

# 一种解决小孔径铸钢件内腔成形的工艺方法

张敬凯, 张 健, 单立志, 李 婧

(中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 辽宁沈阳 110043)

**摘要:** 传统工艺只能生产最小直径为 $\Phi 10$  mm铸件。介绍了一种解决小孔径铸钢件内腔成形的熔模铸造工艺方法。通过优化铸件内腔结构和采用80 $\mu$ 刚玉粉灌砂的方法, 成功研制出最小直径为 $\Phi 6.3$  mm的铸件。这可为同类小孔径产品的熔模铸造工艺提供参考。

**关键词:** 熔模铸造; 铸钢; 小孔径; 内腔

铸钢件在航空发动机中的应用一直比较广泛, 早期的WP6、WP7发动机的绝大部分铸件均为铸钢件, 除了一般结构件以外, 整流叶片也采用铸钢件。目前, 铸钢件在航空发动机中的应用仍然比较广泛, 主要是由于其价格低廉, 性能完全可以满足一些工作温度不高, 或者非承力部位的使用要求, 并且其焊接性能普遍好于高温合金, 性能稳定, 在焊接连接形成的各种管路中应用尤为广泛。ZG1Cr18Ni9Ti是目前广泛用于航空发动机各种管路的一种铸造不锈钢, 其工作温度在600 $^{\circ}\text{C}$ 以下, 主要用于制造排气管、喷管和泵阀等铸件<sup>[1]</sup>, 在第三代、第四代航空发动机中仍在使用。

## 1 铸件简介

图1中的铸件是发动机进回油管路的一个接头, 使用材料为ZG1Cr18Ni9Ti, 如采用加工方式成形, 两个方向接刀部位过渡不圆滑, 无法满足内腔对流量的要求, 因此需要采用熔模铸造的方法形成圆滑转接的内腔结构。此铸件内腔直径为 $\Phi 8.3$  mm, 两端接头部位精度要求高, 需要机械加工形成, 在两端增加加工余量后直径分别为 $\Phi 6.3$  mm、 $\Phi 7.6$  mm。按照以往的铸件研制生产经验, 受制于内径尺寸对型壳制造工艺的限制, 以及ZG1Cr18Ni9Ti等非真空浇注的铸件因浇注温度超出陶瓷型芯承受温度而不能采用陶瓷型芯工艺, 能生产的该类弯管铸件最小直径为 $\Phi 10$  mm, 因此该铸件的铸造工艺难度较大。

## 2 工艺方案

该铸件能否研制成功, 主要取决于内腔结构能否成形, 并且表面质量要达到设计要求。使用传统工艺方法, 小孔径铸钢件内腔只能达到10 mm左右, 主要是受到内径大小对型壳制造过程和型壳脱除过程的限制。

### 2.1 内腔成形方法的选择

形成铸件内腔空心结构可以采取陶瓷型芯或者可溶型芯+型壳的方案。目前, 国内采用的各类陶瓷型芯主要为硅基陶瓷型芯, 铝基陶瓷型芯有更高的使用温度, 但是目前应用较少。用于等轴晶铸件浇注的硅基陶瓷型芯的最高使用温度为1 550~1 600 $^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>, 而ZG1Cr18Ni9Ti材料在非真空环境下浇注常用温度范围为1 620~1 650 $^{\circ}\text{C}$ , 已经超过硅基陶瓷型芯的最高使用温度。在此温度下浇注的铸件内腔经常发生因陶瓷型芯强度不足或者陶瓷型芯和高温金属液反应产生的气孔和断芯等冶金缺陷, 造成铸件内腔粗糙度达不到使用要求, 因此, 本铸件需要采用聚乙二醇或者尿素等可

作者简介:

张敬凯(1985-), 男, 工程师, 主要从事镍基高温合金熔模精密铸造技术研究。E-mail: jingkai620@163.com

中图分类号: TG249

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)09-1052-03

收稿日期:

2019-04-09 收到初稿,

2019-05-03 收到修订稿。

溶型芯形成蜡模内腔结构，内腔采用硅溶胶或硅酸乙酯型壳制造工艺。

采用可溶型芯+型壳的方案的过程中，内腔型壳的去除是工艺难点，一般有物理方法和化学方法两种方法。物理法主要是采用高压水枪和机械吹砂，化学法是利用型壳材料与氢氧化钠（钾）化学反应，将铸件浸入质量分数为30%的氢氧化钠（钾）水溶液中<sup>[3]</sup>。因型壳制造面层大多采用刚玉粉，与碱液不反应，同时ZG1Cr18Ni9Ti材料在碱液中耐腐蚀性差，提高碱液浓度或者延长反应时间容易产生腐蚀，因此一般采用物理法。

## 2.2 铸件内腔结构改进

图2是广泛采用的经过多年生产验证确定的内腔增加加工余量后的铸件形状，开始试验时也采用该结构。因左侧内径仅 $\Phi 6.3$  mm，内腔的型壳经过吹砂后无法去除，尤其是图中的拐角处，因铸件的外端面存在遮挡，高压水枪和机械吹砂无法与残余型壳接触，往往在该部位存在大量的残余型壳，只能采用钻头打磨的方式去除，不仅费时费力，还很容易将铸件磨伤造成报废。

图3是改进后的铸件内腔形状，将传统的45度斜角部位进行两次倒圆角处理，同时为了进一步减小台阶差，内腔按照自由公差的下差选取，由7.93 mm逐渐过渡到中差8.3 mm，调整后的结构，从图中箭头所示的吹砂角度看，基本不存在吹砂盲区，另外圆角相比尖角可以有效减轻型壳的附着，这些措施都有利于内腔型壳的去除。

## 2.3 型壳制造工艺的改进

原铸造工艺采用的是较为通用的型壳制造工艺，即硅溶胶-硅酸乙酯交替法型壳制造工艺，见表1。根据铸件内径尺寸，在第3-5层后使用铝矾土与硅溶胶混合物在内腔堵孔。工作环境要求相对湿度50%~70%，温度23~25℃。

为了增加型壳的可去除性，改进了传统的型壳制造工艺，采用了内腔灌砂法。因为铸件内径小，传统的型壳制造工艺涂制三层以后内腔基本已经填满，无法进行后续的操作。改进方案为前三层采用硅溶胶型壳制造工艺，撒砂材料均采用80<sup>#</sup>~100<sup>#</sup>刚玉砂，通过多层细砂的方式保证灌砂前内腔型壳有足够的强度。三层涂制完成并干燥后，采用 $w(\text{SiO}_2)$ 为25%的硅酸乙酯强化剂进行强化，然后采用60<sup>#</sup>~80<sup>#</sup>刚玉砂对内腔进行填充。为了保证内腔填满，采用振动方法进行振实，最后在两端用混合好的膏状铝矾土与硅溶胶混合物进行封堵，以保证在型壳脱蜡、型壳焙烧过程中铸件内腔的刚玉砂不会流出。

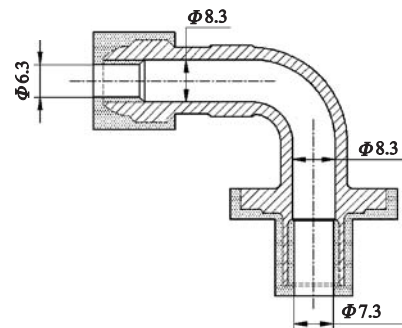


图1 铸件结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of casting structure

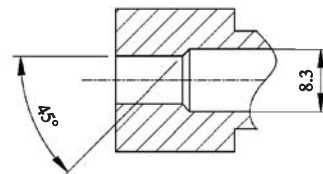


图2 改进前铸件结构

Fig. 2 Structure of casting with more machining allowance in its inner cavity

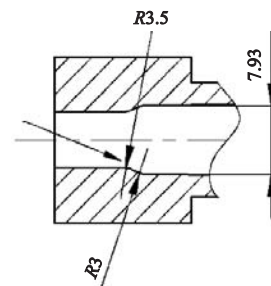


图3 改进后铸件结构

Fig. 3 Improved structure of casting

表1 型壳制造工艺

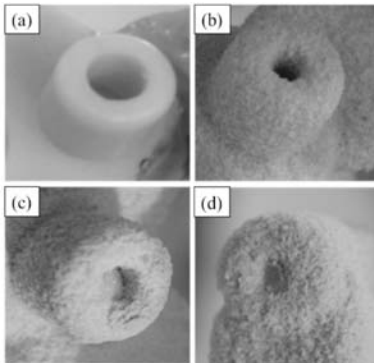
Table 1 Traditional shell mold manufacturing process

层次	粘结剂	粉料	撒砂材料
1	硅溶胶	电熔刚玉粉	80 <sup>#</sup> ~100 <sup>#</sup> 刚玉砂
2	硅酸乙酯水解液	刚玉粉或 铝矾土粉	46 <sup>#</sup> ~60 <sup>#</sup> 刚玉砂
3	硅溶胶	铝矾土粉或 煤矸石粉	46 <sup>#</sup> ~60 <sup>#</sup> 刚玉砂
4	硅酸乙酯水解液	刚玉粉或 铝矾土粉	46 <sup>#</sup> ~60 <sup>#</sup> 刚玉砂
5	硅溶胶	铝矾土粉或 煤矸石粉	46 <sup>#</sup> ~60 <sup>#</sup> 刚玉砂
堵孔			刚玉砂 或煤矸石砂
6层后	硅溶胶	铝矾土粉或 煤矸石粉	16 <sup>#</sup> ~25 <sup>#</sup> 煤矸石砂

图4分别是蜡模阶段、三层涂制完成阶段、灌砂阶段和最终封堵后的型壳。对使用上述改进工艺制造的型壳进行目视和注水检查,型壳可以达到使用要求。

### 3 试验结果

对制备好的型壳进行预热、浇注和切割,打磨等

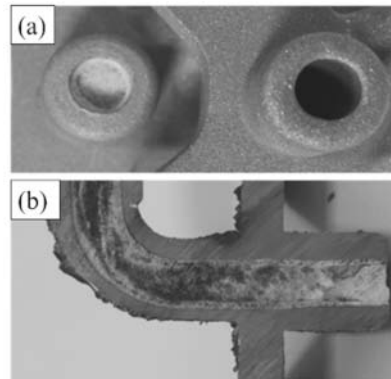


(a) 蜡模; (b) 涂三层后; (c) 灌砂后; (d) 封堵后

图4 型壳制造过程

Fig. 4 Improved shell mold manufacturing process

处理后,进行吹刚玉砂清理。图5a为吹砂前、后铸件孔部位的对比,可见吹砂后铸件内腔型壳已经完全去除。图5b是吹砂前铸件内部图片。可以看出,铸件内腔端头处型壳强度较高,而铸件内腔填砂后的型壳在切割后已经大部分脱落。因此,采用传统的吹砂方法即可去掉内腔残余型壳,获得理想的铸件。



(a) 吹砂前、后的铸件; (b) 吹砂前铸件内部

图5 利用改进型壳铸造的铸件

Fig. 5 Casting produced using improved shell mold manufacturing method

### 4 结论

(1) 铸件内腔形状由传统的45°斜角部位进行两次倒圆角处理和公差允许范围内的内径过渡处理后,解决了残余型壳清理附着问题。

(2) 相比传统的硅溶胶-硅酸乙酯交替法型壳制造工艺,采用80#刚玉粉灌砂方法制造的型壳在浇注过程中未出现跑火问题,而且更易脱除,可用于内腔直径仅为 $\Phi 6.3$  mm的铸件成形。

#### 参考文献:

- [1] 中国航空材料手册编辑委员会. 中国航空材料手册: 结构钢不锈钢 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1988: 904.
- [2] 赵效忠. 陶瓷型芯的制备与使用 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 132.
- [3] 中国铸造协会《铸造工程师手册编写组》. 铸造工程师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 664.

## A Casting Method for Solving Inner Cavity Forming of Small-Aperture Steel Castings

ZHANG Jing-kai, ZHANG Jian, SHAN Li-zhi, LI Jing  
( AECC Shenyang Liming Aero Engine Co., Ltd., Shenyang 110043, Liaoning, China )

#### Abstract:

Only castings with the minimum diameter of 10 mm can be produced by traditional technology. In the paper, an investment casting process for forming the inner cavity of small-aperture steel castings is introduced. By optimizing the inner cavity structure of castings and using 80 corundum powder sand filling method, the castings with a minimum diameter of 6.3 mm have been successfully produced. This will provide a reference for the investment casting process of similar small aperture products.

#### Key words:

investment casting; cast steel; small-aperture; inner cavity