大型铸件砂芯3D打印难点浅析

□ 天津重型装备工程研究有限公司

杜延强　工程师

摘要：对大型铸件砂芯3D打印难点进行了分析，研究并总结了3D打印技术在大型铸件砂芯生产过程中应解决的主要问题。

关键词：3D打印；大型铸件；砂芯；难点分析

1. 概述

大型铸件砂型铸造生产时一般要先制作木模即木质芯盒或木质铸件主型，然后根据芯盒打制砂芯，再组芯形成铸件型腔，或根据主型春制砂型，最后合箱浇注。目前，这种方法的木模制造多采用人工方法，对于大型复杂铸件需依赖高水平木模工和相应的木工机械，并且每年木模制造要消耗大量木材，原材料耗费严重，制造成本高，生产工期长，生产流程复杂，在造型、制芯时一线工人劳动强度大、工作环境恶劣。

3D打印技术利用的是增材制造原理，在砂模打制方面根据国内外3D打印设备（例如日本ExOne公司砂模用3D打印机的S-Print HHS，如图1所示）来看，其砂型（芯）打制过程基本为：从喷嘴向平铺在造型区域的粉末（砂）上喷射粘合剂（由于已根据3D数据计算出截面形状，所以只向这一部分喷射粘结剂并固化），之后供应下一层的砂，再次喷射粘结剂、形成截面形状并固化，通过这样的反复操作完成造型，如图2所示。与利用模具转印的方法相比，不必考虑如

图1　ExOne公司3D打印机S-Print

何使模样容易取出，因此不容易受到形状方面的制约，可大幅缩短研发和制造过程。

目前，3D打印技术在小型复杂铸件（如柴油机气缸盖，尺寸615mm×414mm×287mm，重量210kg）砂型（芯）制造上已得到实际应用，但在大型铸件（如轧机机架、水压机横梁、水电站下环、火电站缸体等）砂型（芯）制造上未看到相关报道。

我公司（中国第一重型机械集团）这两年专门针对3D打印技术在大型铸件砂芯制造上的应用成立了课题，该课题着重研究3D打印技术在重要大型铸钢件产品砂芯制造上的可适用性问题。经研究发现，3D打印技术还需解决以下几个关键性问题，才能得到在大型铸件砂芯制造上的规模应用。

2. 砂芯制造效率问题

以我厂曾经生产过的一件大型铸钢件产品——下环为例（该下环精加工尺寸为：外径最大尺寸7240mm，内径最小尺寸6750mm，高度1735mm，重量为33429kg，图3为下环铸造工艺，图4为下环组芯造型示意，采用呋喃树脂自硬砂造型生产），由于下环尺寸较大，为提高组芯造型效率和满足生产工期需要，组芯造型所需的砂芯尺寸较大，最大的单块砂芯尺寸为2217mm×610mm×1780mm（我厂砂芯长、宽、高尺寸多在1m以上，最大尺寸可达到3m），砂芯数量约为30块。总的来看，铸件尺寸越大，需要制造的砂芯数量就越多。

德国Voxeljet公司开发的Voxeljet 4000（见图5）是目前世界上较大的砂型制造设备，最大成形尺寸4m×2m×1m，共26560个喷头，打印层厚0.3mm，打印速度75s/层。这样计算下来，打制一块高度为1780mm的砂芯需要5.15天，打制全部30块砂芯需要5.15月（当然如有多台设备可提高打制效率，但前期设备购置资金投入、后期设备维护费用会比较高）。而我公司该下环产品木模制作工期约15天，砂芯制造约3天，总共只需18天就可以完成全部砂芯制造任务，显然目前采用传统木模芯盒制造砂芯的效率是高于3D打印的。

3. 砂芯搬运问题

目前采用传统木模芯盒制造砂芯的过程中，会在填砂过程前或填砂过程中埋入钢质芯骨（如图6所示），芯骨上连着芯吊（芯吊用钢筋制造，且起吊部位裸露于砂芯表面），待砂芯硬化后用桥式起重机起吊砂芯从芯盒中取出。由于砂芯较大，重量较重，人力无法搬动，往往用桥式起重机起吊并完成砂芯下芯工作。因此芯骨和芯吊在砂芯脱模、翻转、吊起涂刷涂料、下芯过程中起着至关重要的作用（砂芯移动过程中的安全性要求非常高）。而3D打印技术在砂芯打制过程中采用逐层铺砂的方法成形，芯骨、芯吊难以放入，这样大型砂芯的搬运难度很大，需开发专用的起吊装置来操作。

4. 砂芯排气、退让性、固定问题

由于砂芯是由原砂（如硅

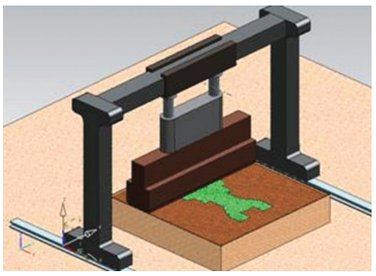

图2　3D打印原理示意

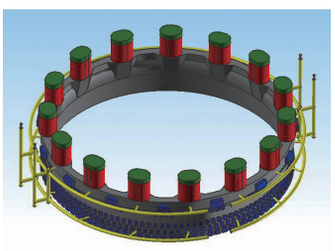

图3　下环铸造工艺

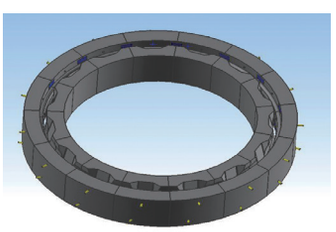

图4　下环组芯造型示意

图5　Voxeljet 4000大型三维打印系统

图6　芯骨放入芯盒现场

砂、铬铁矿砂等）、固化剂、树脂混制而成，在浇注过程中砂芯或砂型在金属液高温作用下会产生大量的气体，该气体若不及时排出则会进入钢液，并在铸件中形成气孔等缺陷，因此砂芯要具有排气通道。同时，被钢液包围的砂芯还需具备一定的退让性，以避免铸件凝固收缩受阻而产生热裂纹和冷裂纹。另外，有些砂芯在浇注过程中会受到浮力，因此还需将砂芯固定牢固，我厂铸造生产时通常是将砂芯内部埋入的钢制品如芯骨、排气管（见图7）等与外部砂箱、压铁等进行固定。

基于上述的砂芯排气、退让性、固定问题，在用芯盒进行砂芯打制的过程中，会在芯盒填砂过程中采取以下措施的一种或几种。

（1）放入周身钻孔的钢制排气管，排气管外需缠空心尼龙绳或草绳。

（2）填入干砂作为疏松层。

（3）放入空心尼龙绳或草绳，并将其引到型外。

（4）放入废砂块等。

（5）用钢筋在填砂结束后在砂芯表面扎多道排气眼。

而采用3D打印技术打制的砂芯难以在打制砂芯的过程中放入排气管、尼龙绳等材料。课题研究过程中曾考虑在砂芯内部结构设计中设计出所需的排气管，但依然很难满足铸造生产要求。

5. 外冷铁设置、固定问题

在我厂大型铸钢件生产过程中，外冷铁对铸件浇注后形成顺序凝固起着非常重要的作用：外冷铁的设置能有效减小铸件热节模数，延长冒口补缩距离，进而减小尺寸，减少冒口数量，提高铸件出品率，降低生产成本。大型复杂铸钢件如水压机用底座往往在铸件底部及侧面下部设置大量外冷铁（如图8所示，蓝色为外冷铁），外冷铁的数量少则几十块，多则上百块。

在用芯盒制造砂芯时会先将外冷铁按工艺要求位置进行摆放，然后在芯盒里填砂，待砂芯硬化起模后，外冷铁会牢固地“嵌入”砂芯（如图9所示，图中蓝色为外冷铁），这样可满足铸造生产使用要求。

而在3D打印砂芯过程中，外冷铁很难放入。课题研究过程中曾考虑可以先将砂芯打制出带“外冷铁槽”的结构，然后再将外冷铁放入的方法。但发现由于外冷铁尺寸不是十分精确，为了顺利放入外冷铁，外冷铁槽需留出间隙量，由此还存在后期补砂填缝的操作。当外冷铁数量较多时，补砂填缝的工作量很大。如果补砂的紧实度不够还可能在浇注过程中掉砂而产生铸件内部缺陷。同时如果外冷铁需要固定，也难以进行操作。

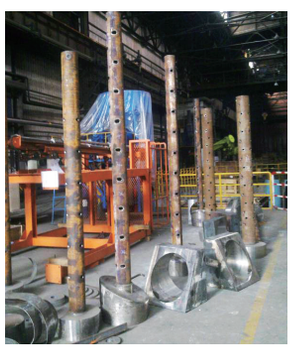

图7 排气管

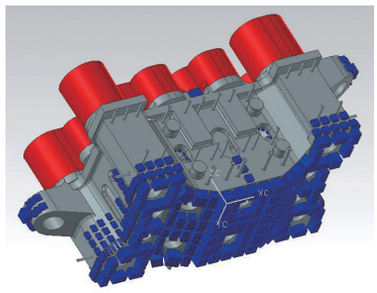

图8 底座外冷铁设置示意

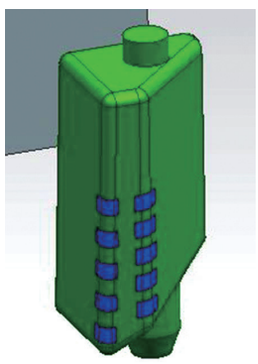

图9 砂芯外冷铁示意

6. 结语

综上所述，3D打印技术在大型铸件砂芯制造上还存在砂芯制造效率、砂芯搬运、砂芯排气、砂芯固定，以及外冷铁设置和固定等短时间内难以解决的问题。如果上述问题能够得到解决，则有利于3D打印技术在大型铸件砂芯制造上的规模化应用，大型铸件的砂型铸造生产方式也会进一步向机械化、信息化、自动化方向发展。

参考文献

[1] 李栋. 3D打印的气缸盖砂芯[J]. 铸造，2016（165）：325-328.

[2] 毛春生. 3D打印技术在铸造中的产业化应用[J]. 金属加工（热加工），2016（9）：27-28.

MW 20160715