

某型高强度液压马达壳体铸件快速开发

聂 雄, 陈桂芳, 李赛白

(山河智能装备股份有限公司, 湖南长沙 410100)

摘要: 为快速开发某型高强度液压马达壳体铸件, 利用3D打印砂芯、高密度泡沫外模和数值模拟分析等方法, 确定了铸件的铸造工艺方案。实际生产验证表明, 采用3D打印整体式砂芯, 高密度泡沫模造型制芯的快速铸造工艺, 缩短了开发周期, 降低了开发成本。

关键词: 液压马达壳体; 铸造工艺; 3D打印; 制芯; 消失模

某型同步马达连接壳体是液压挖掘机节能系统一大关键部件, 要求在15个工作日内完成合格铸件。该型液压马达壳体铸件尺寸比常规二联泵中间体尺寸大, 整体壁厚差较大, 材料为QT600-3; 由于壳体铸件整体壁厚差异较大, 内部容易产生缩孔、缩松等铸造缺陷, 同时内部油道需要大量砂芯, 壳体铸件内部AB口、P/T口、润滑油口, 考虑压损问题, 这些油道形状都需要过渡圆滑、形状弯曲的油道砂芯, 这些砂芯需要分块制作, 然后粘接在一起, 这样制作砂芯需要五套金属芯盒模具, 样件开发前期的投入较大; 开发金属模具周期较长, 无法为客户快速提交样件。基于以上原因, 我们在样品阶段应用3D打印泵壳体铸件砂芯, 外模采用高密度泡沫模, 快速浇注验证工艺, 待工艺合格后, 再开发芯盒模具。

1 液压马达壳体铸造工艺

1.1 铸件工艺性分析

图1为液压马达壳体铸件三维图, 铸件为QT600-3, 重58 kg, 尺寸为312 mm × 298 mm × 162 mm, 壳体铸件最大壁厚86 mm, 最小壁厚7 mm。

图2为液压马达壳体内部油道剖面图, 内部油道主体分四层, 三道主油口孔, 主油口孔均与上下二面联通, 润滑油口细长厚度仅7 mm。

1.2 工艺方案确定

为满足15天出合格铸件的要求, 采用3D打印整体式砂芯+高密度泡沫模外模制芯。3D打印可成形复杂形状, 造型容易, 可保证尺寸精度及表面粗糙度^[1]。造型、造芯方法的选择见图3, 外模: 树脂砂; 外模芯: 高密度泡沫模制芯; 砂芯: 整体式3D打印芯。

1.3 砂芯设计

图4的液压马达砂芯, 由七部分组成: 上、下泄油槽、二轴连接芯部、A油口、B油口、回油口、润滑油口等, 按照传统的铸造工艺, 需要五套芯模, 热芯盒模具制作至少需要4周时间, 然后组装粘接砂芯, 再烘烤砂型, 样件开发前期的投入较大; 开发金属模具周期较长, 无法为客户快速提交样件, 显然不能满足客户要求。3D打印砂型不受形状限制, 可制造出任意复杂形状砂型和砂芯。而3D打印砂芯只需要2天即可完成, 而且可以打印一个整体砂芯。图5为3D打印整体式砂芯。

作者简介:

聂 雄 (1968-), 男, 工程师, 学士, 主要从事液压铸件铸造技术开发与应用方面的研究工作。电话: 15874211389, E-mail: 864064098@qq.com

中图分类号: TG24

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)07-0861-05

收稿日期:

2020-11-04 收到初稿,

2021-03-02 收到修订稿。

1.4 浇注系统设计

考虑避渣及结合公司实际情况, 选择如下:

(1) 封闭式浇注系统: $\Sigma A_g : \Sigma A_{ru} : \Sigma A_s = 1 : 1.6 : 2$, A_g 为内浇道截面积, A_{ru} 为横浇道截面积, A_s 为直浇道截面积;

(2) 为使铁液充型平稳, 选择底注式浇注系统, 内浇道到达型腔底面, 然后沿砂芯外框顶面进入型腔, 且在热节部位合理设计冒口及排气片, 在浇口杯底设置SiC泡沫陶瓷过滤片;

(3) 整箱浇注时间为29 s, 奥赞公式计算最小内浇道面积^[2], 根据各组元截面比例计算出浇注系统尺寸。图6浇注系统方案, 内浇道沿砂芯外框底面浇注进入型腔, 以便型腔铁液温度均衡, 内浇道高度为12 mm。

1.5 工艺模拟

壳体铸件材料为QT600-3。铸件的性能主要决定于其在凝固过程中形成的组织, 球墨铸铁的力学性能则取决于石墨球的数量、形态, 以及基体组织。球墨铸铁为糊状凝固, 而壳体铸件材料为QT600-3, 为高强度球墨铸铁, 相对而言收缩倾向较大, 再者铸件壁厚差别大, 铁液由液相转变为固相时, 经历液相收缩、石墨化膨胀和固相收缩需要外部补缩才能保证厚大热节处无缩孔或缩松, 故考虑设置冒口进行补缩。而铸件内部有5处复杂的油道, 但在铁液充满型腔铸件进行凝固时, 大量油道及主轴砂芯几乎完全被铁液包覆, 散热条件很差, 这些砂芯会被铁液快速加热到铁液温度, 散热缓慢, 铸件实际模数较大^[3], 顶部设计大小5个冒口进行补缩, 采用铸

造MAGMA软件模拟铸造过程, 发现由于铸件散热条件差, 铸件中心部位凝固缓慢, 设计的顶冒口达5个也不能有效补缩。

为解决如上问题, 在铸件底面及三侧面设计冷铁。设计方案反复几次优化: 增加底冷铁2块以及3块侧面冷

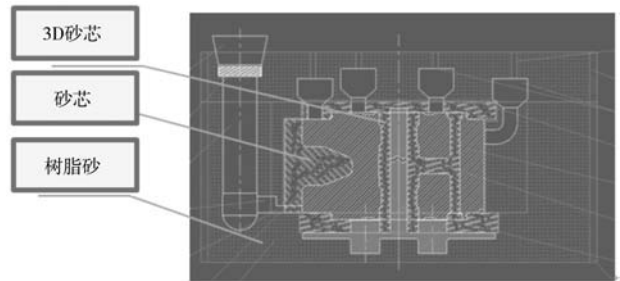


图3 铸造工艺

Fig. 3 Schematic diagram of casting process

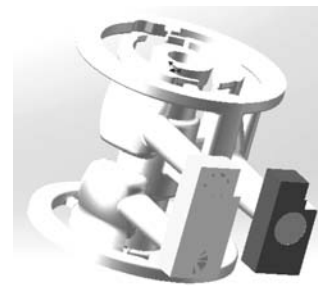


图4 砂芯

Fig. 4 Structure of sand core

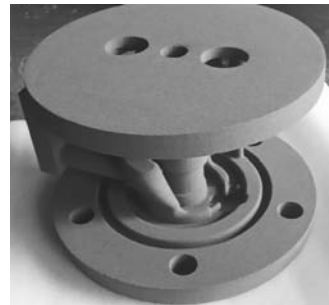


图5 3D打印砂芯

Fig. 5 3D printed sand core

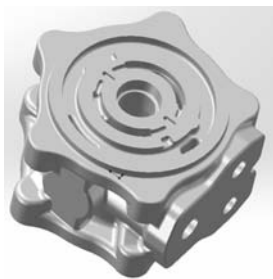


图1 铸件结构

Fig. 1 Structure of casting

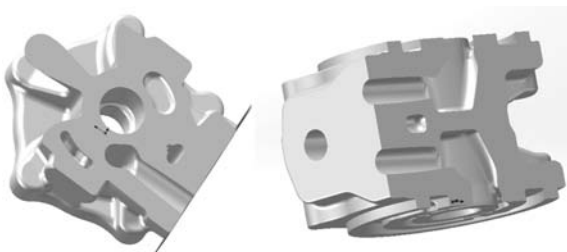


图2 内部油道

Fig. 2 Internal oil passage

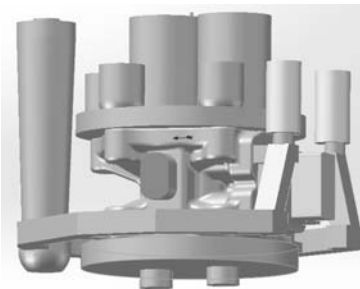


图6 浇注系统

Fig. 6 Gating system

铁，顶冒口及侧冒口，使用MAGMA软件反复模拟凝固和充型过程（见图7），三维数模STL文件后倒入铸造模拟软件，进行铁液充型和凝固模拟仿真^[4]。优化调整冷铁尺寸、冒口大小和浇注系统，最终确定合理工艺方案。

2 试制

2.1 3D 打印砂芯

传统砂芯制造流程：工艺设计→工艺仿真→模件制

作→工装夹具制造→砂型制造→铸造。

使用3D打印后流程：工艺设计→工艺仿真→3D打印砂型→铸造。

打印砂芯控制参数见表1。

关于涂料：选用WS-180型涂料；波美度控制在35~38，涂层厚度控制在0.2~0.25 mm。烘烤温度：185~200 ℃。图8为上涂料后的3D打印砂芯。

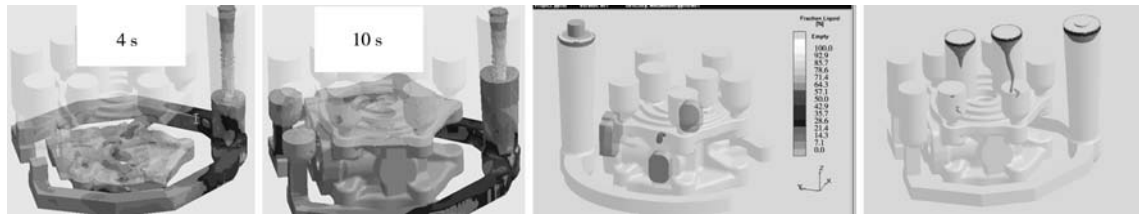


图7 铸造工艺模拟

Fig. 7 Simulation of casting process

表1 砂芯打印工艺参数

Table 1 Sand core printing technological parameters

灼烧 减量/%	砂尺寸 精度/mm	砂粒度 /mm	型砂抗拉 强度/MPa	型砂发气量 1 000 ℃/ (mL·g ⁻¹)	型砂耐热 温度/℃	粘接剂	催化剂	粘接剂 加入量/%	催化剂 添加量/%	打印砂芯 公差等级
1.3~2.0	±0.3	0.14~0.28	>1.7	<18	1 850	呋喃树脂	有机磷酸	2 (质量比)	5 (质量比)	CT7-CT8

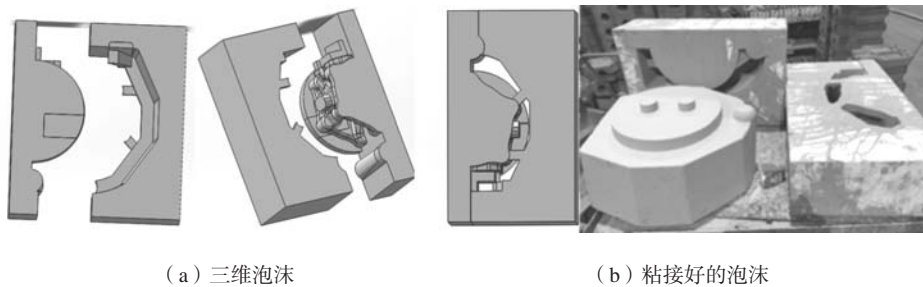
2.2 高密度泡沫模制芯

为了节约开发时间，面对外形复杂壳体，采用高密度消失模造型制芯，无论多复杂的形状，通过模样的拆解和重新组合都能够完成整体模样的加工要求^[5]。在保证强度的前提下，尽量减少水路厚度，导致外形十分复杂，如果采用金属模，时间会很长，而且活块多。本工艺采用高密度泡沫模制作左右两半形状复杂的模型，在泡沫模粘接的型腔造型，见图9a、图9b。由于高密度泡沫模型是一次性的，待砂型固化后，直接挖除泡沫，形成砂芯为该马达壳体复杂外形的砂芯（见图10）。



图8 3D打印砂芯

Fig. 8 3D printed core with coating



(a) 三维泡沫

(b) 粘接好的泡沫

图9 泡沫模型制作

Fig. 9 Making of high density foam external pattern

2.3 造型、熔炼和浇注

2.3.1 造型

将已烤干的左右二砂芯按定位围绕在整体式3D打印砂芯周围，然后合箱。图11为壳体铸件现场造型和下芯。

2.3.2 熔炼

采用1 t/h中频感应电炉熔炼，高温出炉、多次包内孕育的熔炼工艺，原材料为：Q12生铁、废钢、回炉料和合金等原材料。

调整成分合格后铁液出炉，进行球化处理，出炉温度1 540 ~1 560 ℃，3次孕育，球化剂加入量：0.8%~1.0%。

2.3.3 浇注

液压马达壳体铸件浇注温度控制在1 400~1 415 ℃，浇注时间控制在28~32 s。冷却6~9 h开箱。

2.4 铸件检测

液压马达壳体铸件打磨，抛丸、喷丸处理完成后，见图12。进行关键尺寸检测，满足铸件图纸要

求。铸件解剖切片检测内部油道，内部油道完整性，油道光洁；详细抛切铸件内部无缩孔、气孔、渣孔缺陷，见图13。

对铸件附铸试棒取拉力试棒（ $\Phi 8$ mm）进行力学性能检测， $R_m=617$ MPa， $A=6.2\%$ 。本体金相检测球化等级2~3级，珠光体含量约55%~65%。本体力学性能合格。

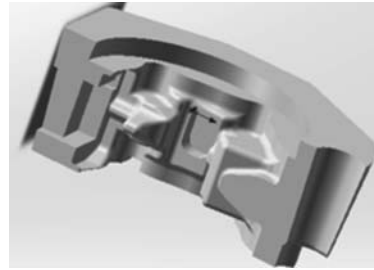


图10 消失模制芯

Fig. 10 Sand core made by expendable pattern

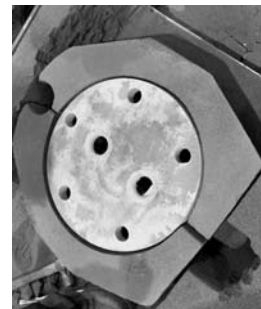


图11 造型现场

Fig. 11 Mold and core assembly site

表2 球化剂的化学成分

Table 2 Chemical composition of nodulizer $w_B/\%$

Mg	RE	Ca	MgO	Si	Fe
7.5~8.5	2.5~3.5	≤ 2.5	≤ 1.0	40~45	余量

表3 原铁液化学成分实测数值（光谱成分）

Table 3 Chemical composition of original iron melt (spectral composition) $w_B/\%$

C	Si	Mn	S	P	Mg	RE
3.81	1.48	0.33	0.028 3	0.034		

表4 球化处理后铁液化学成分实测数值（光谱成分）

Table 4 Chemical composition of iron melt after spheroidizing (spectral composition) $w_B/\%$

C	Si	Mn	S	P	Mg	RE
3.52	2.87	0.33	0.009 6	0.040	0.043 8	0.012 2



图12 铸件

Fig. 12 Produced casting



图13 解剖后的切片

Fig. 13 Dissected casting

3 结论

(1) 3D打印整体砂芯,节约了5套砂芯模具,节省了35天时间,降低了成本。

(2) 整个内腔砂芯一次性成形,减少了传统工艺多次粘接地累计误差,满足了主机要求的精准设计、圆滑过渡,极大地减小了产品高压大流量工作时的局部和沿程压力损失。

(3) 相对于传统铸造工艺,利用高密度泡沫消失模造型本液压铸件复杂外形,节约了4副外模,节省了时间,缩短了开发周期,降低了开发成本。

(4) 直接在下箱完成整体下芯、造型,不需要再开箱、修型、合箱,完全避免了合箱错型误差,提高了铸件公差等级,也避免了分型披缝,节省合箱、打磨时间,提高了效率。

参考文献:

- [1] 吕三雷, 司金梅, 陈菊意, 等. 基于砂型3D打印的复杂内腔泵体铸造工艺研究 [J]. 新技术新工艺, 2017 (10): 79-82.
- [2] 苏玛亮. 铸造缺陷对液压阀体强度影响的研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.
- [3] 赵颖烈. 整体式多路铸造工艺开发 [J]. 液压气动与密封, 2019, 39 (9): 89-94.
- [4] 宋彬. 铸造工艺模拟CAST soft CAE软件在精密铸造生产中的应用 [C]//2013中国铸造活动周论文集. 中国机械工程学会铸造分会, 2013.
- [5] 于彦东, 朱宗良, 李超, 等. 箱体消失模铸件CAD/CAE/CAM技术研究 [J]. 铸造, 2013, 62 (12): 1193-1196.

Rapid Development of Housing Castings for High Strength Hydraulic Motor

NIE Xiong, CHEN Gui-fang, LI Sai-bai
(Sunward Intelligent Equipment Co., Ltd., Changsha 410100, Hunan, China)

Abstract:

In order to develop the housing castings for a high strength hydraulic motor rapidly, its casting process was determined by means of 3D printing sand core, high density foam external pattern and numerical simulation analysis. The actual production verification shows that the rapid casting process using 3D printing integral sand core and expendable pattern core can shorten the development cycle and reduce the development cost.

Key words:

hydraulic motor shell; casting process; 3D printing; core making; expendable pattern
