

基于数值模拟改善下环类铸件椭圆度工艺研究

哈尔滨电机厂有限责任公司 (黑龙江 150040) 李凤玉 李祖良

【摘要】 本文利用计算机数值模拟技术, 预测大型下环类铸钢件生产中经常出现的变形及尺寸偏差等铸造缺陷, 进而优化工艺, 降低铸造成本。通过对水轮机下环的铸造工艺进行计算机数值模拟, 掌握在铸件凝固过程中的应力变化, 并验证应力数值模拟的准确性。通过对典型铸件工艺的数值模拟和验证研究, 实现了数值模拟技术在生产中的实际应用, 避免了工艺设计的盲目性, 缩短了新工艺的设计周期和设计成本。

对铸件凝固过程进行应力数值分析, 可以更好地了解铸件凝固过程中应力和变形的动态变化, 在此基础上进行尺寸精度控制, 为实际生产提供科学指导。

一、概述

在铸造生产中, 经常由于结构方面的原因及工艺处理不当而出现铸件变形 (如水轮机叶片类铸件易产生挠曲; 半圆形铸件易产生扩口; 水轮机下环类铸件易产生椭圆), 这是大型铸钢件中普遍存在的铸造缺陷, 且这些缺陷会严重影响铸件的质量和使用寿命, 给企业造成很大的损失。

目前我国大多数工厂的质量分析, 通常在铸件凝固结束或报废之后进行, 如果采用数值模拟技术则可在生产之前对其铸造工艺方案及铸件的凝固过程进行计算机试浇和质量预测, 利用各种计算数据判断铸造缺陷 (变形、裂纹等) 能否产生, 从而调整工艺方案, 事先采取有效措施, 制定出最佳的铸造工艺方案。

二、提高下环类产品铸造精度的工艺研究

1. 三维建模软件的选择

目前国内企业应用较多的三维建模软件是 Pro/E、UG、Ironcad、Autocad 等。Pro/E 和 UG 实行参数化设计, 曲面和模具设计能力较强, 但较难掌握; Autocad 二维制图能力较强而三维实体造型较为繁琐; Ironcad 采用积木三维造型的理念, 铸造工艺员很快就能熟练掌握, 但曲面造型功能较差。综合考虑后我们选用 Pro/E 和 Ironcad 作为三维建模的工具。

2. 数值计算方法及模拟软件的选择

目前, 比较成熟的数值模拟方法有: 有限差分法 (FDM)、有限元法 (FEM)、边界元法 (BEM)、有限体

积法 (FVM) 和控制体有限差分法 (CV-FDM)。有限差分法与有限元法则是材料成形技术计算机模拟的两种主要数值计算方法。根据现有试验条件, 我们选择德国的 MAGMA 作为研究的软件。

3. 基于数值模拟下环类铸件的工艺研究

水轮发电机的心脏是转轮机构, 其中下环是转轮机构的关键部件, 它直接关系到机组的使用效率和寿命, 其制造工艺方法是一个国家铸造工艺水平高低的标志。

水轮发电机转轮部套下环铸件在铸造生产中常出现椭圆缺陷, (如我公司曾经生产的伊朗苏黎曼、卡Ⅲ等机组的下环都存在椭圆缺陷), 在传统工艺中只能依靠增大铸造余量来确保铸件的尺寸, 这就会造成钢液及加工工时的浪费。

(1) 工艺研究 以直孔下环为例, 该下环铸件材质为 ZG06Cr13Ni4Mo, $\phi 4000\text{mm}$, 高 1110.1mm, 最大截面厚 211mm, 最小截面厚度 80mm。

在研究了下环的结构之后, 我们认为造成椭圆缺陷的主要原因是: ①铸件的截面厚度变化很大, 接近于很长的 T 形结构, 铸件在收缩过程中, 冷却速度较慢的厚大部分向下凹入, 使整个铸件发生挠曲变形, 表现为出现椭圆。②浇注工艺采用两个钢包同时浇注, 对称的浇注系统在直径方向对铸件的收缩产生一定的阻力, 表现为铸件出现椭圆, 且这种现象对于薄壁铸件尤为明显。

为改变下环的结构和收缩条件, 我们做了大量的工作, 其中最有效的是: 其一, 在下环截面较薄的下端加

一圈反变形环筋,使下环上下端面的截面厚度大致相同,形成工字钢形的稳定结构,避免在收缩过程中产生挠曲变形,且增大的截面厚度也减小了浇注系统对铸件收缩的影响;其二,控制型砂紧实度,使下环在收缩过程中的阻力减小。图1为铸造工艺图。

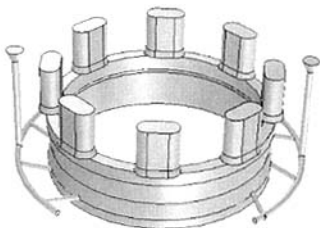


图1 铸造工艺图

为验证工艺的准确性和可行性,我们首先在计算机中对不采取反变形措施和采取反变形措施的两种工艺方案作一对比。

首先对下环不采取反变形措施的铸造工艺进行凝固过程应力场数值模拟,结果如图2所示。

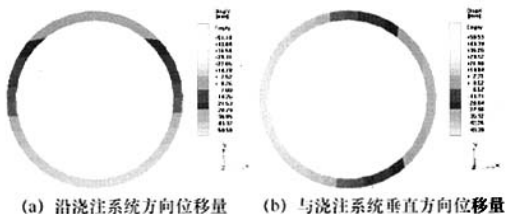


图2 不采取反变形措施工艺结果

模拟结果显示,浇注系统方向最大收缩区间为36.58~43.84mm,与之垂直方向的最大收缩区间为42.26~49.39mm,铸件的变形趋势与实际情况基本吻合。

然后我们对下环采取反变形措施的铸造工艺进行凝固过程应力场数值模拟,结果如图3所示。

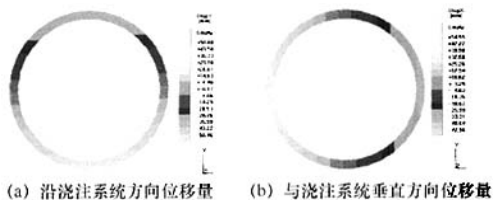


图3 工艺改进后应力场模拟结果

模拟结果显示,浇注系统方向最大收缩区间为

40.64~47.96mm,与之垂直方向的最大收缩区间为43.22~50mm,铸件的变形趋势得到明显的改善。

(2) 过程控制 在下环的实际生产中,我们对影响下环尺寸精度的重要环节尤其是合箱过程加以严格控制,利用样板对型腔的尺寸进行检查。另外,铸件热处理后利用经纬仪对整个下环的型线进行测量,并将结果及时反馈工艺设计部门,以便根据测量结果对工艺进行合理的优化。

(3) 研究效果 在工艺上采取反变形措施后,下环实际的铸件尺寸基本与模拟结果相符,与传统的工艺进行对比,我们不难发现,在采用了环形反变形筋工艺后,铸件在浇注系统方向的收缩发生了很大的变化,铸件的椭圆问题得到了解决。

三、结语

通过模拟工艺研究,我们得出如下结论:

(1) 三维实体造型是数值模拟技术的基础,是铸造工艺在计算机中应用的具体体现。准确快速的三维实体造型可以保证计算机数值模拟最大限度地接近生产实际。通过大量的实际操作和对比,我们认为 Ironcad 等基于堆积消隐法的三维实体造型软件,对于铸造工作者来说,简单易学,便于操作,可用于结构简单的铸件实体造型。而对于结构复杂的铸件,则必须采用 Pro/E、UG、IdeaS 等基于参数化设计的三维实体造型软件。

(2) 有限差分法不但在温度场模拟方面具有简单、易处理和计算成本低的优点,而且随着人们不断的研究,它在应力场模拟方面也取得了巨大的突破。

(3) 目前,应力场分析在国内仍处于研究阶段,很少用于指导生产。我们通过对铸钢件下环的铸造工艺进行应力场模拟,并根据模拟结果采用工艺环筋和反变形量等工艺措施,不仅生产出尺寸合格的铸件,为今后生产同类产品积累了宝贵的经验,同时,也证明了依靠铸造工作者一定的实际经验,并结合应力场模拟的科学依据,完全可以避免铸件产生变形的缺陷,或改变铸件的变形趋势。

(4) 由于本次试验假设砂型的紧实度在各个方向上是一致的,而在实际生产中,砂型的紧实度和退让性是变化的,因此,铸件实际产生的变形量与模拟结果有一定的差异,但变形趋势是一致的。

(20061022)