

无模化铸型数控加工技术及装备开发*

单忠德, 李新亚, 刘 丰, 陈文刚

(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 100083)

摘要: 本文在分析国内外铸型数控加工技术现状及发展的基础上, 分析了铸型数控加工工艺技术特点, 研究了铸型数控切削加工机理、加工工艺, 研制出铸型数控加工成形机, 并在汽车等行业产品开发中成功应用, 给出了典型应用案例。通过应用研究表明, 铸型(芯)无模化数字化加工制造是传统铸造行业的技术革命, 具有绿色化、数字化、柔性化、精密化、快速化等特点, 适合于单件、小批量金属铸件的快速制造, 不需要模具可快速实现金属铸件的快速制造, 在汽车、机械装备等领域产品快速试制中具有广阔的应用前景。

关键词: 铸型加工; 快速制造; 金属件

世界工业发达国家都十分重视发展大型铸件的制造能力与工艺技术水平。在铸件的制造工艺技术研究中, 普遍采用计算机对铸造、热处理等过程进行模拟分析, 并辅助工艺设计和过程控制, 将数字化技术应用于铸件制造过程。一些发达国家的大型铸件生产制造技术对中国严格保密, 甚至严格限制产品出口, 尤其是大型核电装备铸件已成为影响国民经济可持续发展的重要瓶颈。伴随着计算机、数控等先进制造技术在工业中的广泛应用, 先进的铸造新工艺、新方法、新理论成为新的研究热点。

1 前言

近年来, 随着数控技术的快速发展, 工业发达国家已将数控加工技术应用于铸型制造, 即在 CAD 模型驱动下, 直接采用数控机床加工出砂型, 获得浇注的铸型, 不需要传统的铸造模样。这种方法不仅制造速度快, 而且精度高。由于在封闭环境中加工, 成形过程中的废弃物如粉尘、废气、废渣等可得到回收, 是传统铸造工业的重大变革。目前, 美国、德国、英国、芬兰等国家正在开展相关的应用基础研究。

由欧洲共同体提供的研究基金资助, 欧洲 14 个单位参加, 英国谢菲尔德铸造开发中心开发出大型五轴数控装置对铸型进行切削加工, 从而快速铸造出可变和固定螺矩的螺旋桨、泵壳、阀门等铸件。德国 AcTech 公司已经拥有了 2 台用于直接加工铸型的设备, 该设备可用于加工大型的机床床身、横梁、立柱、车身结构件、批量生产的压铸模等。德国奥迪汽车股份有限公司与芬兰技术开发研究所正在研究砂型切削加工理论并开发出砂型铣削工业机器人加工单元, 在奥迪公司车身试制中心的铸造车间进行加工铸型实验, 用于车身所有零件制造。德国 METROM 公司研究开发了 P800M 型高速五轴数控加工铣床, 采用 5 杆并联机构和 5 环驱动的主轴部件, 能够真正实现五面加工。目前也在进行大型铸型加工的实验研究。

国内在铸型数控加工制造技术研究方面也开展了研究工作。机械科学研究总院先进制造技术研究中心自 2006 年起开展了铸型数字化加工技术研发工作, 并已开发出国内首台铸型数字化加工机,

* 国家自然科学基金资助项目(50775092)

申请专利 10 项, 其中 8 项发明专利。软件登记 1 项, 1 项实用新型专利已获得授权。在研究过程中, 进行了刀具材料、砂型可加工性、加工工艺、系统软件以及设备开发等工作, 并研制出数控加工成型机, 在企业中进行初期应用推广。

国外发达国家在努力提高铸件质量的同时, 通过数字化、数控等技术, 积极开展了大型铸型数控加工制造的新工艺、新方法研究。铸型数控加工使用 CAD 驱动数控装置对铸型进行切削, 不仅使工序合理化、简单化, 而且可快速制造出高质量的铸型。这种方法具有可重复性, 铸型质量稳定, 是铸型制造的重大变革, 数控加工技术用于金属件的快速开发已经日趋成熟。除了对金属件直接数控加工成形外, 该技术和相关设备也已经应用于铸型的快速制造, 为减少加工成本和开发周期, 快速提供优质金属件 (尤其是大型金属件), 提供了新的方法和工具设备。

2 铸型无模化数控加工制造技术原理及特点

基于数字化驱动的快速铸型无模化制造技术原理如图 1 所示, 在铸型三维 CAD 驱动下, 直接切削加工砂型而获得铸造用铸型, 浇注后制成金属件。开发的设备主要包括加工铸型用特种刀具系统、集气动辅助排砂与干式切削风冷于一体的排砂排屑系统、全密封防护的多轴联动运动系统。该技术及设备是 CAD、铸造、数控切削等技术的系统集成, 是一种全新的零件快速制造技术及设备, 不需要造型用模样, 具有数字化、精密化、柔性化、绿色化等特点。目前, 该技术及设备已经在发动机等新产品样件铸型的试制过程中得到成功应用。

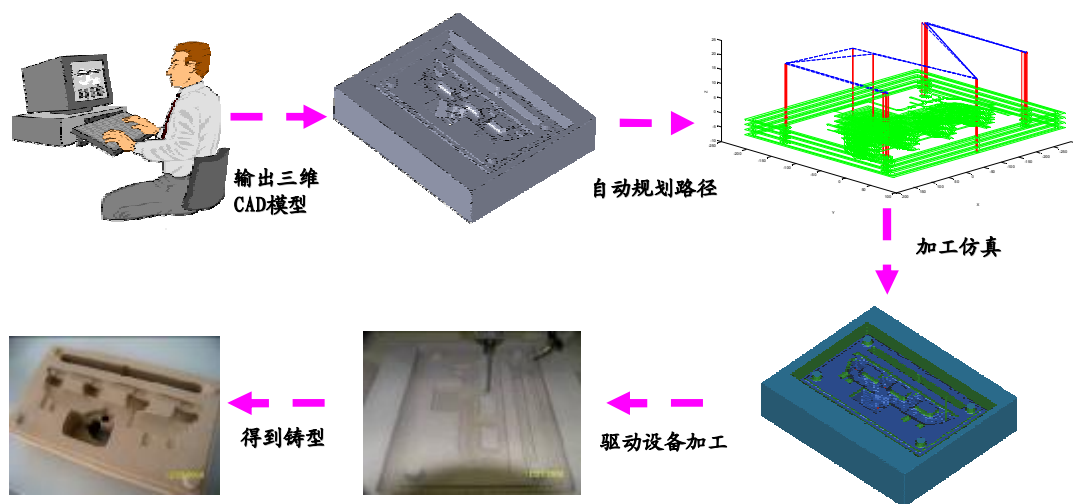


图 1 铸型数字化加工技术原理图

其主要特点是为金属铸件的制造提供了更加快速、更加完善的途径, 提高铸造工艺设计的灵活性和可操作性, 克服了传统金属件有模制造工艺中存在的制模周期长、尺寸精度低、加工余量大、成形质量差、手工操作劳动强度高、生产工序多、重复性和稳定性差等问题, 实现金属件的无模化数字化制造, 不需要预留拔模斜度, 模型驱动数控加工铸型, 减少了人工干预, 铸型精度不受尺寸增大而降低, 从而利于保证铸件内在质量和尺寸精度, 提高了铸件质量稳定性, 减少了加工余量,

实现了金属件设计、分割、加工、组装全流程的数字化、精密化、自动化、柔性化、绿色化。可有效缩短产品开发周期，降低开发成本，为汽车、航空航天、国防军工、机械、船舶等行业新产品开发提供技术支撑。

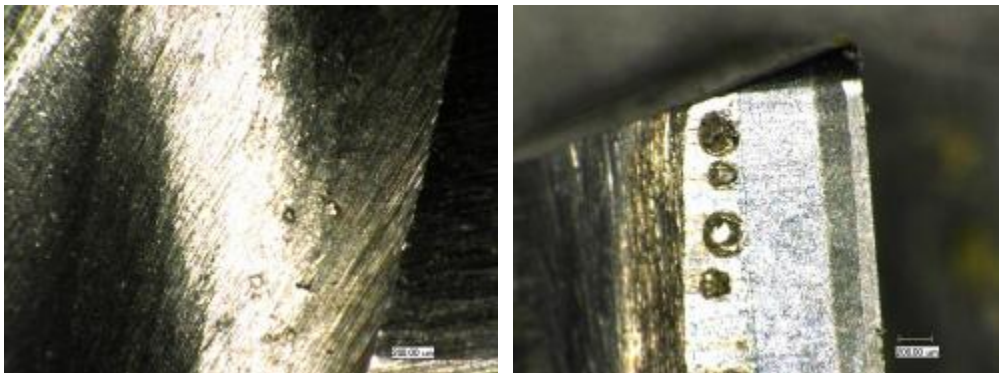
3 无模化铸型数控加工主要关键技术

3.1 无模化制造专用砂型（芯）造型材料开发

传统的树脂自硬砂、覆膜砂、水玻璃砂等铸造常用型砂配方在加工复杂、薄壁等铸型时容易出现塌型、强度不足等现象，需要研制适用于金属件无模化制造工艺的专用砂型（芯）造型材料，通过成形实验分析了砂坯强度和影响成形过程的主要因素，在传统型砂配方的基础上调整配比以更适应铸型数控切削加工成形。

3.2 基于镶片金刚石材料的砂型数控加工专用刀具开发

由于铸型（芯）是由石英砂、陶瓷粉等高硬度、高耐磨度的粉体材料及粘结剂固化而成，在铸型（芯）切削过程中，高速加工的刀具会直接与砂粒产生碰撞，以及刀具受包裹着粘结剂的砂粒摩擦作用，产生较大磨损。切削中，铣刀高速旋转且无切削液，表面容易形成明显划痕甚至发生崩刃现象，如图 2 所示。另外，由于铸型切削不同于传统的金属加工，不能进行切削液冷却。同时由于铸型型腔复杂且深度高，需较长的刀柄以保证刀具的强度及加工精度。因此，研制合适的刀具是实现铸型（芯）数字化加工的关键技术之一。



(a) 高速钢表面的明显磨痕

(b) 镶片金刚石崩刃

图 2 刀具磨损微观形貌

3.3 铸型加工工艺开发

在铸型（芯）加工过程中，产生了大量废砂（如图 3 所示），如果不及时清理会严重影响加工质量和刀具寿命。同时，加工工艺参数的设计及优化，可以有效提高加工效率及加工质量。另外，由于是干式加工，不能用冷却液对刀具进行冷却，尤其是加工砂型，容易产生大量摩擦切削热，导致刀具失效及破坏，为此废砂排除以及刀具冷却是铸型（芯）加工的关键工艺技术之一。



(a) 清理前

(b) 清理后

图3 加工废砂堆积情况

3.4 大型铸型数控加工成形机以及激光烧结成形机的开发

根据金属件无模化制造技术的工艺特点以及成形要求，开发铸型数控加工成形机，主要包括成形设备的本体结构设计以及动静态性能有限元分析、精密滚珠丝杠运动系统、伺服控制系统、废砂回收系统等设计、制造，以及成形机专用软件系统的开发。

目前自行研制的铸型数字化加工成形机如图4所示，该设备由三维CAD模型驱动，加工速度最高可达150mm/s，主轴转速4000~20000转/min，加工精度为 $\pm 0.15\text{mm}$ ，能够完成水玻璃砂型、树脂砂型、覆膜砂型等多种铸造用砂型的加工制造，其单块最大可加工砂型尺寸为550mm \times 450mm \times 150mm，更大的铸型可以采用分型、组装的方式来完成。



图4 铸型数字化加工成形机

4 铸型无模化加工技术及装备应用示范

目前，与中国一汽、广西玉柴等单位合作进行了汽车发动机缸体和柴油机缸体的快速制造。图5为汽车发动机缸盖组合实际加工的砂型。图5中所示单块砂型尺寸为164mm \times 159mm \times 121mm，采用铸型数字化加工，一次加工上、下模型仅需8小时。

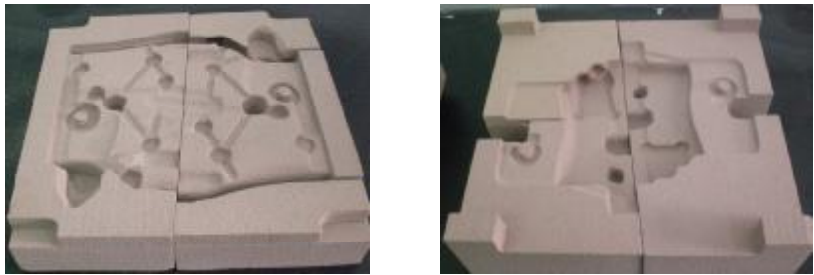


图 5 汽车发动机缸盖组合造型

图 6 为采用铸型数字化加工设备加工的砂芯，图 6 中砂芯尺寸为 500mm×350mm×80mm，其中，由三维 CAD 模型生成加工代码仅需 0.5 小时，加工全过程需要 10 小时。采用六面加工砂芯，整体镂空，砂芯最薄处仅有 10 多毫米。



图 6 发动机缸体砂芯

以排气管铸造为例，内部复杂的砂芯采用发气量小的树脂砂，采用激光烧结工艺成形；铸型的上模与下模采用透气性好的水玻璃砂，采用铸型数字化加工成形，如图 7（a）所示，铸型、砂芯装配后浇注。铸件一次性浇注成功，图 7（b）是浇注的铸件。充分集成了数控加工铸型和快速成形技术的优点，实现金属件的无模化快速制造。

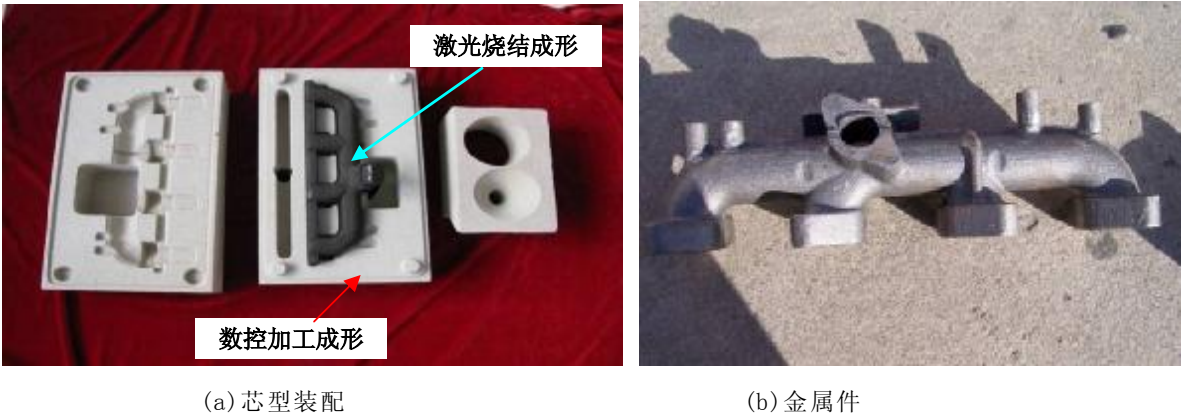


图 7 汽车排气管的无模组装制造

5 结论

通过应用研究表明，铸型（芯）无模化数字化加工制造是传统铸造的技术革命，是一种全新的

铸件制造方法, 不需要制造木模、金属模或芯盒, 具有绿色化、数字化、柔性化、精密化、快速化等特点, 可以提高铸造精度、生产效率、铸件质量, 降低铸造过程中的资源消耗。无模化型铸件成形方法研究将为单件、小批量铸件的快速制造提供解决方案, 在汽车、工程机械、机床、船舶、矿山等、航空航天等方面都具有广阔的应用前景。尤其是在单件小批量铸件、模具毛坯制造具有很大的技术及市场优势。

参考文献:

- [1] 颜永年, 单忠德主编. 快速成形与铸造技术. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] <http://www.actech.de/en/html/company.html>
- [3] Ronald Gustafson etc. Method for machining sand block into sand molding elements including sand molds and sand course for metal casting foundry operations. US6286581 B1, 2001,9,11
- [4] The application of milling the sand mold, International Mold & Die Making News for China, 2008.2:24~26 (in Chinese)
- [5] Form+Werkzeug(德国杂志). 应用砂型铣削新工艺. 国际模具制造商情, 2008, 2:24-26.
- [6] 单忠德. 基于快速原型的金属模具制造工艺研究[博士论文]. 北京: 清华大学, 2002.
- [7] Xiaoli Dong, Xianya Li, Zhongde Shan. Rapid Manufacturing of Sand Mold by Direct Milling. The 3rd International Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing and The 2nd International Conference for Bio-manufacturing (ICRPM-BM 2008).
- [8] Zhongde Shan, Xiaoli Dong, Feng Liu. Study on manufacturing of Sand Mold by Direct Milling. The 3rd Seminar of Sino-Korea Cooperation on the Advanced Manufacturing Technology. 2008:165-169
- [9] Bertam, Tresbsen, Reso. A, et al. Method for milling casting moulds. United States Patent. US 7025108B2, 2006.4