



形,先利用正切计算出中 $a$ 的尺寸,再通过多边形内角计算公式 $(n-2) \times 180^\circ / n$ ,计算出 $B$ 的角度,式中 $n$ 为正多边形边数( $n$ 等于链轮的齿数),再通过正弦定理 $a/\sin a=b/\sin b$ 结合反正弦函数计算出 $R_1$ 与 $R_2$ 圆心连线与坐标原点 $X$ 轴的夹角 $\alpha$ ,最后用三角函数余弦、正弦分别计算出 $R_1$ 圆心横、纵坐标值。

$R_1$ 与 $R_2$ 切点纵向坐标值计算方法如下:

由圆的标准方程式 $(x-a)^2+(y-b)^2=R^2$ ,可推断出图2中, $R_2$ 圆心 $X$ 值与 $Y$ 值和 $R_1$ 圆心 $X$ 值与 $Y$ 值之间的关系为: $x=a \pm \sqrt{R^2-(y-b)^2}$ ,通过上述方法计算出的 $R_1$ 圆心坐标值 $a$ 、 $b$ ,代入式中进行编程。

#### 4. 加工工艺确定及刀具的选择

为提高链窝加工效率、降低成本,经综合性因素考虑,使用涂层硬质合金可转位刀具高速铣削加工,粗加工留1mm余量后再进行精加工。

粗加工:采用可转位直角台肩面铣刀(见图4),刀具半径应小于或等于所加工链窝平面圆弧半径,刀具选择要适当,直径不宜过小。粗加工应根据机床工艺系统刚性及刀具直径选择最大的层切削深度,以减少走刀次数,提高加工效率。

精加工:主要保证工件的质量,采用可转位圆鼻面铣刀(见图5),所使用的刀具半径应小于或等于所加工链窝平面圆弧半径,刀具前端圆鼻圆弧半径应小于或等于链窝底部 $R_2$ 圆弧半径。精加工刀具圆弧主要起修光作用,层切削深度设定不宜过大,应根据所加工的表面粗糙度和精度而定,以最大程度上降低切削残留面积,降低表面粗糙度值,提高加工效率。

#### 5. 程序的编制与加工实例

以一种中双链刮板机(转载机)链轮体为例进行编程。

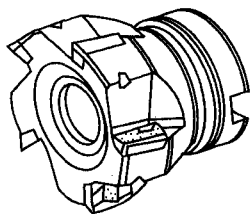


图4 可转位直角台肩面铣刀

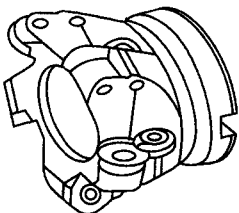


图5 可转位圆鼻面铣刀

粗加工:  
圆环链窝整体留1mm余量,将圆环链轮平放在旋转工作台的中心,链窝平面圆弧朝向机床主轴且与机床主轴垂直,参考图6和图7设置零点偏置,将工件放在工作台的中心并校正工件固定。

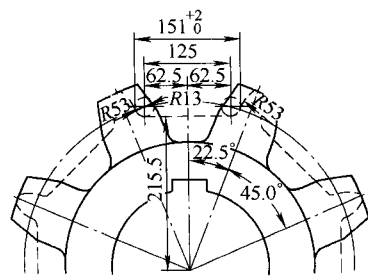


图6 链轮体假想剖面齿形及主要参数

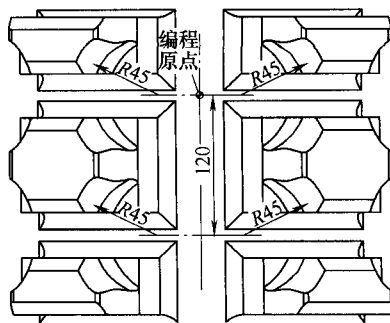


图7 链轮体链窝平面圆弧主要参数

精加工:

由于精加工

使用采用可转位圆鼻面铣刀,刀具前端圆鼻圆弧半径(以后简称刀具圆弧半径)应参与程序运算,因此,精加工编程轨迹与粗加工编程轨迹不同,如图8所示。使用圆鼻面铣刀精加工编程时,齿形圆弧 $R_1$ 半径应加上刀具圆弧半径,齿根部 $R_2$ 圆弧半径应减去刀具圆弧半径,齿面圆弧半径应减去刀具圆弧半径。 $R_1$ 圆弧与 $R_2$ 圆弧交点坐标值用 $R_2$ 减去刀具圆弧半径以后的数值来计算,计算方法同上,不再叙述。使用设备为卧式加工中心。

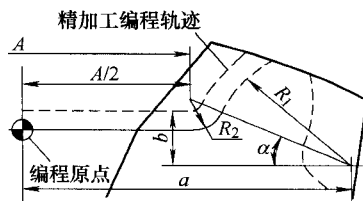


图8 精加工编程轨迹

以FANUC 18i系统用户宏程序编程:

主程序O0001:

...

G0 G90 G54 X0 Y0

M15 T1

M6 T2

G0 G90 G43 H1 Z100

G65 P0002 A125 E8 F1.5 H215.5 I53 K45 R13 T25 W0 Y120

Z37 (粗加工自变量定义)

...

M6 T0 (交换精加工刀具)  
G0 G90 G43 H2 Z100  
G65 P0002 A125 E8 F0.65 H215.5 I53 K45 R13 T25 W8 Y120

Z37 (精加工自变量定义)

...

M16

...

M30

主程序粗加工自变量定义说明:

O0002 (宏程序)

#1=125 (链窝中心距离)

#8=8 (圆环链轮的齿数)

#9=0.68 (层切削深度, 根据实际情况确定)

#11=215.5 (链轮中心至链窝底部的距离)

#4=53 (齿形圆弧半径尺寸)

#6=45 (链窝平面圆弧半径尺寸)

#18=13 (齿根圆弧半径尺寸)

#20=25+1 (刀具半径尺寸, 留1mm加工量)

#23=0 (粗加工刀具前端圆鼻直角)

#25=120 (并排双链窝的中心距, 单链设为0)

#26=37 (起始值, 可通过简单计算确定)

宏程序(子程序):

O0002

G0 G91 G30 X0 Z0

M6 T0

N5 G0 G90 X0 Y0

#4=#4+#23

#6=#6-#23

#18=#18-#23

#20=#20-#23

(如采用可转位圆鼻面铣刀精加工, 刀具前端圆鼻圆弧半径应参与运算, 对相关参数重新进行赋值, 见图8)

IF[#18 LT 0] THEN GOTO 4

#16=0

#2=360/#8

#3=#1/2-[#11+#18]\*TAN[#2/2]

#5=[#8-2]\*180/#8

#7=#18+#4

#33=SIN[#5]

#10=#2-ASIN[#33/#7\*#3]

#12=#7\*COS[#10]+#1/2

#13=#7\*SIN[#10]-#18

#14=#18-SIN[#10]\*#18

GOTO3

N1 G0 G90 X0 Y0

G0 G91 Y-#25

N3 M3 S1200 F1200

G0 G90 B#16

#15=#26

G1 G91 Y[#6-#20] M8

G1 G90 Z#15

WHILE[#15 NE #14] DO1

#15=#15-#9

IF[#15 LT #14] THEN #15=#14

#32=#4\*#4-[#15+#13]\*[#15+#13]

#24=#12-SQRT[#32]

G1 G90 Z#15

X[#24-#6]

G2 G91 Y[#20\*2-#6\*2] R[#6-#20]

G1 G90 X[#6-#24]

G2 G91 Y[#6\*2-#20\*2] R[#6-#20]

G1 G90 X0

END1

WHILE[#15 NE 0] DO2

#15=#15-#9/2

IF[#15 LT 0] THEN #15=0

#32=#18\*#18+[#15-#18]\*[#15-#18]

#24=#1/2+SQRT[#32]

G1 G90 Z#15

X[#24-#6]

G2 G91 Y[#20\*2-#6\*2] R[#6-#20]

G1 G90 X[#6-#24]

G2 G91 Y[#6\*2-#20\*2] R[#6-#20]

G1 G90 X0

END2

G0 G90 Z100

IF[#25 LE 0] THEN GOTO2

#31=#31+1

GOTO#31

N2 #31=0

#16=#16+#2

IF[#16 GE 360] THEN GOTO4

GOTO5

N4 M5 G0 G90 Z200

M98

## 6. 结语

采用FANUC用户宏程序加工, 将图样尺寸设为变量, 很好地解决了使用不同直径的刀具加工不同种类、不同型号圆环链链窝的要求, 无需重复编程。链窝平面齿根圆弧半径和齿面圆弧半径能过渡圆滑, 且链窝形状统一、齿形分度均匀。MW

(收稿日期: 20120218)