

舰船用小型汽轮机汽缸铸件的铸造工艺设计

戴月良¹, 吴铁明²

(1. 上海电气上重铸锻有限公司, 上海 200245; 2. 上海汽轮机厂有限公司, 上海 200240)

摘要: 针对舰船用小型汽轮机缸体铸件的结构特点及技术要求, 对汽缸体进行工艺性分析并结合以往的生产经验, 采取对狭小部位的砂芯设置和分散热节补缩的铸造工艺方案。经铸造数值模拟软件计算优化, 最终生产的产品完全达到技术要求, 为此类铸件的生产提供了借鉴参考。

关键词: 汽轮机汽缸; 铸造工艺; 数值模拟

舰船用小型汽轮机作为舰船的重要动力来源, 具有高可靠性、安全性、保障性、通用性、适宜性、适应性和符合性的要求。缸体铸件作为汽轮机的核心本体结构部件, 起到承压和支撑整个汽轮机的重要作用, 具有很高的质量要求。为此, 在前期的汽缸结构设计方案评审中, 强调零部件越少越好, 铸件壁厚在结构强度允许之下, 越薄越好, 砂型铸造铸件重量公差要求达到熔模铸造重量 $\pm 3\%$ 以内的要求。汽缸铸件前轴承座与汽轮机缸体结构整体设计铸造, 其壁薄, 结构紧凑复杂, 带有狭小的腔室, 给铸钢件的顺序补缩和造型操作带来很大的困难。本文对该舰船用小型汽轮机缸体进行了详细的工艺性分析, 结合以往类似铸件的生产经验, 选取合理的工艺方案, 采用铸造数值模拟软件优化, 最终生产出符合技术要求的铸件。

1 缸体结构与技术要求

汽缸体下半铸件如图1所示, 铸件由带水平中分面和垂直法兰的缸体与轴承座下半构成。铸件净重850 kg, 毛重1 360 kg, 试制缸体铸件材质为ZG20CrMo, 材料规范采用JB/T10087。轮廓尺寸1 366 mm \times 1 136 mm \times 498 mm, 最小壁厚15 mm, 最大壁厚120 mm。铸件要求100%UT, 加工面1级, 铸造面2级, 100%MT。

2 铸造工艺方案设计

2.1 铸件结构分析

缸体下半铸件由汽缸体和轴承座下半组成。汽缸体部分结构较简单, 壁厚相对均匀。轴承座部分由多个独立或相通的狭小腔室构成, 其设计结构特点等同于铸铁件或者是焊接件结构, 壁厚差异大, 最薄处仅15 mm, 最厚处有120 mm。腔室最狭小的部位仅40 mm宽, 部分腔室难以触及, 如有缺陷很难处理。从产品设计结构的特点上可以分析出, 如果按常规的铸造工艺方案很难达到铸钢件的顺序凝固。

铸件热节分布如图2所示, 缸体众多的腔室交汇, 产生了很多分散的热节。由于轴承座大部分壁很薄, 补缩距离小, 这些分散的热节补缩困难, 易产生缩松和裂纹等铸造缺陷。其中缸体部位呈半环状, 厚度85 mm, 是UT1级区, 在热节图上可见大片的孤立热节, 是补缩的重点区域, 要求实现完全的顺序凝固。轴承座主体部分主壁厚20 mm, 大部分是非加工面, UT2级要求。根据实际生产经验, 20 mm左右的薄壁在自然凝固状态下产生的中心线缩松很微小, 是完全可以满足UT2级要求的。这部

作者简介:

戴月良(1973-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺设计工作。E-mail: dai_yueliang@163.com

通讯作者:

吴铁明, 男, 教授级高级工程师。E-mail: wutieming1963@126.com

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)04-0469-04

收稿日期:

2020-10-12 收到初稿,
2020-11-18 收到修订稿。

分需要重点解决的问题是交叉点的热节。轴承座底部有厚45 mm的平板，底部为加工面，加上加工余量厚度至少有55 mm，按常规的汽缸水平中分面朝上的铸造工艺，此处为补缩难点。

2.2 分型方案的确定

常规的铸钢汽缸分型面为水平中分面，开口朝上。此分型方案有利于补缩较为厚大的水平中分面法兰，铸件整体位于下箱，造型操作和测量尺寸较方便。

但此汽缸带有轴承座，轴承座大部分为薄壁结构，底部有较厚的板，轴承座和汽缸相连部位有厚120 mm的筋板，冒口从水平中分面无法补缩这部分。轴承座内狭小的腔室砂芯需悬吊在上箱，砂芯的稳定性较差，操作困难。

水平中分面法兰朝下方案，轴承座底部厚壁部分位于顶部，可以设置冒口补缩。此方案优点是汽缸的水平中分面法兰位于底部，补缩条件差。但此汽缸水平中分面法兰较薄，一是放置冷铁和设置冒口下的外部补贴就可保证致密度。轴承座内砂芯可通过较大的芯头固定在下箱，下芯操作方便，砂芯稳定性好，见图3。汽缸体部位的冒口放置在缸体外侧非加工面上，对缸体补缩效果好。缺点是后续修整工作量大，但可以设置清理汽缸表面外补贴卡板和加强模具制造操作规范去弥补后续汽缸铸钢件修复工作量的问题。

综上所述，此汽缸水平中分面朝下的方案能兼顾补缩、造型合箱尺寸控制和砂芯固定，是较合理的分型方案。

2.3 补缩系统的设计

汽缸厚薄差异大，热节分散，为了保证铸件内部致密度，必须保证铸件整体实现顺序凝固。铸件的凝固模拟分析显示，铸件的热节多，自然凝固状态下有大量的孤立液相区。要消除这些孤立液相区，必须通过合理放置冒口、补贴和冷铁来实现顺序凝固。根据模拟结果显示的局部模数和自然凝固顺序，大致确定了冒口的大小和位置。远离冒口无法补缩的部位通过放置冷铁以实现顺序凝固。通过多次模拟优化，最终确定了冒口、汽缸外补贴和冷铁的放置方案，使铸件总体实现了从远端向冒口的顺序凝固，保证了铸件的致密度^[1]。优化后的冒口布置如图4所示，冒口的设置尽量采用分散性分段顺序补缩去考虑，最终工艺方案凝固模拟结果如图5所示。铸件最终凝固的结果完全按铸钢件的顺序凝固原理进行，另外冒口的分散性设置还有利于汽缸在砂型凝固过程中其凝固应力的释放，确保不同材质铸钢件在型腔中凝固应力的消除。

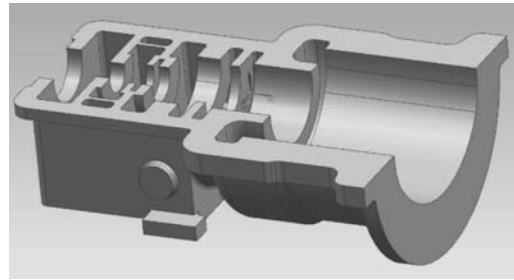


图1 汽缸体下半三维图

Fig. 1 3 Dmodel of lower half of steam turbine casing

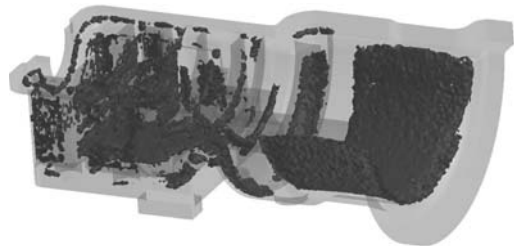


图2 铸件热节分布图

Fig. 2 Distribution of casting hot spots



图3 汽缸砂芯实物图

Fig. 3 Sand core

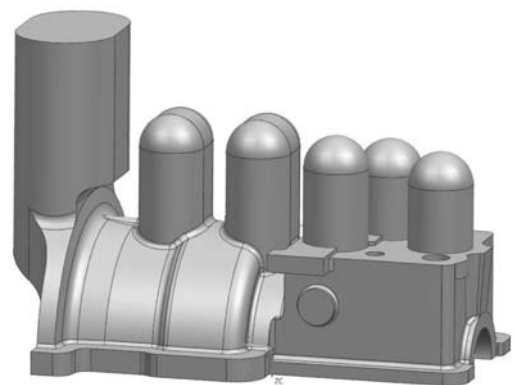


图4 铸件冒口分布图

Fig. 4 Distribution of feeders

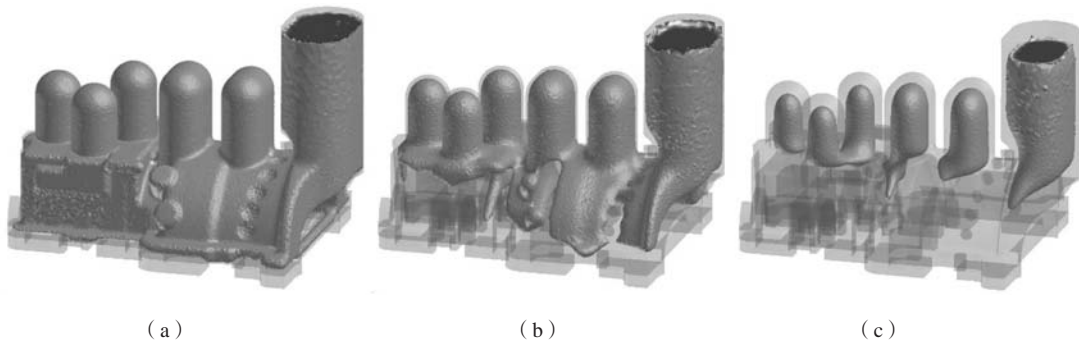


图5 汽缸凝固过程模拟

Fig. 5 Simulation of solidification process

图6是最终工艺模拟得到的缩松分布图(Niyama)。从图中可看出, UT1级区的水平中分面法兰、缸体、垂直法兰和轴承座底部厚板均实现了顺序凝固, 得到了充分的补缩, 不存在轴线缩松。铸件内的轴线缩松位于轴承座非加工的薄壁部位。根据生产实践, 这些部位的轴线缩松是完全可以由UT2级探伤的, 对铸件的实际使用没有影响, 是可以接受的轴线缩松。

2.4 浇注系统设计

钢液的浇注温度高、流动性差、易氧化^[1], 因此要求快速、平稳地充型^[2]。根据此汽缸轴承座部位主壁厚20 mm, 合理的液面上升速度为不低于30~36 mm/s^[1]。由铸件所需上升速度结合铸件高度, 计算出铸件所需流量为90 kg/s。采用塞杆包可选取 $\Phi 60$ mm的浇口, 可满足所需流量要求。确定浇口后查工艺手册可确定直浇道为 $\Phi 100$ mm的陶瓷管, 横浇道和内浇道为 $\Phi 80$ mm的陶瓷管。内浇道出口流速为0.6 m/s, 可满足内浇道流速要求。浇注系统如图7所示, 在水平中分面法兰相对较厚部位进四道内浇道。不同的结构须考虑不同的浇注系统设计, 并还需要考虑内浇道避免冲击砂芯与外模, 消除铸件浇道与本体之间凝固过程中产生铸造热裂缺陷。通过采取开放式浇注系统, 底注快速低温浇注的设计模式, 以实现快速平稳充型。

2.5 铸件尺寸控制

汽缸铸件结构复杂, 壁厚差异大, 收缩变形情况复杂。由于铸件有重量控制要求, 需控制在 $\pm 3\%$ 以内, 铸造工艺要谨慎考虑铸件整体收缩变形和局部变形。根据以往类似铸件的生产经验, 铸件的缩尺取1.5%, 水平中分面法兰外侧和轴承座底部平板背面额外进行工艺余量补正来保证。汽缸垂直法兰端面设置一根拉棒防止开口变形。

另外, 为保证整体尺寸精度和控制铸件重量, 对汽缸试制件的木模制作要求如下。

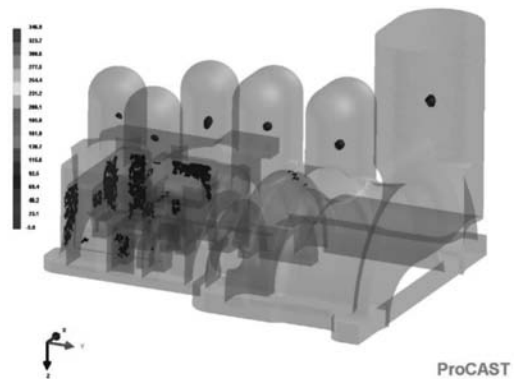


图6 铸件缩松分布图

Fig. 6 Distribution of shrinkage defects

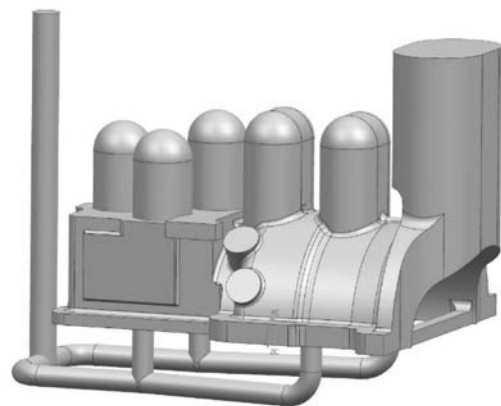


图7 浇注系统示意图

Fig. 7 Gatingsystem

(1) 模具制作供应商必须具备铸造工艺设计与模具设计放样电脑放样相混合的技术条件。

(2) 模具外模、砂芯、卡板、造型配箱样板制作采用数控编程加工。

(3) 模具尺寸验收具备全三维检测, 并出具记录报告。

3 生产验证

按上述工艺生产的汽缸，铸件表面未见明显铸造缺陷，加工后的探伤结果完全满足技术要求，未发现超标缺陷。铸件尺寸和重量经测量都符合图纸和技术要求，试制的汽缸铸件实物见图8。

4 结束语

舰船用小型汽轮机缸体采用水平中分面朝下的分型方案，开放式浇注系统，底注快速低温浇注的设计模式，可实现快速平稳充型。此外，对狭小部位采取砂芯设置，分散热节进行补缩的铸造工艺方案。根据以往类似铸件的生产经验，水平中分面法兰外侧和轴承座底部平板背面额外进行工艺余量补正来保证，汽缸垂直法兰端面设置拉棒防止开口变形。用此工艺生产的铸件其内部质量和尺寸均满足产品要求。



图8 汽缸下半铸件实物图

Fig. 8 Physical photo of lower half of steam turbine casing

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册第5卷: 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] (英) 约翰·坎贝尔. 铸造原理 [M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2011.

Casting Process Design of Small-Sized Steam Turbine Casing Casting for Ship

DAI Yue-liang¹, WU Tie-ming²

(1. Shanghai Electric SHMP Casting & Forging Co., Ltd., Shanghai 200245, China; 2. Shanghai Turbine Works, Shanghai 200240, China)

Abstract:

In view of the structural characteristics, technical requirements of small-sized steam turbine casing casting for ships and previous production experience, the casting process design was carried out and the narrow part core setting and dispersive hot spot feeding were adopted. By using numerical simulation software, the casting process was optimized. The final products fully meet the technical requirements, which will provide a reference for the production of such castings.

Key words:

steam turbine casing; casting process; simulation