

大型薄壁风机叶片的铸造工艺模拟及实践

沈阳铸造研究所（辽宁 110022） 张 跃 闻绍巍 张亚龙 杨 宁

风机叶片是大型风机的重要部件，通常用于热电厂及化学工业等行业，使用时在高温腐蚀等恶劣环境下，要承受很大的交变动载荷，因此对叶片的外在质量和内在质量要求都比较高。

图1为4600叶片的三维结构，从中可以看出叶片轴向较长，曲面的扭曲较大，并且叶片厚度很薄。

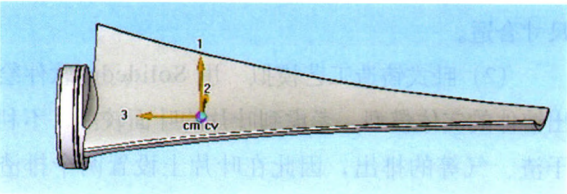


图1 4600叶片三维结构

一、技术要求

(1) 化学成分和力学性能 4600叶片采用材质ZG06Cr13Ni4Mo，其化学成分见表1，力学性能见表2，均执行JB/T10384—2002标准。

表1 ZG06Cr13Ni4Mo叶片化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
0.06	1.00	1.00	0.030	0.035	11.5~13.5	3.5~5.0	0.40~1.00

注：无范围要求者为最高值。

表2 叶片力学性能

$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A (%)	Z (%)	A_{KV} /J	HBW
550	750	15	35	50	217~286

注：无范围要求者为最低值。

(2) 无损检测要求 按照A609标准执行，UT检查区域为全部，级别为II级，PT检查区域为全部，级别为II级。

二、工艺方案的确定

确定4600叶片的铸造方法为砂型铸造，选用水玻璃砂。组芯造型，叶片正背面加工余量各+7mm，周边+15mm。

1. 方案I——立式铸造工艺

(1) 确定冒口及浇注系统 根据热节圆法及模数法，确定冒口直径为260mm，高度为500mm。采用底注式浇注系统，包孔选取 $\phi 50\text{mm}$ ，直浇道选取 $\phi 60\text{mm}$ ，横浇道选取 $55/60\text{mm} \times 35\text{mm}$ ，内浇道为三道 $70/80\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。

(2) 立式铸造工艺模拟 用软件绘出铸件的实体模型，4600叶片立式铸造工艺三维实体如图2所示，利用模拟软件进行模拟，水玻璃砂造型浇注温度 1600°C ，铸型初始温度 25°C 。

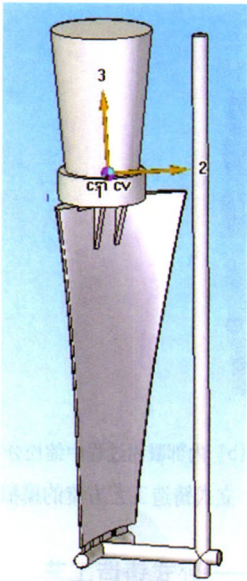
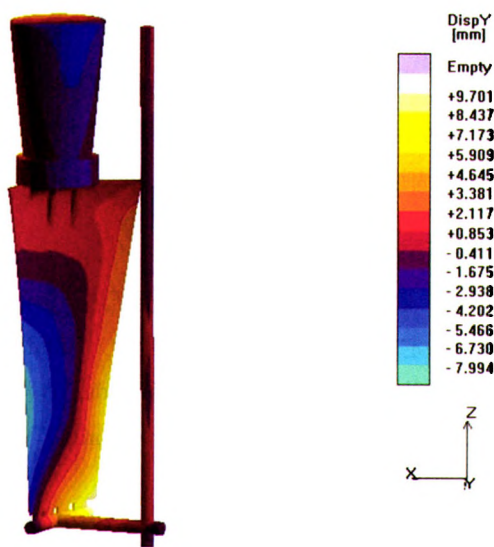


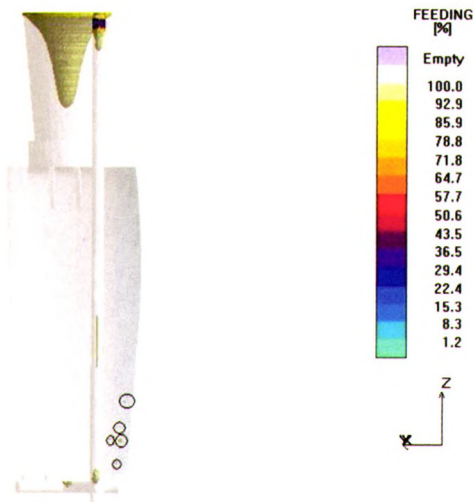
图2 4600叶片立式铸造工艺三维实体

根据所设定的条件和具体参数，应用模拟软件对铸件的凝固过程进行数值模拟，图3为立式铸造工艺方案的模拟结果。从图3a可看出，叶片Y方向的变形量较大，在5mm左右，并且产生变形的面积也很大，近乎50%叶片表面产生变形。从图3b补缩结果可看出，在叶片下端有很多明显的缩松。

鉴于模拟结果不是很理想，并且叶片立式浇注，浇注温度高，凝固时间长，对铸型表面热作用剧烈，因此我们考虑第二种工艺方案——卧式铸造工艺。



(a) 叶片在Y方向的变形情况



(b) 内部凝固过程中缩松分布

图3 立式铸造工艺方案的模拟结果

2. 方案II——卧式铸造工艺

(1) 确定冒口及浇注系统 根据热节圆法及模数法，确定冒口直径为230mm，高度为520mm。

采用底注式浇注系统，包孔选取 $\phi 50\text{mm}$ ，直浇道选取 $\phi 60\text{mm}$ ，横浇道选取 $50/55\text{mm} \times 40\text{mm}$ ，内浇道为 $70/80\text{mm} \times 20\text{mm}$ 共6道。

利用模数法验证： $f=M_R/M_C$

式中 f ——扩大系数（明冒口 $f \geq 1.2$ ）；

M_R ——冒口模数（cm）；

M_C ——被补缩部分铸件模数（cm）。

经计算， $M_C=13.7\text{cm}$ ， $M_R=50.2\text{cm}$ ， $f=3.66>1.2$ ，说明冒口尺寸比较合适。

冒口最大补缩能力验算：

$$G_{C\max}=G_R(\eta-\varepsilon)/\varepsilon$$

式中 $G_{C\max}$ ——被冒口补缩的铸件最大重量（kg）；

G_R ——冒口重量（kg）；

η ——冒口补缩效率（%）；

ε ——金属液的体收缩率（%）。

明冒口 η 取14%，ZG06Cr13Ni4Mo材质 ε 取5.3%，经计算得出 $G_{C\max}=371.8\text{kg}$ ，叶片毛坯重量 $G_C=275\text{kg}$ ，冒口补缩能力足够，说明选择的冒口尺寸合适。

(2) 卧式铸造工艺模拟 用 Solidedge软件绘出铸件的实体模型，考虑到叶片的叶面较薄，不利于渣、气等的排出，因此在叶片上设置两个排渣槽，4600叶片卧式铸造工艺三维实体如图4所示，再次利用模拟软件进行模拟，水玻璃造型，浇注温度 1600°C ，铸型初始温度 25°C 。

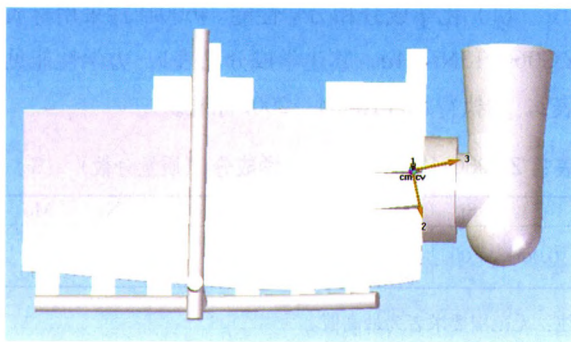
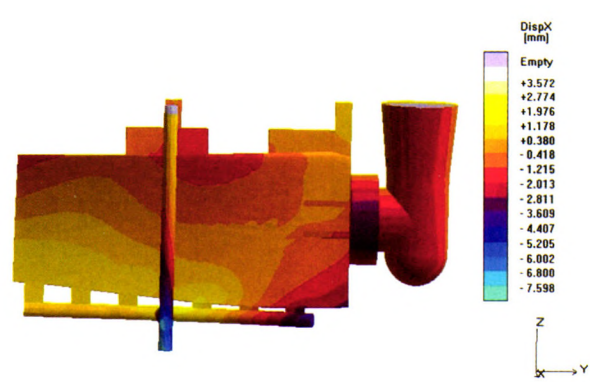
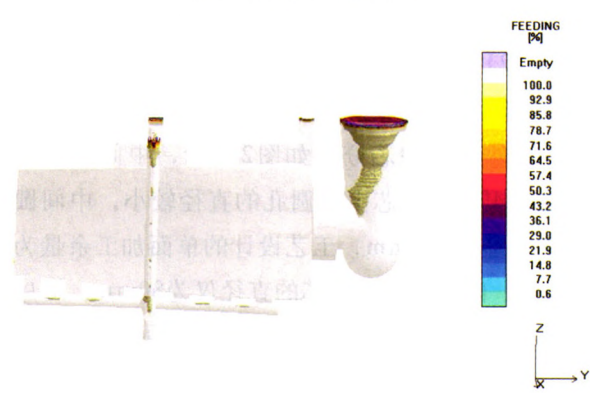


图4 叶片卧式铸造工艺三维实体

根据所设定的条件和具体参数，应用模拟软件对铸件的凝固过程进行数值模拟，图5为卧式铸造工艺方案的模拟结果。从图5a可看出，叶片X方向的变形量在2mm左右，并且产生变形的面积较小，从图5b补缩结果看，缩松基本出现在冒口及浇道位置。从模拟结果可以看出，卧式铸造工艺可行。



(a) 叶片X方向的变形情况



(b) 叶片内部凝固过程中缩松分布

图5 卧式铸造工艺方案的模拟结果

三、熔炼工艺

采用电弧炉和AOD氩氧精炼炉双联熔炼法熔炼，为了保证铸件的耐蚀性和耐磨性，钢液中的C含量（质量分数）要求控制到0.06%以下，并对P、S含量等也要严格控制，结果见表3。

表3 叶片检测化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
0.028	0.46	0.69	0.018	0.024	11.66	3.79	0.41

四、叶片的清理和热处理

图6为4600叶片带浇冒口的铸造毛坯，表面没有发现夹渣、气孔、冷隔及裂纹等缺陷。为防止叶片产生变形、裂纹，叶片在300℃以下打箱，并在铸件温度不低于200℃时切割冒口。

落砂后对铸件清整打磨，然后进行热处理。热处理时轴头部位向下，热处理工艺如图7所示。装炉时铸件底部不要直接和炉底板接触，升温速度不能大于70℃/h，炉内各部位温差不能大于5℃，不能叠压铸件，严防人为造成叶片变形。



图6 带浇冒口的叶片铸造毛坯

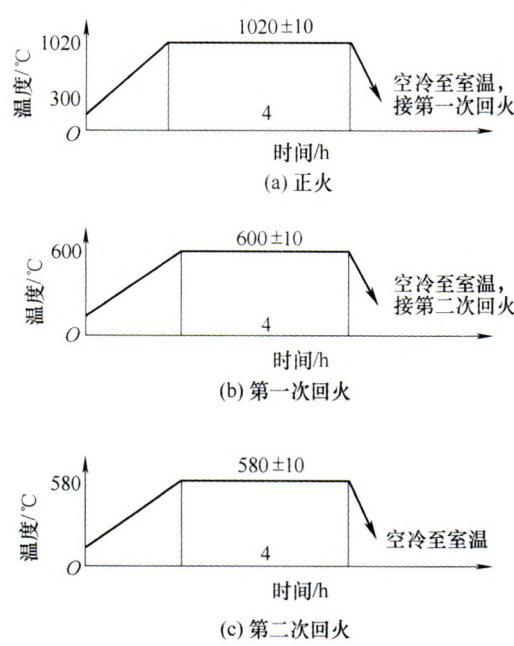


图7 叶片的热处理工艺

五、生产结果验证

(1) 叶片型线的三维测量 利用三坐标测量仪对热处理后的4600叶片毛坯进行型线测量，能够满足加工要求，加工后叶片如图8所示。



图8 4600叶片的最终精加工状态

滑块内腔芯的工艺优化

中国第一重型机械股份公司（齐齐哈尔 161042） 姚建柱 郑馨秋

1. 铸件简介

滑块是热模锻压力机重要的动力传递装置，其本体受冲击力很大，因此力学性能要求较高，铸件的验收技术要求严格。我厂采用呋喃树脂砂造型生产，铸件结构如图1所示，其外轮廓尺寸为2250mm×1600mm×1900mm，铸件上方壁厚220mm，其余壁厚120mm。

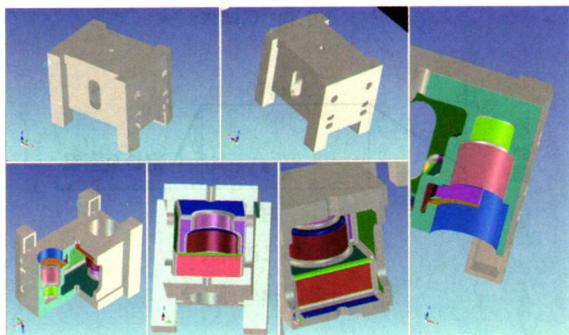


图1 铸件结构

铸件无损检测技术要求如下：

（1）表面粗加工后所有外表面进行超声波检测，标准依据JB/T5000.14—2007，检验等级Ⅰ级。

（2）叶片的无损检测 叶片无损检测按A609标准执行，结果符合标准要求。

（3）叶片的性能检测 对附铸试块的力学性能检验结果也完全符合客户要求（见表4），试块为同炉外浇基尔试块，随叶片同炉热处理。

表4 4600叶片力学性能

R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	Z (%)	A_{KV2} /J	HBW
788	621	21.0	68	98、118、 124	252、252、 253

（2）精加工后零件进行磁粉检测，标准依据JB/T5000.14—2007，检验等级Ⅰ级。

铸件内腔砂芯分布如图2所示，中间位置的砂芯为4#芯，此芯上下圆孔的直径较小，中间圆孔的直径为120mm，工艺设计的单面加工余量为20mm，因此上下圆孔芯的直径仅为80mm。对应位置内腔空间较大，宽向两侧留有落砂孔。

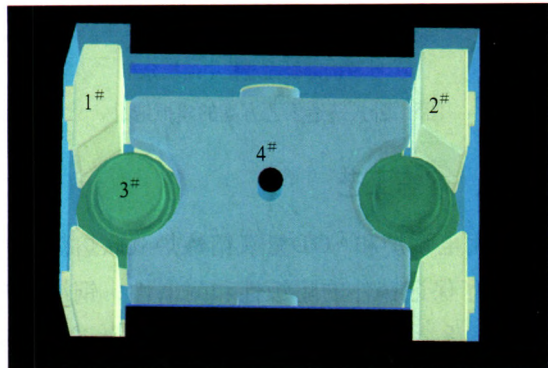


图2 内腔砂芯

由于上下圆孔砂芯的直径较小，对应位置内腔尺寸较大，整个砂芯的重量与浇注后液态时的浮

六、结语

（1）针对叶片轴向较长，曲面的扭曲较大，且叶片厚度很薄的情况，采用卧式工艺方案铸造，叶片的变形量和内部质量均达到了设计要求，工艺方案可靠。

（2）采用铸造数值模拟技术，对叶片的凝固过程、应力分布等进行数值模拟，有效地预测了铸件在凝固过程中产生的质量问题，为工艺方案的制订提供了依据。MW (20131008)