3D打印技术在工业结晶器搅拌釜铸件生产中的制模应用

吴健生

摘要：用于砂型铸造的模样制作精度差、制作周期长是制约中小型工业结晶搅拌釜铸件生产的关键因素。运用UG NX 8.5 软件CAD模块建立小型工业结晶搅拌釜数字模型，采用3D打印增材制造技术快速而精确地制作结晶搅拌釜砂铸塑模，继而快速完成结晶器搅拌釜的毛坯铸件生产。通过实践验证可有效提高搅拌釜毛坯铸件的产品精度和生产效率。

关键词：3D打印；UG NX 8.5；工业结晶器搅拌釜；砂型铸造

一、概述

由国家工业结晶工程技术研究中心研发的具有自主知识产权的新型工业结晶技术与设备，被广泛用于我国化工、制药、国防、材料及信息电子等相关行业和领域。整体式不锈钢结晶搅拌釜是新型工业结晶设备中重要的能量转换部件，结晶器中机械能通过旋转中的搅拌釜转化为流体的动能，从而形成槽内的整体流动，完成传质及传热过程。随着社会生产对工业结晶晶型及纯度要求的提高，进而要求生产级别的工业结晶器设备结晶纯度要争取达到实验室级别的结晶效果。中试生产和试验无疑是衔接生产级别和试验级别的最佳选择，这对大型结晶器搅拌釜逐步中小型化，以适应企业或实验室等中试结晶设备的制造需求提出了新的设计和制造要求。

以往结晶搅拌釜的制造主要有以下几种方式。

（1）加工轮毂、切割叶片后，采用焊接方式完成搅拌釜制作，该方式的特点是制作效率高，但叶面曲面精度差，且焊接的叶片对称度容易产生偏差。

（2）采用数控机床整体加工(即用不锈钢圆棒料直接加工出结晶搅拌釜），该方式的特点是加工精度高，但加工周期长且加工过程极其困难。

（3）先采用砂型铸造方式制造结晶搅拌釜铸件毛坯，然后运用数控机床精加工，该方式加工精度高，效率高，但用于铸造的模样一般采用手工制作方式，制作精度低，速度慢，工期长，且易造成铸件加工余量不均匀。

通过实践分析，采用砂型铸造方式生产中小型结晶搅拌釜的毛坯铸件，然后利用数控五轴联动加工技术对铸件毛坯进行小余量的精密加工是经济性、可行性最好的方法。因此如何提高用于砂型铸造的模样制作精度和制模效率成了中小型工业结晶搅拌釜铸件生产过程中的关键难题，而3D打印技术的应用为解决上述难题提供了非常便捷、可靠的解决方案。

二、3D打印技术原理及分类

3D打印技术是增材制造技术的俗称。增材制造（AM）技术是依据三维CAD设计数据，采用离散材料（液体、粉末、丝、片、板、块等）逐层累加原理制造实体零件的技术。从更广义的原理来看，以设计数据为基础，将材料自动地累加起来成为实体结构的制造方法，都可视为增材制造技术（3D打印技术）。

1. 3D打印的工作原理

3D打印（增材制造）是集数字化技术、新材料技术、光学技术等多学科发展的产物，其工作原理分为两个过程：其一是数据

处理过程，利用3D打印处理软件将CAD数模分切成薄片，完成三维数据分解为二维数据的过程；其二是打印过程，依据切分的二维数据采用选定的制造方法制作与二维数据分层厚度相同的薄片，每层薄片按序叠加构成三维实体，实现从计算机辅助设计的三维数据模型到现实体结构的制造过程。

3D打印的工作流程如图1所示。此工作流程需要注意以下几点。

（1）实体数模的建立方法有：①利用常用的计算机辅助设计CAD/CAM软件按点、线、面、曲面构建方式建模。②利用计算机辅助设计软件的二次开发功能快速建模。③利用3D扫描仪扫掠已有实体，进行修补、修改等处理建模。

（2）3D数模的后期处理包括：添加加工余量；根据铸造材料以及各种不同材料的伸缩率计算毛坯铸造的伸缩量；根据3D打印机的打印范围确定打印形式是采用整体打印还是分体打印后再重新粘合组装等。如果采用分体打印还需要选择合适的连接方式和定位方式，以保证组装后木模的形位误差在合理的范围内。

（3）保存3D 数模为*.STL格式时可以仅选择需要打印的实体部分模型进行保存，或选择经过了伸缩余量和加工余量处理后的数模实体即可。

（4）在设置切片参数时，要均衡考虑打印速度、打印时间、打印层厚，以及根据最终被打印实物需要的强度来确定实体内部网格疏密程度、表面覆盖层的厚度及层数等。

2. 3D打印技术的分类

3D打印技术的核心思想是基于计算机辅助设计的三维数字模型，采用分层制造、逐层累加，最终构成现实体结构。但实现3D打印的手段和方式不尽相同，主要分为以下几种，见表1。

三、基于3D打印技术的搅拌釜快速制模实例

1. 快速制模实例工作流程

确定结晶搅拌釜的理论设计参数→建立搅拌釜砂铸模型的3D数模→对3D数模添加加工余量、铸造伸缩率等处理→保存3D数模为*.STL格式文件→将*.STL格式文件导入3D打印设备专用的切片处理软件→设置切片参数、密封层数以及内部网格密度等→模拟仿真检验打印效果→修正打印参数设置→打印现实体结构→现实体结构后期处理。

2. 3D打印设备及搅拌釜设计参数

此实例采用美国Stratasys公司旗下子公司MakerBot 公司生产的Makerbot Replicator 2桌面级3D打印机，其打印范围为：285mm×153mm×155mm（长×宽×高），打印材料为PLA。

搅拌釜理论设计参数为：搅拌釜直径310mm、轮毂外径50mm、轮毂高度70mm、螺距比1.2、盘面比0.7。

经过添加加工余量及铸造伸缩率处理后，搅拌釜毛坯砂铸模样的设计参数为：搅拌釜直径328mm、轮毂外径60mm、轮毂高度80mm、螺距比1.245、盘面比0.72。

3. 搅拌釜3D数模的建立及后期处理

本实例采用计算机辅助设计

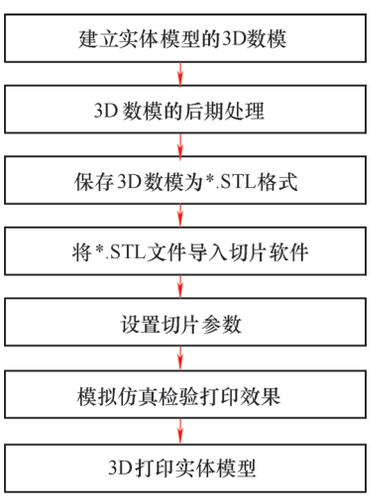

图 1

表1 3D打印技术分类

种类	成形工艺	成形材料	应用场合
1	熔融沉积制造（FDM）	热塑性材料 、可食用材料	成形制造
2	材料喷射	聚合材料、蜡	成形制造、铸造模样
3	粘结剂喷射	聚合材料、金属、铸造砂	成形制造、压铸模具
4	光固化成形	光敏聚合材料	成形制造
5	选择性激光烧结	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末	成形制造、零部件直接制造
6	片层压	纸、金属膜、塑料薄膜	成形制造、零部件直接制造
7	定向能量沉积	金属	修复、零部件制造

软件UG NX8.5二次开发模块NX Open Grip快速建立搅拌釜3D数模，如图2所示。

搅拌釜毛坯铸件采用316L不锈钢，其铸造伸缩率为1.025%，搅拌釜叶面单面加工余量为3mm，梢圆半径加工余量为5mm。搅拌釜砂铸模型梢圆处（参数设定见表2）螺旋升角添加0.8°反向误差补偿。

由于3D打印设备的打印范围小于搅拌釜尺寸，故对搅拌釜3D数模进行直线分割，使被打印实体尺寸既符合打印范围，又能更好地避免发生翘曲现象。

4. 设置切片参数

切片参数设定为：表面密封层4层、打印层厚0.15mm、填充密度30%、打印速度90mm/s。如图3所示。

搅拌釜砂铸模样及毛坯铸件如图4所示。

四、结晶搅拌釜误差分析

结晶搅拌釜的理论设计参数、砂铸模型参数及铸件毛坯参数测量如下：

搅拌釜误差验算：

$\Delta\alpha$ =20.90°- 20.46°= 0.44°

sin（0.44°）×123.0= 0.95mm≤3.0mm，故符合设计要求。

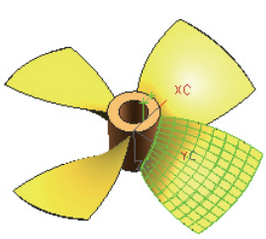

图2 搅拌釜3D数模

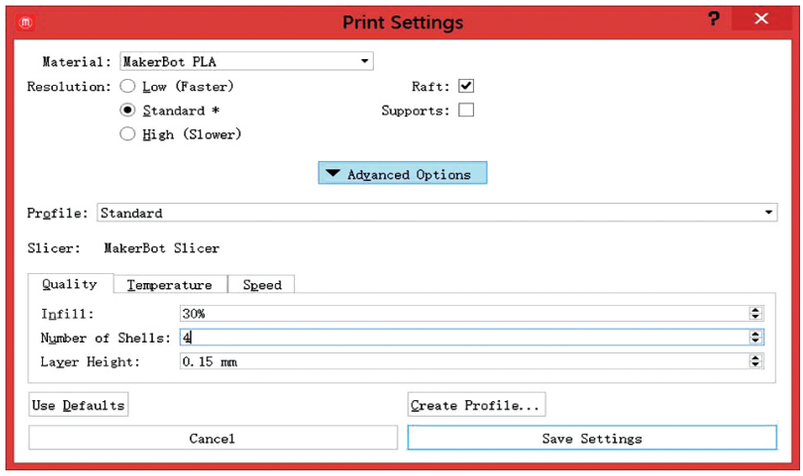

图3 搅拌釜砂铸模型切片参数设定

图4 搅拌釜砂铸模样及毛坯铸件

表 2

测量位置为搅拌釜工作面梢圆处	搅拌釜理论设计参数	3D打印搅拌釜砂铸模型参数	搅拌釜铸件参数检验
高 点/mm	21.51	72.5	61.0
低 点/mm	-21.51	26.0	18.0
弧 长/mm	120.6	126.0	123.0
梢圆处螺旋升角/（°）	20.90	21.66	20.46

五、结语

基于计算机辅助设计软件CAD模块建立产品3D数模，基于3D打印技术直接打印搅拌釜砂铸模样，既保持模样设计精度，更提高制模速度，将中小型搅拌釜制模周期由30天缩至7天。这种基于3D打印技术的制模工艺使结晶搅拌釜毛坯铸件具有搅拌釜叶曲面精度高，叶面位置精确，加工余量均匀等优点。

参考文献

[1] 中国工程机械学会.3D打印未来[M]. 北京：中国科学技术出版社，2013.

[2] 李小丽，马剑雄，等 .3D打印技术及应用趋势[J].自动化仪表. 2014(1).

[3] 孙柏林试析“3D打印技术”的优点与局限[J]. 自动化技术与应用，2013(6).

[4] 吴健生. 不锈钢搅拌浆制造工艺的优化策略[J]. 化学工程与装备，2009(10).

作者简介：吴健生，工程师，天津市天大方圆工业结晶科技有限公司，现从事机械制造CAD/CAM方面的工作。

MW 20160720