

无模铸型技术在汽车铸件开发中的应用

杨永泉, 王成刚, 刘海峰, 赵平, 夏光艳, 吴景波

(一汽铸造有限公司, 吉林长春 130062)

摘要: 利用无模铸型技术对铸件新产品开发, 可以在短时间内得到产品样件, 从而对产品进行快速评价、修改及功能试验, 使零部件的研发速度有较大提升, 为新产品开发提供有力支撑。本文对三类典型无模铸型制造技术原理及特点进行简单介绍, 并介绍了其在铸件新产品开发中的应用情况。

关键词: 铸造; 新产品开发; 无模铸型

The Application of Rapid Prototype Technology in the Development of Auto Casting

YANG Yong-quan, WANG Cheng-gang, LIU Hai-feng, ZHAO Ping, XIA Gang-yan, WU Jing-bo

(FAW Foundry Co., Ltd., Changchun 130062, Jilin)

Abstract: By the rapid prototype technology, the casting samples obtained in a short time can be used to do evaluation, modification, and functional test process. The rapid prototype technology application can greatly short the time of new casting development, and give more support for the development process. The theory and feature of three type rapid prototype technology and their application in the casting development were introduced in this paper.

Key words: foundry; development; rapid prototype

1 引言

随着汽车制造业的竞争日益激烈, 产品的开发速度已经成为市场竞争的主要矛盾。在这种情况下, 自主快速产品开发的能力, 成为汽车制造业竞争的實力基础。利用快速成型技术对铸件新产品开发, 可以在短时间内得到产品样件, 从而对产品进行快速评价、修改及功能试验, 使零部件的研发速度有较大提升, 使整车的开发周期缩短, 为新产品开发提供有力支撑。

2 无模铸型技术

无模铸型即不用模具而制造出的用于铸造的模型, 其中包括用于砂型铸造的砂型及用于精密铸造的蜡模模型、陶瓷型、石膏型等。使用此技术完全颠覆了传统铸造的先开模具后制型的方式, 通过利用无模铸型加工设备对铸型直接成型加工。此种工艺方法因省去了模具设计及制造时间, 使铸件的开发速度较传统工艺有非常大的提升。

随着先进制造技术的发展, 无模铸型的制造方法逐渐增多。在铸件新产品开发中应用较广泛的工艺有激光选区烧结(Selective Laser Sintering, 简称 SLS)、三维印刷(Three Dimension Printing, 简称 3DP)、直接铸型加工等。前两者属于“增材制造”成型, 后一种属于铣削去除成型。下面就三种工艺的成型原理及特点进行介绍。

2.1 激光选区烧结

激光选区烧结是一种用激光束将粉末材料烧结成成型物体的工艺。通过使用铺粉辊或料斗在工作台均匀铺上一层粉末材料, 激光束在计算机控制下, 按照零件当层轮廓形状有选择性地进行的烧结, 一层完成后工作台下降一定高度, 并重复之前的工作。全部烧结完成后清除掉未烧结的粉末, 再进行烘烤或渗入液体等处理便获得最终零件。目前, 应用较广泛的工艺材料有覆膜砂、聚苯乙烯粉末、

聚丙烯粉末、尼龙粉等。该技术具有原材料选择广泛、多余材料易于清理、应用范围广等优点，适用于砂型及精铸用模型的制造。

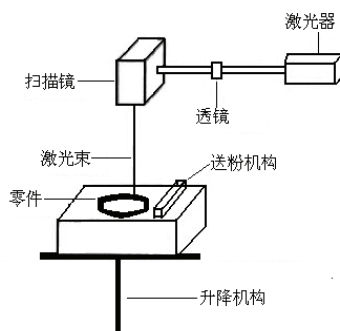


图1 激光选取烧结工艺示意图

使用覆膜砂材料烧结完成的砂型经过二次烘烤固化后，应用组芯浇注工艺进行生产，适用于大部分可应用组芯工艺生产的铸铁及铸铝件。使用聚苯乙烯粉末烧结的工件进行渗蜡后可应用精铸工艺进行生产，适用于融模、陶瓷型等精铸工艺的铸件生产。激光选区烧结工艺受设备成型空间及加工效率的影响，不适合于大型件的生产。

德国 EOS 公司利用选区激光烧结工艺进行砂型、塑料等模型的制造技术一直处于世界领先地位，近几年随着国内在此技术方面的研究及发展，技术水平已经与国外接近，甚至在成型空间及某些材料加工领域超越国外。

2.2 三维印刷

三维印刷是通过粘结剂将粉末材料连接成成型物体的工艺。可二维运动的机构带动喷头在计算机控制下，按照零件轮廓形状将液体材料有选择性的喷涂在粉末材料上，使粉末材料与液体材料进行反应而完成当前层的固化。每一层完成后工作台下降一定高度，铺上一层新的粉末，重复以上喷涂的工作，最终将整个零件制作完成。目前该工艺常用的原材料有铸造砂、陶瓷粉等。根据成型材料及成型工艺不同，所喷涂的液体材料也不同。有的直接将粘结剂喷涂在粉末材料上，如在陶瓷粉末上喷涂硅溶胶；也有将粘结剂喷涂在预先混制固化剂的铸造砂粉末上完成固化；还有将树脂及固化剂分两次喷涂在铸造砂粉末上以完成固化。

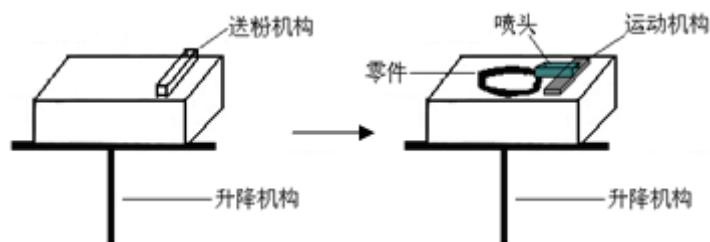


图2 三维印刷工艺示意图

使用陶瓷粉为原材料制作的陶瓷型经过二次焙烧固化后，可结合陶瓷型精铸工艺进行铸件生产。使用铸造砂为原材料制作的砂型，可直接用于铸件组芯工艺铸造。

目前德国 ExOne、Voxeljet 公司利用三维印刷工艺进行砂型制造的技术处于世界领先地位，他们使用在预先混制了固化剂的铸造砂上喷涂粘结剂的工艺，其生产的砂型无需进行二次固化，清理后可直接用于铸造。其设备的成型空间最大可以达到 4000mm×2000 mm×1000 mm。其成型速度很快，利用 1800mm×1000mm×700mm 型号设备加工一套四缸缸盖的全部砂芯仅需要 20h 左右。

2.3 直接铸型加工

直接铸型加工是通过使用数控铣削铸型毛坯而得到最终铸型的工艺。将铸型原材料制作成一定尺寸的成型毛坯后，使用专用的数控机床和刀具对铸型毛坯进行数控加工，最终得到可用于铸造的

铸型。此种工艺的成型材料包括砂型、石膏型等，加工完成得到的铸型可直接用于砂型铸造或石膏型铸造。

该技术由于受加工方式的限制，不适合于加工结构复杂的铸型，但其成型时间受铸型的体积影响较小，这两种特点与选区激光烧结和三维印刷工艺相反。



图3 直接铸型加工工艺示意图

德国 AcTech 公司在几年前研发了该项技术，并且在多个国家和地区申请了相关专利。目前 AcTech 公司有 2 台用于直接铸型加工的设备，其可加工的最大外形尺寸达 2400mm，主要用于砂型的加工，应用于铸件的新产品开发中。近几年国内的机械科学研究总院率先研发了此技术，并且推出商品化设备，在成型技术及成型空间上逐渐接近及超越国外。

机械科学研究总院自主开发的 CAMTC 系列成形设备，其三轴成形机可加工最大外形尺寸已经达到 2000mm，并且其加工范围达到 5000mm 的五轴成形机也已研发成功并推向市场。其设备能实现树脂砂、水玻璃砂、覆膜砂、石膏等多种材料的直接加工，在中国一汽、中国一拖、广西玉柴等企业获得应用。

2.4 三种无模铸型制造工艺比较

现将激光选区烧结、直接铸型加工、三维印刷三种工艺进行比较，如表 1 所示。

表 1 三种无模铸型制造工艺比较

成型工艺	激光选区烧结	直接铸型加工	三维印刷
原型精度	较高	较高	较高
表面质量	较低	中等	中等
复杂程度	较高	中等	较高
零件大小	中小件	中大件	小中大件
材料价格	较贵	便宜	中等
常用材料	覆膜砂、高分子材料粉末	树脂砂、水玻璃砂、覆膜砂、石膏、陶瓷	树脂砂、陶瓷粉末
主要用途	铸造用砂型、蜡模，塑料件	铸造用砂型、石膏型	铸造用砂型、陶瓷型
制造成本	中等	较低	较高
生产效率	中等	较高	较高
设备费用	中等	中等	较贵

3 铸件新产品开发中的应用

随着无模铸型技术种类的增多及技术的发展，已经有越来越多的技术适合用于铸件新产品开发，其中砂型铸造工艺和精铸工艺应用最为广泛。

3.1 基于砂型的组芯工艺

现以某发动机缸盖新产品开发过程为例，对无模铸型的应用进行介绍，其总体工艺路线如图 4 所示。缸盖轮廓尺寸约 420mm×280mm×150mm，材质为铸铝。采用的铸造工艺为砂型组芯重力浇注。在铸造工艺设计阶段充分利用计算机模拟技术对工艺进行分析，并依据模拟结果进行工艺改进。分型设计阶段充分考虑铸型的加工方式、组芯精度、及铸件表面质量要求等。因利用无模铸型工艺加工的铸型尺寸不如用模具制作的砂型尺寸稳定，所以可以使用三维激光扫描设备对砂型尺寸进行检测。

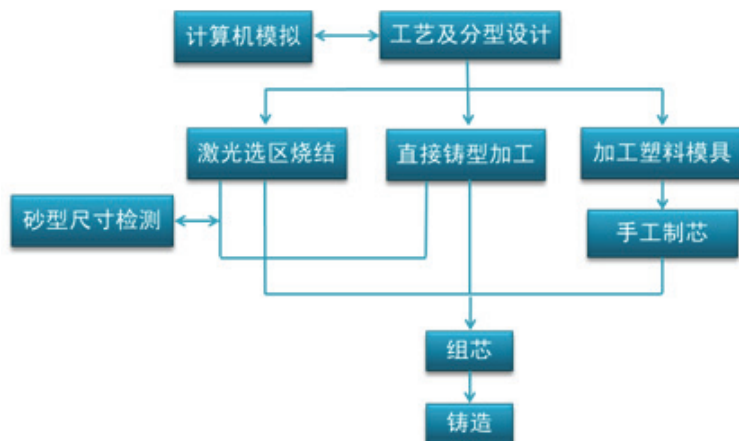


图4 发动机缸盖铸件开发工艺路线

3.1.1 砂型分型方案

缸盖砂型的分型方案如图 5 所示，分为底座芯、端面芯、侧面芯、水套芯、气道芯、油道芯等。分型设计过程中，要充分考虑到组芯过程中对铸件尺寸精度的影响。如图 5 所示，将气道芯、水套芯、侧面芯、端面芯等定位全部集成在底座芯上，尽量减少了二次定位，以保证铸件的尺寸精度。

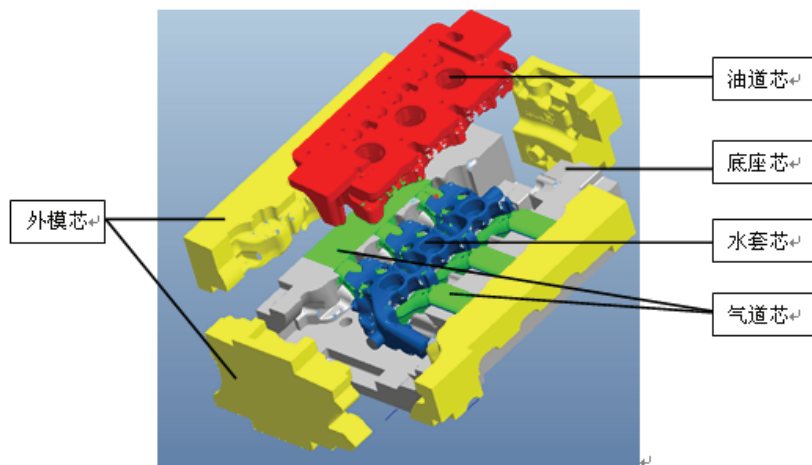


图5 缸盖分型方案

3.1.2 砂型生产工艺

在加工方式选择过程中，要考虑到每件砂型的结构特点及铸件对其性能的要求。因气道芯的尺寸精度及表面质量要求较高，所以采用加工塑料芯盒后手工制芯的方式制造，其它砂型全部采用激光选取烧结工艺和直接铸型加工工艺进行制造。

底座芯、水套芯、油道芯结构复杂，采用激光选区烧结工艺加工（见图 6）。加工所使用设备的成型空间为 500mm×500mm×500mm，激光器规格为 50W，使用的原材料为 140/200 目的覆膜砂。功率、层厚、温度设置等加工参数与设备性能及原材料性能有关，需要根据具体情况而定。

外模芯、冒口芯、浇道芯等结构简单，无倒拔模特征，采用直接铸型加工工艺制造（见图 7）。所使用设备成型范围为 1000 mm×1000mm，砂型毛坯原材料为 70/140 目硅砂，添加酚醛树脂及固化剂混制而成型。刀具转速与进给速率等根据制作的毛坯情况以及对砂型精度要求而制定。使用的具体加工参数如下：初加工使用 $\Phi 12$ 平刀，转速 6300 转/分、进给速率 7200mm/min、下切 2.5~3mm、余量 0.1mm；精加工使用 $\Phi 10$ 球头刀，转速 7200 转/分、进给速率 6000mm/min。



图 6 激光选区烧结工艺装备及生产的铸型



图 7 直接铸型加工装备及生产的铸型

激光选区烧结工艺加工的砂型初始强度较低，需要放入烘箱进行二次固化后强度才能达到可以浇注的要求。对于结构复杂且细小的砂芯，在清理过程中易损坏，并且在二次固化过程中容易产生变形，所以需要对此类砂芯采取一定的改进措施。如图 8 所示为缸盖水套芯，图中绿色区域是在三维图纸中为其添加的支撑，支撑的添加解决了砂芯清理过程中易损坏的问题，降低了二次固化过程中产生变形的可能性。在砂型完全二次固化后使用工具将其去除，并不会影响其尺寸精度。

在铸造工艺设计过程中，充分考虑到为解决铸造缺陷而采取的工艺措施，将其预先设计到铸型上。如图 9 所示，在砂芯上设计冷铁孔，组芯过程中将冷铁安装在孔中，可解决铸件厚大部位产生缩松等缺陷。在部分砂芯上设计排气孔，可解决因原材料覆膜砂过细而引起的铸型透气性差的问题，避免铸件产生气孔等缺陷。

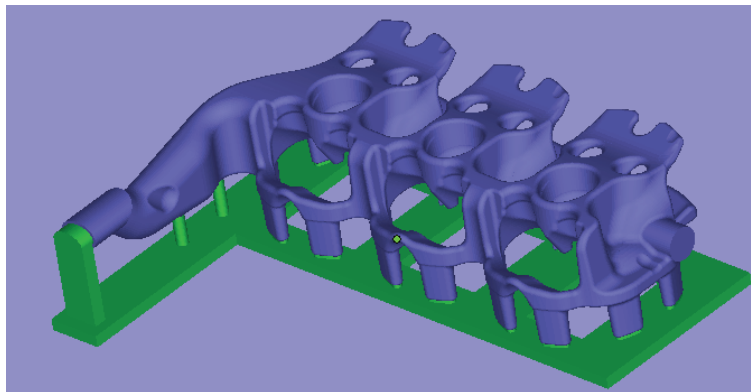


图 8 水套芯支撑示意图

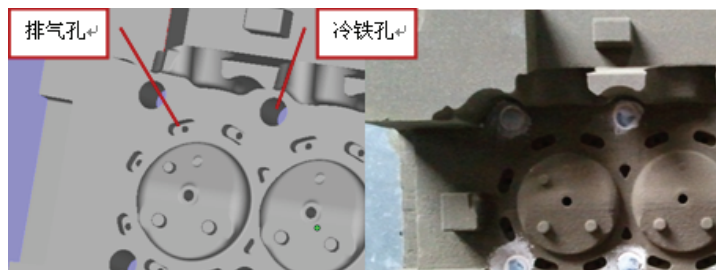


图9 砂型冷铁孔及排气孔示意图

3.1.3 组芯、浇注及检测

将几种工艺方法制造的砂型进行组芯（如图 10 所示）、浇注，最终获得铸件。通过使用三维扫描检测、铸件解剖等方式对铸件进行了尺寸及内部质量检测，铸件质量合格并且通过了用户的台架及装车等试验。

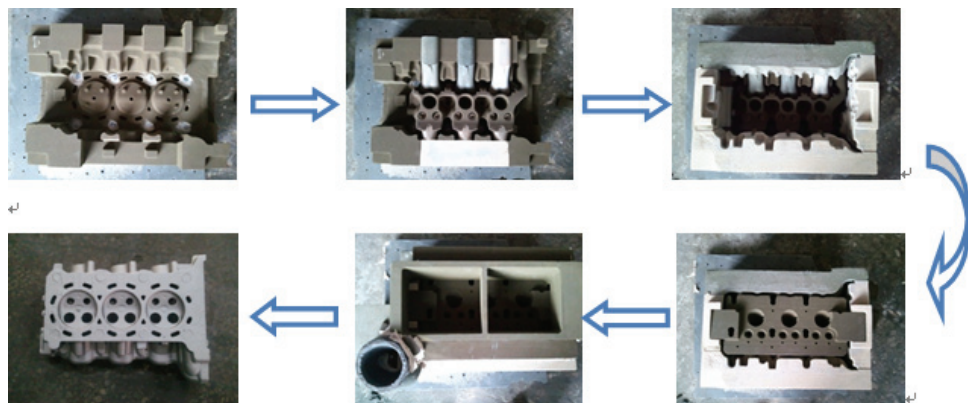


图 10 砂型组芯过程图

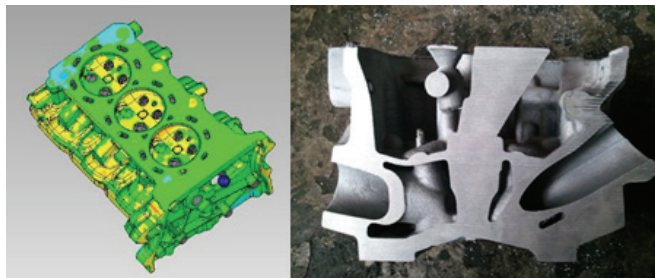


图 11 铸件检测

3.2 基于蜡模的精铸工艺

使用无模铸型技术与熔模铸造工艺相结合，将传统工艺中使用模具制蜡模方式更改为用无模铸型设备直接加工获得，不仅节约模具费用，还使整个新产品开发的周期缩短。现应用较广泛的蜡模生产工艺是使用激光选区烧结设备对聚苯乙烯（PS）粉末进行烧结成型，后对成型零件进行渗蜡处理。其生产工艺流程如图 12 所示，后续的工艺过程与常规的熔模铸造工艺相同。

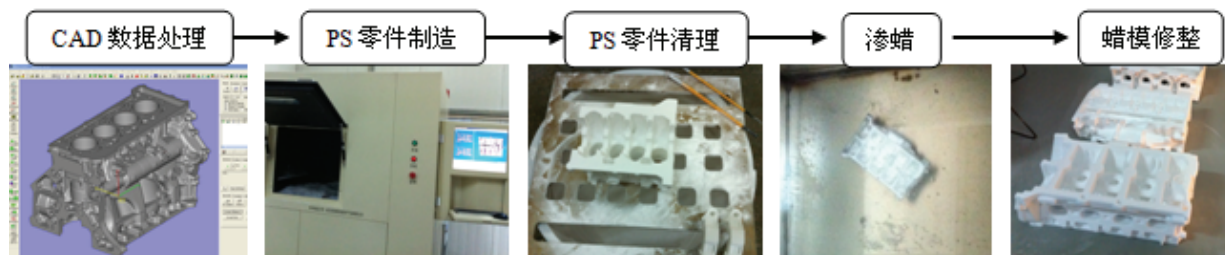


图 12 蜡模生产流程

利用此工艺生产的模型中含有石蜡和 PS 两种材料，PS 在脱蜡完成后依然存在，在焙烧过程中才会分解。常规工艺焙烧温度 600~950℃，焙烧时间 1~3h，尺寸较小零件中的 PS 材料能够完全分解，如零件尺寸较大可增加其焙烧时间。PS 分解后会留下少量残渣，可通过在模型上预留集渣槽的方法（如图 13 所示），使分解后的残渣流到其中。这种方法虽然降低了铸件的工艺出品率，但在提高铸件的质量上起到了很好的效果，特别是对于大尺寸铸件。



图 13 熔模生产及铸件

除了在熔模铸造中的应用外，还可将其应用于石膏型和陶瓷型铸造中。将无模铸型工艺获得的蜡模进行浇注系统组合后，进行灌浆、硬化、焙烧等工艺处理，便可获得可用于铸造的石膏型或陶瓷型。将蜡模与陶瓷型相结合的铸造工艺适合于薄壁、复杂的铸件开发。

3.3 应用分析

无模铸型技术依靠其快速化、柔性化、数字化、精密化的特点，使得其在汽车铸件新产品开发中的应用范围越来越广泛，涵盖了发动机缸体、发动机缸盖、进排气管、壳体等大部分铸铁、铸铝件，如图 14 所示。

对于单件及小批量生产，其生产周期可比传统工艺缩短 40%~80%，生产成本可降低 30%~60%，并消除了试验阶段因零件结构更改而使得模具作废的风险。利用激光选区烧结与直接铸型加工相结合并配合少量塑料芯盒的方法进行铸件新产品试制，四缸缸体、缸盖等复杂铸件的首件开发周期可缩短为 10~15 天，一般壳体及进排气管类铸件的首件开发周期可缩短为 3~7 天。



图 14 使用无模铸型技术生产铸件实例

4 结束语

无模铸型制造技术是一种处在发展完善过程的高新技术，其技术本身和应用领域尚需进行大量的开发研究。在汽车制造业竞争日趋激烈的状况下，缩短产品开发周期和减少开发新产品投资成本及风险，成为企业赖以生存的关键。因此，无模铸型技术将会得到进一步发展，并具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 单忠德, 李新亚, 战丽, 董晓丽. 无模铸型的数字化快速铸造技术新进展[C]//中国机械工程学会: 2007 年中国机械工程学会年会, 2007.
- [2] 颜永年, 单忠德. 快速成型与铸造技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.