

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.12.009

# 大型齿轮无模铸造的快速研制

许海铎, 吕乐华, 张杰琼

(第一拖拉机股份有限公司 制造工程中心, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 基于快速铸造技术研究了大型齿轮的快速研制过程。针对直径 1 800 mm 大型齿轮中轮齿的分型位置, 采用“整体齿”的铸造工艺, 通过浇注系统设计、分型设计、铸型加工、坎合组型、熔炼浇注等过程对大型齿轮铸件进行快速研制。结果表明, 采用“整体齿”的技术方案研制大型齿轮铸件生产周期短, 生产成本低, 铸件结构精度高, 铸件表面质量好, 具有良好的推广应用价值。

**关键词:** 快速铸造; 分型设计; 结构精度

中图分类号: TG249

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2020)12-1142-03

## Rapid Development of Large Gear Made by Patternless Casting

XU Haiduo, LYU Lehua, ZHANG Jieqiong

(First Tractor Company Limited Engineering Center of Manufacture Technology, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** The rapid development of large gear was studied based on rapid casting technology. Aiming at the parting position of gear teeth in large gear with diameter of 1 800 mm, the casting technology of “whole tooth” was adopted, and the development of large gear castings was carried out rapidly through pouring system design, parting design, casting machining, joint forming and melting casting. The results show that the technical scheme of “integral tooth” for the development of large gear castings has the advantages of short production cycle, low production cost, high casting structure precision and good casting surface quality.

**Key words:** rapid patternless casting; mould designed by several small moulds; structure precision

伴随着快速成形技术和 3D 打印技术的飞速发展, 由先进的快速成形技术与传统的有模砂型铸造结合而来的快速铸造技术应运而生, 快速铸造技术仅通过零件的三维 CAD 模型即可完成浇注系统设计、分型工艺设计、铸型加工工艺设计等一系列流程方案的设计工作<sup>[1]</sup>。目前, 中国一拖集团有限公司第一拖拉机股份有限公司工艺材料研究所拥有 2 台用于快速铸造制备铸件砂芯、砂型的数字化无模铸造精密成型机。其中一台是三轴数字化无模精密成型机; 一台是五轴数字化无模精密成型机, 该设备可从多个角度加工较大尺寸的砂型。本文以最大直径 1 800 mm 大型齿轮(以下简称大齿轮)为实例, 具体展开对其铸造工艺方案的研究和实施, 通过优化分型工艺方案, 保障大齿轮铸件的结构精度和铸件质量。

## 1 铸造方案的确定

### 1.1 铸造难点分析

大齿轮铸件三维模型(见图 1), 铸件净重 481 kg,

收稿日期: 2020-10-15

作者简介: 许海铎(1988-), 河南洛阳人, 硕士, 工程师。主要从事快速铸造工艺方案设计及应用方面的工作。

电话: 0379-64969372, E-mail: xhd198863@126.com

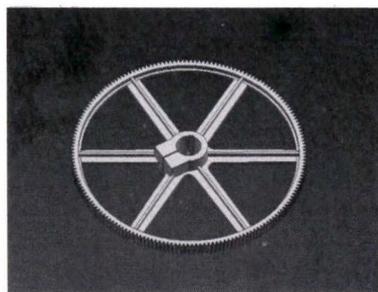


图 1 大齿轮铸件图

Fig.1 Casting figure of the large gear

材质为 HT300, 铸件最大直径 1 800 mm, 由于该铸件不作精密传动机构使用, 因此客户要求轮齿直接铸出, 后期不再进行机械加工。业内周知, 对于此类上下机构对称的铸件, 通常将结构对称面作为其分型面最为简便, 但是如果应用到此铸件上会导致轮齿被分型面分开, 将来铸件的轮齿必定会有披缝, 这是不允许的。因此, 在考虑铸件尺寸精度和表面质量的情况下, 在后期分型过程中将轮齿整体放入下型。

### 1.2 主要设备

五轴数字化无模精密成型机, 成型尺寸 2 000 mm (X 轴)×1 500 mm (Y 轴)×400 mm (Z 轴), 附属配备  $\phi 16$  mm 普通合金刀具,  $\phi 4$  mm PCD 刀具各 2 套。

## 2 浇注系统设计

根据大齿轮铸件的难点分析,注意到大齿轮中心位置有特别厚大的装配轴孔结构,又注意到该铸件材质为 HT300,合金元素添加量多,铸件本身在金属液凝固过程中收缩倾向会加大,应该考虑避免缩孔缺陷,因此应考虑该特别厚大部位在后期分型中放置在下型。为了保证铁液平稳充型,防止诸如气孔、夹渣等铸造缺陷的产生,采用封闭式浇注系统,各浇道的横截面积比值为 $\sum F_{直}:\sum F_{横}:\sum F_{内}=1.6:1.25:1$ <sup>[2]</sup>。该铸件中心的厚大装配轴孔,经 CAE 铸造模拟软件仿真模拟充型及冷却凝固过程,发现在厚大装配轴孔结构即便放置在下型仍然容易出现缩孔、缩松缺陷,因此在该部位上方放置一个补缩压边冒口<sup>[3]</sup>,冒口截面积 300 mm×180 mm,高 300 mm,如图 2。

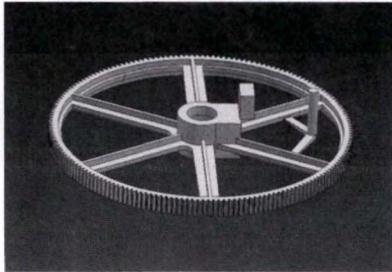


图 2 大齿轮铸造工艺  
Fig.2 Casting process of large gear

## 3 分型和装配设计

### 3.1 分型方案的设计

大齿轮铸件尺寸规格较大,最大径向尺寸为 1 800 mm,在考虑吃砂量的前提下,所需砂型的尺寸规格最小为 2 000 mm×2 000 mm×200 mm。较大的砂坯尺寸使得铸型加工设备无法直接将上下铸型直接加工成形(设备最大加工行程 2 000 mm×1 500 mm×400 mm),故在分型设计时先将砂型分为上模、下模 2 个部分,再将上模下模分别左右分为上左模、上右模、下左模、下右模 4 个部分,确定方案后,在 UG NX8.0 软件上按照上述思路进行分型设计,分型方案如图 3。

### 3.2 装配精度的设计

本次试制在综合考虑生产周期、生产成本的前提下采用数字化无模精密成型技术。基于设备自身成型特点,同时考虑整个砂型被分为 4 部分后期组型的装配精度问题,需要对砂型的加工精度进行设计。五轴数字化无模精密成型机,成型尺寸 2 000 mm(X 轴)×1 500 mm(Y 轴)×400 mm(Z 轴)的理论成

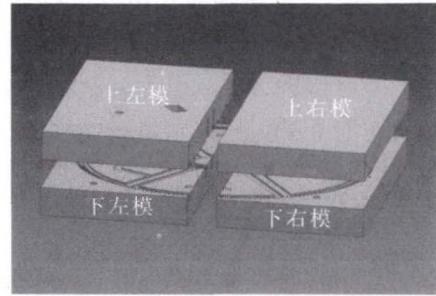


图 3 大型齿圈铸型分型示意图  
Fig.3 Schematic mould made by four different small mould parts for large gear

型尺寸精度 $\pm 0.25$  mm/m,后经过长期积累的大量砂型加工切削数据得出在加工大齿轮砂型前该设备的成型精度为 $\pm 0.3$  mm/m。因此,在组型前必须充分考虑上左模、上右模、下左模、下右模等 4 个部分之间砂型的装配关系,经过试验、分析,根据砂型最终成形精度的实际情况,加工按照表所示参数对该套铸型进行装配精度设计。

由于该大齿轮所有轮齿均分型在下模,因此为了保证铸件上轮齿的结构精度,同时兼顾砂型在加工时的整体难度以及后期组型过程的难易程度,装配精度设计方案为下左模和下右模的装配精度要求要高于其他 3 个装配部位的精度,如表 1。

表 1 砂型装配精度参数设计

Tab.1 Assembly accuracy parameter design of sand mold

装配面	砂型尺寸/mm	装配间隙设计/mm
上左模/上右模	2 000×1 000×200	0.5
下左模/下右模	2 000×1 000×200	0.5
上左模/下左模	2 000×1 000×200	0.5
上右模/下右模	2 000×1 000×200	0.3

## 4 砂型制备和组型浇注

### 4.1 砂型、砂芯的质量要求

虽然大齿轮铸件各个部位厚度大多在 50 mm 左右,但轮齿部位结构较窄,齿顶最窄处仅有 10 mm,根据铸造经验要求砂型的强度要达到 1.2 MPa 以上。通过铸件三维反求的砂型来看,型腔结构延伸范围较大,不利于型腔排气,在砂型制作过程中要充分考虑到铸型发气量的问题。因此,采用酚醛树脂砂工艺制备砂块,树脂 CPI-1600 和 CPII-2600 加入量各为 1%,固化剂加入量为树脂加入量的 1%。在此工艺下制备出的砂型强度 1.2~1.6 MPa,发气量小于 9.7 mL/g。

### 4.2 砂型的数字化切削成型

在五轴数字化无模精密成型机上对 4 块砂块分别进行数字化切削加工成型:①采用 Z 轴进给刀具的方式,使用 $\phi 16$  mm 平头刀执行 Cavity-Milling

(型腔铣)加工程序,每块砂块用时 2 h,此程序执行完毕后,大齿轮的圆形轮廓及辐条形状成型;②使用  $\phi 4$  mm 平头刀执行 Rest-Milling(剩余铣)加工程序,每块砂块用时 0.5 h,此程序执行完毕后,轮齿成型;③使用  $\phi 4$  mm 平头刀执行 Zlevel-Profile(精加工)加工程序,下左模和下右模分别用时 0.5 h,此程序执行完毕后,下左模和下右模的装配面得到精铣,如图 3。

4.3 组型浇注

所有砂型加工完毕后进行砂型装配,测量结果满足表 1 所设计的装配精度。组型、结构检查、合箱,外围用砂箱围箱,顶端放置压铁加固。金属液熔炼完毕开始浇注,浇注温度 1 380 ℃,浇注时间

59 s。铸件冷却凝固后开箱清理,铸件无缩孔、气孔缺陷,铸件表面质量较好。

5 快速铸造与传统铸造方式的生产周期、生产成本对比

采用快速铸造的工艺方案对此大齿轮铸件进行快速研制,从三维建模到铸造工艺设计,再到砂块的制作和铸型的加工成型,最后到组型浇注毛坯清理净使用 22 h,花费成本 2 050 元。如果采用传统铸造工艺试制此大齿轮铸件,从图纸设计木模制作,直至最后毛坯浇注成型净使用 50 h,花费成本 5 720 元。两种制造方法的周期和成本对比如表 2。

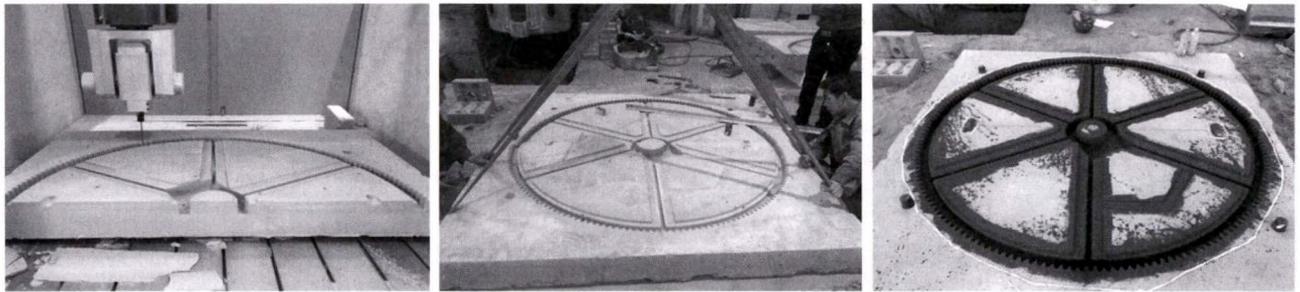


图 4 大型齿轮砂型的加工,测量,组型,合箱和浇注  
Fig.4 Machining, measuring, assembling, closing and pouring of the larger gear sand mould

表 2 快速铸造与传统铸造的生产周期、生产成本对比  
Tab.2 Comparison of production cycle and production cost between rapid casting and traditional casting

周期对比项	快速铸造 /h	传统铸造 /h
工艺设计周期	5	2
木模制造周期	0	40
铸型制造周期	11	2
熔炼浇注、铸件清理周期	6	6
合计	22	50
成本对比项	快速铸造 / 元	传统铸造 / 元
工艺设计成本	500	200
木模制造成本	0	4800
铸型制造成本	2 000	500
熔炼浇注、铸件清理成本	220	220
合计	2 720	5 720

由此可知,在大齿轮类铸件快速研制时,使用快速铸造工艺方案比使用传统铸造方案研发周期缩短了 56%,生产成本降低了 52.4%。快速铸造工艺方法在铸件的新产品快速研制领域具有很大的推广应用价值。

6 结论

(1)采用“整体齿”的铸造工艺,通过浇注系统

设计、分型设计、铸型加工、坎合组型、熔炼浇注等过程对大型齿轮铸件进行快速研制可获得较高的铸型装配精度,保证铸件轮齿部位的尺寸精度和表面质量。

(2)考虑到铸型排气的问题,在制造铸型砂块时,两种树脂的加入量各为%1,可在保证砂型强度的情况下使铸型砂块发气量小于 9.7 mL/g,避免铸件出现气孔缺陷。

(3)采用快速铸造工艺方案研制大型齿轮铸件或其他新产品铸件可大幅缩短试制周期,降低试制成本,相对于传统铸造方法具有很大的推广应用价值。

参考文献:

[1] 张敏华. 快速铸造技术的研究与发展 [J]. 铸造技术, 2009,30(2):292-294.  
[2] 史玉升, 刘杰, 杨劲松, 等. 小批量大型复杂金属件的快速铸造技术[J]. 铸造, 2005,54(8):754-757.  
[3] 东富义. 铸钢齿轮铸造工艺探讨[J]. 铸造, 2007,56(7):761-763.  
[4] 中国机械工程学会铸造分会编. 铸造手册, 第五卷: 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.