

3D 陶瓷打印在精密铸造中的应用

邢小颖, 汤彬, 马运, 徐江波

(清华大学基础工业训练中心, 北京 100084)

摘要: 对3D陶瓷打印原理和技术特征进行了说明, 并通过将3D陶瓷打印技术与传统铸造技术相结合, 对打印过程中耐火材料的选择、浆料的制备、打印参数的设定等方面进行详细阐述。本实验结果可为3D陶瓷型精密铸造实践教学提供重要的数据。

关键词: 3D陶瓷打印; 传统铸造; 实践教学

1 陶瓷型铸造

所谓陶瓷型铸造, 其原理是采用陶瓷浆液作为原材料制作铸型来生产铸件。陶瓷浆液的组成主要为硅酸乙酯水解液和细耐火砂, 细耐火砂具有质地纯净、遇热稳定的特性, 主要由石英、刚玉等材料组成。除此之外, 还会增加催化剂来尽快使得浆液可以迅速结焦, 催化剂主要选择氢氧化钙或氧化镁, 由于其外观和组成材料都非常像陶瓷, 因此叫做陶瓷型。

一般情况下, 对于小型铸件, 最常见的方法是将陶瓷浆液直接进行浇注。其步骤是首先制作型板, 然后将之放入砂箱, 接着把之前准备好的浆液倒入其中, 砂箱表面的不平处通过工具进行处理, 最后等其慢慢硬化, 浆料一旦出现弹性就可以把模具取出点火进行喷烧, 特殊情况下可吹压缩空气助燃, 待火完全熄灭, 将模具放入焙烧炉进行焙烧, 即可得到所需的陶瓷型。此方法效率低, 精度低, 由于灌浆步骤比较繁杂, 因此这种方法不能用来生产要求比较高的铸件, 同时该工序步骤生产效率较低, 不能投入自动化生产。为此, 本文介绍了一种用3D陶瓷型打印技术来生产铸型的工艺。

2 3D打印陶瓷光固化原理及技术特点

2.1 光固化原理

陶瓷3D打印也遵循“三维图形数据切片-分层制造叠加成型”的方法。首先, 通过专属软件, 将三维图纸(STL格式)打开、摆放、切片输出成打印机可识别的数据。然后, 把陶瓷粉末和光敏树脂混合形成浆料, 将每一层的形状通过投影的方式, 在浆料表面形成一个紫外光图形, 图形内的浆料光敏树脂发生聚合固化, 起到粘结剂的作用, 将陶瓷粉粘接定型, 未被照射的位置仍然保持浆料状态。

光敏树脂被光照固化的效果, 可通过图1的工作原理图来解释。将一滴陶瓷浆料滴在玻璃板上, 放在陶瓷3D打印机上, 手动曝光投射一个图形, 10 s以后, 取下玻璃板, 把未固化的陶瓷浆料擦掉, 可以看到留下的被固化的图形。

本文所使用的打印机为AUTOCERA-M3D陶瓷打印机, 采用倒置式的逐层叠加方式。陶瓷浆料均匀铺设在一块透明玻璃板上, 成型基台位于玻璃板上方。打印开始后, 成型基台下降到距离玻璃板一层切片厚度的位置, 两块板之间“夹着”一层浆料。光源从玻璃板下方向上照射, 在浆料下表面形成图形, 并且穿透该层浆料, 使得定型的浆料粘接到成型基台上。然后成型台上升, 铺料系统在玻璃板上重新铺料, 成型台再次下降, 并留出第二层的厚度, 进行曝光。如此往复循环, 实现逐层

作者简介:

邢小颖(1994-), 女, 学士, 主要从事砂型铸造、消失模铸造、3D石膏型精密铸造的研究。电话: 15600647714, E-mail: 913268740@qq.com

中图分类号: TG242

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)10-1127-04

收稿日期:

2019-03-19 收到初稿,
2019-04-17 收到修订稿。

叠加，也就是所说的增材制造。

2.2 3D 陶瓷打印技术特点

(1) 传统陶瓷脆、硬，难以加工，很多陶瓷，只有用金刚石才能切削，而且需技术精湛，否则很容易“崩瓷”。采用模具加工，则形状受到较大局限，不能加工复杂镂空结构。陶瓷3D很好地解决了这些技术难点。

(2) AUTOCERA-M采用DLP（数字光处理）投影技术，实现紫外光图像的控制（图2）。图像分辨率达到 $50\ \mu\text{m}$ ，由于不采用运动部件（对比激光扫描式光固化），稳定性更高，不需要频繁校准。相比其他技术路线（挤出式、激光粉末烧结），表面光滑，精度高。

3 打印浆料的制备

(1) 耐火材料的选择。陶瓷型对耐火材料有具体的要求，其杂质不能太多，熔点不能太低，高温热膨胀系数较低，而使用的模具，比如玻璃模铸造尺寸精度一定要高。一般采用耐高温、热稳定性好的刚玉粉、锆砂粉和碳化硅作为耐火材料。对于铸铁件或铸铝件一般采用价格较为便宜的铝矾土或锆砂粉作为耐火材料。通过打印出的模型可发现，为了提高陶瓷型

表面光洁度、尺寸精度和强度，防止模型出现裂纹，陶瓷型的紧实度越高其效果越好，所以，对于在陶瓷浆液所采用的耐火材料，需要考虑其物理特性、化学组分、力度的分布等。

(2) 浆料的配制。耐火材料和硅酸乙酯水解液必须按照一定的比例来配置，如耐火材料太多，就会导致浆液过浓，从而导致流动性变差而造成灌浆困难，这样就算是强制生成模型，使用的时候也容易破裂。如果耐火材料较少，那么会导致浆液浓度太低，导致灌浆的时候各种组分出现分层，从而使得模型的强度过低且浪费水解液。经试验发现，耐火材料不同，所需水解液比例也不一样，具体如表1所示。

在陶瓷浆料配备过程中，一般先用量杯量好水解液，混有催化剂的耐火材料，一边缓慢的倒入，一边缓慢的进行搅匀，从而使两者可以均匀地进行混合。以搅拌时分散均匀不结块为准（搅拌机转速建议 $500\sim 700\ \text{r/min}$ ），加料完成后充分搅拌 $15\ \text{min}$ ，浆料搅拌完成。当混合料出现结胶迹象时，开始灌浆，需控制好浆液结胶和灌浆时间，对陶瓷型的最终成型效果影响非常大，而且其中含有多少催化剂、环境温度高低都对其有一定的影响，具体结胶时间可以通过小样来测定。

配料时浆料的用量可通过下式进行计算：

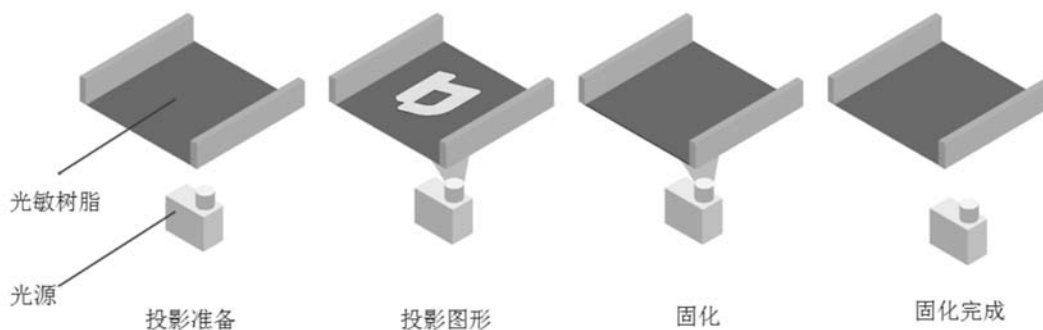


图1 投影原理

Fig. 1 Principle of projection

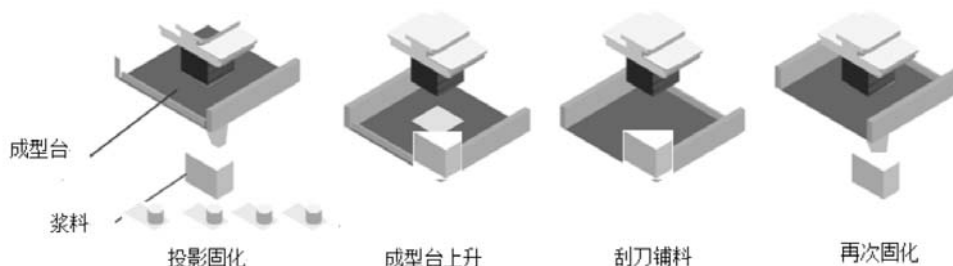


图2 AUTOCERA-M 3D工作原理

Fig. 2 Working Principle of AUTOCERA-M3D

$$Q = F \cdot h \cdot \gamma \quad (1)$$

式中： Q 为所需陶瓷浆料的重量（kg）； F 为铸件模型的表面积（ m^2 ）； h 为浆料层的厚度（m）； γ 为浆料的重度（ N/m^3 ）。

为了方便计算，常取 $\gamma = 2 N/m^3$ ，则上式简化为 $Q = 2F \cdot h$ ，得出浆液的质量，从而获得最好的耐火材料和硅酸乙酯水解液的最佳用量。

（3）浆料脱泡。把搅拌完成的浆料放入真空脱泡机中脱泡，以浆料泡沫破裂，出现沸腾时为完成标准，注意抽真空时初期泡沫过多溢出容器，脱泡时间3~5 min为宜。

4 3D打印模型参数设定及后处理

（1）导入三维模型。3D打印的原理是利用计算机软件，把一个立体模型切成很多薄片，每次打印一个薄片，直至堆叠成完整的3D实物。本文利用10dim软件，实现3D图纸的导入、排版、加支撑、切片等功能，并输出为打印机可读取的数据。如图4所示。

（2）完成布局。根据需要导入或复制多个模型，点选自动布局完成布局并保存（图5）。

（3）在软件左侧“参数选择”区域，设置打印相对应的参数。选择打印机型号“96*54 50 μ m”，每层层厚为50 μ m，底平面层数为1，投影式底平面：点选。

（4）导出打印模型。完成参数设置后，导出打印模型tdp格式，通过U盘上传到打印机。

打印完成后，逆时针拧动成型台固定螺栓，取下成型台，使用专用工具取下模型，清理成型台上残渣，并用酒精擦拭干净。清洗模型时使用超声波清洗机加入专用清洗液，模型超声时间10 min为宜，超声完的模型用清水冲洗干净即可。

5 焙烧、浇注及清理

陶瓷型焙烧的目的是将陶瓷型内部的可挥发物蒸发掉，比如乙醇、水分等。也可提高陶瓷型的整体强度，一般将焙烧工艺设定为阶梯升温到800 $^{\circ}C$ ，防止升温速度过快模型产生裂纹，焙烧时间控制在2~3 h，出炉温度应控制在250 $^{\circ}C$ 以下，焙烧完的铸型如图6。在浇注铸钢件时，在其表面一般都会出现一层已经被脱除碳的氧化皮和粘砂层，可以采用乙炔焊枪在其表面进行一层炭黑，所以陶瓷型的焙烧温度最好控制在350~550 $^{\circ}C$ 。

用焙烧好的铸型浇注不锈钢，浇注温度一般不低于1530 $^{\circ}C$ ，铸件浇注系统的截面积应比碳钢铸件大约20%~50%。为了防止热裂，应加强铸型的退让性。为保证铸件的质量，通常在铸件表部覆盖耐火材料。

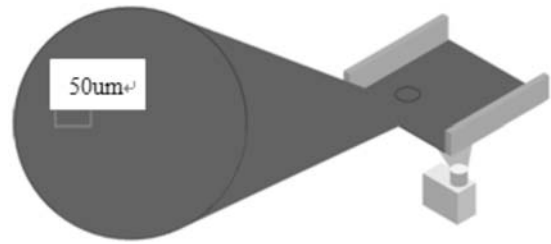


图3 光固化原理

Fig. 3 Principle of light curing

表1 耐火材料与水溶液的配比
Table 1 Ratio of refractory to hydrolysate

耐火材料种类	耐火材料/kg : 水溶液/L
刚玉粉或碳化硅粉	2 : 1
铝矾土粉	10 : (3.5 ~ 4)
石英粉	5 : 2

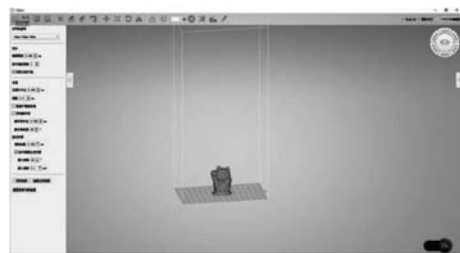


图4 模型导入

Fig. 4 Mould import



图5 自动布局

Fig. 5 Automatic layout

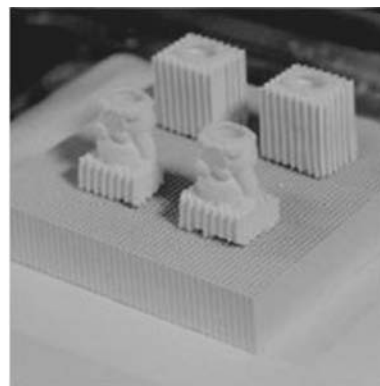


图6 焙烧完的铸型

Fig. 6 Roasting completed mould

陶瓷型浇注时需要注意挡渣，浇注温度可以比砂型铸造稍高，浇注过程中的速度可以比砂型铸造稍快，这样有利于获得轮廓清晰的铸件。

6 结束语

将3D打印技术与陶瓷型精密铸造技术相结合，阐述了两者的工艺过程，并分析其工艺面临的问题及改善方法。本实验结果可为3D精密铸造实践教学提供重要的数据。

参考文献：

- [1] 李天才. 3D打印用聚乳酸复合材料的研究 [J]. 铸造, 2017 (8) : 806-809.
- [2] 谭东, 夏少华, 史耀君, 等. 基于3D打印技术的车钩快速铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2018 (6) : 475-478.
- [3] 邢小颖, 汤彬, 马运. 3D打印技术在石膏型精密铸造中的应用及工艺分析 [J]. 铸造技术, 2018, 39 (10) : 2282-2284.

Application of 3D Ceramic Printing to Precision Casting

XING Xiao-ying, TANG Bin, MA Yun, XU Jiang-bo
(Basic Industrial Training Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract:

This paper describes the working principle, technical characteristics and printing process of 3D ceramic printing technology, and details the selection of refractory materials, slurry preparation and setting of printing parameters in printing process by combining with traditional casting technology. These results provide important data for the practical teaching of 3D ceramic precision casting.

Key words:

3D ceramic printing; traditional casting; practical teaching
