● 特种铸造 Special Casting ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.013

基于石膏型精密铸造蜡模打印的工艺研究及故障解决方案

邢小颖,汤 彬,马 运,姚启明,徐江波,王龙兵
(清华大学 基础工业训练中心,北京 100084)

摘 要:介绍了 3D Solidscape 打印机,对打印机出现的故障及打印蜡模模型出现的缺陷进行分析,并提出有效的解决方案。最后进行了反复试验验证,为 3D 精密铸造实践教学提供了重要的数据支撑。结果表明,将 3D 蜡模打印机运用到铸造行业,可以简化传统铸造生产过程,提高铸造教学质量。

关键词:3D Solidscape 打印机;蜡模缺陷分析;解决方案
中图分类号:TG249 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)02-0124-04

Process Research and Fault Solution of Printer Based on 3D Solidscape

XING Xiaoying, TANG Bin, MA Yun, YAO Qiming, XU Jiangbo, WANG Longbing
(Basic Industrial Training Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The 3D Solidscape printer, analyzes the faults of the printer and defects of the printing wax model were introduced, and the effective solutions were put forward. Finally, repeated experiments were carried out, which provided important data support for the practice teaching of 3D precision casting. The results show that the application of 3D wax model printer to the casting industry can simplify the traditional casting production process and improve the casting teaching quality.

Key words: 3D solidscape printer; wax pattern defect analysis; solution

1 3D Solidscape 打印机介绍

本文介绍的是用于石膏型精密铸造的 3D Solidscape 蜡模打印机,石膏型铸造的第一步是用 3D 打印制作蜡模,将 3D 打印蜡模埋在石膏浆体中得到石膏模,再将石膏模放进培烧炉内培烧,石膏模干燥硬化,3D 打印蜡模通过高温分解,最终完全气化,最后在专用真空浇注设备内将熔融金属注入石膏模,冷却后破碎石膏模得到金属铸件。

此打印机是将 CAD 计算机三维设计、3D 打印技术有机的结合而设计开发出的一种数字化制造的综合技术。它利用 3D 打印技术的离散 / 堆积成形原理,采用轮廓扫描、喷射固化工艺,实现模样的快速直接成形而无需模具,属于增材制造快速制造技术。此系列打印机外形尺寸 560 mm×500 mm×110 mm,层厚 0.025 4 mm,成型材料为高温合成蜡,熔点在 95~110 ℃,密度为 1.25 g/mL,支撑材料为合成蜡,熔点在 50~70 ℃,室温下密度为 0.93 g/mL,110 ℃下密度为 0.81 g/mL。如图 1 为打印机结构图。

2 3D Solidscape 打印机工艺过程

2.1 3D 蜡模软件应用

蜡模制作常用的软件 JewelCAD、3ZWorks 和 3ZAnlyze 3 种,JewelCAD 软件:主要对文件进行设计排版、切片、测中工作;JewelCAD 对模型进行设计切片处理,将 SLC 文件拖入到 3Zworks 软件,进行分层切片,一般多分为两层,无需添加冷却,点击 OK 完成分层操作生成 3ZX 格式打印文件。

2.2 切片缺陷分析

将 3ZX 文件拖入到 3ZAnlyze 中,检查打印过程中常出现的问题,裂痕、断层等,如图 2,如没有问题,使用 U 盘将 3ZX 文件拷入 Solidscape 打印机进行打印。

3 蜡模的清洗、组装及灌浆

将打印好的蜡模用 JF-956A 微电脑加热平台进行工件取板,加热温度一般设置 90 ℃,将打印完成

收稿日期:2020-08-07
作者简介:邢小颖(1994-),女,陕西渭南人,学士.研究方向:铸造虚拟仿真、石膏型精密铸造等.电话:15600647714,E-mail:913268740@qq.com

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

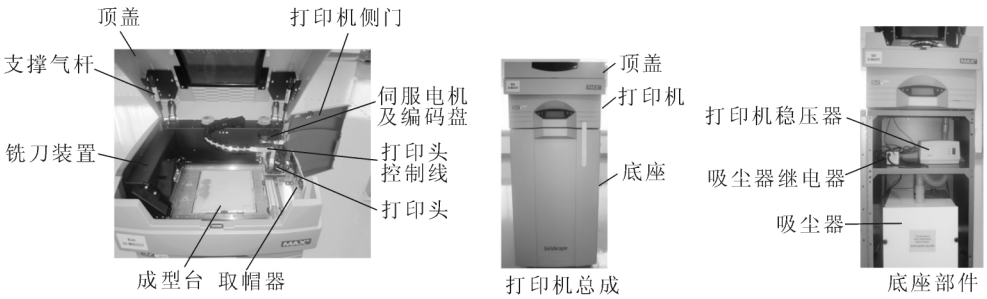


图 1 打印机结构图
Fig.1 Printer structure

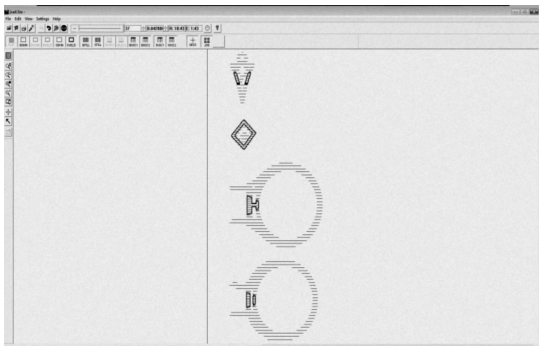


图 2 切片缺陷分析
Fig.2 Slice defects analysis

的蜡模成型台放在加热平台上，待工件底部略微溶化，用 A4 纸或其他薄片工具将蜡模托起，放入 ZN CL -BS 智能磁力搅拌器上的 VSO 溶液进行溶蜡，溶化完成的工件，可能还残留废料粉尘，清洗干净即可。然后将清洗完成的多个蜡模按照螺旋状的方式通过电烙笔焊接在蜡树上，有助于在铸造后样品的切断分离。

4　打印时蜡模易出缺陷及解决方案

(1)阶梯纹　出现原因：由机器的成型方式导致，不可避免的会出现阶梯纹，阶梯纹与模型的形状和摆放角度相关。解决方案：如图中的戒指，上下平面均为水平，便不会产生阶梯纹。在进行切片的过程中，以轴线为边缘，模型最边缘靠近轴线，较高的模型需和较高的摆放在一起，摆放顺序一般是由高到低进行摆放，摆放角度一般倾斜 30°(见图 3)，因为 3D 打印的工作原理是逐层堆积的，当第 N 层与第 N+1 层在水平方向(X 方向)的变化与层厚(Z 方向)相差过大时，便会产生明显的阶梯纹，所以打印过程所产生的阶梯纹与模型的形状和摆放角度是有一定关系的。

当进行 30 度角倾斜之后，第 N 层与第 N+1 层在 X 方向的差值约为 50 mm，Z 方向的层厚为 25 μm，只要两者差距不大，就不会产生明显的阶梯纹。一般建议根据实际情况进行倾斜，层厚越厚需要倾斜的角度越大，层厚越薄需要倾斜的角度就越小。如果为了提升速度，在阶梯纹可以接受的情况下尽量减小角度。

(2)圆度　出现原因：模型在软件设计时，控制点不够所致；模型脱板时，温度过高；产生变形模型溶蜡时，温度过高，产生变形。解决方案：CAD 绘图时，圆形实际上绘制的是多边形的近似圆。所以控制点的数量会直接影响圆形的圆度。我们建议在进行模型设计时，适当增加控制点的数量；质量要求非常高的精细蜡模，适当降低脱板温度，并随时留意电炉上的蜡模，避免长时间加热。建议将电炉温度设定在 70~80 ℃；对于普通蜡模，建议脱板温度仍然使用 95 ℃，防止蜡模直接接触到盛 VSO 溶液的金属盘底部分，建议使用塑料滤网。如果蜡模有容易变形的结构，则可以将溶液温度设定在 50 ℃，或者先设定为 45 ℃，如果溶解 30 min 后仍无变化，再将温度缓慢调高至 50 ℃。

(3)塌陷　出现原因：成型台高度错误(下降)，导致蜡模底面部分塌陷(图 4)；蓝蜡往下掉。

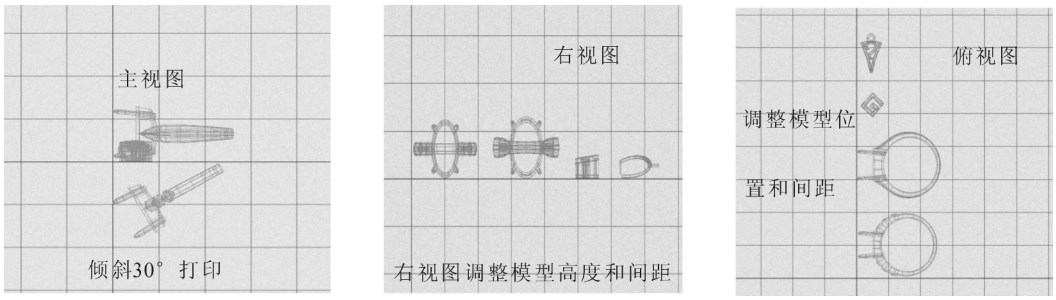


图 3 蜡模摆放角度与摆放位置的设定
Fig.3 Setting the angle and position of wax mold

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

下　掉

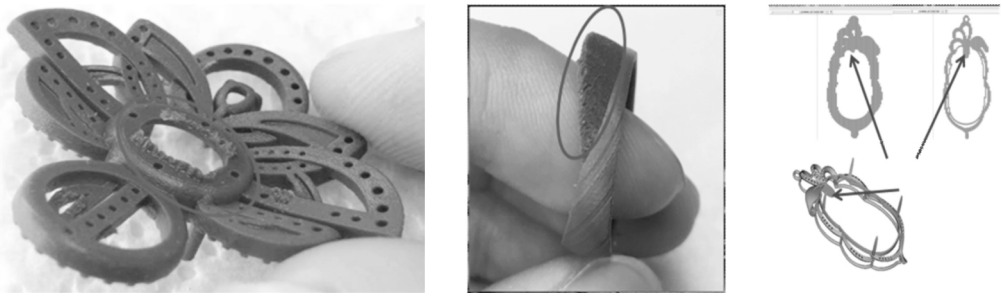


图 4 蜡模塌陷模型
Fig.4 Resin (wax) pattern collapse

解决方案：Foam Top+→Foam Cut→观察序列号处是否还有突出感（没有则完成）→ Foam Cut→ Foam Top+→Foam Cut

(4)线条　出现原因：打印过程中打印头错位；传动系统某些零件松动。解决方案：点击打印头的 Cal Offset 选项，让机器及时校准打印头坐标；清洁 XYZ 轴所有传动零部件，保证各传动零部件的运行状态良好；拧紧传动零部件上的固定螺丝或与之相关的螺丝，保证各零部件稳定运行；点击 Table 里的 Top 和 Bottom 图标各 5 次，再将成型台切平，保证它是平的，使成型台可以平稳地上升和下降。

(5)砂孔　出现原因：砂孔的形成比较复杂，在蜡模打印到某一层时，由于材料、温度、喷射量、粉尘、铣刀刮痕等多种因素，导致某层的蜡模表面出现很小的凹坑，在之后的打印过程中，凹坑没有被下一层打印头喷出的蜡所覆盖，于是随着打印层数的增加，凹坑也不断地长大，最终形成砂孔（见图 5）。但是此时的砂孔还不是真正意义上的砂孔，因为打印机在进行最后一层打印时，采用低流量的喷射方式，基本上可以把砂孔给覆盖，这时我们就看不到“砂孔”了。如果出现砂孔的问题我们可按下面方法对机器进行调试。

图 5 蜡模砂孔缺陷
Fig.5 Small hole defect of Resin (wax) pattern

解决方案：记录打印机的红、蓝打印头信息，记录方法可按表 1 填写。判断红、蓝打印头的工作状态（以蓝打印头为例）点击蓝打印头的 Fire 图标，然后

表 1 打印头信息记录表

Tab.1 Print head information record

红打印头信息		蓝打印头信息	
材料盒温度 (Tank/Offset)	116/5	材料盒温度 (Tank/Offset)	116/5
加热导管温度 (Support Line/Offset)	110/-5	加热导管温度 (Build Line/Offset)	125/-5
红打印头温度 (Support Jet/Offset)	115/6	蓝打印头温度 (Build Jet/Offset)	120/6
高流量电压(H)	42	高流量电压(H)	50
低流温电压(L)	43	低流温电压(L)	35
打印头使用时间 (Op Hrs)	150	打印头使用时间 (Op Hrs)	150

拧开蓝蜡材料盒的盖子，观察蓝打印头喷蜡情况。如果蓝打印头喷出的蜡一直都呈一条直线，则表示蓝打印头工作状态很好；如果蓝打印头喷出的蜡偶尔会分开呈两条线但又很快变回一条直线，则表明蓝打印头工作状态良好。

然后进行自动校准红、蓝打印头（以蓝打印头为例），依次点击打印头的 Purge、Fire、Wipe、Test、Cal Low-Vol、Cal High-Vol 图标，完成打印头的自动校准，观察自动校准后的高、低电压的变化，如果有变化，则需要记录下来。机器在自动做 Cal Low-Vol 时，也可以观察打印头在纸袋上面的出蜡情况，为分析出现砂孔的原因做准备（一般来说，蜡在纸带上面凝固的速度越快，打印出蜡模的质量就越好）。检查红、蓝打印头的喷射量（以蓝打印头为例），取一张卡片放到成型台正左方上，点击蓝打印头的 Chp Low Vol，机器在卡片上喷出完整的低流量大方块，可以将卡片放在电子秤上得到低流量的重量，并进行记录，机器默认的蓝蜡低流大方块的重量是 180 mg，如果称得的重量偏轻或偏高，可以升高或降低 1v 低流量的电压，使其更接近 180 mg，然后再点击 Cal Low-Vol，使机器记住这个电压。同理，高流量大方块（Chp High Vol）的校准方式同低流量大方块的校准方式相同。

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

5　打印机易出故障及解决方案

(1)胶帽问题　出现原因:胶帽没有带紧或取帽器、测喷嘴很脏;解决方案:出现此问题,先检查胶帽是否掉落，掉落的装回去后依次点击 Purge、Wipe、Test 图标,见图 6。

(2)打印头问题　原因:材料盒没蜡或挡泥块没按压到位或其它因素；处理：先检查材料盒是否有蜡→导航到维修界面，依次点击 Purge、Fire、Wipe、Test、Multi-test,观察能否画出饱满的线条→More→Cal Low-Vol →Cal High-Vol,见图 7。

(3)温度问题　原因:风扇未运行或材料盒温度过高;控制线松动或重启后温度未上升;处理:检查背面散热风扇是否正常运行；加强空调的制冷效果,降低室温。检查控制线接口处是否松动,尝试关机后 拔出接头再装回去，开机后若还显示此界面，说明控制线损坏,需更换。

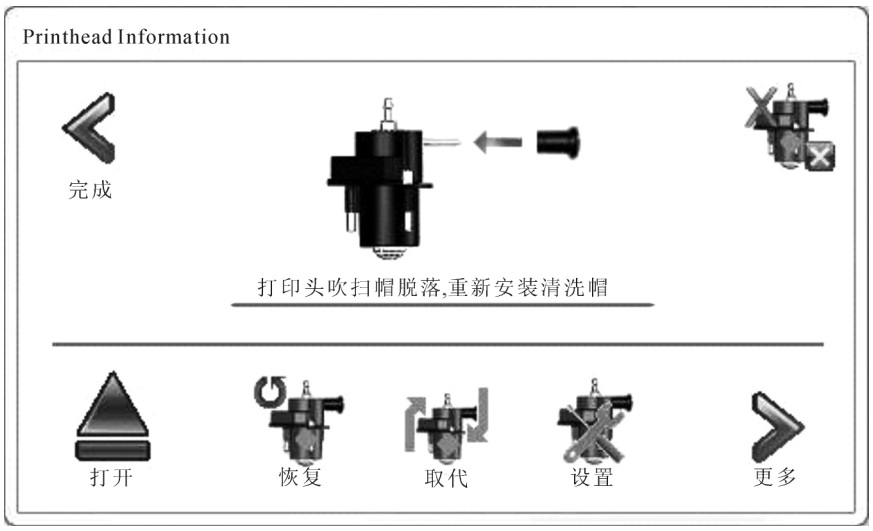
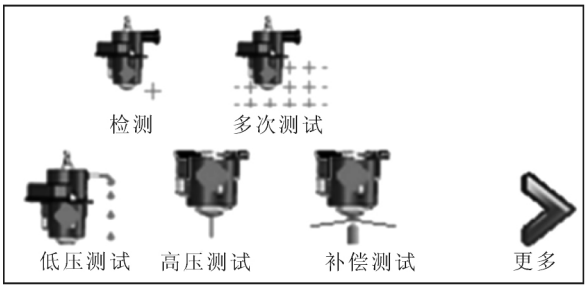


图 6 胶帽处理界面
Fig.6 Rubber cap processing interface



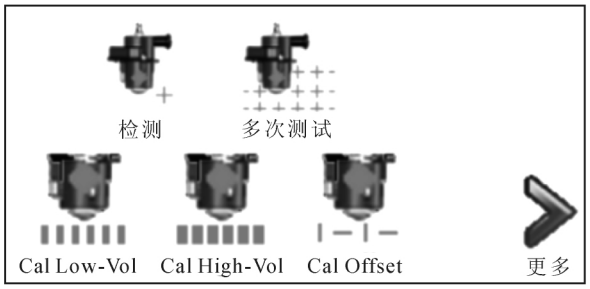


图 7 打印头处理界面
Fig.7 Print head processing interface

6　结语

主要阐述了 3D Solidscape 蜡模打印机的工艺过程,分别从打印蜡模模型阶梯纹、圆度、塌陷、线条、砂孔等缺陷和打印机出现故障的原因进行分析,并提出了有效的解决方案，可以更好的应用于石膏型精密铸造行业，此研究成果显著提高了 3D 打印机的打印效率及精度，并为参考者提供重要的数据分析 。

参考文献:

[1] 邢小颖. 3D System 打印机工艺过程及故障解决方案[J]. 制造技术与机床,2020(1):1005-2402.

[2] 于彦奇. 3D 打印技术的最新发展及在铸造中的应用[J]. 铸造设备与工艺,2014(2):1-4.

[3] 王波,王仙萌. 基于 3D 打印技术的模具制造[J]. 锻压装备与制造技术,2014(3):78-81

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