DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.006

基于砂型打印的数字化铸造技术

贾　如,刘建辉,杨才良
(中国工程物理研究院机械制造工艺研究所,四川 绵阳 621000)

摘　要:某些零件由于内部结构复杂、尺寸大,通过铸件或棒材内外表面全部加工或者分段加工后焊接的方式效率较低,传统铸造难以解决复杂内型面不加工的问题。采用基于砂型打印的数字化铸造技术生产,减少新产品的研制周期。具有响应速度快、灵活度高、精度高、工艺稳定性高等优点。

关键词:砂型打印;数字化;铸造;工艺技术
中图分类号:TG242　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)12-1032-03

Digital Casting Technology Based on 3D Printing of Sand

JIA Ru, LIU Jianhui, YANG Cailiang
(Institute of Mechanical Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621000, China)

Abstract: Due to the complex internal structure and large size of some parts, the efficiency of welding after full processing or sectional or pingrocess the inner and outer surfaces of castings or bars is low, and the traditional casting is difficult to solve the problem of complex inner surface not processing. Using digital casting technology based on sand printing can reduce the development cycle of new products. It has the advantages of fast response speed, high flexibility, high precision and high process stability.

Key words: 3D printing of sand; digitization; casting; process technology

计算机的广泛应用正从各方面推动着铸造业的发展和变革,它不仅可以提高生产效率和降低生产成本,同时又能促使新技术和新工艺的不断出现,使铸造生产从主要依靠经验走向科学理论指导生产的阶段[1]。铸造是一项传统的金属热加工技术,获取砂型是铸造过程中的重要步骤,而受到加工方法的限制很难加工出形状复杂的砂型结构,使得复杂铸件的生产受到极大的限制。传统铸造生产主要存在如下问题:①复杂构件木模制作困难。木模或刮板的制作难度主要受铸件复杂程度和尺寸的影响,形状越复杂、尺寸越大的木模制作难度越大、所需周期越长。以 ϕ1 000 mm×400 mm 筒形回转体铸件为例,其刮板从木料拼接到加工完成通常需要 3 天,非筒形回转体刮板的制作周期更长。②二维工艺设计响应速度慢、灵活度低。二维工艺指通过二维图表达零件结构、浇注系统特征的工艺设计方法。二维图存在不直观、细节结构难以表征的特点,该方法在技术上限制了复杂铸件的设计,具有响应速度慢、灵活度低的问题。③铸件尺寸稳定性差。铸件尺寸受到木模精度、造型操作的影响。一方面木模多次使用后出现磨损、变形导致精度下降;另一方面操作时取模晃动、旋转中心"跑马"等问题会导致铸件尺寸稳定性差。

本文作者主要研究数字化三维铸造工艺设计、双造型材料复合造型技术和 3D 打印砂型设计,所涉及技术为复杂构件共性铸造技术,后续将以某大型铸件为例论述。

1　数字化三维铸造工艺设计

数字化铸造技术即在三维设计零件上直接设计工艺,工艺模型通过砂型 3D 打印机打印生产,必要时结合铸造仿真模拟,减少新产品的研制周期。具有工艺重复性好、精度高、设计效率高等优点[2]。

1.1　铸件结构设计

某大型铸件,材质均为 ZL101 合金。其最大直径为 ϕ727 mm,高 810 mm,铸件结构图见图 1。该零件内部不加工,其内腔具有花边法兰、凸块等特征。经过对零件三维图形进行比较分析,优化设计了铸件结构,为防止变形,在窗口处设计纵横两条加强筋。本铸件仅在外侧及花边法兰安装面设置加工量,其余部分不加工,大大减少后续加工难度,提高效率。

1.2　浇注方案设计

采用重力浇注,由于铸件较高,设计分流浇道,

收稿日期:2021-08-26
作者简介:贾　如(1992—),女,河北唐山人,硕士,工程师.主要从事铝合金材料与精密铸造技术研究方面的工作.电话:08162485670,Email:rujia_npu@foxmail.com

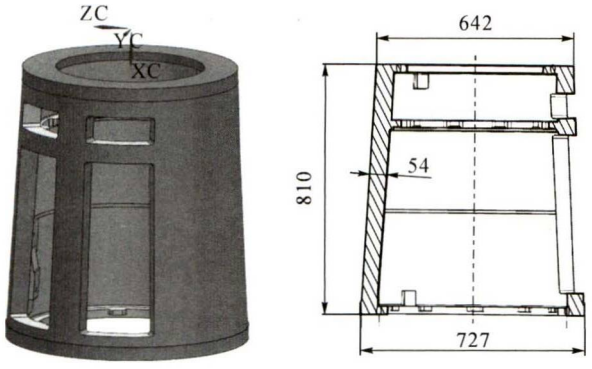


图 1 铸件结构图
Fig.1 Casting structure drawing

缓冲金属液流动速度，减轻紊流导致的卷气、夹渣等缺陷。铸件端面设置冷铁，可对底部厚大部位进行有效激冷，利于获得致密铸件。浇注系统采用搭接连接方式，即横浇道设置于上箱，承接槽则设置与下箱，搭接部位平放过滤网对合金液进行过滤净化。最后利用 Anycasting 仿真模拟了凝固行为，预测缩孔缩松百分数。浇注系统及模拟结果见图 2。



图 2 铸件的浇注系统(左)和缩孔缩松模拟结果(右)
Fig.2 Gating and riser system (left) and simulated shrinkage result (right) of the casting

2 双造型材料复合造型技术

双型材高效造型技术指根据铸件精度要求及形状特征等实际采用不同的造型材料和造型方法制作铸型。其特点能解决零件复杂度和制造难度之间的矛盾、尺寸精度和生产效率之间的矛盾。

该大型铸件，其外皮形状简单，铸件表面质量要求不高，内型为非加工面，形状复杂对尺寸精度和表面质量要求高。因此外皮砂型采用手工造型树脂砂方式制作，而内胎采用砂型 3D 打印方式制作，这样既保证了内型面的高尺寸精度，又提高了整体铸型制作周期，解决了尺寸精度和生产效率之间的矛盾。工艺关键点在于双型材接触部位的配合，通过设计 3D 打印芯头，将其镶嵌在造型底箱中部，来实现和砂芯的精确定位。双型材造型组件示意图见图 3。



图 3 双造型材料复合造型技术示意图
Fig.3 Schematic two molding material and combination molding technique

采用基于 3D 打印芯头填充造型的外皮制造方案，巧妙地解决了手工造型和 3D 打印砂型配合使用时产生的衔接问题，节省了大量砂型打印工作量，为短流程制造提供技术保证。

3 大型铸件 3D 打印砂型设计

3.1 大型铸件砂型分块方法

受到 3D 打印设备尺寸的限制，大型的砂型无法整体打印成型。分块组装后的砂型由于没有传统铸造砂箱的保护，极易在分型面处跑火。因此选择合适的分块方式使之既能便于清砂及安放冷铁，又便于组装、避免跑火是砂型 3D 打印技术应用于大型铸件的关键。当前亟需发展一种合理的砂型分块方法。

采用砂型纵横交错分块方案，在重要分型面横向分块，以方便安放冷铁及清砂；砂型左右分块时逐层交错，这样既能解决砂型尺寸过大问题，又能防止浇注过程中金属液从纵向分型面跑火。砂型分块示意图见图 4。本文的 3D 打印防跑火预留槽，在极易跑火的纵向分型面预留出凹槽，在合箱后用黏土砂或树脂砂填充密实，经这种方案改良的砂型，跑火风险几乎为零。设计圆柱形定位销及分层定位号，能提高合箱效率，降低砂箱拼错的风险。

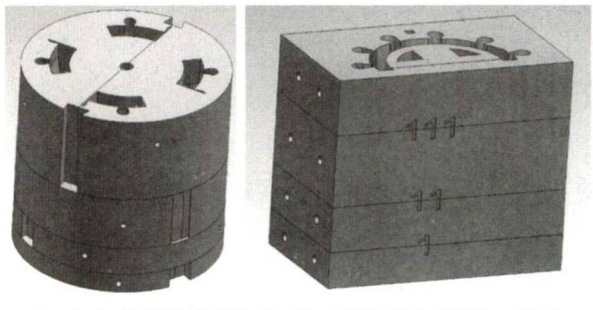


图 4 大型铸件铸型分块 3D 打印砂型和装配示意图
Fig.4 Schematic 3D printed sand mold blocks and their assembling

3.2 砂型起吊方法

采用传统金属或木模芯盒制造砂芯的过程中，

会在填砂过程前或填砂过程中埋入钢质芯骨，芯骨上连着芯吊，通过芯吊完成砂芯下芯工作。而3D打印技术在砂芯打制过程中采用逐层铺砂的方法成形，芯骨、芯吊难以放入，这样大型砂芯的搬运难度很大，需开发专用的起吊装置来操作。

传统铸造方式中，砂型是紧紧包裹在砂箱内的，通过吊运砂箱上的箱把就能完成合箱及砂箱搬运等任务。但是3D打印的砂型是无箱铸型，必须单独开发其起吊装置以解决砂型搬运问题。

在重量轻的砂型上设计起吊把手方案，可在3D打印砂型时同时打印出把手，既可以供人手搬运又能方便吊带吊运；砂型起吊方法见图4。在重量大的砂型上设计起吊孔和金属箱把，工装简单易制，利用金属箱把强度高的特点，通过设计合理的尺寸和插入深度实现400 kg以下的砂型吊运，过重的砂型可酌情多设计起吊孔或者加大起吊孔和金属把手直径；在砂芯上设计卡孔，金属棒横向插入卡孔，通过吊钩勾住金属棒起吊，不仅方便易操作，还能解决浇注过程中砂芯排气问题。

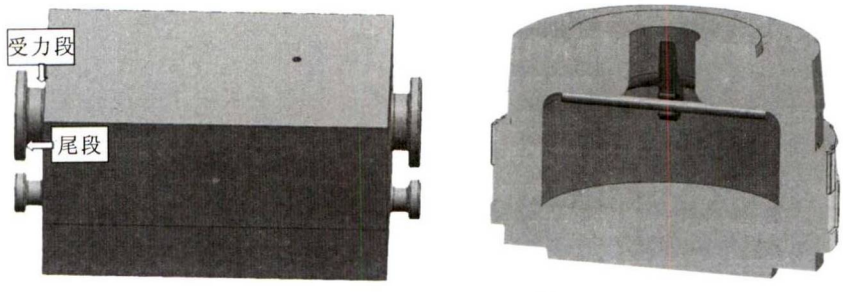


图5 砂型起吊方法示意图

Fig.5 Schematic diagram of lifting method of sand mould

4 结论

(1)数字化三维铸造工艺设计能显著提高复杂件工艺设计周期，基于零件三维图建立工艺省去了分析复杂二维图的时间，可同步设计砂型3D打印模型，相当于将工艺设计和模具设计整合为一个环节。相比于传统铸造工艺，研制周期从两周提高到一周，响应速度快、灵活度高，更适合形状复杂、批量小的铸件生产。

(2)双造型材料复合造型技术具有好操作性、高效性和稳定性。通过芯头卡槽设计将两种型材耦合到一起，能显著提升造型效率，降低造型难度，同时由于非加工面采用3D打印砂型，具有良好的尺寸稳定性，省去了芯盒制作的时间。

(3)3D打印砂型结构设计利用分块设计和吊装结构设计解决了大尺寸砂型难打印、易跑火的难点，通过数次的生产验证，具有可操作性。

参考文献：

[1] 计效园，周建新，殷亚军，等. 数字化智能化铸造技术的研究与应用[C]// 2014中国铸造活动周论文集. 北京：中国机械工程学会，2014.

[2] 贾如，杨才良，刘建辉. 非规则曲面壳体数字化铸造工艺研究[C]// 2019中国铸造活动周论文集. 北京：中国机械工程学会，2019.

(上接第1031页)

5 结语

根据试制生产结果分析，在后续的工艺改进中应提高孕育效果，将覆盖在球化剂上的Inculin390孕育剂改为非球化坑预处理；同时加强过程操作，严格控制铁液的含S量，保证其≤0.02%，必要时可以采用脱硫剂进行脱硫处理；装包过程必须紧实，覆盖铁屑并压生铁，严格控制球化处理温度并提高过程操作水平，保证铁液从球化处理到浇注结束，在较短的时间内完成，以防止孕育的衰退。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册·第5卷（第2版）[M]. 北京：机械工业出版社，2013.

[2] 石小明，刘维娟，姜殿昌. 高负荷发动机活塞的开发[J]. 内燃机与动力装置，2020，37(2)：42-48.

[3] 王春霖，谭亲明，郭祎川. 石墨涂层对高强化汽油机活塞裙部磨损特性的影响[J]. 材料保护，2020，53(2)：42-46.

[4] 李林剑. 大功率柴油机活塞顶裙接触副微动磨损和疲劳研究[D]. 上海：上海交通大学，2017.

[5] 陈丽，李剑光，赵文斌，等. 基于摩擦磨损的柴油机活塞裙部型面设计[J]. 车用发动机，2018(4)：27-32.