DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.012

复杂零部件数字化无模制造技术研究

王金刚
(机械科学研究总院 江苏分院有限公司,江苏 常州 213164)

摘　要:将铸造技术与数字化制造技术相结合,介绍了发动机缸盖数字化制造方法。与基于二维图纸和铸造经验的传统铸造不同,数字化制造全流程基于三维 CAD 数字模型。同时,将计算机模拟分析技术与铸型加工技术相结合,实现了全流程数字化设计、数字化模拟分析以及数字化加工成型。结果表明,通过其集成应用,成功开发了六缸发动机缸盖,为复杂零部件快速开发提供了一种新的制造方法。

关键词:数字化;模拟分析;快速制造;缸盖

中图分类号: TG242　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)02-0121-03

Research on Digital Patternless Manufacturing Technology of Complex Parts

WANG Jingang
(Jiangsu Branch, General Institute of Mechanical Science Research, Changzhou 213164, China)

Abstract: The digital manufacturing method of engine cylinder head was introduced by combining casting technology with digital manufacturing technology. Different from traditional casting based on 2D drawings and casting experience, the whole process of digital manufacturing was based on 3D CAD digital model. At the same time, the computer simulation analysis technology was combined with the casting process technology to realize the whole process digital design, digital simulation analysis and digital processing and forming. The results show that through its integrated application, the six-cylinder engine head has been successfully developed, which provides a new manufacturing method for the rapid development of complex parts.

Key words: digitization; simulation analysis; rapid manufacturing; cylinder head

随着装备及制造业的发展,各行各业对其产品的质量及精度要求越来越高,为了减重采取了薄壁轻量化设计;为了功能集成化,将原有的几个甚至更多的零部件集成在一个零部件上,使产品结构日趋复杂化。采用传统模具制作工艺,需要开多套模具,且尺寸精度存在一定的损失,这些均成为制约新产品开发的瓶颈。随着 CAE 技术的发展,铸造工艺模拟分析技术已经广泛用于铸件新产品的开发过程中,可以虚拟预测铸造缺陷,从而进一步优化设计工艺;数字化无模铸造技术是数控、铸造等技术的集成,采用专用的刀具直接对铸型进行切削加工,不需要传统模具,特别适用单件小批量复杂零部件的快速制造,本文将铸造模拟分析技术与数字化无模铸造精密成型技术相结合,进行了发动机缸盖的数字化快速制造, 整个过程实现了数字化设计、数字化分析、数字化加工,以期为复杂结构零部件的数字化加工提供参考。

1　结构分析

某国Ⅴ型号重型柴油发动机缸盖, 轮廓尺寸 1 065 mm×315 mm×135 mm,材质:HT300,缸盖总质量约 145 kg,最薄壁厚 5.3 mm,主要壁厚 7 mm,零件结构特征如图 1。

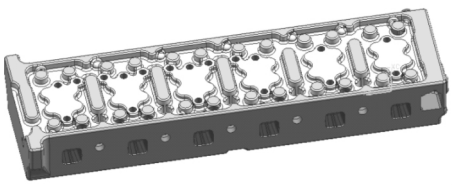


图 1 铸件三维模型
Fig.1 3D casting model

2　工艺设计

对缸盖内部结构进行的分析, 最终采用半封闭式浇铸工艺设计,强化其挡渣能力,选择从顶部边缘注入金属液,并在其顶部设计冒口及排气孔,同时在横浇道设置集渣孔,工艺设计方案如图 2 所示。

铸造所需浇注时间采用公式(1)

收稿日期: 2020-12-11

作者简介: 王金刚(1988-), 江苏灌云人,助工. 主要从事先进制造技术方面的工作. 电话:13222522010,
E-mail:13222522010@163.com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

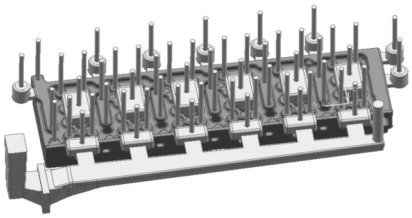


图 2 浇铸系统工艺设计
Fig.2 Design of pouring system

$$t=f\left(\sqrt{G_{件}}+\sqrt[3]{\frac{1}{5}\delta\cdot G_{件}}\right) \quad (1)$$

式中，$G_{件}$为铸件重量，145 kg；δ 为平均壁厚，7 mm；f 为材质系数，通过查表取值为 1；带入数值计算得浇注时间约为 17.91 s。

其浇注系统最小截面积采用公式(2)

$$\Sigma F_{阻}=\frac{G_{件}}{\rho\sqrt{2g}\cdot t\cdot\delta^{w}} \quad (2)$$

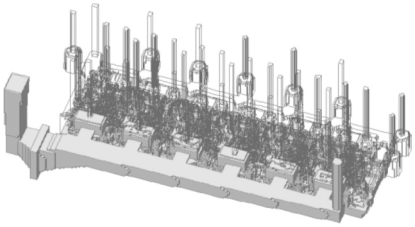
式中，$\Sigma F_{阻}$为浇注系统最小截面积，cm^2；$G_{件}$为铸件重量，kg；ρ 为铸件材质密度，kg/cm^3；g 为重力加速度，980 cm/S^2；δ 铸件主要壁厚 (常指最薄壁厚)，mm；W 为材质系数，通过查表取值为 0.24；t 为铸件有效浇注时间，s；带入数值计算得到阻流截面积为内浇道截面积 1 611 mm^2，横浇道截面积 2 255 mm^2，直浇道截面积 1 933 mm^2；$\sum A_{内}:\sum A_{横}:\sum A_{直}=1:1.4:1.2$，属于半封闭式浇注工艺。

3 模拟分析

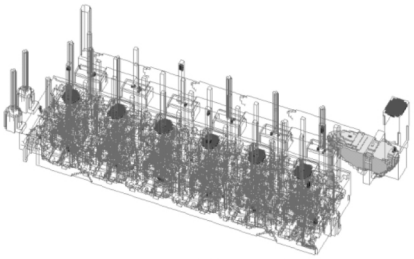
借助 CAE 模拟分析软件对缸盖的浇铸过程进行模拟，根据其壁厚设置浇铸温度为 1 350 ℃。模拟其体积充填、色温充填以及基于耦合的凝固，借助模拟分析软件可以提前预测并发现铸造可能出项的缺陷，从而对影响其形成的因素进行有效的控制，部分模拟分析结果如图 3 所示。

4 模具设计

铸造工艺确定以后，根据铸件的尺寸选择合适的吃砂量，然后利用 UG 三维造型软件进行铸型外模和型芯的设计。同时，结合数字化无模铸造精密成型机的加工特点，对砂型进行分块设计，如图 4 所示。



(a)体积充填模拟



(b)凝固模拟分析

图 3 部分 CAE 分析结果
Fig.3 Part of CAE analysis results

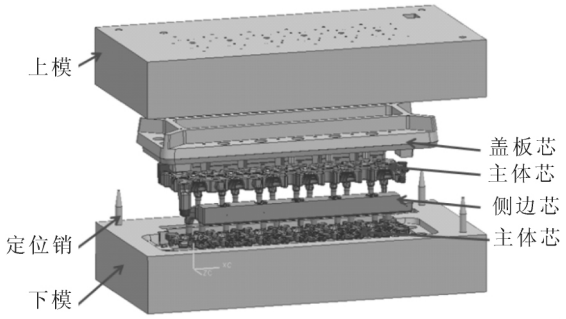


图 4 铸造三维模型
Fig.4 Casting 3D model

5 无模数字化成型

设备选用自主开发的 CAMTC-SMM1500 数字化无模铸造精密成形机进行切削成型，材料选用 70~140 目自硬酚醛树脂砂，刀具选用铸型切削专业刀具，利用 UG 的 CAM 模块自动生成 NC 程序并进行路径优化，确定无过切的现象开始进行铸型的加工，部分刀轨如图 5 所示，砂型如图 6 所示。

6 铸造

铸型加工完毕后，将所有砂型依次涂刷耐火涂

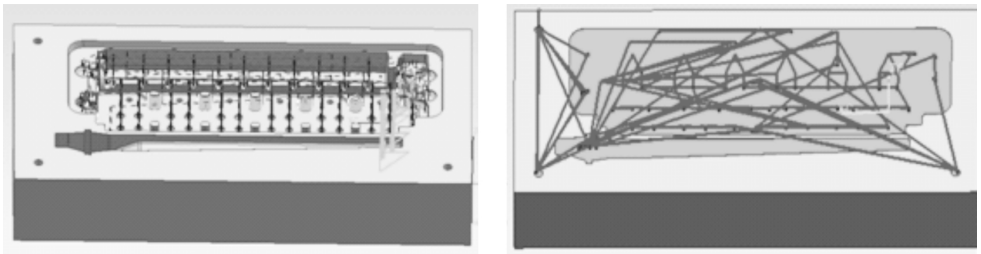


图 5 CNC 刀轨
Fig.5 CNC tool trajectory

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 6 砂型
Fig.6 Sand mold

料并组合装配并浇注,如图 7 所示,浇注得到缸盖铸件如图 8 所示。

铸件经划线检测尺寸精度达到铸件尺寸公差 GB/T 6414-1999 中的 CT7-CT8 级精度，通过 X 光探伤检测内部质量优良，未发现缩孔及大面积气孔、裂纹等缺陷,力学性能符合技术要求,缸盖铸件表面粗糙度也相对较好。

7 结语

以直列六缸柴油发动机缸盖为例进行数字化无模铸造技术研究，并成功制造出了合格的缸盖。数字化无模铸造方法直接进行铸型的数控切削加工,不需要模具,且成本低,周期短,为复杂零部件的快速制造提供了一种新方法。该发动机缸盖采用数字化制造技术，从三维 CAD 模型到金属件只需 15 天时间,铸件尺寸精度高且加工余量小,如果采用传统模具工艺至少需要 60 天时间，另一方面,铸造工艺数值模拟技术和铸型切削加工技术的在发动机缸盖铸件开发上的成功应用，也进一步证明了数字化制造的可行性。整个制造过程都是在三维 CAD 模型驱动下实现，新的数字化制造手段彻底摒弃了二维图纸，采用三维数字模型作为设计制造过程流转的介质,更加直观便捷。基于数值模拟和铸型数控切削加工的数字化制造方法，为缸盖等复杂零部件的试制开发提供了更加先进的和更加柔性的快速制造方法。



图 7 砂芯装配
Fig.7 Sand core assembly

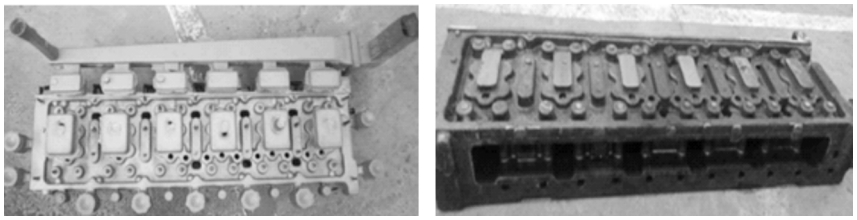


图 8 缸盖铸件
Fig.8 Cylinder head casting

参考文献:

[1] 李魁盛,李国禄,李日. 铸造成型技术入门与精通[M] .北京:机械工业出版社, 2011.

[2] 中国机械工程学会铸造分会组编,张伯明. 铸造手册[M] . 北京:机械工业出版社, 2010.

[3] 中国机械工程学会铸造分会组编,李新亚.铸造手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.

[4] 刘文川,王兴平,向敬成,等. 适用范围宽的铸件浇铸系统最小截面积计算公式[J]. 铸造, 2000, 49(10):764-768.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 **2021** 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号:**52–64**　国外发行号:**M855**　国内定价:**25** 元/本　海外定价:**25** 美元/本

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net