

3D打印增材制造技术在鼓式制动器轮缸模具制造中的应用

□ 北京北方恒利科技发展有限公司 宋彬，及晓阳，张红昌

□ 安徽恒利增材制造科技有限公司 李雨，夏建强



宋彬 产品总监

摘要：利用CASTsoft CAD/CAE软件可以对铸造工艺参数如：浇注温度、充型时间、铸型材料等进行改进，改进后再次进行模拟，经过多次的改进直到消除铸造缺陷。3D打印技术可以使企业有能力快速生产各类大尺寸、结构复杂熔模精密铸件所用砂型和蜡模，制造铸件毛坯和模具，减少大量外协费用。

关键词：砂型铸造；模具制造；3D打印；铸造工艺模拟；工艺优化

针对芜湖诚拓汽车零部件有限公司提出的模具制造过程中存在质量不稳定、制造周期长、加工量大、补焊、尺寸不稳定、内部缺陷多、反修次数多等困难，在我公司多年的铸造工艺设计及模拟技术和3D打印砂型技术的基础上，重点对增材制造技术（激光选区烧结SLS技术和3DP技术）在快速模具铸造行业应用进行研究，实现快速单件模具毛坯的生产制作。具体工作为：砂

型、蜡材质增材成形匹配性研究；大尺寸增材制造工艺装置适应性研究；复杂薄壁零件工艺适应性研究；数据前处理和控制软件适应性研究。从而提高生产效率，降低应用成本，扩大增材制造在铸造行业应用范围，实现可使用、能使用、用得起、用得好的目标。

一、关键技术

针对传统生产过程中低效

率、高成本、靠经验、质量无法保证的现状，采用数据化铸造工艺设计及模拟技术和3D打印砂型技术相结合的方法完成模具铸件毛坯的生产。

1. 数字化铸造工艺设计及模拟技术

数据化铸造工艺设计及模拟技术是集铸件重量、体积、铸造过程仿真、铸造缺陷预测及结果显示为一体，实现对铸件中的充型流态、凝固过程、温度场模

拟、缺陷预测、冷却速度分析、应力场模块接口，从而对铸造过程中所涉及的工艺参数和工艺方案做出评价。适用于所有数据库铸件和铸型材质，包括铸铝、铸铜、铸镁、灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁、铸钢、铸钛，以及树脂砂、湿型砂、粘土砂、铁模覆砂等工艺，适应各种铸造合金材料及造型材料、涂料、保温材料（冒口套、覆盖剂）等。

2. 3D打印砂型/蜡型技术

3D打印选择性激光烧结，其原理是将材料粉末铺撒在已成形零件的上表面，并刮平，用高强度的CO₂激光器在刚铺的新层上扫描出零件截面，材料粉末在高强度的激光照射下被烧结在一起，得到零件的截面，并与下面已成形的部分连接。当一层截面烧结完后，铺上新的一层材料粉末，有选择地烧结下层截面。烧结完成后去掉多余的粉末，再进行打磨、烘干等处理得到零件。

主要用途如下：

- (1) 新产品设计验证与功能验证。
- (2) 可制造性、可装配性检验。
- (3) 单件、小批量复杂零件的直接制造。
- (4) 快速模具制造。
- (5) 模具及零件快速修复。
- (6) 快速铸造，如制造铸用蜡模和PS消失模。
- (7) 用快速成形树脂模样代替铸造木模样或铸造模具。

3D打印砂型技术是利用激光选区烧结SLS，将模拟优化设计完成的模具毛坯砂型采用三维

造型软件建成三维实体并进行砂型、砂芯分型，再通过该设备，用激光束或其他方法将材料逐层堆积直接加工出有形的三维实体原型。通过这种方法可以制造任意复杂程度的砂型、砂芯，可以自动快速、精确地将设计思想物化为可以装配的砂型、砂芯，有效地缩短产品的研制开发周期。

二、模具生产实施过程

其生产工艺流程如图1所示。

(1) 原始产品零件 根据模具委托方需要进行原始产品零件三维图绘制，根据原始产品零件精铸要求，对零件进行加工余量制作，形成最后要生产零件毛坯三维数据。如图2、图3所示。

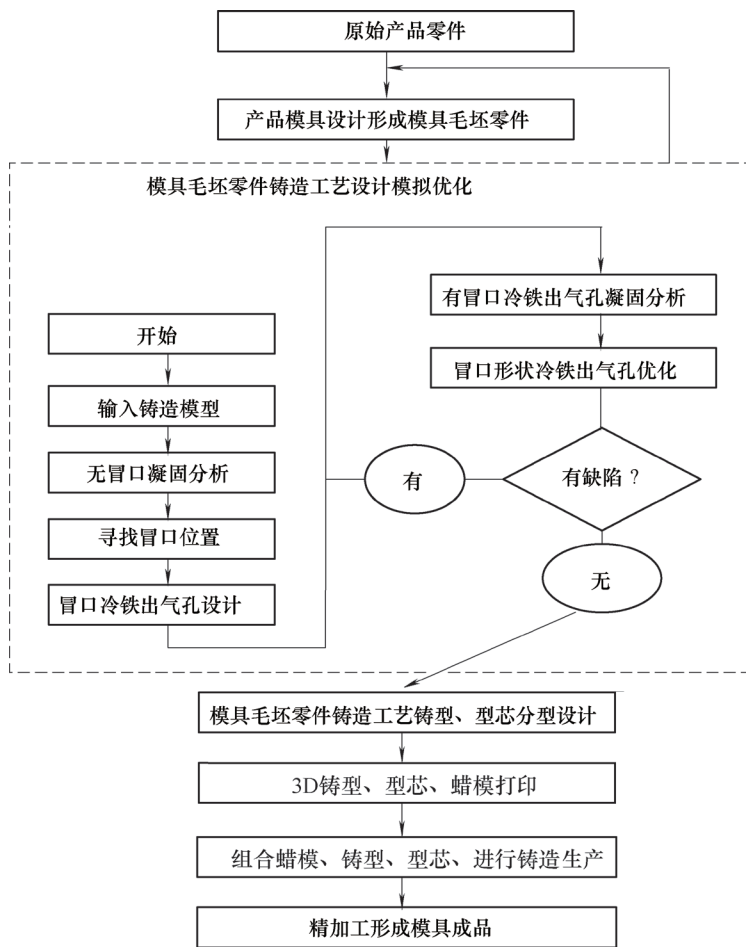


图1 生产工艺流程

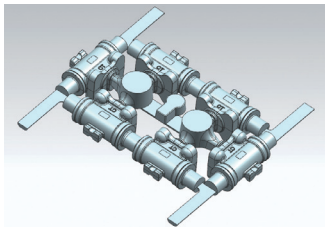


图2 零件毛坯正面效果

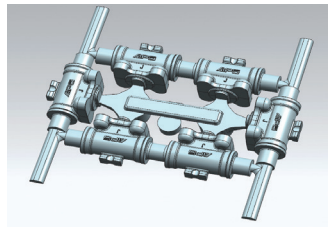


图3 零件毛坯背面效果

(2) 产品模具设计形成模具毛坯零件 根据原始产品零件毛坯数据,进行产品模具设计和精加工余量,得到模具毛坯零件数据。如图4、图5所示。

(3) 模具毛坯零件铸造工艺设计模拟优化 根据产品实际应用要求,产品模具采用ZL101材料进行生产,先将铸件毛坯输出,进行铸造工艺设计确定分型面,铸件摆放位置,确定工艺布置,冒口大小,浇注系统大小,再通过铸造工艺模拟软件进行铸造过程模拟,最后确定可行浇注工艺方案。具体方法分两步完成。

步骤1:采用数字化铸造工艺设计及模拟技术铸造工艺设计CAD模块进行工艺热节计算,确定冒口位置和冒口大小,确定铸件工艺布局,确定浇注系统。

步骤2:采用数字化铸造工艺设计及模拟技术铸造工艺模拟CAE模块进行铸造过程模拟,根据缺陷重新设计冒口、冷铁和出气孔,得到最终没有缩孔、缩松缺陷的铸件(或者使缺陷维持在最小范围)。通过造型、涂料及浇注温度等方式保证表面质量,再通过铸造工艺模拟软件进行铸造过程模拟,最后确定可行浇注工艺方案。

通过工艺反复模拟和优化最终形成合理工艺,如图6、图7所示。

(4) 模具毛坯零件铸造工艺铸型、型芯分型设计 将模拟优化好的模具毛坯零件铸造工艺进行铸型、型芯分型设计,形成可以方便砂型装配和进行3D打印的数据文件。如图8、图9所示。

(5) 3D铸型、型芯打印 将

设计好的三维铸型、型芯数据通过STL文件格式进行输入,通过MAGIC数据修复工具,对三维数据进行检查和修复,将正确数据以0.1mm的成形分层进行3D打印成形,整个打印过程近10h,通过后处理,表面光整处理和树脂再固化处理,就得到所需要的精密度在 $100\text{mm} \pm 0.15\text{mm}$ 的高精密砂型。如图10、图11所示。

(6) 组合铸型、型芯进

行铸造生产 将3D打印好的铸型、型芯组合起来,然后进行浇注,材质为ZL101,浇注温度为 $(700 \pm 10)^\circ\text{C}$,时间为20s,完成后进行T6热处理,硬度为90HBW。通过超声波检测,铸件质量很好,无缩孔、缩松、气孔等铸造缺陷。如图12~图14所示。

(7) 精加工 形成模具成品,如图15、图16所示。

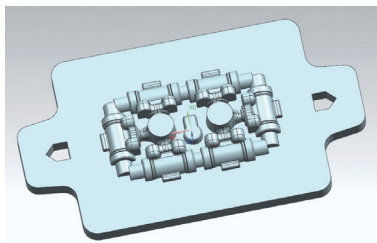


图4 模具毛坯正面效果

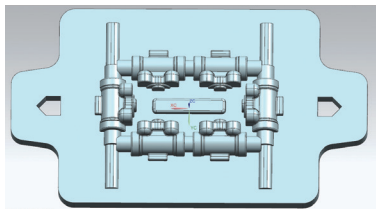


图5 模具毛坯背面效果

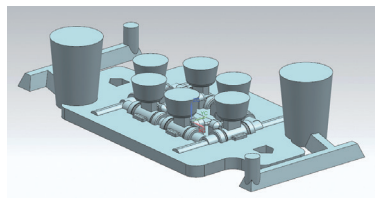


图6 模具毛坯工艺装配

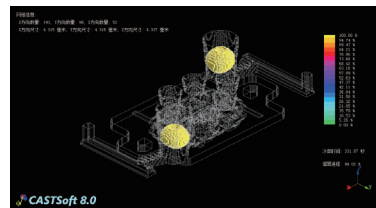


图7 模具毛坯工艺优化方案效果

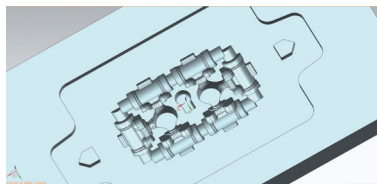


图8 模具毛坯工艺铸型 I

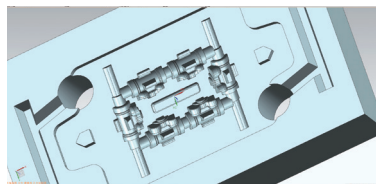


图9 模具毛坯工艺铸型 II

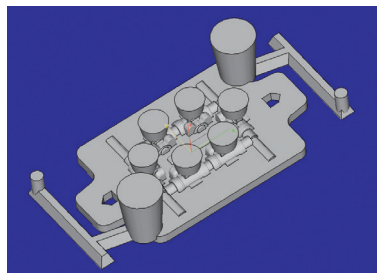


图10 MAGIC数据修复工具

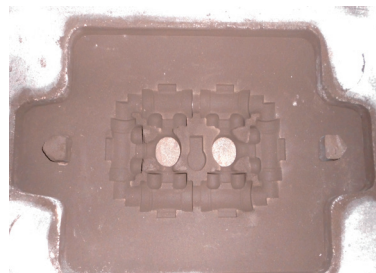


图11 打印砂型正面效果

三、与传统模具制造对比分析

传统工艺机加工或先开简单木模、泡沫塑料模进行铸造再进行机加工的方法进行生产。传统工艺机加工的方式采用长方形或圆形坯料进行粗加工、精加工，这种方式材料浪费很大，人力物力消耗也很大。传统的铸造工艺设计方法往往依赖于直觉经验，在模具铸件毛坯结构较为简单和铸造类似模具铸件毛坯时，经验可能起到一定的作用；在复杂模具铸件且无相关经验时，只能通过反复工艺试验来确定工艺；当工艺存在重大失误时，可能使得工艺方案被彻底推翻。通过工艺反复试验来确定工艺的方法，可能导致制作的模具报废，对于大型铸件来说模具费用相当高，这会造成重大经济损失，同时严重影响新产品的试制，延长新产品的试制周期。

数字化铸造工艺设计及模拟技术和3D打印增材制造技术相结合，能解决模具制造中快速高质量铸件制造，模具开发和铸件制造周期短，加工量小，不补焊或少补焊，尺寸稳定，内部无缺陷，零返修，成本低。

实际产品制造对比：简单产品以本次示范件鼓式制动器轮缸模具为例，如图17所示；复杂产品以离合器壳体为例，如图18所示。对比结果见附表。

四、结语

通过数字化铸造工艺设计及模拟技术与3D打印增材制造技术相结合，选择芜湖诚拓汽车零部件有限公司的鼓式制动器轮缸模



图12 浇注现场正面



图13 浇注现场背面

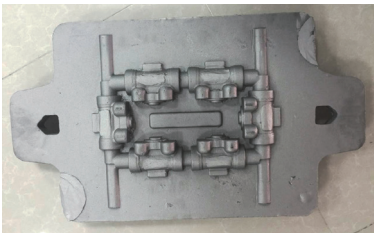


图14 模具铸件毛坯

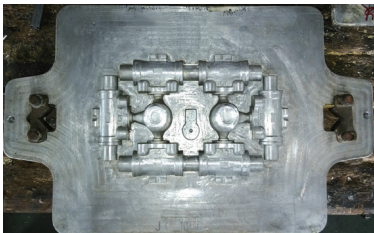


图15 模具上箱

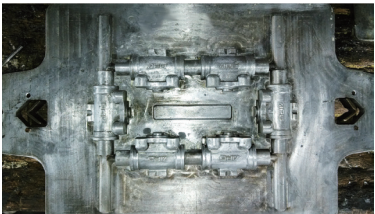


图16 模具下箱

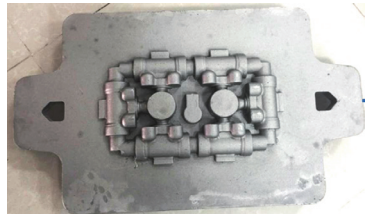
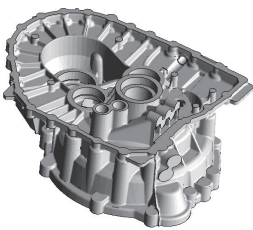
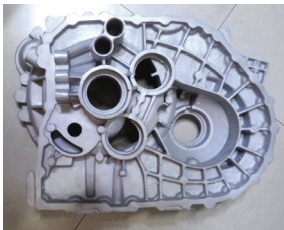


图 17



(a)



(b)

图 18

实际产品制造对比

项目	传统生产方式		快速增材生产方式	
	轮缸	减速器壳体	轮缸	减速器壳体
周期性/天	10~15	≥60	2~3	15~20
质量控制	靠人员经验，质量不稳定		数字化设计，质量稳定可控	
补焊	需多次补焊		无需补焊	
使用寿命	使用寿命短，经常返修		使用寿命长，无需经常返修	
加工余量/mm	4~7		1~3	

具产品进行示范应用。数字化铸造工艺设计及模拟技术和3D打印增材制造技术能够解决模具质量不稳定、制造周期长、加工量大、补焊、尺寸不稳定、内部缺

陷多、反修次数多等现有制造问题，该技术在新产品开发，单件小批量/复杂零部件铸造上优势明显。

MW 20160608