

利用内槽刀具加工ACME螺纹的方法

靳小海¹, 王梓曼², 靳师琪², 蒋宇锋³

1. 河北太行机械工业有限公司 河北石家庄 050000

2. 河北工业大学 天津 300400

3. 常州中车铁马科技实业有限公司 江苏常州 213011

摘要: 由于“刀尖轨迹仿形法”的加工效率低, 因此极少应用于日常生产中, 但为完成特定条件下的特殊加工要求, 可作为一种应急工艺手段, 弥补常规螺纹加工方法的缺点。详细介绍了在ACME螺纹的抢制任务中, “刀尖轨迹仿形法”在螺纹加工过程中的适用性与必要性, 涉及内槽刀具的改制、刀尖圆弧半径手工补偿以及宏程序编制等内容。

关键词: ACME梯形螺纹; 螺纹升角; 刀尖圆弧补偿; 宏程序

1 序言

新产品试制多为紧急任务, 数量少、生产周期短且质量要求高, 保证交货期抢占市场先机是第一要务。在多年的试制生产实践过程中, 操作人员多次遭遇棘手的异形螺纹零件加工问题, 若采用高效的“成形刀具法”加工, 首先需要定制专用的螺纹刀具, 此类刀具费用不菲且交货周期长, 难以满足客户要求, 因此, 在解决这类紧急加工任务时, 我们通常采取“刀尖轨迹仿形法”。

这种以“插补”为原理的加工方法, 虽然单件加工效率低, 不适合日常大批量生产, 但灵活性好为可取之处, 可提升试制任务的整体完成效率。实践证明这种方法是新产品试制加工过程中非常实用的工艺方法。

下面就以新产品试制过程中遇到的ACME螺纹工艺攻关问题展示其应用方法。

2 提出问题

图1所示零件为调整螺母, 是我公司承制的铁路机车零件, 由图1中“I放大”中的螺纹参数可知, 该螺纹牙型角 29° , 为短齿梯形螺纹, 牙型半角偏差只有 $\pm 0.25^\circ$, 加工精度要求高, 且三线螺纹的导程大, 最棘手的是螺纹小径处 $R0.4\text{mm}$ 圆弧的过渡加工问题。

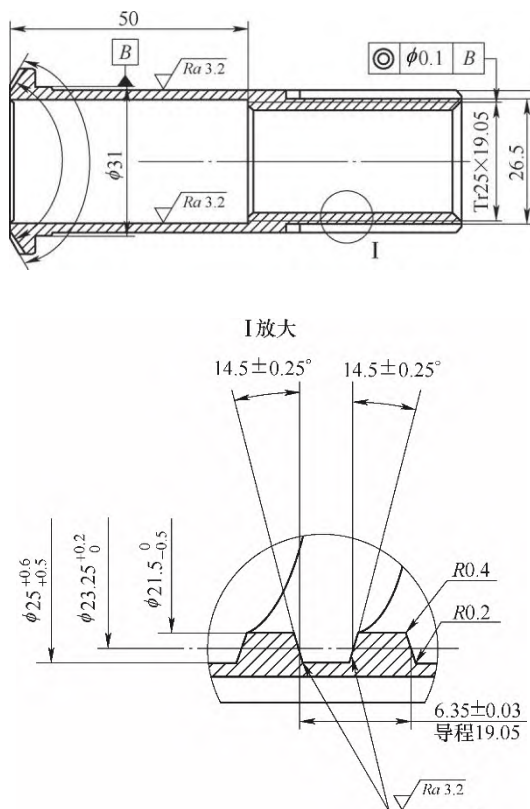


图1 调整螺母

对于大批量加工生产来说, 加工该螺纹应定制专用的螺纹刀片, 通过成形加工的工艺方式实现。但因该产品的工期短且数量少, 专用螺纹刀具的定制周期难以满足用户要求, 故利用数控插补原理,

通过编制专用宏程序的方式,实现以标准内槽刀具代替专用螺纹刀具的加工工艺,确保及时完成产品试制任务。掌握了小角度刀具通过“刀尖轨迹仿形法”加工特殊螺纹的通用加工方法,在多样化新产品试制、快速抢占市场等方面发挥了至关重要的作用。

3 螺纹车削方法

3.1 成形刀具法

当刀具的刀尖角与螺纹牙型角相等时,一般选用螺纹加工通用方法,该方法适用于小导程螺纹的加工。尽管在进刀方法中有直进法、斜进法和交错法,但本质上仍是依靠刀具的轮廓精度来确保螺纹的实际加工精度^[1]。

螺纹刀具可分为全牙型螺纹刀(见图2)和泛牙型螺纹刀(见图3)。全牙型螺纹刀只适合特定规格的螺纹加工,属于专用刀具,加工质量好、效率高,但通用性差,适合大批量加工;泛牙型螺纹刀的加工范围相对较广,加工质量低于全牙型螺纹刀,适合单件、小批量的螺纹加工。

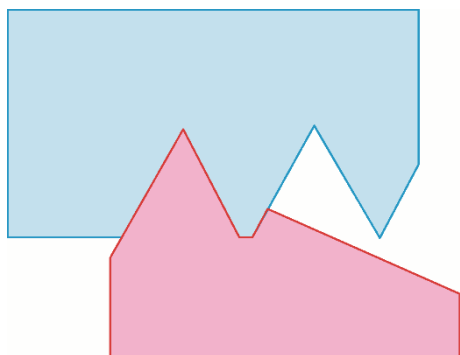


图2 全牙型螺纹刀

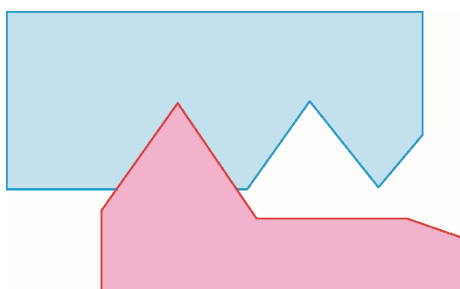


图3 泛牙型螺纹刀

3.2 刀尖轨迹仿形法

如图4所示,依靠刀尖的运动轨迹获得形状精度的方法称为“刀尖轨迹仿形法”,即让刀具相对于

工件作有规律的运动,进行刀尖逐点插补运动,从而获得所要求的轮廓几何形状,由此获得的形状精度取决于成形运动精度,实际加工精度由机床的几何精度和数控插补方式决定。该方法适合特殊螺纹的小批量加工,尤其适合新产品的试制加工。

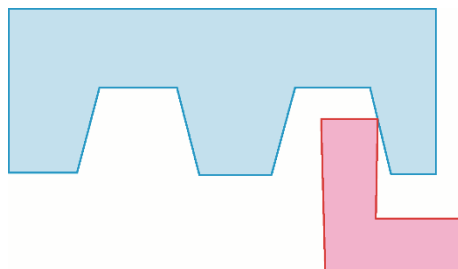


图4 刀尖轨迹仿形法

4 具体工艺方法

4.1 刀具制作

(1) 刀具样式 针对此次试制ACME螺纹的技术参数要求,考虑到螺纹的几何结构、工件材质和刀具悬伸比等因素,本着尽可能增加工艺系统刚性的原则,最终选择如图5所示的 $\phi 16\text{mm}$ 内槽刀具及伊斯卡优质防振内槽刀杆,刀片选用切削刃宽2mm、刀尖圆弧半径0.1mm的增强型优质IC908材质硬质合金刀片。



图5 $\phi 16\text{mm}$ 内槽刀具

(2) 螺纹升角 图6为螺纹升角计算原理示意,该三线螺纹导程 S 为19.05mm,螺纹中径 d_2 为23.35mm,在改制刀具前,首先计算出螺纹的升角 $\theta(^{\circ})$,计算公式为

$$\theta = \arctan S / (\pi d_2) \quad (1)$$

将相关参数代入式(1),可得 $\theta = \arctan 19.05 / (23.35\pi) = 14.56^{\circ}$ 。

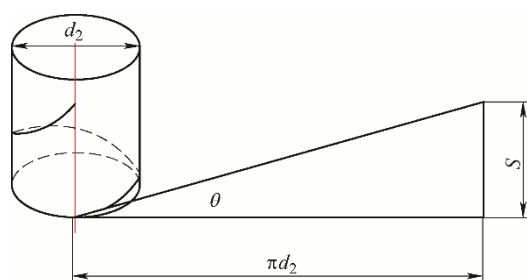


图6 螺纹升角计算原理示意

由式(1)可知,螺纹升角 θ 通常用螺纹中径计算,但实际上整个螺纹面各处的升角是不一样的,以小径为例,小径处最大升角约为 16° 。为避免刀具干涉问题,利用金刚石砂轮对刀片的左后角进行刃磨,考虑到刀具在进行纵向切削时刀具后角会减小的情况,需将刀片的左后角刃磨成 $25^\circ \sim 30^\circ$ ^[2],螺纹有效深度应 $>2.15\text{mm}$,刃磨长度应 $>2.5\text{mm}$,首选对刀杆相应部位进行刃磨的方式,防止出现干涉情况。改制后的刀具如图7所示。



图7 改制后的刀具

4.2 程序设计及计算

(1) 程序结构及参数计算 选择灵活高效的手工宏程序编程方法,通过配置相应宏变量和科学合理的算法,使程序短小精炼、结构紧凑。采用双层循环嵌套结构,外层采用轴向分头法控制螺纹分头,内层控制螺纹的加工。加工时,先进行齿顶倒圆弧工序,再进行梯形螺纹加工工序,以径向进给为自变量,计算轴向点位,先中心后两侧分层加工,由浅及深,合理控制自变量和步进量以保证加工精度^[3]。

由于直螺纹加工属于点位加工,螺纹切削指令无法进行刀尖圆弧补偿,因此为了保证 $R \leq 0.4\text{mm}$ 圆弧的轮廓精度,需要依据数控加工刀尖圆弧补偿原理,手工计算刀尖圆弧的补偿量,用刀尖圆弧中心轨迹编制程序来实现刀尖圆弧偏差补偿。具体操作

方法为:①利用电子图版软件绘制螺纹理论几何轮廓。②利用刀尖圆弧中心轨迹线是理论轮廓线的等距线原理,绘制刀尖圆弧中心轨迹线(见图8)。③进行必要的数值计算,求取程序控制参数。

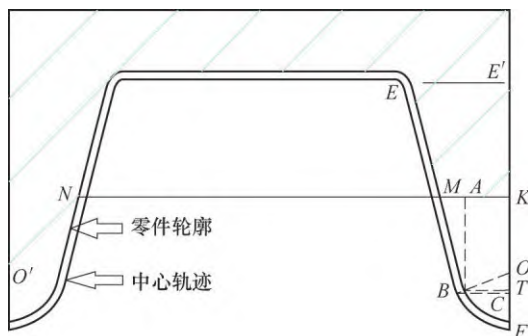


图8 刀尖中心轨迹线

参数计算过程如下所述。

$$OT = 0.4 \sin 14.5^\circ = 0.1 \text{ (mm)}$$

$$OK = (23.35 - 21.25) / 2 - 0.4 = 0.65 \text{ (mm)}$$

$$KT = OK + OT = 0.65 + 0.1 = 0.75 \text{ (mm)}$$

$$MA = KT \tan 14.5^\circ$$

$$= 0.75 \times \tan 14.5^\circ = 0.194 \text{ (mm)}$$

$$AK = 0.4 \cos 14.5^\circ = 0.387 \text{ (mm)}$$

$$OO' = MN + 2 \times (MA + AK) = 6.35 / 2 + 2 \times (0.194 + 0.387) = 4.34 \text{ (mm)}$$

$$OC = 0.5 \sin 14.5^\circ = 0.125 \text{ (mm)}$$

$$CF = 0.5 - OC = 0.5 - 0.125 = 0.375 \text{ (mm)}$$

$$E'F = (23.35 \times 1.08 - 21.25) / 2 = 2.15 \text{ (mm)}$$

其中, CF 、 $E'F$ 是自变量的取值范围, OO' 是螺纹宽度计算参数。

(2) 数控程序 具体如下。

```
T0404
S300M3
G0X18Z12.7
M8
#3=6.35
WHILE[#3LT19.1]DO3
#1=0
WHILE[#1LT0.38]DO1
#2=SQRT[0.25-[0.5-#1]*[0.5-#1]]
G0Z#3
G92X[21.05+2*#1]Z-30F19.05
G0Z[#3+1.27-#2]
G92X[21.05+2*#1]Z-30F19.05
```

```
G0Z[#3+#2-1.27]
G92X[21.05+2*#1]Z-30F19.05

#1=#1+0.01
END1

#1=0.375
WHILE[#1LT2.16]DO2

#2=TAN[14.5]*[1.872+#1-0.375]
G0Z#3
G92X[21.05+2*#1]Z-30F19.05
G0Z[#3+1.27-#2]
G92X[21.05+2*#1]Z-30F19.05
G0Z[#3+#2-1.27]
G92X[21.05+2*#1]Z-30F19.05

#1=#1+0.02
END2

#3=#3+6.35
END3

G0X200Z200
M30
```

程序中，#2中间变量分别应用了圆弧和斜线的几何关系式来求取，分头定位的表达式“G0Z[#3+1.27-#2]”中的“1.27”由 $(OO'-1.8)/2=(4.34-1.8)/2=1.27$ (mm) 计算而来。斜线几何关系式“#2=TAN[14.5]*[1.872+#1-0.375]”中的“1.872”由 $0.5\cos 14.5^\circ/\tan 14.5^\circ=1.872$ (mm) 计算而来。

5 加工效果展示及注意事项

图9为零件实物剖切，从图中可以看出，零件的外观质量较好，经过投影仪检验，螺纹的各参数均符合产品设计要求。

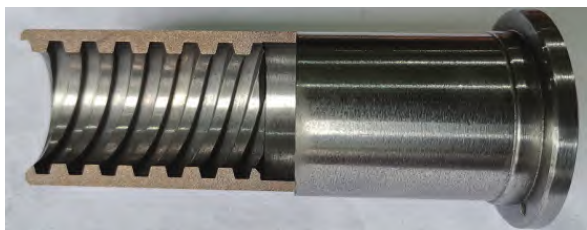


图9 零件实物剖切

加工的具体注意事项如下所述。

1) 当直螺纹加工无法进行刀尖圆弧补偿时，需

要手工计算，加工时充分利用制图软件的高效便捷性。

2) 编程的刀位点是刀尖圆弧中心，对刀时需注意对刀的一致性，即对刀测量刀尖圆弧中心。

3) 刀具刃磨时，需注意避免破坏刀尖圆弧轮廓。

6 结束语

“刀尖轨迹仿形法”作为特殊螺纹的加工方法，缺点是在一般工况的加工过程中，采用逐点插补的方式，与“成形刀具法”相比单件加工时间长，加工效率低，不适合大批量生产。

除此之外，该方法具备诸多优点，如下所述。

1) 成本优势明显。该工艺方法使用通用标准刀具加工特殊螺纹，无需定制专用刀具，对于小批量乃至单件特殊螺纹加工来讲，综合性价比优势显著。

2) 质量优势明显。该工艺方法采用的是逐点插补加工原理，降低了对螺纹刀具的制造精度要求，消除了令“成形刀具法”“头疼”的牙型角误差，避免了反复调试的繁琐，其理论加工精度胜过“成形刀具法”，更适合高精度螺纹加工。

3) 加工工艺性好，吃刀抗力小，适合工艺系统刚性差的螺纹加工，尤其适合大导程、弱刚性的加工工况。

4) 时效性优势突出，可有效缩短整体生产周期，综合效率高。

任何一种工艺方法都有其优缺点和适合领域，生产过程中往往是根据产品的质量、成本、交期要求和需求量的多少，综合考虑后选取最佳工艺方法。

参考文献：

- [1] 周虹，罗友兰. FANUC-0i系统数控编程与操作[M]. 北京：化学工业出版社，2004.
- [2] 武友德，李先跃. 车刀刃磨技术[M]. 北京：化学工业出版社，2007.
- [3] 张运强，穆瑞. FANUC数控宏程序编程方法、技巧与实例[M]. 北京：机械工业出版社，2011.

MW 20240605