

车削加工时工件偏心对加工精度的影响

黄仁贵<sup>1</sup>, 王 栋<sup>1</sup>, 孙 焱<sup>2</sup>, 李大磊<sup>1</sup>, 覃寿同<sup>1</sup>

(1. 郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450002 2. 河南省计算机公司, 河南 郑州 450003)

摘 要: 针对工件在偏心条件下加工出的曲线为圆或心形线这一问题, 对工件偏心对加工表面位置精度和形状精度的影响进行分析, 指出在车削加工中, 工件偏心将使加工表面(外圆或孔)产生与其它表面间同轴度位置误差和加工表面圆度、圆柱度形状误差, 加工表面既不是一个圆, 也不是心形线, 从而为提高车削加工精度提供了重要的理论依据。

关键词: 车削加工; 偏心; 加工精度

中图分类号: TH 161.3 文献标识码: A

1 工件偏心对加工表面位置精度的影响

在车床上车削加工外圆或孔表面时, 由于装夹误差、夹紧力对车床主轴回转中心不平衡, 以及工件质量不平衡产生离心力等原因, 工件待加工的外圆或孔的中心将偏离车床主轴的回转中心。

如图 1 所示, 在车削外圆时,  $O$  为主轴回转中心,  $YOZ$  为静参考系, 工件待加工外圆中心为  $O_1$ , 半径为  $r$ ,  $Y_1O_1Z_1$  为主轴径向回转平面, 其转动角速度为  $\omega$ 。设偏心  $OO_1 = \delta$ , 得  $O_1$  在  $YOZ$  上的位置为

$$\begin{cases} Y_{O_1} = \delta \cos(\omega t + \varphi); \\ Z_{O_1} = \delta \sin(\omega t + \varphi), \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\varphi$  为偏心的初相位。

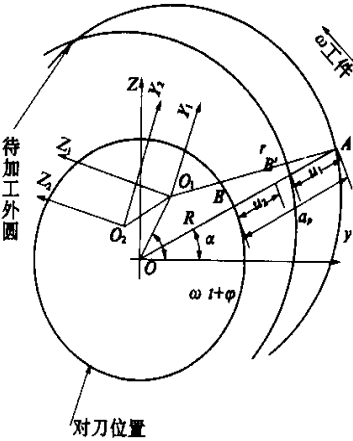


图 1 加工示意图

Fig.1 Abridged diagram of turning machining

车刀对刀位置为  $B$ , 其位置为

$$\begin{cases} Y_B = R \cos \alpha; \\ Z_B = R \sin \alpha, \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $R$  为对刀半径;  $\alpha$  为  $OB$  与  $Y$  轴的夹角。若不计加工时工件和刀具位置的变化, 按对刀位置车削的曲线为

$$\begin{cases} Y_1 = (Y_B - Y_{O_1}) \cos \omega t + (Z_B - Z_{O_1}) \sin \omega t; \\ Z_1 = -(Y_B - Y_{O_1}) \sin \omega t + (Z_B - Z_{O_1}) \cos \omega t; \end{cases} \quad (3)$$

将式(1)(2)代入式(3), 得

$$\begin{cases} Y_1 = R \cos(\omega t - \alpha) - \delta \cos \varphi; \\ Z_1 = -R \sin(\omega t - \alpha) - \delta \sin \varphi, \end{cases}$$

又可写成

$$(Y_1 + \delta \cos \varphi)^2 + (Z_1 + \delta \sin \varphi)^2 = R^2. \quad (4)$$

可见加工曲线为圆, 半径为对刀半径  $R$ , 但其圆心为主轴回转中心  $O$ , 不是待加工外圆中心  $O_1$ 。如果加工前待加工外圆中心  $O_1$  的位置是正确的, 则加工后的外圆中心产生了偏心误差  $\delta$ 。这将引起阶梯轴各段的同轴度误差以及套类零件的外圆与孔的同轴度误差。

2 工件偏心对加工表面形状精度的影响

由图 1 可知, 因工件偏心加工时背吃刀量不均匀, 从而引起切削力大小的变化, 导致工艺系统变形也不均匀, 这必将产生加工误差。

在  $\triangle OO_1A$  中,  $OO_1 = \delta$ ;  $O_1A = r$ , 设  $OA = l$ , 得

$$r^2 = \delta^2 + l^2 - 2\delta l \cos(\omega t + \varphi - \alpha),$$

所示,

$$l = \delta \cos(\omega t + \varphi - \alpha) + \sqrt{r^2 - \delta^2 \sin^2(\omega t + \varphi - \alpha)},$$

得名义背吃刀量为

$$a_p = AB = OA - OB = l - R =$$

$$\delta \cos(\omega t + \varphi - \alpha) + \sqrt{r^2 - \delta^2 \sin^2(\omega t + \varphi - \alpha)} - R. \quad (5)$$

车削加工时,刀尖处的径向为加工误差敏感方向,在此只分析径向切削力的影响.在径向切削力  $F$  的作用下,工件待加工外圆中心由  $O_1$  移至  $O_2$ ,刀尖由  $B$  移至  $B'$ ,取  $Y_2O_2Z_2$  为主轴径向回转平面.设  $O_1O_2 = u$ ;  $BB' = u_2$ ,则  $O_2, B'$  在  $YOZ$  上的坐标分别为

$$\begin{cases} Y_{O_2} = \delta \cos(\omega t + \varphi) - u_1 \cos \alpha, \\ Z_{O_2} = \delta \sin(\omega t + \varphi) - u_1 \sin \alpha; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} Y_{B'} = (R + u_2) \cos \alpha, \\ Z_{B'} = (R + u_2) \sin \alpha, \end{cases} \quad (7)$$

令  $u = u_1 + u_2$  根据切削原理知,径向切削力  $F$  可以表示为  $F = C(a_p - u) - Ku$ ,由此得

$$u = \frac{C}{K + C} a_p; \quad (8)$$

$$F = \frac{KC}{K + C} a_p, \quad (9)$$

又

$$F = K_1 u_1 = K_2 u_2,$$

可得

$$u_1 = \frac{KC}{K_1(K + C)} a_p; \quad (10)$$

$$u_2 = \frac{KC}{K_2(K + C)} a_p. \quad (11)$$

式(8)~(11)中, $C$ 为切削刚度; $K$ 为工艺系统在刀尖处径向刚度; $K_1$ 为除刀具外工艺系统在刀尖处的径向刚度; $K_2$ 为刀具的径向刚度.

将式(5)代入式(8),得<sup>[12]</sup>

$$u = \frac{C}{K + C} [\delta \cos(\omega t + \varphi - \alpha) + \sqrt{r^2 - \delta^2 \sin^2(\omega t + \varphi - \alpha)} - R], \quad (12)$$

此时,车削加工曲线为(在坐标系  $Y_2O_2Z_2$  上)

$$\begin{cases} Y_2 = (Y_{B'} - Y_{O_2}) \cos \omega t + (Z_{B'} - Z_{O_2}) \sin \omega t; \\ Z_2 = -(Y_{B'} - Y_{O_2}) \sin \omega t + (Z_{B'} - Z_{O_2}) \cos \omega t. \end{cases} \quad (13)$$

将式(6)和(7)代入式(13),得

$$\begin{cases} Y_2 = (R + u) \cos(\omega t - \alpha) - \delta \cos \varphi; \\ Z_2 = (R + u) \sin(\omega t - \alpha) - \delta \sin \varphi. \end{cases} \quad (14)$$

如果加工时工件和刀具的位置不变,即  $u = 0$ ,则由式(14)可得式(4).

将式(12)代入式(14),得

$$\begin{cases} Y_2 = \frac{1}{K + C} [KR + C\delta \cos(\omega t + \varphi - \alpha) - C\sqrt{r^2 - \delta^2 \sin^2(\omega t + \varphi - \alpha)}] \cos(\omega t - \alpha) - \delta \cos \varphi; \\ Z_2 = \frac{-1}{K + C} [KR + C\delta \cos(\omega t + \varphi - \alpha) - C\sqrt{r^2 - \delta^2 \sin^2(\omega t + \varphi - \alpha)}] \sin(\omega t - \alpha) - \delta \sin \varphi. \end{cases} \quad (15)$$

当  $\delta = 0$  时,由式(12)得  $u = \frac{C}{K + C}(r - R)$ ,由式(14)知,此时加工曲线为圆,其中心仍为加工前外圆中心  $O_2$ ,没有偏心误差,只是半径为  $R + u = \frac{1}{K + C}(KR + Cr)$ .当  $\delta \neq 0$  时,由式(12)知  $u$  是变化的,所以加工曲线不是圆,由于曲线(15)比较复杂,现用 MATLAB 进行仿真,得加工曲线如图 2 所示.

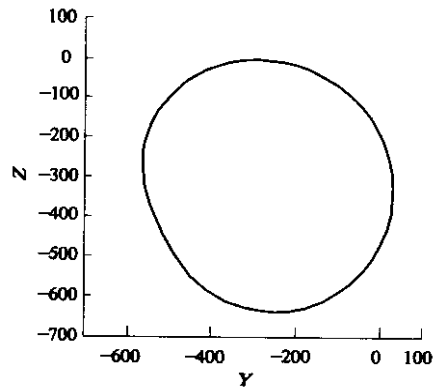


图 2 加工曲线图

Fig.2 Machining curve

若  $\omega t + \varphi - \alpha = 0$ ,得  $u_{\max} = \frac{C}{K + C}(r + \delta - R)$ ,由式(15)可得

$$\begin{cases} Y_2 = \frac{1}{K + C} (KR - K\delta + Cr) \cos \varphi; \\ Z_2 = \frac{1}{K + C} (KR - K\delta + Cr) \sin \varphi, \end{cases} \quad (16)$$

若  $\omega t + \varphi - \alpha = \pi$  则得

$$u = \frac{C}{K + C}(r - \delta - R),$$

由式(15)得

$$\begin{cases} Y_2 = \frac{-1}{K+C}(KR + K\delta + Cr)\cos\varphi; \\ Z_2 = \frac{-1}{K+C}(KR + K\delta + Cr)\sin\varphi. \end{cases}$$

如果取工件加工外圆中心  $O_2$  为评定圆度误差中心, 则圆度误差为

$$\Delta = \frac{1}{K+C}(KR + K\delta + Cr) - \frac{1}{K+C}(KR - K\delta + Cr) = \frac{2K}{K+C}\delta.$$

在车床上车孔时, 工件偏心对加工精度的影响与以上的分析类似, 在此不再赘述.

### 3 结束语

由以上分析可知, 在车削加工外圆及内孔时, 由于工件偏心会引起加工表面(外圆或内孔)中心偏离加工前待加工表面中心, 因而引起加工表面与工件其它表面的位置误差(如同轴度误差等), 同时又要引起加工表面的圆度误差. 工件在机床上若两端夹紧, 其两端偏心大小和方向是不同的, 从而还要引起加工表面圆柱度误差等.

文献[3]曾指出, 在车床上加工外圆或孔时,

若工件偏心, 则切削曲线为心形线. 由本文分析结果可知, 这是不正确的. 文献[4]指出工件偏心不会引起圆度误差, 加工曲线为圆. 因为没有考虑因偏心而引起背吃刀量不均匀的影响, 所以, 结论也是不全面的.

因此, 在精车加工时, 应使夹具具有足够高的精度. 精加工前应精修工件的定位基准面, 从而减小定位误差. 在车床主轴端部上夹紧工件应使夹紧力对称于主轴中心. 当工件质量不平衡时, 应加以平衡, 消除离心惯性力. 总之, 应采取必要的工艺措施来减小工件的偏心, 提高加工精度.

### 参考文献:

- [1] 黄仁贵. 主轴径向平面运动的几何分析[J]. 机械工程学报, 1994, 30(2): 26-31.
- [2] 黄仁贵. 回转径向误差运动的数学描述及仿真[J]. 计量学报, 1991, 12(3): 186-192.
- [3] 宾鸿赞. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [4] 王先逵. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

## Workpiece's Eccentricity Effect on Processing Accuracy of Turning Process

HUANG Ren-gui<sup>1</sup>, WANG Dong<sup>1</sup>, SUN Yan<sup>2</sup>, LI Da-lei<sup>1</sup>, QIN Shou-tong<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China 2. Computer Corporation of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** It is put forward that the worked workpiece's surface, which has some degree of eccentricity, is a circularity or a cardioid. On the basis of theoretical analysis, this paper puts forward a new conclusion: Because the eccentricity will make some position errors and shape errors in the process of turning, the workpiece's surface is neither a circularity nor a cardioid. The conclusion will provide a very important theory foundation for enhancing processing accuracy.

**Key words:** turning process; eccentricity; processing accuracy