

DTC500 高速钻攻中心小螺纹攻丝可行性及稳定性探索与研究

刘志鹏

(沈阳机床股份有限公司, 辽宁 沈阳 110142)

摘要: 随着现代科技的发展, 各行各业对产品小型化有着极高的需求, 对机床设备的精密度要求越来越高, 对小螺纹加工技术也提出了新的考验。例如: 3C 行业电子产品逐渐小型化、便捷化, 医疗行业等一些微创手术都需要使用到小型手术设备。现在, 在小螺纹攻丝加工上还是存在一定的难题, 所以应该通过大量小螺纹切削实验, 来验证并加强其切削能力。基于此, 本文以 DTC500 高速钻攻中心为平台, 通过对 6061 铝合金 M4, M1.2 小螺纹进行实验, 来验证 6061 铝合金小螺纹加工的钻削能力和稳定性, 通过以后的大量实验验证, 逐步促进针对不同材质的零件, 以及小螺纹加工等各项参数数据实现标准化, 以期为我国以后的小螺纹切削加工技术发展与工业生产提供一定的参考。

关键词: 小螺纹; 小型化; 切削能力

中图分类号: TS642

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.32.054

文献标识码: A

本文通过 M1.2 和 M4 螺纹孔切削实验, 验证小螺纹加工在 DTC500 高速钻攻中心能否实现稳定加工, 从而为以后的工业生产提供一定的参考, 为以后加工中心制定小螺纹孔最小孔攻丝标准提供理论基础^[1]。

在机械制造业高速发展的今天, 尤其是我国航空航天科技的不断进步, 对零件小型化的精密化程度要求逐渐提高, 涉及很多精密仪器仪表的应用, 也越来越广泛。螺纹连接在零件连接中发挥不可或缺的作用, 其中小螺纹的应用越来越普及。因此, 探索和研究小螺纹切削加工技术, 对促进我国高端制造业的发展具有重要意义。

1 加工方案的确定

传统钻攻中心设备上攻丝加工基本都在 M4 以上, 所以做此次攻丝实验时应该遵循循序渐进、由易到难的方式。首先进行 M4 螺纹的攻丝实验, 待切削实验稳定后, 再进行更小螺纹孔 M1.2 的攻丝实验。

1.1 设备的选择

沈阳机床在原有钻攻设备基础上新研发一款新型钻攻中心, 型号为 DTC500。该设备根据多年钻攻市场经验, 潜心研发而成。该设备满足各种材质零件, 特别是铝合金零件加工的需求, 加工效率高, 表面质量高。加工铝件铣面最大切深为 5mm, 最小钻孔为 $\Phi 0.2\text{mm}$ 。

该设备相比于老款 TC500 设备, 产品性能有了较大提升。首先, 通过对机床床身的重新优化设计, 机床的连接刚性方面有了较大提升, 抗震性能增强, 可以承受大扭矩铣削、钻孔、攻丝加工; 优化了刀库部分装配结构, 使换刀速度由原来的 2S 提升到 1.6S; 更改了床身丝杠装配安装方式, 床身丝杠传动刚性有了较大提升; 具备刀柄二次清洁功能, 可以完全解决因刀柄清洁不干净而引发的掉刀或者加工精度突然变差等问题; 采

用“人”字形立柱设计, 使得立柱底部更加稳定, 内部为回型筋抗扭能力更强, 加工更稳定; 主轴箱采用左右热对称设计, 采用“两侧肋筋及内十字加强筋”结构, 抵消热变形, 提高了机床的稳定性; 全密封内防护三轴通过挡板与防护罩形成迷宫结构, 有效地防止加工余屑及切削液的进入, 最大化地提升了机床的稳定性; 通过切削实验对比, DTC500 高速钻攻中心铣削刀纹平滑均匀, 无跳跃及异常刀纹出现, 无明显交替纹路出现, 无象限异常刀纹出现; 能够实现最小孔 $\Phi 0.2\text{mm}$ 的加工。

该设备的主要零部件包含: 床身装配单元、主轴箱装配单元、立柱装配单元、滑鞍装配体和转台刀库等。

表1 设备参数

主轴锥度	BT30
工作台	650mm × 400mm
主轴最高转速	20000r/min
主轴电机功率	3.7/5.5kW
主轴额定输出扭矩	11.8N.m
各轴行程 (X/Y/Z)	500mm/400mm/300mm
快移速度 (X/Y/Z)	48m/min/48m/min/48m/min
定位精度 (X/Y/Z)	0.006mm/0.006mm/0.006mm
重复定位精度 (X/Y/Z)	0.004mm/0.004mm/0.004mm
刀库形式	转塔刀库
刀库数量	12把
机床轮廓尺寸	2400mm × 1800mm × 2600mm

该设备具有以下特点: 高抗震性、高精度、高效率; 整机重量提升 30%, 机床抗震性能更强; 采用滚柱导轨, 提升了产品的连接刚性, 改善了加工性能; 三轴定位精度 $6\mu\text{m}$, 三轴重复定位精度 $4\mu\text{m}$, 加工精度可达 IT5 级。

高稳定性, 即可以实现长时间稳定加工; 优化装配工艺,

过程控制精度提升 30%，增加油冷机选配功能，提升主轴的使用寿命，采用全密封防护拉板结构，提升了导轨丝杠的使用寿命。

1.2 切削材料的选择

6061 铝材属热处理可强化合金，具有良好的可成型性、可焊接性、可机加工性能，同时具有中等强度，在退火后仍能维持较好的操作性。6061 铝材的主要合金元素是镁与硅，并形成 Mg_2Si 。若含有一定量的锰与铬，则可以中和铁的坏作用；有时还会添加少量的铜或锌，以提高合金的强度，而又不使其抗腐蚀性有明显降低；导电材料中还有少量的铜，以抵消钛及铁对导电性的不良影响；锆或钛能细化晶粒与控制再结晶组织；为了改善可切削性能，可适当加入铝与铋。在 Mg_2Si 固溶于铝中，使合金有人工时效的硬化功能。

1.3 丝锥的选择

对于不同材料、不同类型的工件，有着不同的攻丝工艺。加工通孔的丝锥应该选择螺尖丝锥，这种丝锥的特点是切削能力强，适用于苛刻的切削工况。在切削过程中，螺尖丝锥将切屑穿过孔向前推出，适用于通孔丝锥。盲孔加工的丝锥应该选择螺旋槽丝锥，这种丝锥类型比较常用，切屑将沿刀杆向上排出，适用于盲孔加工。加工短切屑的丝锥应该选择直槽丝锥，这种丝锥既适用于通孔加工，也适用于盲孔加工，但对短切屑如铸铁类材料工件非常适用，通常被用在汽车行业的一些铸铁材料的缸体、缸盖、泵和阀体的加工上。最后一种是挤压丝锥，这种丝锥是无切屑丝锥解决方案，适用于低碳钢、不锈钢和铝合金加工，可用于各种类型的孔，在加工铝合金时，还可以增加材料的螺纹强度^[2]。

本次切削实验样件的材料是 6061 铝合金，采用挤压丝锥，比较合适，既解决了铝屑的排屑问题，又能够增强小螺纹孔的螺纹强度。

1.4 孔尺寸和公差

切削丝锥孔尺寸的基本计算： $D=TD-TP$ ； D = 孔径 (mm/英寸)； TD = 名义螺纹直径 (mm/英寸)； TP = 螺距 (mm/英寸)；例如： $M10 \times 1$ ；切削丝锥的孔尺寸 $=8.5mm (8.5=10-(1.5))$ ；挤压丝锥孔底孔的基本计算： $D=TD-(TP/2)$ ； D = 孔径 (mm/英寸)； TD = 名义螺纹直径 (mm/英寸)； TP = 螺距 (mm/英寸)； $M10 \times 1.5$ 挤压丝锥的钻头尺寸 $=1/4"-20$ 切削丝锥的孔尺寸 $=0.2008$ 英寸 (0.2008 英寸 $=1/4-(20)mm (9.3=10-(1.5/2))$)

1.5 加工方式的选择

现在在数控设备上主要的攻丝方式有刚性攻丝和柔性攻丝两种。刚性攻丝和柔性攻丝的区别在于：刚性攻丝是指攻丝的刀柄是刚性的，没有自动调整间隙的功能；而柔性攻丝是指攻丝的刀柄是柔性的，有调整间隙的功能。

刚性攻丝，对刀柄没要求，装夹普通钨钢刀就行，也就是丝锥被夹紧固定了，不能浮动，因此在攻丝中如果丝锥磨损太多而受不住力时，就容易折断。但刚性攻丝可以二次攻牙，假如工件要攻一个 30mm 的螺纹，结果只攻了 20mm，那么刚性

攻丝可以再次攻一下这个螺纹，攻到 30mm，而且不会出现乱牙等情况。柔性攻丝，必须要有专用刀柄，可拆卸的浮动夹头（夹丝锥），夹头是浮动的，在攻丝过程中，一旦丝锥攻不动螺纹（主要情况为丝锥刀口磨损严重）时就会自动反转而退出来，起到保护丝锥不折断的作用^[2]。

刚性攻丝和柔性攻丝两者区别的特点如下，柔性攻丝多用于开环或半闭环系统，相对于刚性攻丝的闭环系统，成本要低很多；此外，柔性攻丝因为存在累积误差，主轴转速较低，所以加工效率较低，适用于中小批量生产。刚性攻丝因为主轴转速与进给建立了严格的直线比例关系，选用优质合金刀具，可以实现高转速高进给，所以加工效率高，适用于大批量生产；对于数控调试人员的要求，涉及柔性攻丝的机床参数较少，对调试人员要求不高；另外，系统在默认状态下，一般为柔性攻丝状态，而刚性攻丝涉及的参数较多，与柔性攻丝相较，更为繁琐。

1.6 攻丝用刀柄的选择

由于攻丝的工况较复杂，所以攻丝的刀柄一般选用专用的刀柄。一般分为浮动橡胶夹套刀柄、刚性 ER 弹簧刀柄、快换攻丝刀柄和同步进给丝锥刀柄。

浮动橡胶夹套刀柄：留有一定的间隙以实现适当的路径。经常在手动和小型车床中使用。优点是橡胶夹套涵盖很宽的夹紧范围；可以拉伸和压缩，消除进给误差。

刚性 ER 弹簧刀柄：使用这种刀柄时，夹套没有浮动量，意味着主轴与轴的运动必须精确同步。这需要精度较高的数控机床。优点是刚性攻丝速度快；刀具成本更低（刚性刀柄的成本低于有间隙结构的攻丝刀柄）；刀柄设计上更加紧凑和可靠；能够加工出精度更高的螺纹。但是需要注意的是，刚性攻丝受力较大，会导致刀具寿命缩短，而且在转速较高时，不能足够快地完成反转。

快换攻丝刀柄：通常用在标准攻丝工序上，通用性好，可以小批量生产。主要用在较为老旧、不稳定的机床上。优点是可以通过快换系统，轻松固定丝锥；浮动夹套可以消除进给误差。

同步进给丝锥刀柄：带微量浮动补偿功能。优点是适合大批量生产和高精度生产；能够减少丝锥侧面的受力；通过有限补偿，可确保精度；主要用在高压内冷却液机床上。

1.7 切削液的选择

切削液供应在攻丝时是必要的，如果冷却液选择不合适，将会导致小螺纹攻丝失败。切削液的选择影响排屑是否通畅、螺纹加工质量是否合格和刀具寿命的长短。

工件的攻丝在内或外冷却液供应时，应始终作为改善排屑的首选，特别是在加工长切屑材料时以及在较深的孔（2-3 倍直径）中加工螺纹时，或者在孔深大于 3 倍直径时的首选。如果供应的是外冷却液时，喷嘴应该对准丝锥，尽量保持较近的距离，以达到最好的效果。切削液尽量使用润滑油或者矿物油基和植物油基的切削液。在小螺纹攻丝时，一定要注意机床使

用说明书中所要求的切削液类型，以免攻丝时失败。

1.8 切削前期准备

保证工件表面平整；攻丝前需要完成中心钻定心；按照挤压丝锥标准，钻螺纹孔底孔；对螺纹孔底孔进行孔口倒角处理；用压缩空气对螺纹孔底孔进行铝屑清理；保证做好螺纹孔加工前的准备工作^[2]。

2 加工难点

由于小螺纹加工存在一定的难点，比如因为攻丝直径小，铁屑很难被排出来，非常容易造成加工过程中出现丝锥断裂，导致设备停机换刀，工件报废，造成加工成本升高；其次，因为小螺纹加工的螺距小，比较容易出现乱牙现象，而且在加工过程中很难被发现，工件检测过程中虽然发现螺纹孔乱牙现象，但为时已晚，不但会造成工件报废（尤其是一些精密航空、医疗零件，费用高），也大大浪费了宝贵的研究与加工时间，使工厂效率下降^[3]。

通过对切削参数的优化，以及对切削设备及切削液的优化，来测试和验证小螺纹加工的切削能力和切削稳定性，对铝合金工件小螺纹攻丝加工具有参考价值。

3 攻丝性能测试过程及参数

3.1 M4 螺纹孔攻丝的加工测试

测试项目：M4*0.7 螺纹攻丝。攻丝形式：刚性攻丝。样件材料：6061 铝合金（工件表面光滑）。丝锥规格：M4 挤压丝锥。刀具型号：钻领钻领 57334.000。机床系统：FANUC OI-MF 系统。冷却形式：外冷、油冷却液供应（2 个喷嘴）。装夹方式：平口钳夹紧。加工个数：105 个（S1500r/min），245 个（S3000r/min），860 个（S4000r/min），90 个（S5000r/min）。加工深度：10mm。进给速度：2800（mm/min）。试验结果：采用 M4 标准塞规测量，测量结果均为通端顺利进入，止端搭头，未能进入。

3.2 M1.2 螺纹孔攻丝的加工测试

测试项目：M1.2*0.25 螺纹攻丝。攻丝形式：刚性攻丝。样件材料：6061 铝合金（工件表面光滑）。丝锥规格：M1.2 挤压丝锥。刀具型号：钻领 9211.2。机床系统：FANUC OI-MF 系统。冷却形式：外冷、油冷却液供应（2 个喷嘴）。装夹方式：平口钳夹紧。加工个数：200 个。加工深度：6mm。机床主轴转速：S4000（r/min）。进给速度：1000（mm/min）。试验结果：采用 M1.2 标准塞规测量，测量结果均为通端顺利进入，止端搭头，未能进入。

4 切削实验结论

本次通过对 M1.2 和 M4 小直径螺纹孔进行切削实验，实验材料采用 6061 铝合金，润滑冷却采用油冷方式，丝锥形式采用挤压丝锥，攻丝方式采用刚性攻丝。

实验中采用 DTC500 高速钻攻中心设备，该设备切削性能稳定、加工精度高，可以适应小直径螺纹孔刚性攻丝需求。

实验中，最小攻丝直径为 M1.2，螺纹孔攻丝数 200 个，证明 M1.2 螺纹孔在 6061 铝合金上完全可以实现稳定攻丝。攻丝的螺纹孔直径越小，加工出的合格螺纹孔数量越少，刀具寿命越短。攻丝的螺纹孔直径越小，要想获得稳定的螺纹，攻丝的切削速度就要越低。

CNC 加工的过程中，螺纹加工难度较大，在加工过程中选择合适的切削参数，如切削速度、合适的丝锥、合适的设备及配套、合理地进行数控编程，才能加工出合格且稳定数量的螺纹^[4]。

5 切削试验的局限性

在切削过程，只针对 6061 铝合金材料工件进行实验，以后要对铸铁、合金钢、钛钢等材料进行进一步的实验，来验证不同材料的攻丝性能，对实际加工有更大的借鉴作用，以及在以后的小直径螺纹孔加工参数标准化的推广上具有更大的价值。

6 未来小螺纹加工技术的优化与研发方向

在未来的发展上，随着科技生产的需要，小螺纹加工技术也需要技术革新。随着小螺纹加工技术的不断成熟，数控机床精度的不断提升，丝锥材料的不断进步，小螺纹切削参数都会得以提升。在未来，精密机械和航空航天技术对小螺纹加工效率的需求将不断加大，高速刚性攻丝将成为其未来的技术优化与研发方向。

7 结语

随着各行各业需要加工零件逐渐小型化和复杂化，小螺纹加工已经成为数控机床一项必不可少的加工需求。在机床设计和制造上，要确保机床设计精度、零件加工精度、装配精度都达到标准要求。随着小螺纹加工的大量实验，各项数据得到验证，以后将迫切需要将小螺纹加工切削标准作为机床出厂标准，必须加快与加大小螺纹加工技术的优化和研发。

参考文献：

- [1] 张慧云. 小螺纹数控加工试验 [M]. 北京：现代制造工程，2011.
- [2] 毛爽军. M4 以下小内螺纹的加工方法分析 [M]. 北京：机械工程师，2021.
- [3] 卢永祥, 石晓飞. 小螺纹和 ST 螺纹的加工工艺研究 [J]. 新技术新工艺，2014, (06)：20-22.
- [4] 李志虎, 白文召. 小螺纹孔系的加工工艺研究 [J]. 机电元件，2017, 37 (02)：42-44.

作者简介：刘志鹏（1986-），男，辽宁阜新人，大学本科，工程师，主要从事钻攻中心机床设计、立式加工中心设计、车床切削工艺研究。