

# 螺纹孔数控加工方法研究

陶卫军 牛雪平 于海鹏

郑州飞机装备有限责任公司 河南 郑州 450005

**摘要:** 由于在加工中心上加工螺纹不稳定,容易断丝锥,特别针对难加工材料或者M6以下的小螺纹,只能由钳工手工攻丝。文章分析了丝锥折断的成因,阐述了在加工中心上使用柔性攻丝或者刚性攻丝加工策略来实现数控攻丝的可行性。针对难加工材料,可以通过螺纹铣削的方法进行螺纹加工。

**关键词:** 螺纹; 刚性攻丝; 螺纹铣削

## 引言

在生产中,针对小规格螺纹孔,尤其是难加工材料上的螺纹孔往往由钳工手动攻丝。钳工攻丝存在以下缺点:1、手扶电钻攻丝不稳,容易导致螺纹轴线与底孔轴线不重合,对有位置度要求的螺纹加工质量达不到预期,如某型号弹射止动器,因M6-6G螺纹孔与 $\phi 8E8$ 孔存在同轴度要求,手工攻丝频繁导致后期出现装配干涉问题;2、一致性不好,例如针对盲孔攻丝,对螺纹有深度要求时,手工攻丝难以保证;3、加工效率低,针对螺纹特征需要额外增加钳工工序,零件加工周期变长。为了提高螺纹孔加工的质量与效率,需要摸索出适合在加工中心上进行螺纹孔加工的方法。

## 1 刚性攻丝

### 1.1 加工中心柔性攻丝与刚性攻丝

理论上,攻螺纹时,主轴转速与进给需要根据螺纹规格对应给定,满足进给 $F = \text{主轴转速} S \cdot \text{螺距} P$ ,一般的攻螺纹功能看,主轴的转速和进给是系统独立控制,因此上面的条件可能并不满足,当丝锥攻丝执行到孔底部时,需要经历转速与进给减速——停止——反转加速的过程,由于是各自独立执行加、减速,因此转速与进给的对应关系更不能满足,这就导致丝锥在攻丝到孔底部时出现断裂现象。为此,通常需要专门可伸缩攻丝刀柄,通过伸缩微调弥补转速与进给的不匹配的缺陷,这就是柔性攻丝。柔性攻丝虽然可以保证数控攻丝的正常进行,但是也存在以下缺点:(1)攻丝精度不高,只能满足6H以上精度;(2)攻丝效率较低,只能在低转速下工作。

如果控制主轴的旋转和Z轴的进给总是同步,那么攻丝的精度就可以得到保证。这种方法称为刚性攻丝。这时主轴的运行从速度系统变成位置系统运行。通过加工中心主轴位置编码器把主轴旋转的角度位置反馈给控制

系统形成闭环,同时与Z轴建立同步关系,这样就严格保证了主轴旋转角度与Z轴进给尺寸的线性比例关系。有了这种同步关系,即使由于惯量、加减速时间常数不同、负载波动而造成的主轴转动角度或Z轴移动的位置变化也不影响加工精度,因为主轴转角与Z轴进给是同步的,在攻丝中无论任何一方受干扰发生变化,则另一方也会相应变化,并永远维持线性比例关系。刚性攻丝可以弥补柔性攻丝缺点,有以下优点:(1)允许利用普通的钻夹头代替专用攻丝刀柄,具有较好的适应性;(2)攻丝精度高;(3)效率高,允许在高转速下工作。

### 1.2 刚性攻丝系统参数设置

加工中心默认为柔性攻丝,如果不更改相应的系统参数,采用G84指令攻丝为柔性攻丝,此时必须利用专用攻丝刀柄,否则丝锥容易折断。只有修改与刚性攻丝模式相应的系统参数后,采用G84指令攻丝则变成刚性攻丝模式。需要修改的系统参数如表1所示:

参数号	说明
5200#0	指定刚性攻丝方法
15200#4	在刚性攻丝回退时,倍率是否有效
15200#5	刚性攻丝时,是否使用高速排屑攻丝循环
15201#1	刚性攻丝时,是否使用平滑控制
15202#0	启动刚性攻丝时,是否执行准停
15204#0	在诊断页面中显示攻丝同步误差/主轴与攻丝轴差值
15211	刚性攻丝返回时的倍率值
1505213	高速排屑攻丝回退值
25214	刚性攻丝同步误差范围设定
2005241	刚性攻丝主轴最高转速(一档)
25005242	刚性攻丝主轴最高转速(二档)
25005243	刚性攻丝主轴最高转速(三档)
25005261	刚性攻丝加减速时间常数(一档)
10005262	刚性攻丝加减速时间常数(二档)
10005263	刚性攻丝加减速时间常数(三档)
10005271	刚性攻丝回退时加、减速时间常数(一档)
10005272	刚性攻丝回退时加、减速时间常数(二档)
10005273	刚性攻丝回退时加、减速时间常数(三档)
10005280	刚性攻丝回退时加、减速时间常数(三档)

刚性攻丝时, 主轴和攻丝轴的位置环增益 30005300 刚性攻丝时, 攻丝轴在位宽度 205301 刚性攻丝时, 主轴在位宽度 205310 刚性攻丝时, 攻丝轴运动中的位置偏差极限 300005311 刚性攻丝时, 主轴在运动中的位置偏差极限 300005312 刚性攻丝时, 攻丝轴停止时的位置偏差极限值 2005313 刚性攻丝时, 主轴轴停止时的位置偏差极限值 200<sup>[1]</sup>

### 1.3 刚性攻丝诊断

为了确定刚性攻丝参数设置合理, 进行刚性攻丝之前, 需要进行刚性攻丝诊断。当系统参数5204#0为1时, 可以在机床的诊断界面看到与攻丝相关的几个诊断参数。进入诊断页面的步骤为: 机床操作面板按下SYSTEM→参数→诊断, 然后找到诊断参数450,451,452,453。参数450为主轴位置偏差(以脉冲为单位), 参数451为主轴运动脉冲数(以脉冲为单位), 参数452为主轴与攻丝轴瞬时同步误差(以%为单位), 正值表示主轴超前于攻丝轴, 负值反之, 参数453的值为主轴和攻丝轴的最大同步误差(以%为单位)。

在机床执行G84攻丝时, 观察相应诊断参数, 若不满参数452等于0, 参数453 < 10则需要对刚性攻丝参数进行调整。调整步骤如下: (1) 检查参数4065与参数5280是否一致, 如果不一致调整为一致, 如果一致则同时增大参数4065与参数5280~5283(主轴与攻丝轴位置回路增益)(2) 增大攻丝加减速时间常数参数5261~5263, 退刀加减速时间常数5271~5273。

## 2 螺纹的铣削

螺纹的铣削加工一般情况下, 只要参数设置合理, 在加工中心上使用刚性攻丝可以稳定的攻丝, 但是针对难加工材料的小螺纹攻丝, 例如钛合金、不锈钢以及高强度钢等, 丝锥攻丝依旧存在较大的风险, 原因在于材料本身的难加工特性, 丝锥攻丝过程中因切削力过大而断裂。针对这种情况可以应用螺纹铣削加工方法, 螺纹铣削加工具有加工风险小、精度高、适用性强等特点。

### 2.1 适用于小螺纹铣削的两种螺纹铣刀

螺纹铣刀分为单牙螺纹铣刀及多牙螺纹铣刀, 两者各有加工优势, 单牙螺纹铣刀适用于加工不同螺距的螺纹, 理论上只要螺纹铣刀牙高大于螺纹牙高, 且铣刀刃部直径小于螺纹底孔直径时均可以使用单牙铣刀加工, 适用性极强, 但是加工效率偏低; 多牙螺纹铣刀可以同时多扣螺纹加工, 如果铣刀刃长大于螺纹长度, 只需要螺旋一圈即可完成整个螺纹的加工, 效率较高, 但是螺纹螺距必须与铣刀牙距一致。螺纹铣刀加工时均通

过在孔内进行螺旋切削运动实现螺纹加工, 螺旋轨迹的螺距与螺纹螺距必须一致。<sup>[2]</sup>

### 2.2 螺纹铣刀宏程序编制。

适用于小螺纹加工的螺纹铣刀整体刚性差, 容易崩刃、断裂。所以实际使用时应按照材料的切削性难易进行径向分层, 尤其针对多牙螺纹铣刀, 必须径向分层, 为了保证切削的连贯性, 螺纹铣削进退刀按三轴联动圆弧进退刀。另外为了保证宏程序通用性好, 应按实际使用需求设置多个可赋值变量。该程序设置了14个可赋值变量, 能很好满足铣螺纹使用需求, 宏程序编制如下, 该程序的路径轨迹如图2所示:

```
#24 = $1(X = )#25 = $2(Y = )#7 = $3(M = )#17 = $4(P = )#18 = $5(R = )#26 = $6(Z = )#21 = $7(JING JIA GONG LIU LIANG)#1 = $8(LUOXUANJINDAO JIAO DU)#8 = $9(AE = )#27 = $10(QI SHI ZHI JING)#11 = $11(DAO PIAN HAO)#9 = $12(F = )图2#2 = $14(JIN DAO F XI SHU)#33 = #5003#30 = $13(YUAN HU JIN DAO ZHI JING)#30 = #30/#7#18 = #18-#26#18 = #18/#17#6 = FUP[#18]#18 = #26+#6*#17#18 = #18+#17*#1/360(SHI JI R = ?)#31 = #7-#21*2-#27#31 = #31/2#31 = FUP[#31/#8]#32 = #31 (JING XIANG FEN CENG CI SHU)#8 = [#7-#21*2-#27]*0.5/#32 (SHI JI AE = )#27 = #7-#21*2-#8*2*[#32-1] (SHI JI QI SHI ZHI JING)#28 = [#7-#21*2]/2#27 = #27/2#7 = #7/2WHILE[#27LE#28]DO1#29 = #18-#17*#1/360#12 = 1#16 = #26-#17*#1/360G0G90X#24Y#25Z#18G1X[#24+[1-#30]*#27]F[#9*#2]G1G42D#11X[[#24+[1-#30]*#27]+#30*#27*COS[#1]]Y[#25+1*#30*#27*SIN[#1]]G2X[#24+#27]Y#25Z#29R[#30*#27]F#9WHILE[#12LE#6]DO2#29 = #29-#17G2I[-#27]J0Z#29F#9#12 = #12+1END2G2X[[#24+[1-#30]*#27]+#30*#27*COS[#1]]Y[#25-#30*#27*SIN[#1]]Z[#16]R[#30*#27]G1G40X[#24+[1-#30]*#27]Y#25F[#9*10]G1X#24Y#25F[#9*10]#27 = #27+#8END1(YI XIA JING JIA GONG BU FEN)WHILE[#21NE0]DO1#12 = 1#29 = #18-#17*#1/360#16 = #26-#17*#1/360G0G90X#24Y#25Z#18G1X[#24+[1-#30]*#7]F[#9*#2]G1G42D#11X[[#24+[1-#30]*#7]+#30*#7*COS[#1]]Y[#25+1*#30*#7*SIN[#1]]F[#9*#2]G2X[#24+#7]Y#25Z#29R[#30*#7]F#9WHILE[#12LE#6]DO2#29 = #29-#17G2I[-#7]J0Z#29F#9#12 = #12+1END2G2X[[#24+[1-#30]*#7]+#30*#7*COS[#1]]Y[#25-#30*#7*SIN[#1]]Z[#16]R[#30*#7]G1G40X[#24+[1-#30]*#7]Y#25F[#9*10]
```

G1X#24Y#25#21 = 0END1G0Z#33

#### 结语

针对材质为铝合金、普通合金结构钢等切削性能良好M5及以上螺纹孔加工优先采用刚性模式攻丝,加工稳定可靠且效率较高。针对各种难加工材料,如沉淀硬化不锈钢、钛合金、高强度钢等应优先采用螺纹铣削加工的方法来进行加工,尤其针对M5以下的小螺纹孔,采用

螺纹铣刀铣削加工,加工状态稳定,质量可靠。目前这两类加工方法已在车间内部进行大范围推广应用,取得了较好的效果。

#### 参考文献:

- [1]《金属切削原理》陈日曜北京机械工业出版社
- [2]《FANUC数控系统用户宏程序与编程技巧》罗学科等译北京化学工业出版社