

内锥管螺纹的铣削加工

撰文 / 中山市建斌中等职业技术学校 吴惠文

本文主要介绍运用 FANUC 系统的加工中心来完成美制 60° NPT1 $\frac{1}{4}$ 的内锥管螺纹零件的加工。根据内锥管螺纹的特点与应用场合, 结合在 FANUC 系统加工中心的优势, 运用宏程序的转移与循环的语句结合实际加工要求, 然后用单刃螺纹铣刀来实现对内锥管螺纹铣削, 精确高效地完成了零件的要求。

一、引言

内锥管螺纹在航天、航空、机械和模具的应用越来越广泛。现代制造中, 综合零部件在加工中心上铣削内锥管螺纹可以减少工装次数提高加工效率、精度。如图 1 所示的液压连接零件为例介绍内锥管螺纹在加工中心的加工方法与编程。零件具有密封性的内锥管螺纹, 要求保证其加工精度, 密封性。

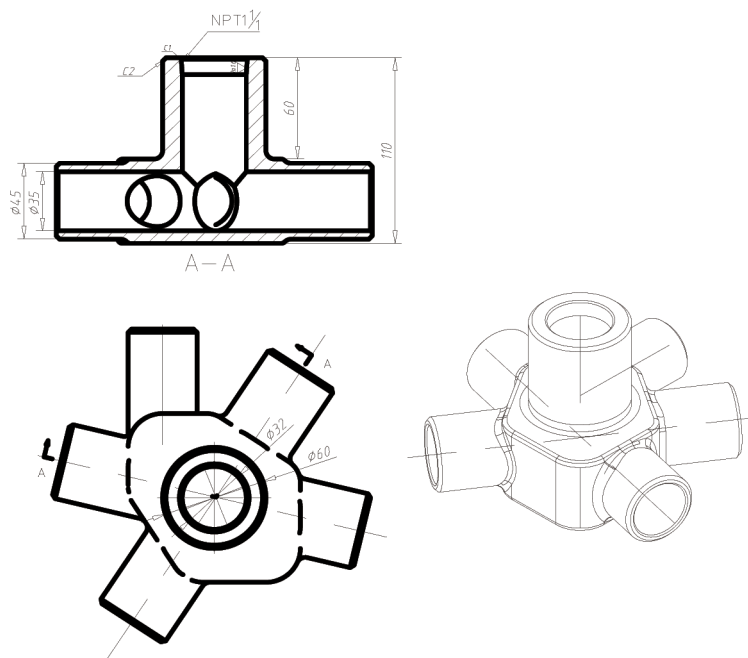


图 1 液压连接件零件图

技术要求:

- (1) 未注内倒角 C_1 , 外倒角 C_2 。
- (2) 未注公差按 IT10。

材料: 铝合金 ZL10。

二、零件分析

我国最常用的管螺纹主要分为三种有，英制的 55° 密封管螺纹、55° 非密封管螺纹、美制的 60° 密封管螺纹。适用于管子、阀门、管接头、旋塞及其他管跟附件的螺纹联结。55° 密封管螺纹和 60° 密封管螺纹具有密封性但，常常会受到加工精度和形位公差的影响力，其密封性不可靠，实际应用中一般需要在配合面上施加密封介质，如密封胶带或密封胶等。

三、加工方案分析

1. 圆锥管螺纹的分析

60° 内锥管螺纹是一种典型的密封性管螺纹。其基本牙型如图 2 所示。图中相应的代码如表 1 所示。

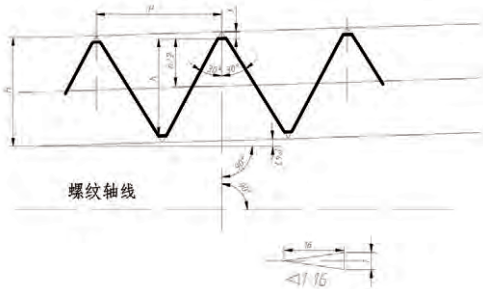


图 2 圆锥管螺纹的基本牙型

表 1 代码关系公式

代码	术语	关系公式
P	螺距	$P=25.4/n$
H	原始三角形高度	$H=0.866025P$
h	牙型高度	$h=0.80P$
f	削平高度	$f=0.033P$
α	牙型角	$\alpha=60^\circ$

注：n 为每 25.4mm 内所包含的螺纹牙数

具体的相关代码数值如表 2 所示。

表 2 螺纹牙型尺寸

每 25.4mm 内所包含的螺纹牙数 n	螺距 P mm	原始三角形高度 H	牙型高度 h
27	0.941	0.815	0.753
18	1.411	1.222	1.129
14	1.814	1.571	1.451
11.5	2.209	1.913	1.767
8	3.175	2.750	2.540

零件图内的 NPT1 $\frac{1}{2}$ 内锥管螺纹通过查 GB7306-87 《用螺纹密封的管螺纹》和上述图表公式可以得出以下相关数

据。NPT1 $\frac{1}{2}$ ：(1) 螺纹大径 D ：41.985mm；(2) 螺纹中径 D_2 ：40.218mm；(3) 螺纹小径 D_3 ：38.451mm；(4) 每 25.4mm 内所包含的螺纹牙数 n ：11.5；(5) 螺距 $P=25.4/n=25.4/11.5=2.209\text{mm}$ ；(6) 牙型高度 $h=0.80P=0.8\times 2.209=1.767\text{mm}$ ；(7) 牙型角 $\alpha=60^\circ$ ；(8) 60° 内管螺纹的锥度为 1 : 16；(9) 内圆锥半角 $\frac{\alpha}{2}$ 采用近似法计算，代号取 0.0175： $\frac{\alpha}{2}=1/16/2/0.0175=1.7857$ 。

2. 加工材料分析

零件材料为铸造铝合金 ZL104，其材料具有以下特点。因其晶体量多，又加入了 Mn，抵消了材料中混入的 Fe 有害作用，有较好的铸造性能和优良的气密性、耐腐蚀性，焊接和切削加工性能也比较好，但耐热性能较差，适合制作形状复杂、尺寸较大的有较大负荷的动力结构件，如增压器壳体、气缸盖，气缸套，液压连接件等零件。其密度 $\rho=2.65\text{g}\cdot\text{cm}^3$ ，熔化温度范围 569 ~ 601℃，20 ~ 100℃ 时平均线膨胀系数 $21.7\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，100℃ 时比热容 753J/(kg·K)，25℃ 时热导率 147W/(m·K)，硬度为 65HB ~ 70HB，屈服强度 195MPa，伸长率 1.5%。由上述性能参数可知，铝合金 ZL104 材料加工切削性能较好，一般的机床、刀具，和冷却条件都可以满足使用。

3. 刀具选用与分析

据铝合金 ZL104 上述相关性能，结合工厂现有的刀具。选用 60° 镶刀片式单刃螺纹铣刀，回转半径 $R=15\text{mm}$ ，刀杆半径 13mm，长度约 80mm，刚性良好，如图 3 所示。



图 3 60° 镶刀片式单刃螺纹铣刀

4. 加工切削参数分析

单刃螺纹铣刀的切削参数分析，单刃螺纹铣刀用于加工 NPT1 $\frac{1}{2}$ 内锥管螺纹，加工余量根据整个螺纹牙高来选定切削用量如下。

(1) 切削速度 N 选择：

$$n = \frac{1000v_c}{\pi D} = \frac{1000 \times 220}{3.14 \times 30} \approx 2300 \text{ r/min}。$$

其中, v_c 切削速度查表得 220m/min , D 为单刃螺纹铣刀直径。

(2) 确定进给量 F : $v_f=f_z n=0.18\times 1\times 2300\approx 410\text{mm/min}$ 。其中, f_z 为每齿进给量, 查表得 0.18齿/min , Z 为齿数, n 为转速。

(3) 背吃刀量确定: 结合 NPT $1\frac{1}{4}$ 内锥管螺纹螺距 $P=2.209\text{mm}$, 牙型高度 $h=1.767\text{mm}$, 与一般螺纹加工吃刀量的经验值。确定 NPT $1\frac{1}{4}$ 内锥管螺纹平均分 6 刀进行加工: $a_p=h/6=1.767/6\approx 0.295\text{mm}$ 。其中, h 为牙型高度, 6 次为经验值。

5. 加工工艺确定

零件图上 NPT $1\frac{1}{4}$ 内锥管螺纹加工工艺确定如表 3 所示。

表 3 NPT $1\frac{1}{4}$ 内锥管螺纹加工工艺卡片

材料牌号	铝 ZL104	毛坯种类	铸件	零件名称	液压连接器	
工序号	工序名称	设备名称	设备型号	夹具名称	冷却液	
1	铣削	加工中心		压板	煤油	
工步号	工步内容	刀具号	刀具	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	背吃刀量 (mm)
1	内锥管螺纹	2	单刃螺纹铣刀	2300	410	0.28

四、内锥管螺纹走刀路线分析与编程

1. 内锥管螺纹走刀路线设计

加工的螺纹孔为通孔排屑条件好, 选择螺纹通孔自上而下的加工方法, 加工流程应该: 先快速定位到螺纹孔中心→快进到安全平面(即: 螺旋进给起始位置高度)→刀具进到空间切入圆弧起点→沿切入圆弧进到螺纹顶部大径→沿锥螺旋线加工到孔深→沿空间切入圆弧切出→快退到孔中心→返回到返回平面。内锥管螺纹走刀路线如图 4 所示。

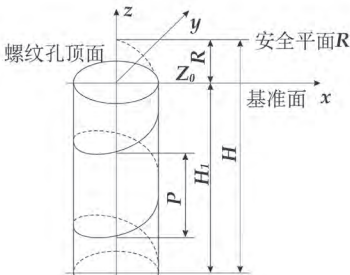


图 4 内锥管螺纹走刀路线

2. 内锥管螺纹编程思路

(1) 将单刃螺纹刀从螺纹孔加工定位到自上而下走完

一刀的过程编写为一个子程序, 使程序可以像调用标准循环一样调用, 具有通用性。另外考虑到是内锥螺纹孔的螺纹切削的半径一直是变值, 所以将程序设计成可传递参数的宏程序。

(2) 利用 FANUC 系统中圆锥螺旋插补指令完成螺旋插补运动。圆锥螺旋插补指令: $G17\{G02/G03\}X_Y_Z_I_J_F_$ 。其中: $G17$: XY 平面; $G02/G03$: 为顺时针圆弧插补/逆时针圆弧插补指令; X 、 Y 、 Z : 圆弧终点坐标值; I/J : 从圆弧起点相对于圆心位置, 在 X/Y 轴上的分量。

在内圆锥管螺纹加工中, 实际上是借助 $G02$ 或 $G03$ 指令完成螺旋进给运动的。但要注意在有锥度的加工中, FANUC 系统中有个重要的参数说明: 在 FANUC 系统中,

有一个参数 $NO.3410$, 该参数定义为: 在 $G02/G03$ 指令中, 圆的起始点的半径与终点半径之差的允许极限值。当加工中圆的起始点与终点在半径方向上的差值一旦超过此值时, 系统就发出 P/S 报警。

在加工锥度螺纹时, 由于其在 Z 方向进给一个螺距的同时, 直径值也会随之变化, 其插补的起始点与终点肯定不在同一个圆柱面上, 因此在加工内圆锥管螺纹时, 首先要根据加工零件锥度的实际尺寸修改 $NO.3410$ 的值, 或者就设置 0, 因为当设定值为 0 时, 系统就不进行圆弧半径差的检查工作。

3. 相关计算

为保证圆锥螺纹切削的完整, 走刀路线应长于圆锥面, 设定向上高出 0.5mm , 向下延长 0.5mm 。在不加入刀具半径补偿的情况下通过计算获得相应的起始半径: 内锥螺纹相关参数: (1) 设螺纹铣刀具实际起始圆弧半径 $R_2=(0.5\tan 1.786+D_2/2)-R_{刀2}=(0.0155+38.451\div 2)-15=4.241\text{mm}$ 。式中, D_2 为 NPT $1\frac{1}{4}$ 内锥管螺纹小径, $R_{刀2}$ 为螺纹铣刀具半径。(2) 设实际走刀至螺纹大径时的半径为 R_6 , $R_6=R_2+h=4.241+1.767=6.008\text{mm}$ 。为能让 6 次平均切削整除取 $R_6\approx 6.011\text{mm}$ 。(3) 在加工 NPT $1\frac{1}{4}$ 内锥管螺纹前锥内锥孔已完成每一次切削, 现在分 5 次切削, 每次切深 0.295mm , 以下为 5 次定位刀具实际起始圆弧半径值 $R_3\sim R_8$ 。其中 R_1 锥孔已加工出来。

$$R_3=R_2+a_p=4.241+0.295=4.536$$

$$R_4=R_3+a_p=4.536+0.295=4.831$$

$$R_5=R_4+a_p=4.831+0.295=5.126$$

$$R_6 = R_5 + a_p = 5.126 + 0.295 = 5.421$$

$$R_7 = R_6 + a_p = 5.421 + 0.295 = 5.716$$

$$R_8 = R_7 + a_p = 5.716 + 0.295 = 6.011$$

4. 加工程序

(1) 主程序。

%

O0001 程序名

G90G54G80G49G40G21G17 程序初始化

G00Z200Z 方向提刀

X0Y0X、Y 方向快速定位

M06T01 换第 1 把刀（螺纹铣刀）

S2300M03 主轴以 2300r/min 的速度正转

G00G43Z2H02M07Z 方向快速定位 2 号刀具长度补偿，

切削液开

G65P0001 调用 O0001 号子程序

M30 主程序结束

% 程序结束符

(2) NPT 内锥管螺纹子程序。

% 程序起始符

O0001 程序名

N01#10=11 螺纹深度值

N02#11=4.536 螺纹起始点半径

N03#12=0.295 螺纹每刀的吃量

N04#13=1.785 圆锥半角值

N05#14=0.5Z 方向起始坐标

N06#15=TAN[#13] 圆锥角的正切值

N07#16=2.209 螺距

N08#17=#16*#151 个螺距所以对应的半径变化量

N09#18=#11-#10*#15 螺纹底部（小端）的半径

N10G00X4.241Y0 刀具 X、Y 方向快速定位

N11Z1 刀具 Z 方向快速定位

N12G01X#11YOF410 刀具 X、Y 方向定位

N13Z#14 刀具 X、Y 方向定位

N14WHILE[#11GT#18]DO1 如果 #11 大于 #18，

循环 1 继续

N15G91G02X-#17I#11Z-#16G02 螺旋加工至下一

层，进行圆锥插补

N16#11=#11-#17 刀具回转半径递减 #17

N17END1 循环 1 结束

N18G90G00X0Y0 绝对方式编程回工件原点

N19Z1Z 方向提刀

N20#11=#11+[#10*#15]+#12 第二到第五刀起始点半径

N21#18=#11-#10*#15 第二到第五刀螺纹小端半径

N22IF[#11LT6.011]GOTO10 如果 #11 小于 6.011，循环 N10 继续

N23M99 子程序结束

% 程序结束符

五、结语

由于锥度螺纹的切削半径是变值，所以其数控加工程序的编写是一个难度较大的过程，关键要注意 3 点。

(1) 建立半径变化规律的表达式是关键，这对编程人员的数学表达能力有较高的要求。

(2) 注意螺旋切削起点位置及半径的确定，这要符合锥度变化的规律，同时初始位置的高度要与螺距相匹配。

(3) 要注意 FANUC 系统中参数 N0.3410 的修调，否则加工中会报警。

通过液压连接零件的生产实践，证明了可以在加工中心上运用宏程序编程来实现内圆锥螺纹零件的加工，减少工装次数，提高劳动生产率，降低了加工成本，取得了较好的经济效益。