

CAD/CAE/CAM 技术在钛合金铸造中的应用

王彦鹏^{1, 2}, 伞晶超³, 倪嘉^{1, 2}, 宁兆生^{1, 2}

(1. 沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022; 2. 高端装备轻合金铸造技术国家重点实验室, 辽宁沈阳 110022;
3. 辽宁装备制造职业技术学院, 辽宁沈阳 110161)

摘要: 介绍了CAD/CAE/CAM技术在钛合金泵体铸造生产中的应用。通过对传统加工工艺和CAD/CAE/CAM技术对比, 展现了后者在生产方式、检验效率及加工精度方面的技术优势。

关键词: 钛合金铸造; CAD/CAE/CAM; 三维扫描; 石墨铸型

钛合金具有低密度、高比强、耐腐蚀、线胀系数小等特点, 广泛应用于航空、航天、化工机械等领域。钛合金因其化学活性较高, 在高温下与常规造型材料均发生较为剧烈的化学反应, 因此钛合金铸型一般采用机加工石墨铸型或熔模精密铸造型壳。钛合金机械泵的泵体铸件作为机械泵的重要组成部分, 决定了液体流量、流速、扬程等机械泵的核心参数, 内部质量及尺寸精度均要求较高。综合考虑产品数量、产品成本及生产工期等多方面因素, 钛合金泵体铸件一般情况下均采用机加工石墨铸型^[1]。

1 CAD/CAE技术在泵体铸件和石墨铸型设计中的应用

在泵类产品中, 泵体流道决定了机械泵流量流速等诸多核心参数。传统平面制图无法直观准确地表达铸件结构及流道变化情况, 借助UG、SOLIDWORKS等三维CAD软件进行产品设计, 生成直观的立体铸件图, 如图1所示, 并可按照客户提供的技术参数对产品加以实时修改, 实现所见即所得, 并为进一步实施CAE、CAM工序提供几何信息条件。图2为该泵体铸件的石墨铸型图。

CAE应用是在铸造工艺设计阶段进行的, 采用PROCAST软件对铸造工艺进行数值模拟验证或优化, 首先根据初始铸造工艺设计在软件中输入计算域内几何实体, 并设置热物性参数、初始条件、边界条件等, 完成数值模拟前处理; 然后对铸件的温度场和流场进行数值模拟, 依据计算结果分析充型和凝固过程, 有针对性地调整铸造工艺, 避免产生缩孔、缩松等铸造缺陷, 同时提高铸件工艺出品率。泵体铸件充型过程数值模拟结果如图3所示, 泵体铸件凝固过程数值模拟结果如图4所示。

作者简介:

王彦鹏(1980-), 男, 学士, 高级工程师, 主要研究方向为材料成形。E-mail: winguping@gmail.com

通讯作者:

伞晶超, 女, 硕士, 副教授。E-mail: 11848102@qq.com

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)02-0194-04

基金项目:

辽宁省工业重大专项(2019JH1/10100004)。

收稿日期:

2021-09-01 收到初稿,

2021-12-16 收到修订稿。



图1 铸件图

Fig. 1 Casting drawing

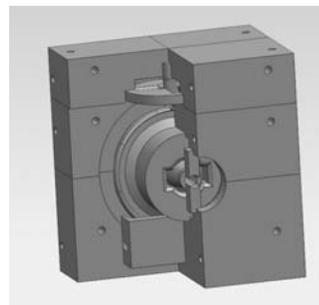


图2 石墨铸型图

Fig. 2 Graphite mold

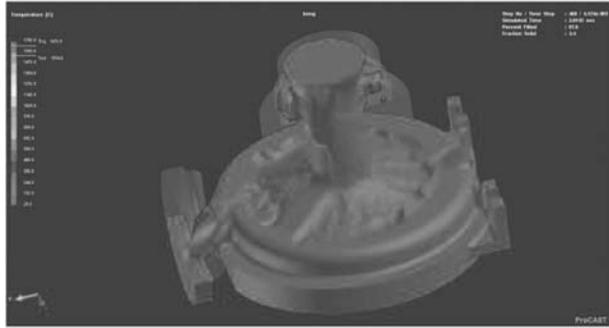


图3 泵体铸件充型过程数值模拟结果

Fig. 3 Numerical simulation results of the mold filling process of the pump body casting

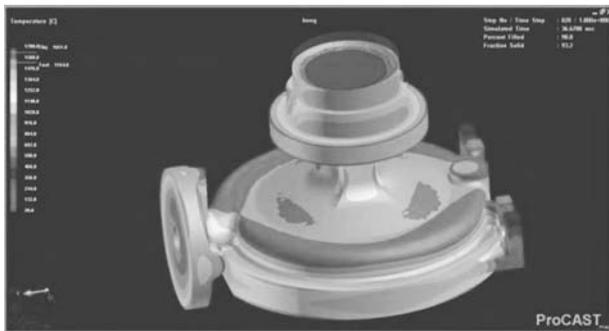


图4 泵体铸件凝固过程数值模拟结果

Fig. 4 Numerical simulation results of the solidification process of the pump body casting



图5 传统工艺样板实物

Fig. 5 Traditional process template

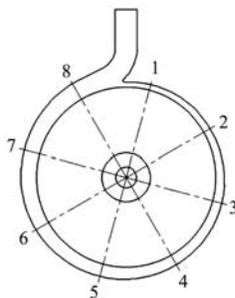


图6 传统工艺泵芯取点截面

Fig. 6 Cross section of the traditional process pump core

2 CAM技术在石墨铸型加工中的应用

泵体铸件结构复杂，加工工序较长。按传统工艺，需制作样板如图5所示。在石墨原材料上勾画泵体轮廓，经过车铣后，根据水力图选取8点典型位置截面做样板，然后手工按样板形状在石墨料相应位置铲出截面如图6所示。每两个截面间的距离由操作者手工随形连接。这样加工出的泵体，只能保证8点截面大致符合图纸要求，整个流道型芯完全凭操作者感觉圆滑过渡，尺寸精度低，一致性差，生产效率低。

采用数控加工技术完全避免了上述问题。编程过程中通过仿真加工，可以将刀路顺序、进刀退刀轨迹、撞刀、过切等问题实时地展示在操作人员面前。根据仿真结果进行调整，极大提高了生产效率。生产过程中还避免了人工修型造成的尺寸精度低、产品一致性问题，实现数模与实物保持一致。石墨铸型数控加工工艺设计如图7所示，铸型的加工仿真结果如图8所示。

石墨材料为多层状晶体结构的脆性材料。切削过程中通过刀尖挤压石墨，因脆性破碎所需要的能量比

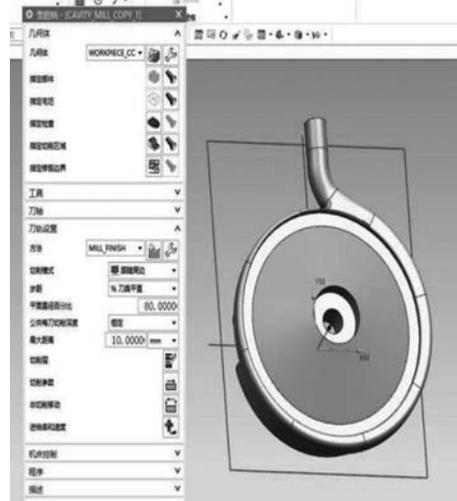


图7 数控加工工艺

Fig. 7 Numerical control processing technology

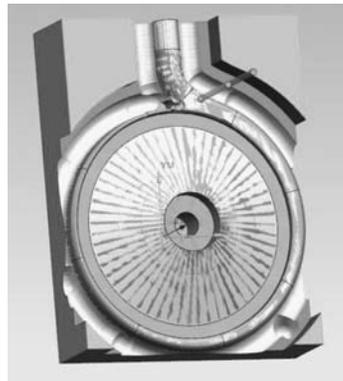


图8 加工仿真图

Fig. 8 Simulation diagram of the numerical control processing

弹性变形能低,所以石墨加工是层状破碎而非弹性变形。在石墨切削过程中,未见高的切削温度和大的切削力^[2]。

在传统工艺生产中,受限于设备主轴转速及人工联动操作的不均匀性,石墨料在刀尖挤压下,在切屑面下方极易产生加工裂纹,并引起崩角掉边等问题,对石墨型的加工精度及表面粗糙度影响较大,同时刀具的磨损也较为严重。究其成因,国内学者普遍认为石墨颗粒极其微细,刀具切削刃的刀尖圆弧较大,刀具—工件接触区的石墨材料受刀具前刀面及刀尖部分的挤压作用,产生脆性断裂,从而形成崩碎切屑^[3]。台湾学者通过对高速铣削石墨中切削速度对金刚石涂层刀具使用寿命的影响发现,当采用中等切削速度时,随着切削速度的提高,刀具磨损逐渐增大;在很高切削速度时,切削速度越高,刀具磨损越小;进给量越大,刀具磨损越小;径向切深越大,刀具磨损越严重^[4]。

在实际生产中,采用专用高速石墨数控加工中心将主轴转速提高到10 000~20 000 r/min^[5],提高进给量到2 000~3 000 mm/min,同时适当减少吃刀深度,并辅以金刚石涂层刀具,可极大程度地减少微裂纹的产生,延长刀具使用寿命。

3 三维扫描技术在石墨铸型检验中的应用

三维扫描技术是集合了机、光、电、计算机技术于一体的高新技术,能够快速地把实际物体的立体信息转换为计算机能够直接处理的数字信息。三维扫描技术目前在模具行业得到广泛的应用,在逆向工程、模具加工、模具检修及模具测量方面发挥着不可替代的作用^[6]。三维扫描技术是利用激光光源将线束照射在模具表面,对预先贴附在模具表面的反射点进行三维定位,形成坐标系,模具表面经光栅扫描反射至接收传感器,在定位坐标系的帮助下,在设备终端形成数字化立体型面^[7]。

实际生产中主要应用三维扫描设备的测量功能,对加工完成的石墨铸型进行尺寸检验。三维扫描具有非接触测量、扫描速度快,测量精度高等特点。对于石墨这种质地较软的材料,高度尺等传统量具均会在石墨表面形成不可逆的划伤,最终影响铸件表面质量。上例中的石墨泵芯三维曲面,传统量具无法完成测量,利用样板检测精度较低。用三维扫描仪可以在10 min以内快速完成最高精度在0.015 mm的扫描取样工作,生成数字化立体型面。将该型面与设计数模进行比对,通过预设公差带颜色渲染,即可反应出不同型面的加工精度及尺寸误差^[8]。利用三维扫描仪拾取生成的铸型立体型面如图9所示,图10所示为扫描生成立体型面与三维模型比较结果, D 表示泵体尺寸偏差,

D_x 表示在 x 轴方向上的尺寸偏差, D_y 表示在 y 轴方向上的尺寸偏差, D_z 表示在 z 轴方向上的尺寸偏差。由图可知,尺寸偏差均在生产要求范围内,加工出的泵体石墨铸型实物如图11所示。

4 信息化网络化技术在石墨铸型制造中的应用

借助于CAD/CAE/CAM技术,完成了铸件图设计、铸造工艺设计和优化、石墨铸型设计、数控加



图9 扫描生成立体型面

Fig. 9 Solid surface generated by Scanning

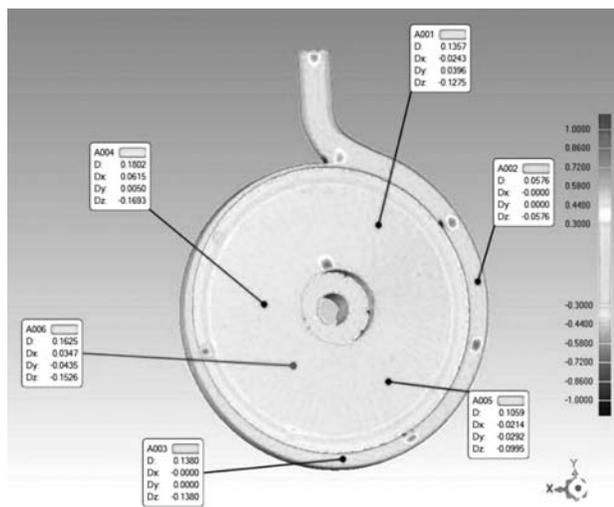


图10 扫描检验结果

Fig. 10 Results of the scanning inspection

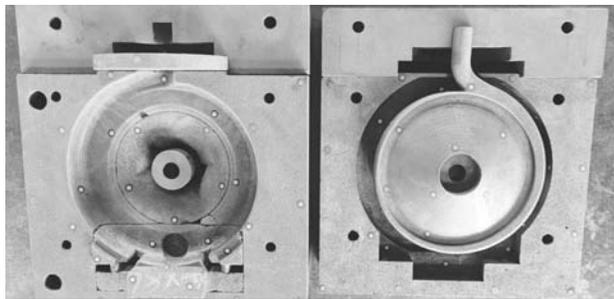


图11 泵体石墨铸型实物图

Fig. 11 Graphite mold of the pump body

工编程、数控加工、铸型检验等工序的计算机辅助设计制造工作。将以上工序归纳为六个节点接入专用网

络,实现了全程的无纸化设计和加工。数据传输链路如图12所示。

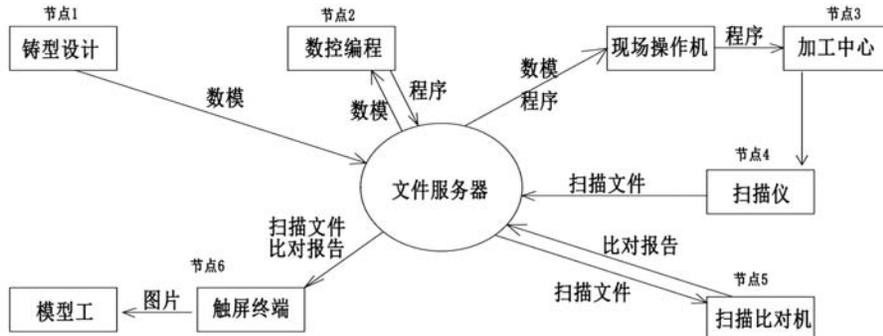


图12 石墨铸型设计和制作过程数据传输网络

Fig. 12 Schematic diagram of the data transmission network of the graphite mold design and production process

5 结束语

CAD/CAE/CAM等数字化信息化技术在钛合金精密铸造中得到了有效运用,利用UG、Solidworks等工业设计软件快速完成铸件几何实体造型、铸造工艺和铸型设计,采用Procast软件完成铸造工艺数值模拟验

证或优化,采用UG/Mastercam等软件完成铸型数控加工编程,采用三维扫描仪完成过程模型或实体产品的数字化拾取,通过GEOmagic软件完成设计数模与过程模型或最终产品的尺寸比对检验。在数字化网络的加持下,可以更加准确高效地完成钛合金精密铸件的生产。

参考文献:

- [1] 王彦鹏, 伞晶超, 姚谦, 等. 钛合金泵体石墨型铸造工艺优化 [J]. 铸造, 2014 (8): 828-830.
- [2] SCHROETER RB, KRATOCHVIL R, GOMES JDO. High-speed finishing milling of industrial graphite electrodes [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 179: 128-132.
- [3] 王成勇, 秦哲, 李文红, 等. 石墨电极的高速加工 [J]. 制造技术与机床, 2002 (3): 25-30.
- [4] YANG Yungkuang, SHIE Jieren, HUANG Chenghung. Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end-milling process [J]. Materials and Manufacturing Process, 2006, 21: 832-837.
- [5] 罗和平, 汲军, 闵立. 石墨机械加工工艺研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017 (7): 149-151.
- [6] 吴暉. 三维扫描技术在模具CAD/CAM中的应用 [J]. 科学家, 2017 (1): 79-80.
- [7] 杨芩, 齐越, 沈旭昆, 等. 一种快速的三维扫描数据自动配准方法 [J]. 软件学报, 2010, 21 (6): 1438-1450.
- [8] 王本日. 三维扫描设备在模具加工制造中的应用 [J]. 上海电气技术, 2011 (1): 32-35.

Application of CAD/CAE/CAM Technology to Titanium Alloy Casting

WANG Yan-peng^{1,2}, SAN Jing-chao³, NI Jia^{1,2}, NING Zhao-sheng^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Light Alloy Casting Technology for High-End Equipment, Shenyang 110022, Liaoning, China; 2. Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., Shenyang 110022, Liaoning, China; 3. Liaoning Equipment Manufacturing Vocational and Technical College, Shenyang 1101612, Liaoning, China)

Abstract:

This article introduces the application of CAD/CAE/CAM technology to the production of titanium alloy pump body casting. Through the comparison of traditional processing technology and CAD/CAE/CAM technology, it shows that the latter's technical advantages in the production methods, inspection efficiency and processing accuracy.

Key words:

titanium alloy casting; CAD/CAE/CAM; 3D scanning; graphite casting mold