● 工艺技术 Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.12.012

优质高效砂型/芯复合成形工艺研究

刘丽敏,单忠德,杨颜绮,顾兆现

(机械科学研究总院 先进成形技术与装备国家重点实验室,北京 100044)

摘　要:基于无模铸造精密成形技术提出了一种数字化砂型挤压切削一体化复合成形方法,选取两个典型件作为研究对象,研究了砂型挤压成形数字化建模,优化了切削成形路径;通过实验对比研究了砂型切削成形工艺和砂型挤压/切削复合成形工艺。结果表明,砂型挤压/切削复合成形工艺所获砂型的节砂量约34%~39%,节时约50%~55%,验证了砂型挤压/切削复合成形工艺可作为优质、高效、绿色砂型制造方法。

关键词:无模铸造精密成形技术;砂型挤压/切削复合成形工艺;数字化建模;成形路径优化;节砂量

中图分类号:TG242　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)12-1281-05

Study on the Technology of High-quality and High-efficiency Sand Mold/ Core Hybrid Forming

LIU Limin, SHAN Zhongde, YANG Yanqi, GU Zhaoxian

(State Key Laboratory of Advanced Forming Technology and Equipment, China Academy of Machinery Science and Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: Based on the precision forming technology of patternless casting, a digital hybrid forming method of sand mold extrusion cutting was proposed, two typical parts were selected as the research object to study the digital modeling of sand extrusion forming and optimize the cutting forming path. The sand mold cutting forming process and sand mold extrusion/cutting hybrid forming process were studied by experiments. The results show that the sand saving amount and time-saving of the sand was about 34%~39% and 50%~55%, respectively. It is proved that the sand mould extrusion/cutting hybrid forming process can be used as a high quality, efficient and green sand mould manufacturing method.

Key words: the precision forming technology of patternless casting; hybrid forming technology of sand mold extrusion cutting; digital modeling; forming path optimization; sand-saving amount

铸造技术是生产机械装备制造业产品零件的重要方法[1,2]。在铸件生产过程中,造型制芯工艺有着十分重要的地位,它直接影响铸件的质量,生产成本,生产效率及环境污染[3-5]。传统砂型铸造需用木模、金属模等翻砂造型,存在工序多、流程长、形性精确控制难、加工余量大等难题,无法满足复杂铸件多品种、小批量、高精度、高性能制造的迫切要求[6]。为此,机械科学研究总院先进成形技术与装备国家重点实验室在国家重大项目支持下,提出了一种无需刚性模具的无模铸造精密成形方法,突破了复杂铸件高效率、高性能、高精度无模铸造精密成形技术,实现了铸造技术从有模到无模的跨越[7]。

无模铸造精密成形技术将CAD、铸造、数控、材料等技术系统集成,是一种零件快速铸造方法,不需要造型用模样,可缩短制造周期、减少生产成本、具有柔性化、绿色化制造等特点[8]。经过近十年系统研究,开发出了具有自主知识产权的系列化数字化无模铸造精密成形装备,可用于树脂砂、水玻璃砂、覆膜砂、陶瓷等多种铸型制造,最大成形尺寸10 000 mm×3 000 mm×1 000 mm,实现了铸钢/铁、铝/镁合金等材质3 000余种复杂铸件高质量绿色制造[9]。

在上述研究基础上,为提高砂型制造效率和复合成形精度、减少型砂切削量、降低型砂材料浪费、提升制件品质,尤其是解决大型、特大型、复杂铸件的快速精密制造问题,本文提出了一种砂型数字化挤压切削一体化高效复合成形方法。其原理是通过由砂型CAD三维模型反求的近净成形模型,直接驱动砂型柔性挤压阵列曲线逼近,形成砂型近净成形柔性模具和砂箱,将预混型砂填入砂箱中,经挤压、固化和起砂型等工序获得近净成形砂型,根据砂型CAD三维模型和近净成形模型生成砂型数控切

收稿日期:2019-08-15

基金项目:高档数控机床与基础制造装备(2018ZX04044-001),国家杰出青年科学基金资助项目(51525503)

作者简介:刘丽敏(1976-),女,陕西渭南人,博士,研究员.主要从事无模快速铸造复合成形工艺、机械结构设计与优化等方面的相关研究工作.电话:13520623816,E-mail:liu_limin05@163.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

削加工路径文件驱动完成精密切削成形[10-12]，如图1。本文选取两个典型件作为研究对象，通过理论建模及实验研究对比分析了砂型切削成形工艺和砂型挤压/切削复合成形工艺所获砂型的节砂量与耗时，验证了数字化砂型挤压/切削复合成形工艺优质、高效、绿色等优越性。

1 砂型/芯挤压/切削复合成形工艺理论研究

1.1 砂型/芯挤压成形数字化建模

复杂铸件的砂型在进行挤压成形之前，需要根据砂型三维CAD模型来求解阵列挤压头逼近模型，这称之为砂型数字化挤压建模，其本质上也是一种三维CAD模型离散化过程。由于铸件结构复杂，其相应砂型也较复杂，且成形面多为空间曲面，因此对近似离散模型有一定的精度要求。机械科学研究总院先进成形技术与装备国家重点实验室前期对砂型数字化挤压建模方法进行了深入研究，得出了一种基于离散原理的阵列挤压头建模方法，即采用降维处理方法，将三维几何模型沿Z向分层离散，再将每层按照XY方向离散，最终将三维CAD模型离散成一系列长方体单元的集合。

本文在前期研究的基础上，针对两个典型件的砂型单元进行了砂型数字化挤压建模，分层厚度采用0.5 mm，得到基于离散原理的挤压模型如图2~图5。

1.2 砂型/芯切削成形路径优化

砂型挤压近成形后需要在无模铸造精密成形机上进行砂型单元的切削加工，以获得浇注所需砂型。首先通过NX(UG)软件的建模模块，对模样进行三维CAD建模，然后运用UG软件的加工模块进行加工路径生成，最后按照先粗后精的加工顺序，在无模铸造精密成形机进行加工。

本文针对两个典型件切削成形和挤压/切削复合成形两种成形方式进行路径优化，得到路径优化信息，如图6~图9。然后运用二次开发模块进行两种成形方式的路径长度计算，以获得各自的成形时间。经计算：典型件一的切削路径长度为：1 583 520，挤压/

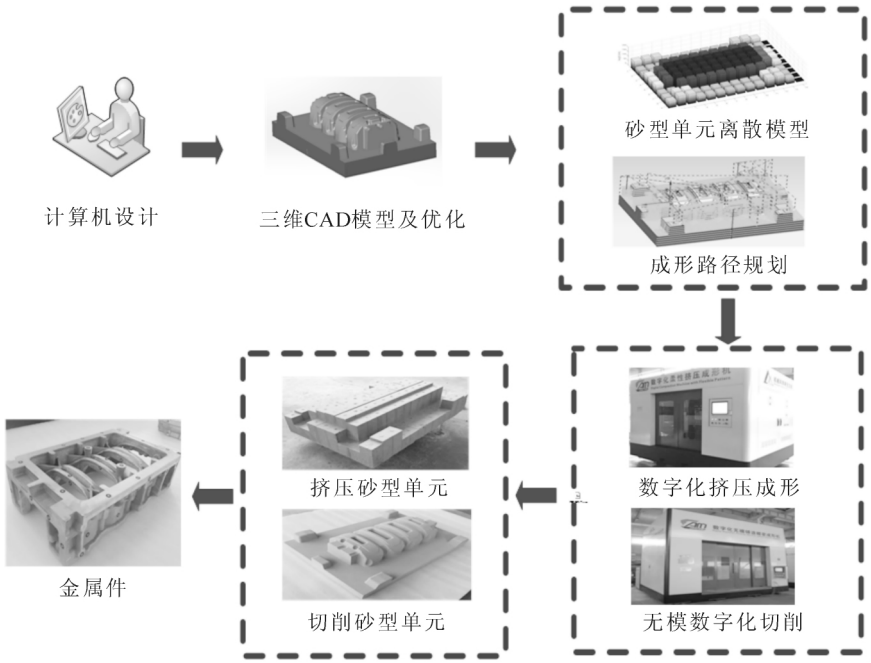


图1 砂型数字化挤压切削一体化高效复合成形方法
Fig.1 Sand mold digital extrusion cutting integrated high-efficiency hybrid forming method

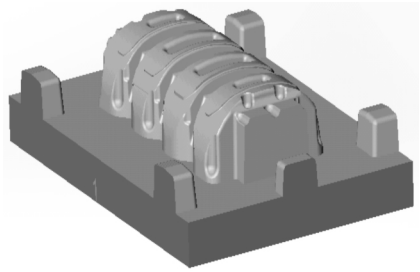


图2 砂型单元1三维图
Fig.2 3D drawing of sand mold element 1

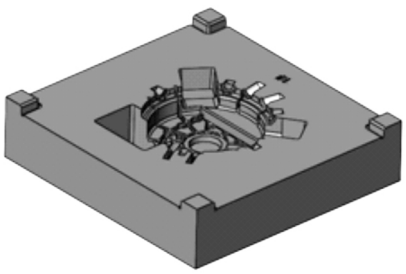


图3 砂型单元2三维图
Fig.3 3D drawing of sand mold element 2

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

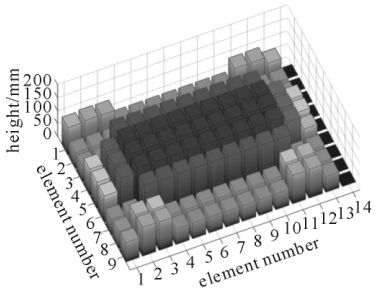


图 4 砂型单元 1 离散模型
Fig.4 Discrete model of sand mold element 1

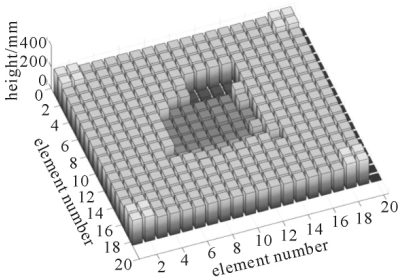


图 5 砂型单元 2 离散模型
Fig.5 Discrete model of sand mold element 2

切削复合成形路径长度为：785 426，节约 50%成形时间。典型件二的切削路径长度为：2 438 310，挤压 / 切削复合成形路径长度为：1 097 239，节约 55%成形时间。

2 典型零件砂型/芯挤压/切削复合成形工艺实验验证

根据上述结合加工工艺参数所进行的砂型各单元切削路径规划，对以下两个典型件进行了砂型 / 芯挤压 / 切削复合成形工艺实验验证。

案例一：本次研究选取典型件为某车用发动机部件缸体，其最大外形尺寸为：500 mm×300 mm×200 mm，其铸型三维图如图 2。

针对砂型单元的三维图，结合砂型柔性挤压成形机的阵列触头的实际尺寸，以最大程度逼近砂型表面型腔，实现砂型近成形为目标，通过挤压触头提升高度算法软件编写实际挤压所需的程序，然后在砂型柔性挤压成形机上完成砂型单元的挤压近成形（如图 10）。

挤压后的砂型单元，在无模铸造精密成形机上完成后期的切削加工，得到最终所需的砂型单元（如图 11），组装后得到铸型（图 12）。当金属液温度达到 740 ℃后进行浇注，最后得到典型铸件（如图 13）。

若该砂型单元全部以切削成形，需要约 122.43 kg 砂型毛坯进行切削，终成形砂型 45.39 kg，型砂去除量为 77.05 kg，切削用时约 8.5 h；若采用挤压 / 切削复合成形，通过柔性挤压获得近成形砂型重达 74.86 kg，终成形砂型仍为 45.39 kg，型砂去除量仅为 29.47 kg，节约型砂 47.58 kg，后期切削用时仅为 4.5 h（如图 14 所示）。故，节约型砂百分比为 38.85%，切削加工用时降低约 47%，与上述理论计算结果 50%近似。

案例二：选取典型件为某齿轮室的一个砂型单元，其铸型三维图如图 15 所示。

针对砂型单元的三维图，结合砂型柔性挤压成形机的阵列触头的实际尺寸，以最大程度逼近砂型

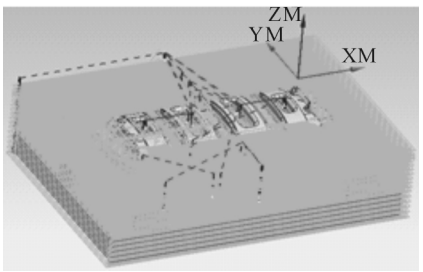


图 6 砂型单元 1 切削路径
Fig.6 Cutting path of sand mold element 1

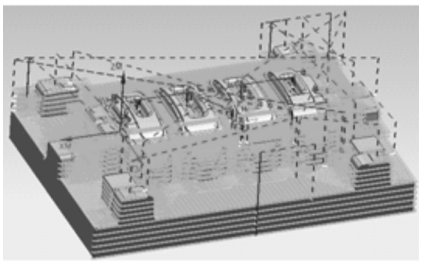


图 7 砂型单元 1 挤压 / 切削路径
Fig.7 Extrusion / Cutting path of sand mold element 1

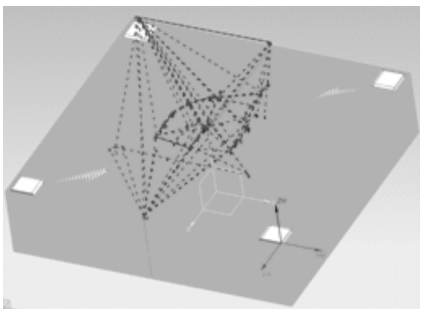


图 8 砂型单元 2 切削路径
Fig.8 Cutting path of sand mold element 2

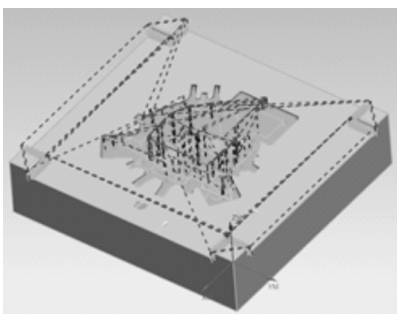


图 9 砂型单元 2 挤压 / 切削路径
Fig.9 Extrusion / Cutting path of sand mold element 2

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

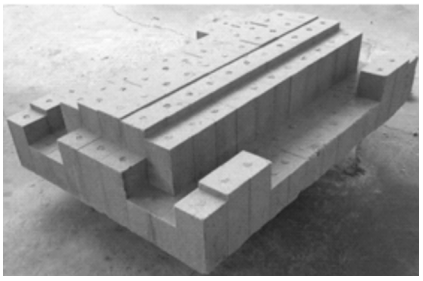


图 10 挤压近成形的砂型单元
Fig.10 Extrusion near-net forming sand mold element

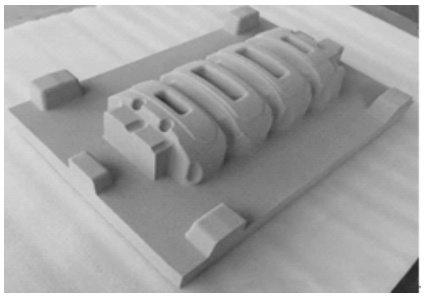


图 11 切削所得砂型单元
Fig.11 Sand mold element obtained after cutting

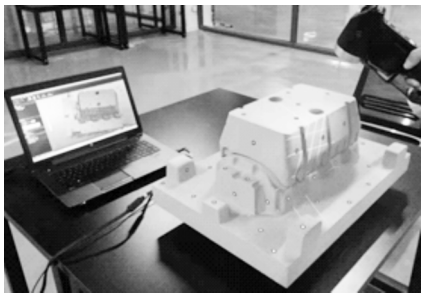


图 12 铸型精度检测
Fig.12 Casting mold precision testing

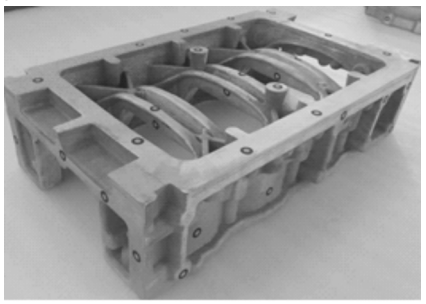


图 13 铸件
Fig.13 Casting

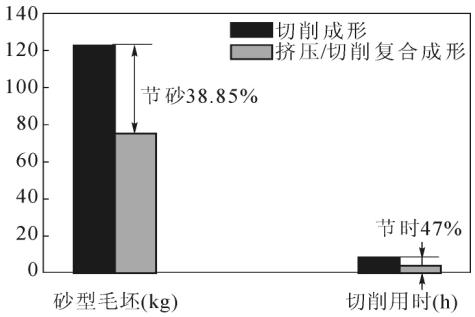


图 14 节约型砂与耗时对比
Fig.14 Comparison of saving molding sand and time consuming

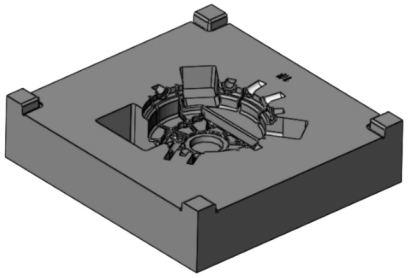


图 15 砂型单元三维图
Fig.15 3D drawing of sand mold element

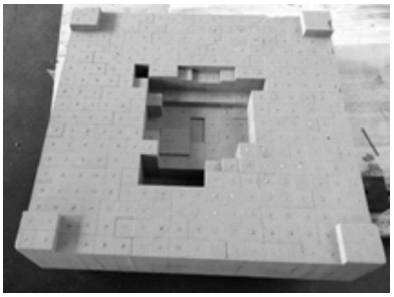


图 16 挤压近成形的砂型单元
Fig.16 Extrusion near-net forming sand mold unit

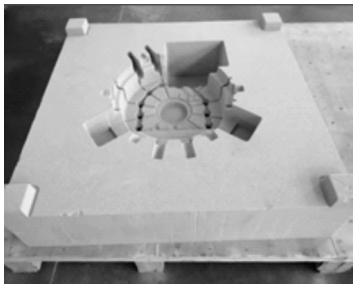


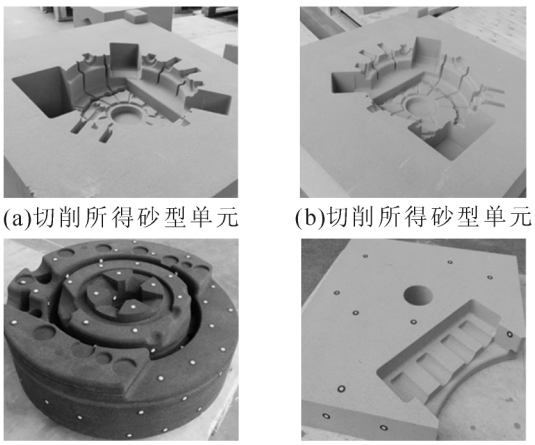
图 17 切削所得砂型单元
Fig.17 Sand mold unit obtained after cutting

表面型腔，实现砂型近成形为目标，通过自主开发的挤压触头提升高度算法软件编写实际挤压所需的程序，然后在砂型柔性挤压成形机上完成砂型单元的挤压近成形（如图 16）。挤压后的砂型单元，在无模铸造精密成形机上完成后期的切削加工，得到最终所需的的砂型单元（如图 17），后期所得铸型和铸件(如图 18，图 19)。

若该砂型单元全部以切削成形，需要约 103.75 kg 砂型毛坯进行切削，终成形砂型 51.48 kg，型砂去除量为 52.27 kg，切削用时约 6.5 h；若采用挤压 / 切削复合成形，通过柔性挤压获得近成形砂型重达 68.54 kg，终成形砂型仍为 51.48 kg，型砂去除量仅为 17.06 kg，节约型砂 35.21 kg，后期切削用时约 3.3 h。(如图 20)故，节约型砂百分比为 33.94%，切削加工用时降低约 53%，与上述理论计算结果（55%）近似。

综上，砂型挤压 / 切削复合成形工艺不仅可以缩短砂型加工成形时间，而且可以大幅度节约型砂用量，减少环境污染，该复合成形工艺完全符合绿色铸造的需求。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)切削所得砂型单元　(b)切削所得砂型单元

(c)打印所得砂型单元　(d)切削所得砂型单元

图 18 砂型单元

Fig.18 Sand mold element



图 19 齿轮室铸件

Fig.19 Gear chamber casting

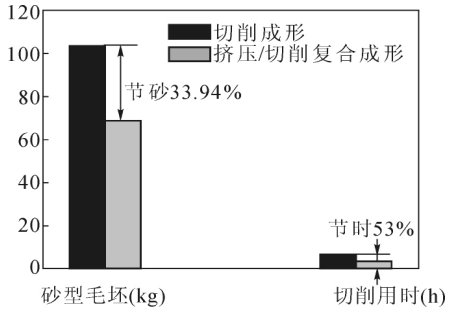


图 20 节约型砂与耗时对比

Fig.20 Comparison of saving molding sand and time consuming

3 结论

本文选取两个典型零件，首先对其进行了数字化建模与加工路径的优化，然后对两个典型件分别进行了砂型切削成形工艺和砂型挤压/切削复合成形工艺实验验证，得到以下结论：与砂型切削成形工艺相比，砂型挤压/切削复合成形工艺节时约50%~55%，节约型砂和粘结剂的用量约34%~39%，能够有效地缩短砂型造型周期；降低砂型生产成本，进而大幅度提高铸件的生产效率和质量，是一种优质、高效、绿色的砂型成形制造工艺。

参考文献：

[1] 段国庆，冯涛，孙建民，等. 激光增材制造技术在铸造中的应用[J]. 铸造技术，2019，40(7):662-666，670.

[2] 林锐. 快速模具制造技术的现状及其发展趋势 [J]. 南方农机，2018，49(24):91-92.

[3] Yoon H S, Kim E S, Kim M S, et al. Towards greener machine tools-a review on energy saving strategies and technologies[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews，2015，48：870-891.

[4] Torielli R M, Abrahams R A, Smillie R W, et al. Using lean methodologies for economically and environmentally sustainable foundries[J]. China Foundry, 2011, 8(1)：74-88.

[5] Nouira I, Ffein Y, Hadj-alouane A B. Optimization of manufacturing systems under environmental considerations for a greenness-dependent demand [J]. International Journal of Production Economics. 2014，150：188-198.

[6] A Josan, C Pinca Bretotean, S Raiu. Critical analysis of the influence of the possibilities of establishing the moulding technology on obtaining the castings[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 294(1).

[7] 单忠德. 数字化无模铸造精密成形关键技术及装备 // 中国铸造协会(China Foundry Association).第十届中国铸造协会年会会刊（论文篇）[C]. 中国铸造协会，2012:11.

[8] 刘丰，单忠德，李柳，等. 大型薄壁壳体件无模铸造技术研究[J]. 铸造技术, 2013, 34(10): 1324-1326.

[9] 机械科学研究总院先进制造技术研究中心. 无模铸造成形机：中国, CN102489675B [P]. 2014-01-15.

[10] 机械科学研究总院先进制造技术研究中心. 铸型数控切削加工成形机：中国，CN201158103Y [P]. 2008-12-03.

[11] 机械科学研究总院先进制造技术研究中心. 无模铸造成形机：中国，CN102211141B [P]. 2012-12-26.

[12] 单忠德，张帅，顾兆现. 砂型数字化柔性挤压净成形化算法研究[J]. 机械工程学报，2016，52(13)：149-155.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共8章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书320页，特快专递邮购价226元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net