DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.010

基于砂型(芯)3D打印的阀门生产工艺实践

苏学虎
(江苏万恒铸业有限公司,江苏 盐城 224000)

摘　要:以阀门整体砂型(芯)为例,分别从打印设备、工艺制定、质量评定等环节阐述了3D打印在企业生产应用现状,介绍了砂型3D打印在阀门砂型铸造中的应用。结果表明,3D砂型(芯)表面光洁,模型存在阶梯效应,砂型强度满足生产需求。运用3DP技术结合铸造工艺,生产了材质为Z3CN20-09M,6J300核级截止阀,铸件尺寸精度和表面质量良好,经RT、PT检测均合格,验证了工艺的可行性。

关键词:砂型3D打印;铸造工艺;截止阀

中图分类号:TG242　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)02-0113-04

Valve Production Process Practice Base on 3D Mold (Core) Printing

SU Xuehu
(Jiangsu Wanheng Casting Industry Co., Ltd., Yancheng 224000, China)

Abstract: Taking the whole valve sand mold (core) as an example, the current situation of 3D printing in the production of enterprises from the aspects of printing equipment, process formulation, quality assessment, etc. were expounded, and the application of 3D printing in valve sand mold casting was introduced. The results show that the surface of the 3D sand mold (core) is smooth, the model has the step effect, and the strength of the sand mold meets the production demand. Using 3DP technology and casting process, the material of Z3CN20-09M, 6J300 nuclear globe valve is produced. The casting dimensional accuracy and surface quality are good. The RT and PT test are qualified, which verifies the feasibility of the process.

Key words: sand 3D printing; casting process; globe valve

铸造砂型3D打印是将快速成型技术应用到传统的树脂砂工艺中的新技术,在制造任意复杂形状零件方面具有绝对优势,是一种全新的制造模式。铸造砂型3D打印的零件具有快速成形,减少制造环节,缩短了生产周期短,零件尺寸精度高,设备运行稳定的特点。打印的砂型(芯)无需开发木制或铝制模具,对中小批量铸件生产具有灵活高效的明显优势,从而降低企业的生产制造成本。对于试制样件的工艺研发与改进、模具开发以及铸造工艺评定具有一定的指导意义。本文作者以铸造砂型3D打印设备生产出合格的核级截止阀体为例,介绍了砂型3D打印设备的相关运行参数以及基于砂型3DP技术的铸造工艺特点。

1　打印设备

设备型号、功率、重量以及最大打印尺寸分别为I-MAX3D A18、25 kW、8 t、1 800 mm×1 000 mm×700 mm。主要由加工中心、工作箱、砂罐、型砂分离器以及辊道构成。打印速度为35±5 s/层,铺层厚度0.2~0.5 mm,切片厚度为0.28 mm,利用脉冲宽度调整树脂量为350。X方向上运行打印头,速度为800 mm/s;Y方向上运行铺砂器,速度为400 mm/s;Z方向上为有效平台,下降方向速度为6 mm/s。

2　打印用材

粘结剂采用经过提纯的脲醛改性呋喃树脂,它也是作为SLA、MJP产品的主要材料,其理化指标是:粘度(20 ℃):9~15 MPa·s、密度(25 ℃):1.10~1.25 ×10^3 kg/m^3、游离甲醛含量(20 ℃):≤0.1%、杂质≤0.06%、水分≤1%、含氮量≤0.5%、表面张力(30 ℃)≤40 mN/m、pH:6.5~7.7、固体颗粒≤0.5 μm、型砂抗拉强度≥1.6 MPa、抗压强度≥6 MPa、发气量≤14 mL/g。固化剂为苯磺酸,其总酸度(以H_2SO_4计)为28%±1%、游离硫酸:9.0%~11.0%、密度(×10^3 kg/m^3)为1.25~1.35、粘度(20 ℃、MPa·s)≤50、水分含量:24%~28%。清洗剂为特定的无色透明的有机溶剂,周期性的清洗打印头(每20

收稿日期:2020-12-09
作者简介:苏学虎(1995-),江苏盐城人,工学学士,助理工程师.主要从事铸造及热处理工艺方面的工作.
电话:18361121325,E-mail:3329820836@qq.com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

次清洁过程),避免粉尘颗粒或粘结剂堵塞喷头,清洗槽如图 1 (a)。通过丝杠滑轨系统带动打印头移动,实现对预成形部位的粘结喷射,打印头下方设有阵列式打印喷孔如图 1(b),通过控制喷孔处的压电半导体部件来控制粘结剂的喷射和停止。硅砂规格为 GS14RP、目数在 90～110 目,其中 SiO_2 含量为 99%,粘土量较少,砂粒形状为不规则棱形,型砂流动性较好且有良好的高温强度。

每公斤砂中添加 0.25%的固化剂与比例为 1:2 的新、旧砂进行预混合,铺砂器铺设一层混砂后,打印头喷射 2%的粘结剂与混砂反应[1,3],分层铺置逐层叠加。当打印中断或结束时,打印头回到浸湿乙二醇的海绵的封盖站以防止干燥损坏, 海绵见图 1(a)。脲醛呋喃树脂的结构中含有呋喃环、活性很强的羟基、羟甲基和氢键,以短链线性化合物形式存在,在室温下可以通过苯磺酸经链状化合物发生脱水缩聚反应胶联成大分子有机体形成潜性热固性材料, 在后续的恒温加热中发挥效应使砂型固化,恒温系统如图 1(c)所示。脱水缩聚反应进行的程度对砂型的终强度有一定的影响,但砂型的固化速率和强度建立的快慢主要还是取决于呋喃环破裂和加成聚合反应的程度。

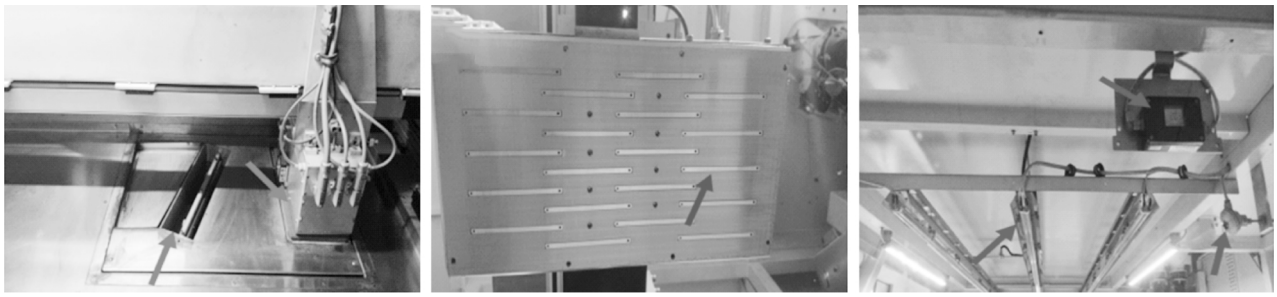
3 工艺流程

CAD 三维零件图→铸件图→华铸 CAE 模拟→铸型图→应用 Netfabb 或者 UG 软件给所有打印模型排版→Anydesk 远程传输文件并转化 STL 文件格式→打印测试→铺砂打底→分层切片得到截面信息→产生控制信息生成扫描路径→启动运行→清理散砂→放置相应规格冷铁再用铬铁矿砂合缝→涂料→清理型腔表面→组芯合箱、放置冒口和浇口杯→使用内窥镜查看型腔落砂情况→从冒口插入热风管去除型腔表面水分→砂箱套住砂型并用水玻璃砂合缝→熔炼浇注→清理铸件→热处理→RT、PT→挖补、焊补→重新 RT→合格进库。

4 工艺特点

3D 打印阀体零件技术要求:①冷铁位置加磁铁;②铸件材质、质量按照 RCCM M3402 标准执行;③铸件尺寸公差按 GB/T6414-CT12 级规定执行;④铸件最小壁厚为 15_0^{+2} mm;⑤未注铸造圆角 R_1～3 mm。零件图、三维剖视图、工艺图分别见图 2、3、4。

在零件图基础上用 CAD 绘制模样型板图,见图 5, 再次绘制壳型图,3D 打印只能在铸型上留出冷铁位置,如图 6,因此冷铁位置与数目的设计有局限性[3],给分型带来困难;3D 打印在制造任意复杂形状零件时有明显优势[2],降低了复杂结构产品的生产难度;3D 打印砂芯强度相对较高, 相较于手工砂芯可以在砂芯内部埋入钢筋芯骨人为增加砂芯的强度,3D 打印模型是逐层铺砂然后叠加成型, 无法放置芯骨导致截止阀阀芯连接处容易断裂[4];砂型在浇道部位设计了砂制加强筋, 作用是方便转运以及增强钢液浇注时浇道位置型砂强度,见图 7;由于钢



(a)清洗槽与海绵　(b)打印头　(c)恒温系统

图 1 3D 打印设备部分工作系统

Fig.1 Part of the working system of 3D printing equipment

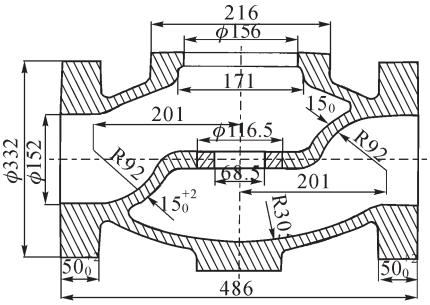


图 2 零件图

Fig.2 Part drawing

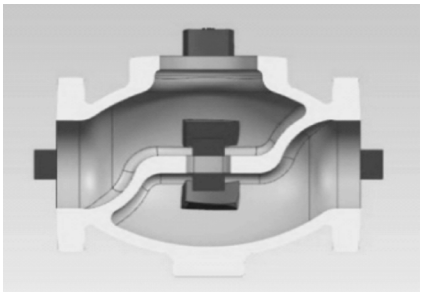


图 3 零件三维剖视图

Fig.3 3d sectional view of parts

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

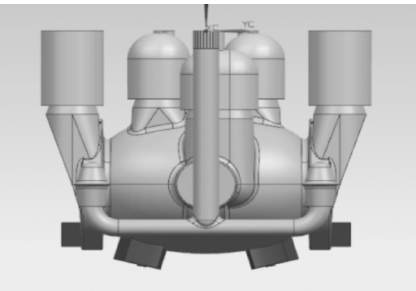


图4 零件工艺图
Fig.4 Part process drawing

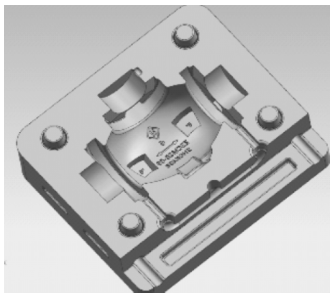


图6 三维打印阀体砂型模型显示冷铁位置
Fig.6 3-dimension sand mould model showing location of chills

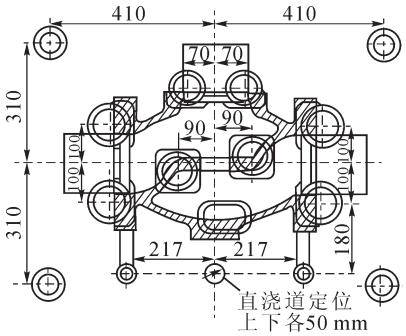


图5 阀体模样型板图
Fig.5 Pattern plate of the valve body

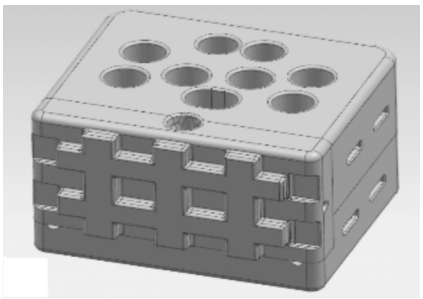


图7 三维阀体砂型模型显示出打印的加强筋
Fig.7 3-dimension sand mould model showing extra reinforced sand rib

液凝固收缩,根据金属凝固理论结合经验设置合适的缩尺,尺寸方面考虑余量;切片分层厚度由型砂本身决定,分层厚度越小表面越精细但效率越低;砂型尺寸与三维模型理论值存在偏差,一般与打印机的机械精度、砂的目数、铺砂结构以及树脂的喷射扩散程度有关[1];3D砂模表面存在阶梯效应表现为一道道棱纹,在SLS模型表面同样也会出现,这是因为切片打印的原理是利用厚度很薄的直壁片来替代机械切片,该切片原理会存在微细的曲面数据丢失;3D打印砂型曲面是逐个直壁阶梯面的叠加,其肉眼可见的明显程度与铺砂器的铺砂结构、打印层厚度、铸造圆角、过度区平缓度等有关,另外,3D打印的砂型一般由三维软件建模或者是通过三维扫描逆向工程来建立模型,容易出现STL数据精度不够而造成与理想尺寸存在一定的误差;铺砂过程中刮砂板上下振动挤压紧实砂面,如果积砂池中落纱高度超过了打印工作平面高度时将会发生推砂从而导致逐层打印胶连失败,粘有树脂的黏砂堵塞打印头而减少其使用寿命;3D打印砂型与手工砂型相比,零件尺寸精度较高、表面光洁度较好;打印结束的砂型(芯)随着固化时间的不同终强度也不同,手工砂型和3D打印砂型在相同固化过程下,3D打印砂型终强度略低但也能够满足生产的要求。

5 铸件质量

工艺进行华铸CAE模拟,17 min时的模拟效果见图8。材料为常规的奥氏体不锈钢Z3CN20-09M,浇注温度1 580±10 ℃,浇注结束后去除表面部分型砂的铸型和铸件见图9,所有浇注条件与常规工艺条件相同,没有特殊工艺要求。

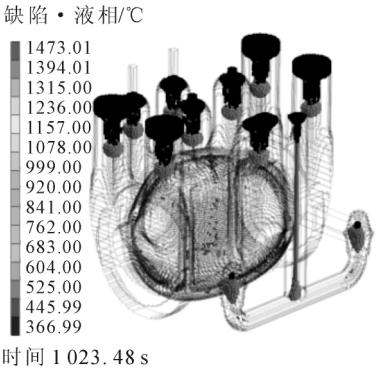


图8 17 min时CAE模拟效果图
Fig.8 CAE simulation effect at 17 min

图9 浇注结束后去除表面部分型砂的铸型和铸件
Fig.9 The sand mold and casting after sand partially removed

采用SPECTRO MAXx型光谱仪、使用DI-A2000SE软件化验钢液成分,达到RCC-M M3402标准对材质Z3CN20-09M的成分要求,如表1。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 铸件的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of casting

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Co	B	Nb+Ta
标准值	≤0.04	≤1.500	≤1.500	≤0.015	≤0.03	19.00～21.00	8.00～11.00	--	≤1.000	--	≤0.200	≤0.001 8	≤0.150
实测值	0.028	0.831	0.773	0.008	0.023	19.37	8.43	0.069	0.127	0.074	0.116	0.000 4	0.045 5

铸件在开箱清砂割除浇冒口,表面清理后的毛坯见图 10，热处理采取 1 100±14 ℃固溶处理,水冷。金相组织为奥氏体基体上分布一定数量的铁素体,见图 11。

图 10 表面清理后的铸件毛坯
Fig.10 Rough casting after cleaning

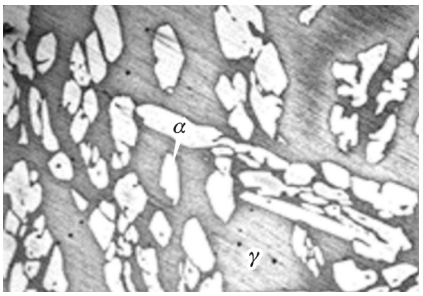


图 11 固溶处理后铸件的金相组织
Fig.11 Microstructure of the casting after solid solution treatment

铁素体含量对阀体的力学性能、焊接性能以及抗蚀性能等指标具有重要影响，其含量是核级截止阀制造过程中的重点控制项。铁素体含量检测是依据熔炼分析的结果进行的,由直读光谱仪得到 Nb%=0.025 1%,Ta%=0.020 4%,Ti%=0.005 9%。对此不锈钢可用 RCC-M MC1000 铁素体含量测定中的舍弗勒图计算铁素体含量。在不考虑氮含量的情况下使用 MC1000 中给出的 Schaeffler 图评定的铁素体含量应为 12%~25%(目标值为 15%~20%)。

计算铁素体:Creq=%Cr+%Mo+1.5×%Si+0.5×%Nb=20.70%,Nieq=%Ni+30×%C+0.5×%Mn=9.67%,Creq/ Nieq=2.14,R= (Creq-4.75%)/ (Nieq+2.64%)=1.30。F%=(149.11R3-550.34R2+701.94R-297.25)×R=16.6%。结果正好介于 15%~20%,同时用 DIVERSE MF300F 型铁素体含量检测仪对试样铁素体含量进行验证,实测值为 18.2%,考虑到铸件成分偏析以及成分内控标准导致局部铁素体含量有可能偏离正常值,局部组织为典型双相钢组织。依据实验标准 RCC-M MC1000/2007，分别采用万能材料试验机 /WEW-300A、半自动冲击试验机 /JB-300B,对同炉试样进行拉伸试验和冲击试验,结果如表 2 所示。

表 2 铸件的力学性能
Tab.2 Mechanical properties of casting

力学性能	F_m/kN	R_m/MPa	$R_{P0.2}$/MPa	A(%)	A_{kv}/J
标准值	-	≥480	≥210	≥35.0	≥80
实测值	43.2	553	270	47.5	＞300、264 、＞300

依据 RCC-M M3402 执行核级截止阀目视检查,所有可检查到的机加工表面和圆角表面均完好;阀体热处理后采用射线探伤机 /DLTS-B 铱 192、胶片 /AGFA D4 检测焊接区和端部的缺陷情况，观察底片发现法兰边和阀体存在少量气孔、夹渣等缺陷。随后进行挖补、焊补,阀体不重新固溶而对较大焊补区重新 RT 直至最终结果合格满足采购规范要求。

6 结论

(1)砂型 3D 打印模型存在阶梯效应,因为利用厚度很薄的直壁片来替代机械切片，该切片原理会存在微细的曲面数据丢失，阶梯明显程度与铺砂结构、分层厚度、圆角、过度区平缓度等因素有关。

(2)砂型(芯)固化速率与硅砂目数、砂粒形状、固化剂种类、砂面温度、环境温湿度等因素有关。

(3)3D 打印阀芯表面质量好、精度较高，砂型(芯)设计冷铁有局限性,使得分型困难。

(4)Z3CN20-09M 材质 6J300 铸件目视检查外观无劈缝、结疤、缺肉等可见缺陷,RT 探伤显示法兰存在少量气孔和夹渣,对缺陷处挖补,最终结果合格。

(5)每公斤砂中添加 0.25%的固化剂与 1:2 的新、旧砂预混合,同时喷射 2%的树脂与混砂反应,结果显示制定的参数打印出来的砂型强度比手工砂型强度低,气味小,透气性好,能满足生产要求。

参考文献:

[1] 王君衡,张全艺,周荣光. 铸造砂型 3D 打印技术应用及选型分析[J]. 铸造技术,2020, 41(7):660-663.
[2] 李少海，李昭青. 3D 打印在铸造技术中应用 [J]. 铸造技术,2018,39(2):384-389.
[3] 李彬,廖慧敏,曾明,等. 3D 打印在砂型铸造中的应用及发展现状[J]. 特种铸造及有色合金,2020,40(9):953-957.
[4] 徐继坤,刘克新,郑霏. 3D 打印技术在多级泵铸件中的应用研究[J]. 铸造技术,2020,41(8):749-752.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net