医疗植入物股骨髁外形的数控加工与工艺设计

程帅，王海青，张国钊
山东新华联合骨科器材股份有限公司　山东淄博　255000

摘要：基于医疗植入物股骨髁的外形轮廓曲面加工特点，制定由磨削替代铣削的数控加工方案。通过合理的工艺路线、巧妙的工装设计、正确的刀具选择以及数控程序的优化，实现了股骨髁外形加工的批量稳定化生产。

关键词：医疗植入物；股骨髁；工艺；工装；刀具；数控程序

高级工程师　程帅

1　序言

股骨髁零件是膝关节植入物的重要部件，毛坯通常为精铸件，材料为钴铬钼合金，成品公差和表面质量要求极为严格。以我公司PS型股骨髁（见图1）产品为例，髌骨滑道、BOX区域和髁表面关系到产品的功能性，制造公差和表面质量至关重要，需优先保证。股骨髁表面为大曲面，需要与胫骨衬垫配合，两者曲面的配合需要尽善尽美。如果曲面配合良好，负载就可分布在较大范围上，滑动力则较小；如果曲率不正确，则会导致仅存在点接触，进而导致提前磨损，最终甚至导致植入体失效。

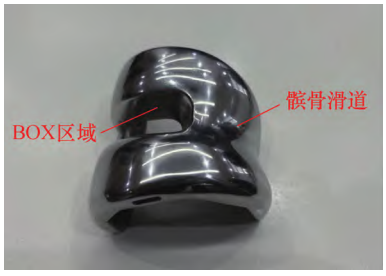


图1　PS型股骨髁

以往在加工PS型股骨髁时，由于第一步是铣削精铸毛坯，将其加工到非常接近最终轮廓形状的半成品，然后进行打磨及最终的光饰抛光，因此铣削加工的挑战尤其巨大，且零件加工质量波动大，加工效率低。随着数控设备的不断升级、加工辅具的不断提升，公司的加工能力也不断提高，通过对样品进行加工验证，制定了由磨削替代铣削的方案，不仅满足了零件加工的精度，缩短了加工时间，还提高了合格率和稳定性。

2　加工工艺分析

PS型股骨髁结构尺寸如图2所示，零件内侧特征由精铸毛坯保证，无需机械加工。零件外形比较复杂，由髌骨滑道*R*24mm圆弧、BOX区域沟槽和外形轮廓构成，其中BOX区域沟槽特征因空间有限，砂轮或砂带不易进入加工，在磨床上仍由铣削加工完成；髌骨滑道*R*24mm圆弧和外形轮廓由砂轮磨削加工成形，为保证曲面轮廓度的要求，设计了磨床专用的工装夹具，既可以保证轮廓度要求，又可以保证零件装夹稳定性、可靠性和零件表面粗糙度要求[1]，为后续打磨及最终的光饰抛光打好基础。

3　工装设计

因为该零件外形轮廓均需要进行机械加工，

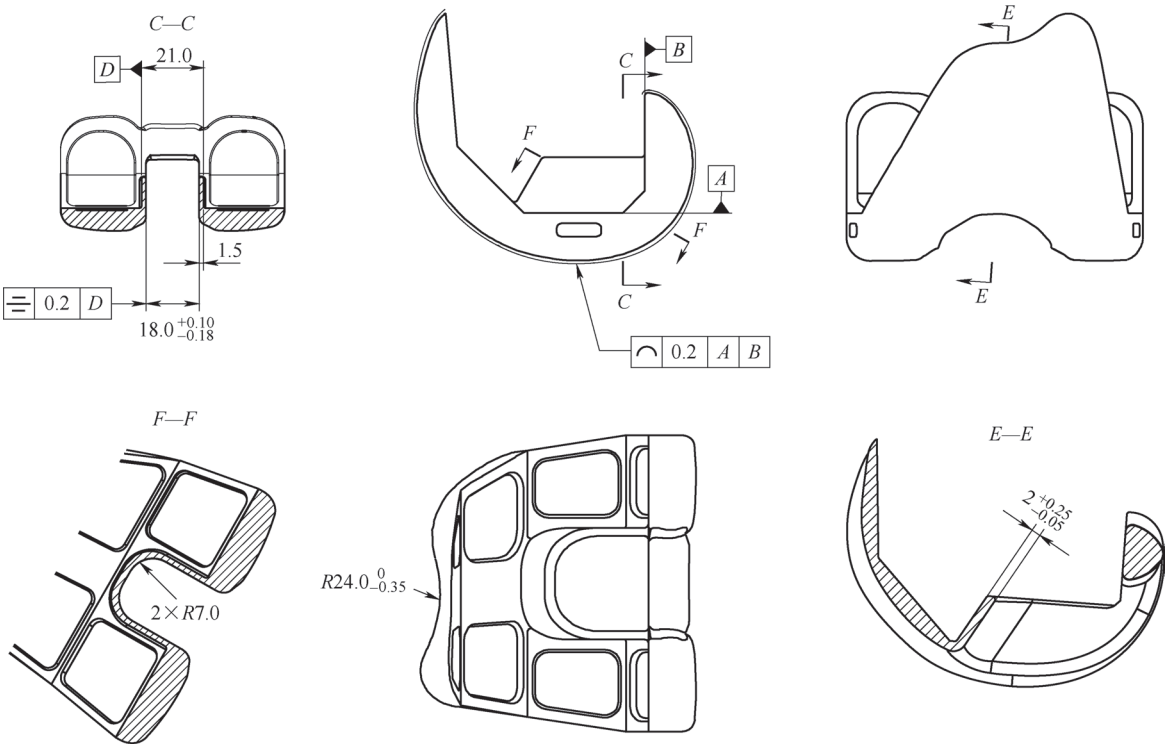
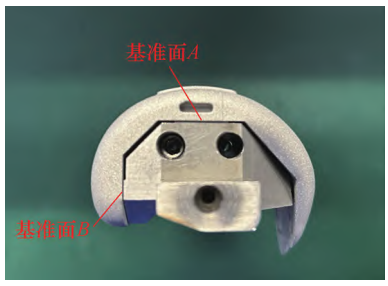


图2　PS型股骨髁结构尺寸

而内侧无需加工，所以工装设计时考虑夹持内侧的BOX区域外侧，同时为保证0.2mm的轮廓度要求，需将工件*A*、*B*基准贴紧工装。工装及装夹如图3所示。由于该区域厚度仅为1.5mm，刚性较弱，易产生变形，因此在锁合工装时采用扭力扳手，将扭力值设定在11.76N·m，两侧螺钉需均匀锁合，不可以先将单侧锁紧后，再锁合另一侧，从而保证装夹稳定可靠。

a）工装



b）装夹

图3　工装及装夹

4　刀具的选择

零件材质为Co28Cr6Mo合金，硬度为25～35HRC[2]。应根据零件的形状、尺寸及表面质量要求来选择刀具。由于刀具材料对加工质量、加工效率有直接影响，因此选择2把弗雷萨整体硬质合金立铣刀分别进行BOX区域沟槽特征的粗、精加工。刀具（见图4）直径10mm、刃长22mm。选用温特的CBN砂轮加工髌骨滑道*R*24mm圆弧和外形轮廓，砂轮（见图5）直径175mm。

图4　刀具

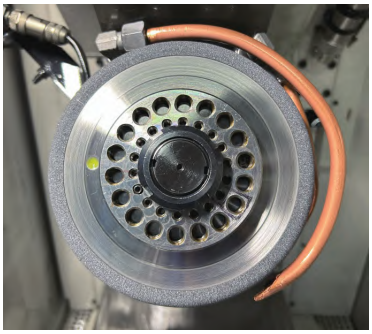
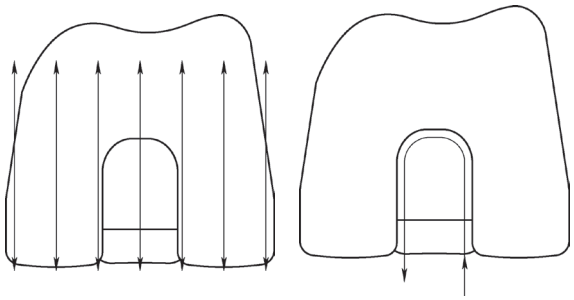


图5　砂轮

5　刀具路径的确定

通过图6a所示砂轮路径去除所有余量，完成外形轮廓的加工。通过图6b所示立铣刀路径配合机床的五轴加工功能，即可实现BOX区域沟槽的加工。

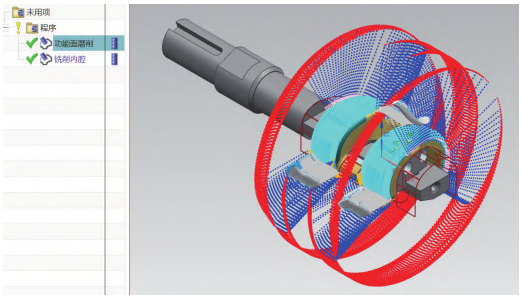


a）砂轮路径　　b）立铣刀路径

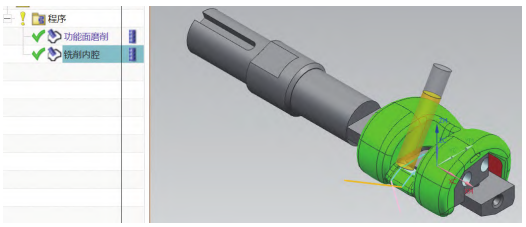
图6　砂轮及刀具路径

6　数控程序设计

在程序编制过程中，根据零件三维图，采用UG软件编写刀路，如图7所示，然后将UG文件导入舒特的编程软件，即可生成机床可识读的程序文件。程序时间由原来铣削加工工艺的25min，减少到现在磨削加工工艺的18min，效率提升28%。同时，零件表面粗糙度值由原来铣削加工工艺的$Ra=1.2\mu m$，减小到现在磨削加工工艺的$Ra<0.4\mu m$[3]，提升了后来打磨工序及最终光饰抛光工序的效率。



a）砂轮编程路径



b）立铣刀编程路径

图7　数控程序路径

7　结束语

本文针对医疗植入物股骨髁外形的结构特征和加工难点，通过工艺改进、工装设计、刀具选型和数控程序优化等措施，由磨削替代铣削，很好地控制了零件加工过程中的变形和精度问题，从根本上解决了该零件的加工质量问题，缩短了加工时间，降低了生产成本，提高了企业竞争力，同时也为类似结构零件的加工提供了一种创新工艺思路。

参考文献：

[1] 卢德冲，杨广新，徐腾，等. 高精度双曲线镜筒零件加工工艺设计[J]. 金属加工（冷加工），2024（5）：13-15.

[2] 曾正明. 机械工程材料手册[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[3] 杨叔子. 机械加工工艺师手册[M]. 北京：机械工业出版社，2006.

MW 20240805

专家点评

医疗植入物股骨髁需要与胫骨衬垫配合，两者的配合曲面要求尽善尽美。作者根据股骨髁的轮廓曲面特征改进加工策略，由磨削替代铣削，保证了加工精度要求。

文章的亮点是复杂曲面轮廓数控加工方案，方法巧妙、实用性强。通过工艺创新、刀具选型、程序优化和专用工装夹具设计，股骨髁滑道圆弧和轮廓面由铣削加工改进为砂轮磨削，简化后续的打磨和抛光工序，实现了稳定加工和批量生产，为类似零件的数控加工拓宽了工艺思路。