

基于快速制造的砂型分型设计对比分析

杨伟东¹, 方妍娇¹, 陈学广², 于建军³

(1. 河北工业大学机械工程学院, 天津 300401; 2. 河北工业大学材料科学与工程学院, 天津 300401;

3. 唐山昊中科技有限公司, 河北唐山 063611)

摘要: 分型设计是砂型设计中重要的一个环节, 通过分析快速制造用于典型复杂铸件的砂型分型案例及其特点, 对3D打印技术和快速复合成形技术的分型设计思路进行对比阐述。基于典型案例对这两类成形方法用于复杂铸件的砂型分型设计规则进行了归纳和总结, 为复杂铸件砂型分型问题提供了较为系统指导性的分型依据, 以满足复杂铸件省时高效的发展趋势。

关键词: 3D打印; 快速复合成形; 分型设计; 砂型

增材制造 (Additive Manufacturing, AM) 俗称3D打印^[1-3], 它是一种以数字模型为基础, 将材料一层层堆积成空间实体模型的新型制造技术。研究人员利用3D打印从砂型的材料^[4]、工艺参数^[5]以及砂型的金属液输送系统如浇道^[6-7]、浇口^[8]、冒口^[9]以及砂壳^[10-11]等研究砂型的性能结构, 但缺乏该技术中砂型分型设计的系统研究 (图1)^[12]。



图1 3D打印铸造优势

Fig. 1 Advantages of the 3D printing casting

快速复合成形技术在铸造中是指将基于离散/堆积成形原理的增材制造技术和基于数控切削原理的减材制造技术^[13]进行有效结合。其中数控切削加工技术采用专门的刀具通过机器直接切削砂体得到最终砂型^[14-15]。利用其技术在设计砂型时, 研究人员已从刀具结构^[16-17]、工艺参数^[18-19]、模型结构^[20-21]等方面进行了较为深入研究。

研究人员着重围绕3D打印和快速复合成形工艺中砂型的结构和性能, 但在砂型设计中分型也是其中的一个重要步骤, 它不仅影响铸型的合型装配, 更影响铸件的质量^[22]。传统铸造已有了一套较为完善的分型设计规则, 因此在传统铸造分型设计规则的基础上, 针对3D打印和快速复合成形工艺这两种方法的特点和要求, 建立规范的分型设计原则是很有必要的。本文以四类典型复杂铸件的砂型分型案例进行对比分

作者简介:

杨伟东 (1972-), 男, 教授, 主要研究方向为增材制造等。E-mail: yangweidong@hebut.edu.cn
通讯作者:
陈学广, 男, 副教授。电话: 15602077001, E-mail: cxg@hebut.edu.cn

中图分类号: TG241

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977 (2023)

05-0588-07

基金项目:

河北省科技重大专项资助项目 (21284901Z)。

收稿日期:

2022-05-30 收到初稿,

2022-08-04 收到修订稿。

析说明。

1 分型案例分析

3D打印在复杂度较高的铸件构建上有着独特的优势，而快速复合成形技术结合了3D打印和数控切削的特点，因此适用内部结构复杂、尺寸公差要求严苛的铸件。基于以上铸件特点，选取箱体类、壳体类、盘类和管类铸件为典型分型案例。

1.1 箱体类铸件

箱体类铸件多为复杂铸件，壁薄且不均匀，内部呈腔形，它的主要功能为用于支撑和容纳各类传动件和减少外部环境对箱体类零件的影响^[23]。按照箱体的功能可分为：传动箱和变速箱、电机机座、阀体、发动机箱体。

传动箱和变速箱外形规整，内腔复杂，汪大新^[24]提出基于3D打印设计叉车变速系统箱体，在设计砂型时，分型面选择铸件中间大平面处以避免装配时的尺寸误差，同时兼顾清砂和涂料堆积的问题，砂型分为上下两个砂箱和3个砂芯。电机机座是电机的外壳，该铸件呈回转体形状，外部散热筋板既是外观结构也是重要的功能结构。为符合验收标准，黄景彬^[25]采用3D打印组芯造型，如图2所示，铸件轴向方向为分型方向，散热板处的砂芯整体打印，避免装配时出现披缝和台阶效应^[26]。

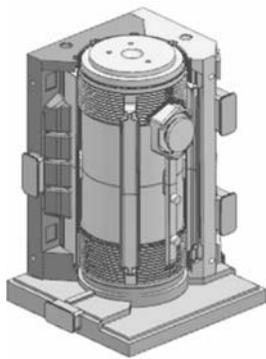


图2 砂型设计工艺
Fig. 2 Design process of the sand mold

阀体由于内部油道形状弯曲且薄弱，所以在浇注过程中容易受到金属液的浮力作用而使砂芯断裂，导致铸件报废。如图3所示，利用3D打印其铸造砂芯，赵颖烈^[27]在设计阀体砂型时，油道芯整体化打印并固定在边框主体砂芯上合成一体。

发动机箱体主要分为气缸体和气缸盖两大类，是典型的复杂类铸件。彭凡^[28]和倪允强^[29]制备气缸体，砂型分型面为曲面，分型时整体打印内腔结构单元。

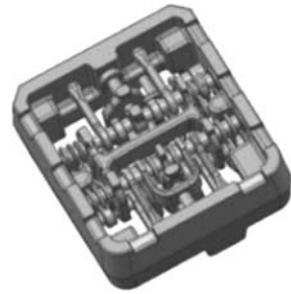


图3 砂芯
Fig. 3 Sand core

李栋^[30]则按照清砂和施涂操作的要求把气缸盖砂型从下向上的方向分为4个砂芯。卢宝胜^[31]和Wen^[32]将气缸盖砂型分型面取为曲面形状，为减少砂芯将进/排气道芯、上/下水腔芯合成第一个砂芯，顶部结构及原装配芯组成第二个砂芯，浇注系统设计成单独最后一个砂芯。

由于箱体类铸件往往是复杂薄壁类结构，研究人员采用快速复合成形技术的方法进行铸造。Liu等^[33]将铸件分为简单模块和复杂模块，泵体中复杂的砂芯利用3D打印技术，利用数控加工技术对外部砂型进行铣削加工。Xing等^[34]和许海铎^[35]铸造柴油机缸体，将砂型依据模型复杂程度分为7个模块，为减少不同加工方式的装配误差，以缸顶/底平面、缸体两个端平面、缸筒与缸筒的中心面为分型面，其中水套芯等薄壁、小型件采用3D打印，其余模块采用数控加工。顾兆现^[36]制造某型号发动机缸体，图4中不同颜色代表不同工艺所加工的部分，其中粉色部分的砂芯包含复杂的内套管，为减少分块和方便组装，利用3D打印完成；绿色、红色、蓝色和黄色部分为发动机缸体的中间模块，经过拆分形成四个简单的模块，采用数控切削技术加工。

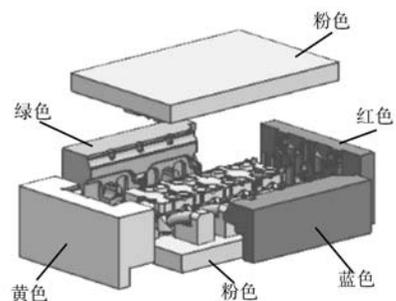


图4 复合铸型模块
Fig. 4 Composite mold module

1.2 壳体类铸件

壳体类铸件多为封闭式多面体形状，内壁不均匀且形状复杂，存在大面积薄壁结构壳。针对采用3D打印技术用于典型壳体类铸件，如图5所示，缙鹏森^[37]设置蜗壳大平面为分型面，分型时常把浇注系统置于底

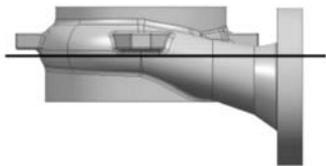


图5 蜗壳铸件的分型方案

Fig. 5 Parting scheme of the spiral case casting

层作为单独一个砂芯便于撇渣。李栋^[38]打印飞轮壳时将分型面选在铸件大平面处,避免出现冷隔、气泡等缺陷。左强^[39]制备双蜗壳叠加且有复杂管路的壳体铸件,如图6所示,分型面为曲面形状,分型时整体化打印薄弱的管路型芯和双蜗壳型芯。

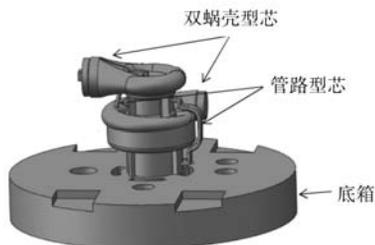


图6 整体砂型

Fig. 6 The whole sand mold

为了简化工艺,研究人员采用快速复合成形技术研究。如邵星海^[40]通过3D打印和数控切削技术结合的方式铸造拖拉机底盘的传动箱壳体,分型时将砂型分为:内部复杂砂芯和外部简单轮廓,砂型根据清砂要求和尺寸大小分为上下砂箱,外部简单轮廓用数控加工,内部复杂砂芯用3D打印完成。

1.3 盘类和管类铸件

盘类铸件呈圆形,主要由端面、内孔及外圆等组成,尺寸精度要求高。管类铸件中管道形状怪异并呈不同角度的扭曲,造型困难,分型复杂。根据盘类和管类铸件的特点,常采用3D打印方式。赵颖烈^[41]依据叶轮的特点设计砂型,分型面设置在中间平面处,分型时注意预留搬运、合型扣手。游志勇^[42]制备刹车盘,铸件中间平面为分型面,砂型整体分为上下两个砂型。黄耀光^[43]制备异形联通管砂型,如图7所示,分型面采用随型曲面分型,分为上下砂型,整体打印复杂联通管的砂芯,为清理浮沙和考虑涂料等问题,尽量减少管道倒扣情况并将下砂型分为两个砂芯。由于盘类铸件和管类铸件与其他两种铸件相比,没有前者结构复杂,分型规则比前两种铸件简单,所以在铸造工艺上更偏向于利用3D打印工艺,因此较少利用快速复合成形技术对这两类铸件进行铸造。

从以上典型铸件分型案例分析可知:快速复合成形工艺比较适合铸造内腔复杂、造型困难的薄壁类的

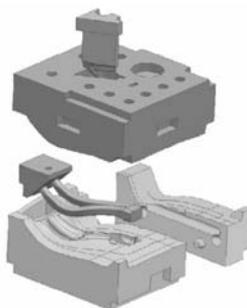


图7 砂芯方案

Fig. 7 Sand core design

大中型铸件,特别是箱体类的气缸体和气缸盖,在分型时可根据不同加工方式的优势进行模块化分型。而中小型复杂铸件较适合3D打印技术,尤其盘类和管类铸件案例中可看出两者的不同,采用3D打印可更多发挥自身优势,简化砂型设计流程,分型面也不局限在直角大平面处,可以是任意形状。

2 砂型分型设计

2.1 3D打印砂型分型设计

针对3D打印用于打印砂型特点,在分型案例中从砂芯强度、尺寸精度、清砂三个方面分析砂型打印的分型设计要求。

2.1.1 砂芯强度方面

箱体类铸件内部细小复杂的结构较多,如图8所示,阀体的油道芯易断裂,设计时将油道芯与主体芯连成一个砂型,确保砂芯强度;壳体类铸件整体打印薄弱的砂芯;管类铸件将弯曲薄壁管道和主体砂芯进行一体化打印。

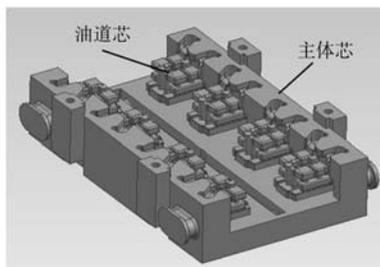


图8 3D打印阀体砂

Fig. 8 Sand core diagram of the valve body by 3D printing

2.1.2 尺寸精度方面

(1) 箱体类铸件中内部油道管路错综复杂,如图9为3D打印泵体铸件内部复杂砂芯,其一次成型无需装配;盘类铸件针对其中叶片砂型采用一体化打印,避免制作过多砂芯,产生装配误差。



图9 复杂砂芯成型

Fig. 9 Molding of the complex sand core

(2) 发动机箱体和壳体类铸件为便于撇渣和提高尺寸精度, 将浇注系统单独制作为砂芯; 盘类铸件则将浇注系统与主体连接, 作为一块完整砂芯。如图10所示, 图10a传统铸造受造型拔模的限制, 分型面需要设置在浇道的平面上, 而图10b中3D打印可以使铸件整体在同一砂型中。

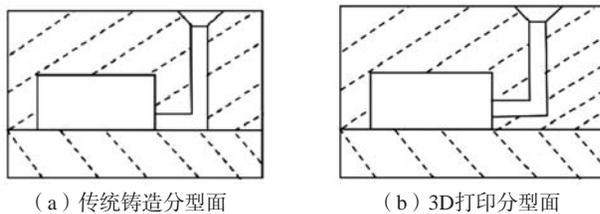


图10 分型面设计示意图

Fig. 10 Schematic diagram of the parting surface design

2.1.3 清砂方面

(1) 箱体类铸件基于清砂要求一般将砂型分为上下砂箱和砂芯; 壳体类和盘类铸件为清砂方便, 将砂芯进行进一步分型和合并; 管类铸件基于清理浮砂和考虑涂料等问题并为减少管道倒扣情况, 将相应砂芯进行进一步分型。

(2) 箱体类和管类分型面多为不规则形状, 分型面常采用随行曲面分型以便清砂, 图11所示, 管类铸件的分型面为曲面。

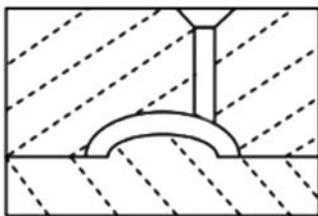


图11 管铸件分型面示意图

Fig. 11 Schematic diagram of parting surface of the pipe castings

基于以上案例分析, 3D打印砂型的分型依据如下:

(1) 对于一些小型铸件, 可直接打印砂型, 无需分型。

(2) 针对砂型中薄弱、易断裂的砂芯应与其他厚大的砂芯构成一个整体砂型。对于内部腔体复杂的铸件, 复杂砂芯应采用整体打印。

(3) 分型应保证清理浮砂时没有清砂的死角, 在流涂时不会产生涂料堆积区域。相应分型面可视情况确定不同形状和位置。

2.2 快速复合成形砂型分型设计

从分型案例中看出, 箱体类铸件和壳体类铸件结构复杂、精度要求高, 根据不同工艺特点化分为不同模块进行加工。姚金康和顾兆现提出基于快速复合成形的剖分原则, 建立了相应的分型规则和流程。根据每种铸造工艺的优势, 进行模块化分型。如图12所示^[36], 先设计砂型的CAD模型, 按照模型结构的复杂程度分成简单模块和复杂模块; 然后进行第一次分型, 不合适直接打印的模块进行第二次分型; 最终得到合适的子模块。

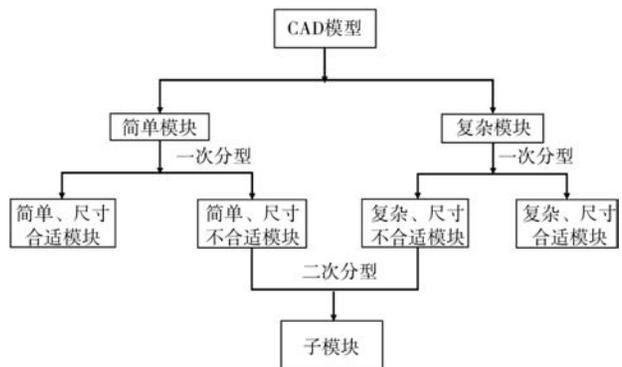


图12 模块化分型流程

Fig. 12 Modular parting process

对于如何判断模块的复杂程度, 顾兆现^[36]提出用投影法区分模型的复杂程度, 图13为四面体的投影原理, 实线为四面体投影到二维平面的可见轮廓, 虚线为不可见轮廓。因三维实体模型在二维平面的图像需要多个角度投影才能清楚表达, 所以依据三维模型表面区域是否能完全用二维图的可见轮廓表达或完全表达的二维投影面的次数判断模型的复杂程度。

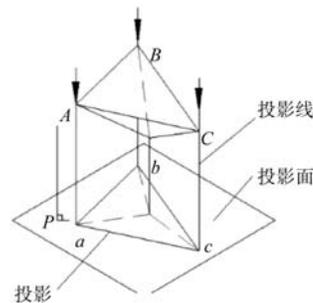


图13 投影原理

Fig. 13 The projection principle

表1 砂型制造工艺优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of the sand mold manufacturing processes

砂型制造工艺	适合铸造结构	缺点
3D打印	造型任意自由, 柔性较高, 适合复杂砂芯	成本较大
数控切削技术	适合凹凸简单结构, 多用于外部轮廓铸型	复杂铸件较困难

第一次分型所采用砂型成型工艺的优缺点如表1所示, 其中简单模块适合数控切削加工, 复杂模块适合3D打印。第一次分型规则如下:

(1) 减少需要第二次分型的子模块数量, 避免出现细长结构模块。

(2) 在简单模块中加工的基准面和主要加工面应该分在同一模块中。

(3) 分型时应注意薄弱的部分需要连接其它砂芯一起铸造, 避免出现浇注时砂芯断裂的情况。

(4) 分型面尽量选择铸型要求不高的部位并且要有利于模块的组装, 防止出现不利于组装的死角。

(5) 分型时应在适当位置设置排气孔利于散砂的排出和浇注时气体的排出。

由于3D打印设备和数控切削设备的尺寸和工艺限制, 在第一次分型时需找出尺寸不合适的模块进行二次分型, 第二次分型需要考虑拆分后模块的数量和加工效率等多方面因素。为得到符合要求的子模块, 第二次分型需满足以下设计规则:

(1) 二次拆分分型数量应尽量减少, 避免有细小和零碎的模块产生。

(2) 将二次拆分时产生的细小部分集中分到一个模块或与其他模块合在一起, 有利于增加砂型强度。

(3) 分型时还应考虑与一次分型的模块组装, 注意装配的便捷, 减小组模难度。

在砂型制造工艺上, 快速复合成形技术的分型流程和规则比3D打印分型规则繁琐, 但无论哪种砂型制造工艺, 都应遵循减少分型数量的设计要求。3D打印和快速复合成形技术可根据经济成本和设备条件进行选择。

2.3 分型设计对比分析

3D打印属于增材制造, 而快速复合成形工艺包括3D打印和数控切削技术, 属于增材制造和传统切削的结合。表2为采用3D打印和快速复合成形技术两种方法对某发动机缸体铸件砂型^[29, 36]分型进行对比。从四种典型铸件分型案例可看出, 对于同一类型的铸件, 两种铸造工艺分型方法有各自的特点, 3D打印工艺在分型时只需考虑自身设计复杂灵活的优势和铸件特点。而快速复合成形工艺由于分型方法不同, 需考虑不同

表2 砂型制造工艺的分型对比

Table 2 Parting comparison of the sand mold manufacturing processes

砂型制造工艺	特点	完成时间/天	与传统铸造相比成本减少/%
3D打印	充分发挥3D打印的优势, 只需考虑单一铸造工艺的分型设计情况	≤20	25~35
快速复合成形	充分结合3D打印和传统切削的优势, 易平衡单一铸造工艺缺点	≤15	40~45

制造工艺后砂型的装配问题, 而不能任意选取分型面。如针对气缸体铸件分型时, 利用3D打印为减少清砂死角, 选取随形曲面作为分型面; 快速复合成形则把铸件分为简单模块和复杂模块, 同时为便于装配, 不同模块之间选取直角平面为分型面。

基于以上分析, 针对3D打印和快速复合成形技术两种铸造工艺, 分型设计原则如下:

(1) 分型时都尽量减少型芯的数量, 避免装配引起的尺寸误差。如3D打印和快速复合成形工艺在气缸体中合并复杂结构进行一体化制作。

(2) 分型面大多是选择在利于砂型内部结构设置或利于装配的大平面处。如图4中快速复合成形工艺在气缸体铸件的数控切削模块, 选取直角大平面为分型面利于砂型整体装配; 而图5中3D打印在蜗壳铸件中选取铸件中间大平面处为分型面利于其他砂芯的摆放。

(3) 在保证铸型的强度, 易断砂芯或细小模块通常和其他砂芯分在同一块砂型中。如图3中3D打印通常把阀体中的油道芯固定在主体砂芯整体打印; 图4中快速复合成形工艺在气缸体二次分型时将细小模块分在同一个模块。

3 结语

随着铸件的生产需求增大和对于铸件精度要求的不断提高, 对砂型结构的设计提出更高的要求。当形状结构复杂的铸件采用3D打印砂型时, 从砂型强度、尺寸精度和清砂三个方面进行分型; 而对于结构复杂、精度要求高和省时的铸件可采用快速复合成形技术, 其分型依据铸件复杂程度首先进行模块化分型, 然后结合3D打印和数控切削的特点进行二次分型。通过对比这两种铸造工艺的普适性分型设计要求, 为提高复杂铸件的砂型制造精度和不规则形状铸件的砂型结构设计提供了理论指导。通过规范分型设计要求可使砂型铸造向着短时、高效、低成本和强度提高的方向发展。

参考文献:

- [1] GAO W, ZHANG Y B, RAMANUJAN D, et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering [J]. *Computer-Aided Design*, 2015, 69: 65-89.
- [2] 马月婷, 尹绍奎, 于瑞龙, 等. 光固化3D打印陶瓷型芯技术的研究进展 [J]. *铸造*, 2022, 71 (3): 271-276.
- [3] VASCO J C. Additive manufacturing for the automotive industry [M]// *Additive Manufacturing*. Elsevier, 2021: 505-530.
- [4] SNELLING D A, WILLIAMS C B, DRUSCHITZ A P. Mechanical and material properties of castings produced via 3D printed molds [J]. *Additive Manufacturing*, 2019, 27: 199-207.
- [5] 张宇杰, 林软耀, 宁江天, 等. 浇注温度对Sn58Bi合金显微组织与性能的影响 [J]. *铸造*, 2021, 70 (10): 1211-1216.
- [6] SAMA S R, BADAMO T, LYNCH P, et al. Novel sprue designs in metal casting via 3D sand-printing [J]. *Additive Manufacturing*, 2019, 25: 563-578.
- [7] SAMA S R, BADAMO T, MANOGHARAN G. Case studies on integrating 3D sand-printing technology into the production portfolio of a sand-casting foundry [J]. *International Journal of Metalcasting*, 2020, 14 (1): 12-24.
- [8] SAMA S R, WANG J, MANOGHARAN G. Non-conventional mold design for metal casting using 3D sand-printing [J]. *Journal of Manufacturing Processes*, 2018, 34: 765-775.
- [9] MMS A, GM A. Novel riser designs via 3D sand printing to improve casting performance [J]. *Procedia Manufacturing*, 2021, 53: 500-506.
- [10] KANG J, SHANGUAN H, DENG C, et al. Additive manufacturing-driven mold design for castings [J]. *Additive Manufacturing*, 2018, 22: 472-478.
- [11] DENG C, KANG J, SHANGUAN H, et al. Effects of hollow structures in sand mold manufactured using 3D printing technology [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2018, 255: 516-523.
- [12] SIVARUPAN T, BALASUBRAMANI N, SAXENA P, et al. A review on the progress and challenges of binder jet 3D printing of sand moulds for advanced casting [J]. *Additive Manufacturing*, 2021, 40 (12): 101889.
- [13] BIRKHOLO M, FRIEDRICH C, LECHLER A. Automation of the casting process using a model-based NC architecture [J]. *IFAC Papers On Line*, 2015, 48 (17): 195-200.
- [14] 单忠德. 基于快速原型的金属模具制造工艺研究 [D]. 北京: 清华大学, 2002.
- [15] SHAN Z, LIN Z, XU X, et al. Development and application of patternless casting mould-manufacturing machine [C]// *International Conference on Advanced Technology of Design and Manufacture (ATDM 2010)*. IET, 2010: 25-27.
- [16] 饶江华. 精密砂型数控铣削加工工艺研究 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2016.
- [17] SULLIVAN A, ERDIM H, PERRY R N, et al. High accuracy NC milling simulation using composite adaptively sampled distance fields [J]. *Computer-Aided Design*, 2012, 44 (6): 522-536.
- [18] DONG X, Li X, SHAN Z, et al. Rapid manufacturing of sand molds by direct milling [J]. *Tsinghua Science & Technology*, 2009, 14: 212-215.
- [19] BRECHER C, WIESCH M, WELLMANN F. Productivity increase-model-based optimisation of NC-controlled milling processes to reduce machining time and improve process quality - ScienceDirect [J]. *IFAC-Papers On Line*, 2019, 52 (13): 1803-1807.
- [20] SHAN Z D, ZHU F X. A model for predicting dynamic cutting forces in sand mould milling with orthogonal cutting [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2018, 31 (6): 95-105.
- [21] JOLIET R, BYFUT A, KERSTING P, et al. Validation of a heat input model for the prediction of thermomechanical deformations during NC milling [J]. *Procedia CIRP*, 2013, 8: 403-408.
- [22] HUANG J G, LI C Y. A parting surface design of multi-cavity mold based on Pro/E surface technique [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 690-693: 2855-2858.
- [23] 韩董董. 典型箱体铸件成形过程的数值模拟研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2015.
- [24] 汪大新, 张金雨. 3D打印技术在箱体铸件开发中的应用 [J]. *铸造设备与工艺*, 2021 (3): 21-22.
- [25] 黄景彬, 朱磊, 杨晓磊. 基于砂型 3D 打印技术电机机座铸件研发 [J]. *内燃机与配件*, 2020 (24): 112-114.
- [26] 龚运息, 陈晨, 夏名祥, 等. FDM 3D打印模型表面阶梯效应的分析 [J]. *制造技术与机床*, 2016 (4): 27-30.
- [27] 赵颖烈, 景贤淑. 3D打印砂芯在整体多路阀铸件开发中的应用 [J]. *铸造工程*, 2019, 43 (3): 56-59.
- [28] 彭凡, 刘轶, 梁继亚, 等. 采用3D打印技术开发柴油机气缸体铸造工艺 [J]. *现代铸铁*, 2020, 40 (1): 31-33.
- [29] 倪允强, 王佳, 陈秀明, 等. 基于砂型3D打印技术的气缸体快速铸造工艺开发 [J]. *铸造*, 2019, 68 (8): 911-915.
- [30] 李栋, 唐昆贵, 付龙. 3D打印的气缸盖砂芯 [J]. *铸造*, 2016, 65 (4): 325-328.
- [31] 宝胜. 3D打印技术在气缸盖铸件开发上的应用 [J]. *现代铸铁*, 2019, 39 (6): 19-22.
- [32] EN S, SHEN Q, WEI Q, et al. Material optimization and post-processing of sand moulds manufactured by the selective laser sintering of binder-coated Al_2O_3 sands [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, 225: 93-102.

- [33] IU F, SHAN Z D, WANG C Y, et al. Research on rapid manufacturing technology of complicated casting mold without pattern [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 774-776: 1418-1422.
- [34] SHAO X H, LI F J, Xu H D, et al. Application of non-mold casting technology in the tractor diesel engine cylinder block [C]// *Proceedings of 2019 5th International Conference on Mechanical Engineering and Automation Science (ICMEAS 2019)*, 2019: 59-64.
- [35] 许海铎, 郭亚辉, 吕乐华, 等. 新型柴油机缸体复杂铸件的快速制造工艺 [J]. *铸造*, 2020, 69 (12): 1356-1360.
- [36] 顾兆现. 铸件快速复合成形制造工艺研究 [D]. 北京: 机械科学研究总院, 2012.
- [37] 缙鹏森, 彭志宁, 苗润青. 利用3D打印组芯工艺生产蜗壳铸件的方法 [J]. *现代铸铁*, 2021, 41 (6): 1-5.
- [38] 李栋, 李强, 梁继亚. 飞轮壳铸造工艺的研发 [J]. *现代铸铁*, 2021, 41 (5): 30-32.
- [39] 左强, 杨国娟, 洪润洲, 等. 应用砂型3D打印技术制备复杂铝合金铸件 [J]. *铸造*, 2021, 70 (4): 493-497.
- [40] 邵星海, 蔡安克, 郭亚辉, 等. 拖拉机复杂铸件的快速砂型铸造方法 [J]. *铸造*, 2017, 66 (10): 1049-1052.
- [41] 赵颖烈. 3D打印砂型在叶轮体铸件开发中的应用 [J]. *铸造工程*, 2020, 44 (5): 44-46.
- [42] 游志勇, 张鹏, 孙战, 等. 砂型3D打印技术对刹车盘铸造工艺的优化 [J]. *中国铸造装备与技术*, 2017 (2): 11-13.
- [43] 黄耀光. 基于砂型 3D 打印技术的铝合金异形联通管铸造实践 [J]. *特种铸造及有色合金*, 2021, 41 (5): 611-613.

Comparative Analysis of Sand Mold Parting Design Based on Rapid Manufacturing

YANG Wei-dong¹, FANG Yan-jiao¹, CHEN Xue-guang², YU Jian-jun³

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 2. School of Material Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 3. Tangshan Haozhong Technology Co., Ltd., Tangshan 063611, Hebei, China)

Abstract:

Parting design is an important part of sand mold design. By analyzing the cases and characteristics of the sand mold parting used in rapid manufacturing for typical complex castings, and aiming at the rationality of the sand mold structure design of the castings, the parting design ideas of 3D printing technology and rapid composite forming technology were compared and expounded in this paper. Based on typical cases, the sand mold parting design rules of these two kinds of molding methods for the complex castings were summarized, which provides a more systematic and guiding parting basis for the sand mold parting of the complex castings, so as to meet the development trend of time-saving and efficient for the complex castings.

Key words:

3D printing; rapid compound forming; parting design; sand mold