

# 大型风电二级行星架铸钢件质量的控制

安成成, 张银生, 赵晓文, 王爱江

(兰州兰石集团有限公司铸锻分公司, 甘肃兰州 730300)

**摘要:** 针对大型风电机组二级行星架铸件的內花键区域(长轴端內孔)超声波探伤不合格、立柱根部裂纹及冒口切割难度大等问题,运用华铸CAE数值模拟技术对此铸钢件的铸造工艺进行仿真分析,得出缺陷形成的位置及原因。研究冒口系统后,制定了相应的工艺优化方案,有效消除了铸造缺陷,保证了铸件内部质量,提高了工艺出品率,降低了产品成本。

**关键词:** 二级行星架; 铸造工艺; 超声波探伤; 数值模拟

近年来,我国海上风电技术迅速发展,海上风电机组单机容量正在逐步提高,大兆瓦是海上风电的必然趋势。而二级行星架产品作为风力发电机组的重要组成部分,其质量直接影响整个发电机组的使用寿命。二级行星架铸件整体属于框架结构(见图1),垂直方向收缩阻力大,收缩时因受阻产生应力,易导致裂纹;热节孤立,获得致密组织困难,且关键区域不允许焊补。

二级行星架铸件材质为ZG35CrMo,轮廓尺寸为 $\Phi 1\ 668\ \text{mm} \times 939\ \text{mm}$ ,主要壁厚( $\delta$ )80~199 mm,铸件毛坯重约为5 500 kg。

## 1 原铸造工艺方案分析

### 1.1 原铸造工艺设计

图2为二级行星架原铸造工艺方案。该铸件采用冷硬呋喃树脂工艺,两箱造型,砂型芯表面涂刷锆英醇基涂料3遍。行星轴上方设置1个圆形保温明冒口,上下环形板行星轴孔均不铸出,且上下行星轴孔之间设置 $\Phi 300 \sim \Phi 360$ 冒口补缩通道,工艺出品率45%。以低温、底返、开放快浇为原则,在下环形板上设置3道底返内浇道,利于钢液浇注后期铸件顺序凝固<sup>[1-2]</sup>。

### 1.2 生产中出现的問題

(1)客户要求內花键区域单个缺陷当量 $\leq \Phi 3\ \text{mm}$ ,不允许存在密集缺陷、延伸性缺陷和线性缺陷,且不允许焊补。以原工艺生产的铸件经超声波探伤判定内部质量不合格。通过对铸件浇注过程的温度场及缺陷分布进行分析如图3、图4所示,发现內花键区域虽无明显的缩孔缩松缺陷,但该部位冒口热影响大,可能引起铸件内部组织粗大,导致超声波探伤不合格。

(2)铸件的上下环形板与三角立柱相交的圆角处存在缩松缺陷,易使该部位产生裂纹。

(3)原铸造工艺设计的冒口较大,冒口及冒口补缩通道不易切割,且切割难度大,加工周期长,造成工艺出品率低、铸件成本高等问题。

## 2 工艺优化方案及数值模拟分析

### 2.1 工艺改进措施

针对出现的問題,提出以下几点改进措施。

作者简介:

安成成(1988-),女,本科,主要从事铸造工艺设计与开发。电话:18993155531, E-mail:1067988117@qq.com

中图分类号: TG24

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)03-0283-03

收稿日期:

2019-11-27 收到初稿,  
2020-01-03 收到修订稿。

(1) 上下环形板各自设置独立冒口，对于A处热节在轴头上方设置明冒口，内腔设置冒口补贴，形成补缩通道；对于B处热节在下环形板设暗冒口和侧向通道进行补缩，如图5所示，这样不仅可以减小内花键区域冒口的热影响，获得致密组织，而且选用的冒口比原工艺冒口大小、高度、重量都有所降低，后序切割冒口难度及工作量都大幅降低，工艺出品率提高至58%。

(2) 三角立柱与上、下环形板垂直相交，上环形板、下环形板主要沿水平方向收缩，三角立柱主要沿垂直方向收缩，交接部位形成热节，散热条件差，凝固后易形成应力集中产生裂纹缺陷。为消除上下环形板与三角立柱相交处圆角的裂纹缺陷，在圆角根部设置120 mm × 120 mm × 20 mm工艺割筋数条，可以起到分解、释放收缩应力的作用，从而有效避免了裂纹缺陷的产生。

### 2.2 数值模拟结果

按照工艺优化方案进行数值仿真模拟<sup>[3]</sup>，结果如图6所示，铸件内部无明显缩孔缩松缺陷，冒口补缩效果良好。

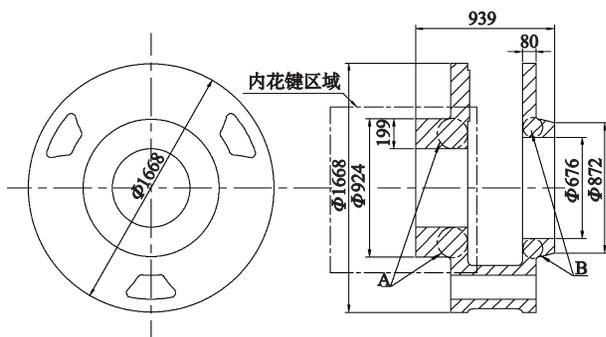


图1 行星架铸件结构简图  
Fig. 1 Structural sketch of planetary frame casting

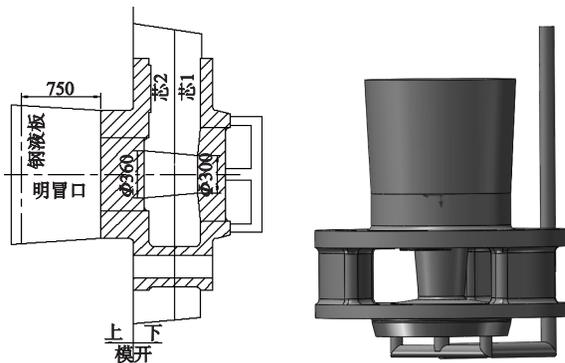


图2 行星架原铸造工艺方案简图  
Fig. 2 Original casting process of planetary frame

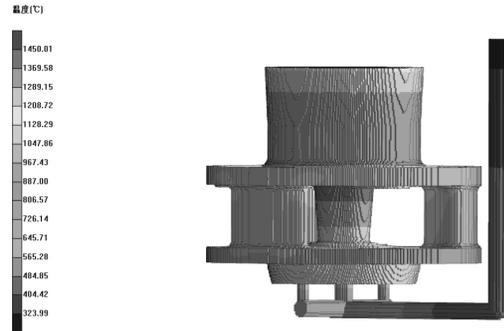


图3 铸件凝固过程后期温度场分布图  
Fig. 3 Distribution of temperature field in later stage of casting solidification

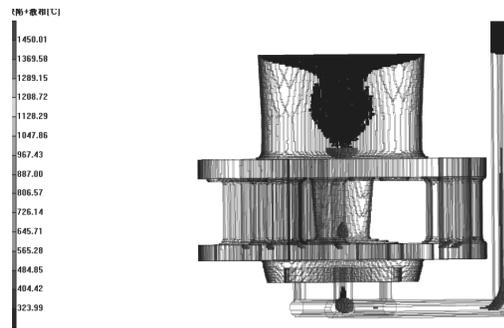


图4 原方案数值模拟结果  
Fig. 4 Numerical simulation result of original casting process

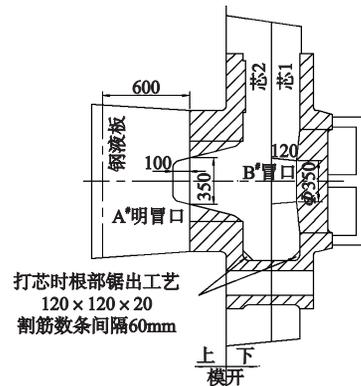


图5 优化后的铸造工艺方案简图  
Fig. 5 Optimized casting process

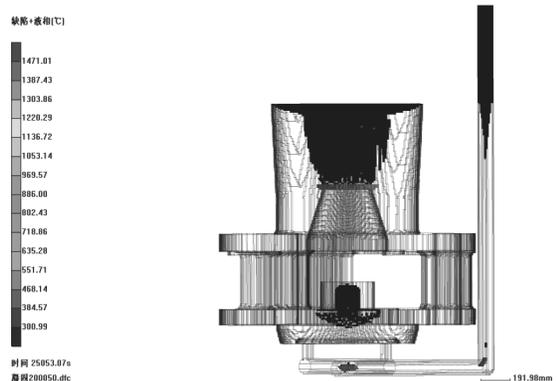


图6 优化方案数值模拟结果  
Fig. 6 Numerical simulation results of optimized casting process

### 2.3 生产验证

将试制铸件毛坯进行100%超声波探伤检测和100%磁粉探伤检测。内花键区域超声波探伤检测符合GB7233.1的2级要求,其余部位符合3级要求,且内花键区域单个缺陷当量 $\leq \Phi 3$  mm,不存在密集缺陷、延伸性缺陷和线性缺陷。经磁粉探伤检测二级行星架铸件中三角立柱与上环形板和下环形板交接部位几乎无裂纹缺陷显示,铸件成品如图7所示。

## 3 结束语

采用优化后的铸造工艺方案,铸件经超声波探伤合格,且有效消除了裂纹缺陷,解决了冒口切割量大难度等问题,加快了产出进度,获得了合格铸件,取得了良好的技术经济效益。



图7 铸件成品  
Fig. 7 Finished casting

#### 参考文献:

- [1] 李弘英, 赵成志. 铸造工艺设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第五卷 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 李俊峰, 杨留柱. 数值模拟在铸造凝固过程中的研究方法与发展状况 [J]. 矿山机械, 2002 (6): 52-54.

---

## Quality Control of Steel Castings for Large Wind Power Secondary Planetary Frames

AN Cheng-cheng, ZHANG Yin-sheng, ZHAO Xiao-wen, WANG Ai-jiang  
(Lanzhou Lanshi Group Co., Ltd., Casting & Forging Branch, Lanzhou 730300, Gansu, China)

#### Abstract:

In view of the problems such as unqualified ultrasonic flaw detection in the internal spline area (long shaft end inner hole) of the second stage planetary frame castings of the large wind turbine, cracking in the root segment of the upright column and difficult riser cutting, the casting process of the steel casting was simulated and analyzed by using the CAE numerical simulation technology of InteCAST software, and the position and reason of the defect formation were obtained. Consequently, the measures of corresponding process optimization were taken, which effectively eliminated the casting defects, guaranteed the internal quality of the castings, improved the process yield and reduced the product cost.

#### Key words:

secondary planetary frame; casting process; ultrasonic flaw detection; numerical simulation