

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.018

铁型覆砂铸造行星架的凝固模拟及工艺优化

马益诚,黄列群,潘东杰,沈永华,应浩
(浙江省机电设计研究院有限公司,浙江 杭州 310002)

摘要: 针对普通砂型铸造生产行星架铸件时,铸造缺陷多、产品合格率低的问题,采用铁型覆砂铸造方法生产行星架铸件。对铸件的热节、缩孔和缩松进行了凝固模拟分析,对铸造工艺进行了优化;应用凝固模拟技术来指导铸造工艺设计,缩短了工艺设计周期,降低了模具返修率。生产应用结果表明,应用铁型覆砂铸造工艺生产的行星架铸件表面光洁、尺寸准确、内部组织致密,没有缩孔、缩松缺陷;可以实现无冒口铸造,降低了生产成本,具有显著的经济效益和竞争优势。

关键词: 铁型覆砂铸造;凝固模拟;行星架;工艺优化

中图分类号: TH132; TG242; TH161 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)06-0714-03

Solidification simulation and process optimization of carrier with iron mould coated sand casting

MA Yi-cheng, HUANG Lie-qun, PAN dong-jie, SHEN Yong-hua, YING Hao
(Zhejiang Institute of Electrical and Mechanical Design Co., Ltd., Hangzhou 310002, China)

Abstract: Aiming at the problems of much casting defects, low rate of qualified products, existed in casting the planet carrier by ordinary sand, iron-coated sand casting method was used for the production of carrier castings. The solidification simulation analysis with hot section, shrinkage cavity, shrinkage porosity was carried, optimization of the casting process was realized. The solidification simulation technology was applied to guide the casting process design, and the design cycle process was shortened, the mold repair rate was reduced. Production practice results show that, by the iron-type coated sand casting method, the casting surface of planet carrier is smooth, its size is accurate, internal organization is dense, it doesn't have shrinkage cavity, shrinkage porosity defects. It can realize the non-riser casting, reduce production costs, and it has significant economic benefits and competitive advantage.

Key words: iron mould coated sand casting; solidification simulation; carrier; process optimization

0 引言

行星架是齿轮箱行星齿轮的主要支撑构件,其工作环境恶劣,长期承受较大应力,损坏速度很快,对传动系统的稳定性和可靠性影响非常大^[1-2]。所以对它的强度和力学性能要求很高,并且为了大批量生产,铸件表面不允许有粘砂,内部不允许有气孔、缩孔、缩松等缺陷,以达到一定的使用寿命。以往采用普通砂型铸造生产时,夹砂、胀砂、气孔、缩孔、缩松等多种铸造缺陷难以解决,产品合格率只有70%左右,致使生产成本居高不下。铁型覆砂铸造技术是国家重点新

技术推广项目,它的优势是:既能获得优异的铸件质量,又能实现节材、节能,降低生产成本。目前,国内已有100余家工厂建有铁型覆砂铸造生产线,用于生产质量要求高,生产批量大的铸件,例如曲轴、凸轮轴、制动鼓等,年产铸件约10万吨^[3]。但到目前为止,未见有用铁型覆砂铸造工艺生产行星架的报道。

由于计算机凝固模拟具有实现铸造工艺的智能化设计及可视化铸造过程^[4-5]的特点,在行星架铸件工艺设计中,本研究利用凝固模拟技术来指导工艺设计,修改工艺方案,完善工艺设计方案,从而达到缩短设计周期、一次性设计成功的目的。

收稿日期: 2013-01-04

作者简介: 马益诚(1962-),男,浙江东阳人,高级工程师,主要从事铁型覆砂铸造技术的研究开发与应用方面的研究. E-mail: mycmgh@163.com

1 铁型覆砂铸造工艺设计

1.1 铸件的技术要求

行星架铸件如图1所示。

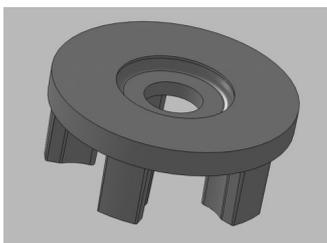


图1 行星架铸件图

该铸件共有3种零件018、092和113。铸件轮廓尺寸分别为 $\phi 217\text{ mm}\times 60\text{ mm}$ 、 $\phi 230\text{ mm}\times 60\text{ mm}$ 、 $\phi 216\text{ mm}\times 60\text{ mm}$,单件重约分别为8.5 kg、9 kg、8.1 kg。

化学成份W(%):C:3.0~3.4, Si:1.9~2.2, Mn:0.7~0.9, P \leq 0.05, S \leq 0.03, Mg:0.03~0.05%, Re:0.02~0.04%;

材质为QT500-7,基体组织为铁素体和珠光体混合组织,球化等级为1~3级。

力学性能为:抗拉强度 σ_b (MPa) \geq 500;屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa) \geq 320;伸长率 δ (%) \geq 7;硬度为170 HB~230 HB。渗炭体 \leq 3%,不允许存在网状渗炭体。

这种球铁由于有较好的强度和良好的韧性而被广泛应用于汽车行业。

1.2 工艺设计原则及参数

行星架铸件单重为9 kg左右,铸件上平面平均壁厚为24 mm,5个柱子部位壁厚特大(如图1所示),柱子底部为似长方形结构,尺寸为长 \times 宽 \times 高=37 mm \times 30 mm \times 60 mm。采用普通砂型铸造生产时,缩孔、缩松铸造缺陷始终难以解决。在铁型覆砂铸造工艺中,铸型(铁型)具有足够刚度,在铸件凝固过程中,能充分利用自身的石墨化膨胀来进行自补缩,实现无冒口铸造,且能获得内在组织致密的铸件。所以该件采用铁型覆砂铸造工艺非常合适。工艺设计采用均衡凝固的原则^[6],设计方案为一型四件,铸件比例为018:092:113=2:1:1。水平分型、水平浇注。铸件全部放在下型,圆环平面在上,5个柱子在下。圆环平面的铁水可以对5个柱子实现充分的液态补缩,浇道又可以对圆环平面保证充分的液态补缩,补缩通道非常通畅。浇注系统采用半封闭式、无冒口铸造,各组元的断面比例为 $\Sigma F_{直}:\Sigma F_{横}:\Sigma F_{内}=1.2:1.7:1$ 。浇注系统设计中,选用较小的横浇道截面积,同时在内浇口处加设集渣包,使铁液中的夹渣物有充分的上浮空间,起到很好的挡渣作用,同时亦满足了铸件必要的液态补缩;较小的内浇道设计,可使其在铁液石墨化膨胀开始前封闭,防止铁液回流,充分利用自补缩^[7]。

工艺布置图如图2所示。铸件的冷却速度同铁型的壁厚有很大的关系,在覆砂层厚度不变的前提下,铁型愈厚,冷速愈快^[8];反之亦然。为实现铸件的均衡凝固,铁型壁厚选择为25 mm~40 mm,铁型材质为灰铸铁HT200,覆砂层厚度选用6 mm~10 mm。

2 数学模型的计算分析

在铸型的充型过程中,将液态金属看作不可压缩流体,其流动过程服从质量守恒和动量守恒定律,其数学形式是连续性方程和N-S方程^[9]:

(1) 连续性方程:

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

(2) N-S方程:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \nabla^2 u \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \nabla^2 v \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \nabla^2 w \quad (4)$$

式中: D —散度; u, v, w —速度矢量在 X, Y, Z 方向上的分量; P —单位密度的压力,即压力/密度; μ —运动粘度; g —重力加速度; ∇^2 —拉普拉斯算子; ρ —金属流体密度。

铁型覆砂铸造的凝固过程是一个不稳定的导热过程,其传热过程为:铁水从浇注系统进入铸件后,高温铁水立即使覆膜砂中的树脂燃烧,在型腔里充满了气体,当铁水充满型腔后,在铸件和覆膜砂之间形成气隙,在覆膜砂和铁型之间也形成气隙。所以,其传热过程为“铸件—气隙—覆膜砂—气隙—铁型—大气”。

其热传导微分方程^[10]为:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$

式中: λ —导热率, ρ —密度, C —比热, q —内部生成热。

3 凝固模拟分析

3.1 热节的模拟分析

铸件热节的凝固模拟结果如图3所示。每个铸件

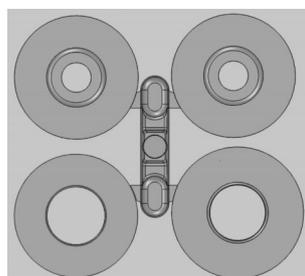


图2 行星架工艺布置图

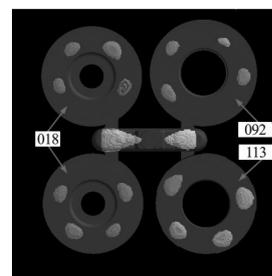


图3 热节部位俯视图

共有4个热节,且全部在平面与柱子的交汇处。113的热节较大,但也是相同颜色的,表明一般情况下不会形成缩松。018和092的热节较小。但由于热节的体积比仍然较大,本研究在工艺上采取增加气针,加大上表面的铁型厚度,化学成份上增加碳当量,以增加石墨化膨胀量。从图中可知,横浇道集渣包的热节最大,表明有充分液体补缩,但同时也表明集渣包可以适当缩小。

3.2 缩孔、缩松分析

铸件缩孔、缩松模拟结果的透视剖面图如图4所示。本研究根据铸件热节的凝固模拟分析,并且在工艺装备设计时采取多项措施后,从缩孔缩松模拟结果来看,效果很好。从图4中可看出,铸件减少横浇道集渣包后,整体上也并没有出现缩孔、缩松,浇注系统上也并没有出现缩孔、缩松的现象,说明横浇道及集渣包的尺寸已经合理,不能再小,工艺出品率已经达到最大状态。为了看得更加清楚,本研究专门在热节部位作了剖面图,从图中可以看到,热节部位也没有发现缩孔缩松。

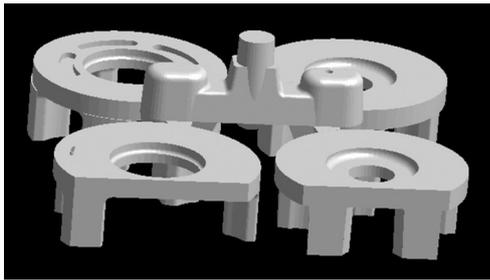


图4 热节部位缩孔缩松剖面透视图

4 生产验证

在实际生产中,熔化设备为1 t中频电炉。球化处理温度为1 520 ℃~1 480 ℃,浇注温度为1 420 ℃~1 350 ℃。由于铁型覆砂铸造中,铁液的冷却速度比普通砂型铸造快3倍左右,因此,金相组织中石墨球细小圆整,而且数量多,球化等级可达到1~2级,如图5所示。

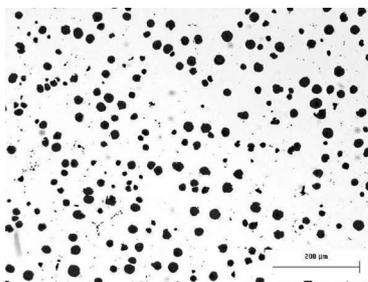


图5 铸件金相组织×100

铁型覆砂铸造行星架与砂型铸造行星架各项技术指标对比如表1所示。比较结果表明,铁型覆砂铸造工艺生产出的行星架铸件表面光洁、尺寸准确、内

部组织致密、球化等级稳定。与普通砂型铸造相比,可节约生产成本35%,节约能源30%,显示出良好的经济效益和竞争优势。

表1 铁型覆砂铸造与砂型铸造应用效果对比

技术指标	铁型覆砂铸造	砂型铸造
球化级别(级)	1~2	2~4
球径大小(级)	6~7	5~6
表面粗糙度	Ra12.5	Ra25~Ra100
尺寸公差	CT6~7	CT9~11
重量公差	MT4~5	MT8~10
铸件等级(部标)	一级	二级
生产率	提高4倍	一般
工艺出品率	92%	60%
废品率	<3%	>30%

5 结束语

本研究利用计算机模拟技术,在行星架铸件工艺设计中,实现了铸造工艺的智能化设计及可视化。

(1) 通过对铸件的热节、缩孔、缩松模拟分析,其结果表明,设计的铸造工艺是合理的。生产的行星架铸件表面光洁、尺寸准确、内部组织致密,没有缩孔、缩松缺陷;

(2) 凝固模拟技术可以指导工艺设计,减少铸件缺陷,缩短工艺设计周期。

(3) 采用铁型覆砂铸造的行星架铸件,其各项性能指标均优于砂型铸造,提高了企业的经济效益和竞争能力。

参考文献(References):

- [1] 陈成,毛莹,邹旻. 减速器行星架的有限元分析[J]. 工程机械,2011,42(3):43-45.
- [2] 柳百成. 铸造技术与计算机模拟发展趋势[J]. 铸造技术,2005,26(7):611-617.
- [3] 黄列群,董凌云,潘东杰,等. 铁型及覆砂层厚度对铸件凝固的影响[J]. 机电工程,2012,29(2):163-165.
- [4] 米国发,董翠粉,刘祥宇. 大型薄壁件铝合金筒体铸件差压铸造工艺数值模拟[J]. 汽车工艺与材料,2007(11):25-28.
- [5] 任英大,刘明志,杨佳星. 水压机下横梁铸造工艺模拟分析[J]. 铸造,2012,61(5):511-514.
- [6] 魏兵,袁森,张卫华. 铸件均衡凝固技术及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [7] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2007.
- [8] 马益诚,应浩. 铁型覆砂铸造后悬架的工艺设计[J]. 铸造技术,2012,33(11):1342-1344.
- [9] 荆涛. 凝固过程数值模拟[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [10] 熊守美. 铸造过程模拟仿真技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

[编辑:张翔]