze Right Angle Stop Valve Body

SU Lei¹, LIU Chun-mei¹, YANG Wei-qin²

(1. Liuzhou Vocational and Technical College, Liuzhou 545036, Guangxi, China; 2. Wuchang Shipbuilding Industry Co., Ltd., Wuhan 430064, Hubei, China)

Abstract:

It is used for right angle cut-off valve body on the ship, which is made of aluminum bronze ZCuAl9Mn2, and it is required to conduct hydraulic test at 4.0 MPa. The casting characteristics of the aluminum bronze ZCuAl9Mn2 were introduced. Due to the lack of mature technology mode, the aluminum bronze body casting has encountered great difficulties in the trial production. During the first production, the whole batch of leakage occurred during the hydraulic test. In the production after the improvement of the process, the whole batch of the leakage still occurred in the hydraulic test. After continuous trial production and modification, the casting technology has been improved, and the leakage problem of the valve body has been solved effectively. Many batches of right angle cut-off valve castings with good quality have been produced.

Key words:

aluminum bronze; right angle stop valve body; sand casting