壳体铸件3D打印技术的应用

胡顺，张向松

中石化四机石油机械有限公司　湖北荆州　434024

摘要：壳体由于其复杂的形状，一直采用传统砂型铸造工艺生产，铸件毛坯在其底部往往存在缺陷，其缺陷产生的主要原因是铸件浇注系统设计的局限性。通过3D打印技术的引进与应用，解决了浇注系统的局限性，通过软件模拟浇注过程，模拟可能出现缺陷的位置，提高铸件的成品率。

关键词：砂型铸造；造型；冒口；3D打印

3D printing technology application in the block casting

HU Shun, ZHANG Xiangsong

SJ Petroleum Machinery Co., Ltd., Jingzhou 434024, Hubei, China

Abstract: The block was produced by casting technique because it's complex shape. The traditional casting process is sand casting, but the casting blank is often defective at its bottom, because the local of the casting blank in design of gating system.Now the limitations of the gating system are solved through the introduction and application of 3D printing technology,and simulate the pouring process and the defect part by software,improve the yield of castings.

Keywords: sand casting; sculpt; casting head; 3D printing technology

1　序言

3D打印是近几年来兴起的一种新的技术，随着该技术的不断发展，其应用的范围也越来越广。铸造行业的发展与3D打印同样有着紧密的联系。目前，3D打印已比较广泛地应用在砂型铸造和熔模铸造领域，主要用于新产品研发，单件、小批量产品制造，以及产品的个性化定制，具有数字化、柔性化、精密化及绿色化等特点[1]。

2　3D打印简介

3D打印工艺在铸造型砂工艺中应用较多的主要有三维黏结剂喷射打印技术和选区激光烧结技术两种。其铸造工艺流程为：三维建模→导入模型→3D打印砂型和砂芯→组模浇注→铸件[2]。本文主要介绍三维黏结剂喷射打印技术。

3　三维黏结剂喷射打印技术

（1）工艺原理　计算机将制作好的砂型（芯）三维CAD模型文件按一定厚度进行水平切片，成为打印机可识别的二维片层信息的集合；然后打印机内的计算机按各切片的轮廓信息指挥喷头，喷射到铺好的已加入固化剂的砂表面，层与层之间通过黏结剂固化黏结，逐层循环，直至砂型（芯）打印完成。

（2）成形设备　3D打印机主要由喷射系统、砂供给系统、运动控制系统和计算机软硬件等部分构成。

（3）成形材料　主要有原砂、固化剂、黏结剂及辅助材料等部分。

（4）工艺水平　打印砂型（芯）尺寸精度

一般可控制在DCTG10～DCTG12，表面粗糙度Ra≤25μm，常温抗拉强度为1.0～2.0MPa，常温抗弯强度为2.8～4.5MPa，发气量（1000℃）为6～20mL/g，可满足绝大多数铸造用砂型（芯）的要求。3D打印的砂型如图1所示。

图1　3D打印的砂型

4　应用案例

壳体是水龙头上一个关键部件，它承载整个水龙头配件的安装，壳体的外形尺寸如图2所示。壳体材料为ZG270-500，外形为不规则的几何形状，内部有连接筋及异形孔，这种结构很难通过后期机械加工出来，实际制造工艺采用铸造＋加工方法。

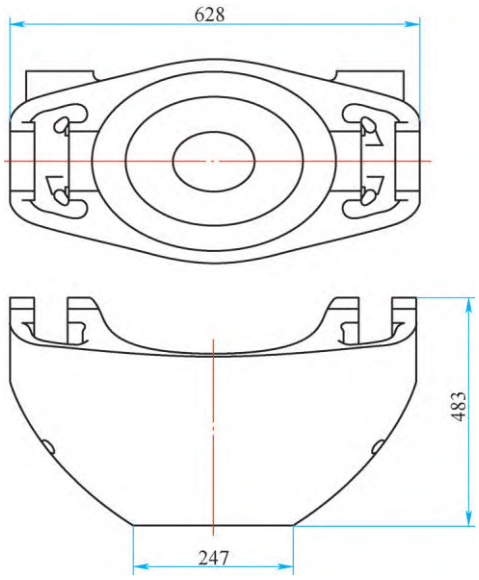

图2　壳体外形尺寸

4.1　传统工艺原理及局限性

壳体采用铸造毛坯，铸造大致工艺流程是：混砂→造型、制芯→炼钢、浇注→打箱清理→检验。由于壳体属于单件小批量生产，故在造型时采用人工造型，自硬砂为酸固化呋喃树脂自硬砂，浇注系统为底注式（见图3），其设计原理是有利于金属液充型平稳，对砂型、砂芯冲击力小，减少金属液

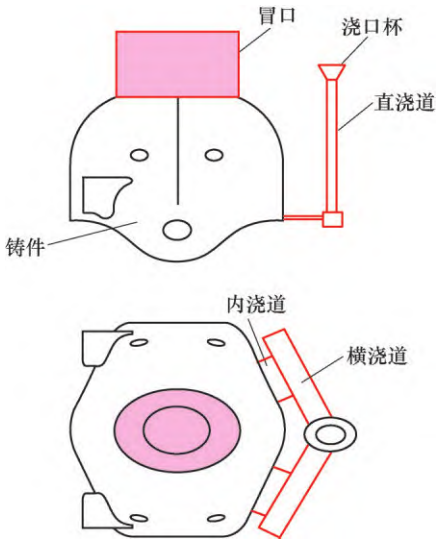

图3　壳体浇注系统

氧化，有利于型腔内气体排出。上部是铸件冒口的摆放位置，冒口是用以补偿铸件形成过程中可能产生的收缩，以防止铸件产生缩孔、缩松，并兼有排气、集渣、引导充型的作用。浇注温度1590℃。壳体在加工时，底部发现裂纹，且裂纹形状不规则、不连续、不集中，裂纹尺寸2～3mm，部分裂纹肉眼不可见，需借助磁粉检测确认缺陷位置（见图4）。

通过对缺陷位置及类型进行分析，发现与铸件浇注系统的设计有很大关系。铸件缺陷产生的主要原因如下。

1）浇注系统的内浇道较少，不利于金属液分散、均匀地充型。

2）铸件下部分温度高，不利于补缩，且金属液消耗多。

3）冒口尺寸小，对铸件的补缩不够。

通过上述分析不难发现，浇注系统是引起缺陷的主要原因，但受限于传统造型工艺，浇注系统

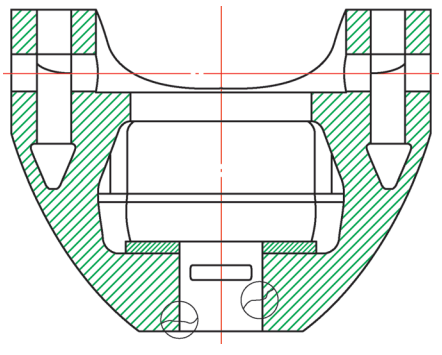

图4　壳体内部结构及缺陷的位置

考虑到模型的方便起模，不能过于复杂，如果对模具或浇注系统进行改进，则修改后需要进行工艺试制，整个周期较长，特别是此项产品的砂型较为复杂，很难保证其成形要求。因此，壳体的缺陷问题一直存在，长期得不到有效解决。

4.2 壳体3D打印方案实施

壳体最大轮廓尺寸为628mm×483mm×432mm，基本壁厚为26.5mm，技术要求：铸件尺寸达到DCTG10，表面粗糙度Ra≤25μm。铸型的砂型为组装式，包括上下砂型，本体砂型，中间型芯。

3D打印成形工艺流程为：铸件分型分析→铸造工艺设计→铸造浇注模拟→铸造工艺优化建模→3D打印→砂型清理→砂型刷涂料→组芯→填箱紧实→浇注→开箱清理→检验。壳体铸件重量为265kg，浇注钢液重量为350kg，浇注时间20～25s，采用开放、底注式浇注系统，浇注系统截面比例为$\Sigma A_{直}$：$\Sigma A_{横}$：$\Sigma A_{内}$=1：1.3：1.8。铸件改进后的铸造工艺如图5所示，浇注系统在砂型打印时留空形成。

3D打印制造的砂型表面浮砂厚度约为0.4mm，涂料层厚度约为0.3mm。对相关砂芯进行表面浸润，随其他砂芯一同进入烘干炉烘干，烘干时间为70min，烘干后采用手工组芯，螺杆联接紧固。

3D打印时，对壳体浇注系统进行优化（见图5），一是加大冒口的尺寸，增加补缩量；二是增加内浇道的数量，分散布置，有利于铸件凝固补缩。同时，在铸件的厚大位置，设置补贴，对浇注时金属液流动及充型、凝固进行模拟（见图6、图7），可以看到铸件充型过程平稳、凝固有序。

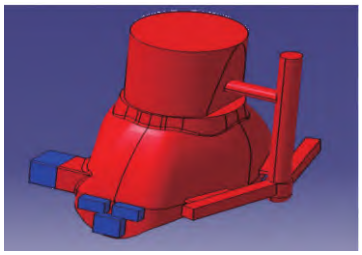

图5 改进后壳体铸造工艺

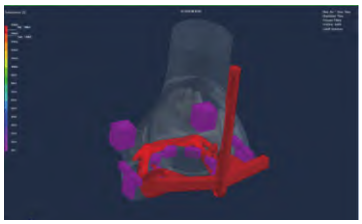

图6 模拟金属充型分析

经过几次的工艺方案摸索、改进，3D打印制造出的壳体铸件已能完全满足技术要求（见图8～图11），整体性能与外观质量有很大提升。

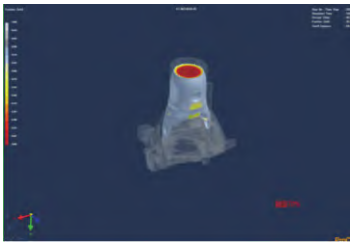

图7 凝固分析

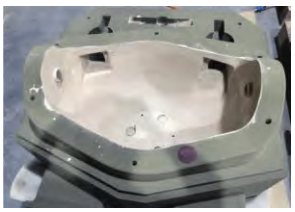

图8 打印完成的型壳

图9 打印完成的型芯

图10 浇注完成的铸件

图11 清理完成的壳体毛坯

5 结束语

1）壳体缺陷的主要原因在于浇注系统，因此通过对浇注系统改善，并借助3D打印技术，解决了壳体产生缺陷的问题。

2）通过3D打印技术方案的不断优化，壳体综合工艺出品率提高6%～8%。

3）3D打印制造成本比传统铸造要高，但周期短，适合单件小批量生产。

4）制造用材是3D打印技术发展的重要物质基础，也是决定该技术能否有更广泛应用的重要因素。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册（第5卷）：铸造工艺[M]. 4版. 北京：机械工业出版社，2021.

[2] 王跃，尚红标，刘旭飞. 3D打印技术在缸体铸件生产中的应用[J]. 现代铸铁，2019（1）：22-25.

MW 20240408