

超精密平面研磨加工速度对精度的影响

张 翊 郭隐彪 庄司克雄

(厦门大学,厦门 361005 日本东北大学,日本 仙台市)

摘要:为了提高加工精度和减少研磨轮磨损,对研磨加工过程中的加工参数进行分析。针对目前常用的两种不同结构砂轮(放射线研磨轮以及螺旋线研磨轮),采用加工精度系数和砂轮磨损系数的概念描述加工精度与砂轮磨损,并提出相应的数学模型,以分析加工参数与工件精度及研磨轮磨损的关系。着重探讨了研磨轮与工件相对速度变化对加工精度的影响。通过理论分析与实践表明:优化设计砂轮的结构、合理选择加工参数,可以实现提高研磨加工精度及降低砂轮磨损的目的。

关键词:平面研磨 加工参数 加工精度 砂轮磨损

Effect of Process Velocity on Accuracy in Ultra - Precision Plane Honing

ZHANG Yi , GUO Yinbiao , SYOJI Katsuo

(Xiamen University ,Xiamen 361005 , CHN ; Tohoku University , Japan)

Abstracts : In order to increase process accuracy and decrease wear of honing wheel , it is necessary to analyze the machining parameters of honing process. The machining locus of plane - honing wheel , radial honing wheel and spiral honing wheel on workpiece , and the slippage locus of workpiece on honing wheel are studied here. Also , the concepts of process accuracy coefficient and honing wheel wear coefficient are presented here to describe the process accuracy and the wear degree of the honing wheel separately. Moreover , the correlative relationship between the machining parameters , the process accuracy and the honing wheel wear has been established , and the influence of the above - mentioned on the process accuracy has been investigated. Emphasis is given to prove the effect of the relative velocity between the honing wheel and the workpiece on the process accuracy. Through studying theoretically and effectively , the results show that , by optimizing the structure of the honing wheel and adapting the appropriate machining parameters , the machining quality would be improved and the wheel wear would be decreased effectively.

Keywords :Plane Honing ; Process Parameters ; Process Accuracy ; Wear of Honing Wheel

平面研磨技术已被广泛应用于超精密加工中,它可加工出粗糙度 R_a 为 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{m}$ 的镜面。诸如量块、光学平面、集成电路的硅基片等硬脆零件,最后都是用超精密研磨与抛光得到要求的高质量表面。其关键是如何提高效率、加工精度,降低成本。采用超微粒金刚石砂轮的垂直布置的超精密平面研磨方法^[1],能满足上述需要。其结构如图 1 所示。

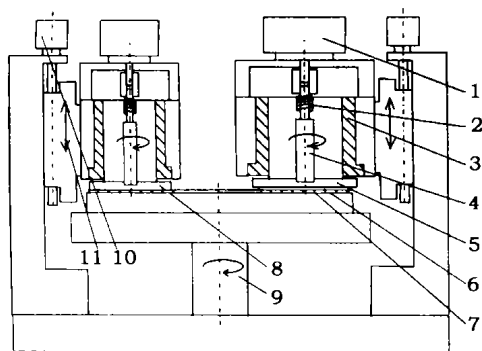
平面研磨由于研磨轮和工件面接触,磨粒的有效切削数较多,可以得到高的表面精度及加工效率。同时,为了改善冷却液工作状态,减小加工动压的影响,现在研磨轮多数采用了开槽式设计^[2]。主要有:放射线沟槽结构和螺旋线沟槽结构两种形式。针对上述研磨方法,本文对此研磨过程的加工参数进行全面分析,得出微粒金刚石研磨轮的不同沟槽结构及加工

速度变化对加工面精度的影响,并从理论上解决平面研磨中砂轮加工参数的选择问题。

1 平面研磨原理

图 1 为超精密平面研磨的结构简图。机床砂轮和工件主轴采用气液混合轴承来消除加工中振动的影响,工件采用胶接或真空吸力固定在专用夹具上;工件主轴靠弹簧支撑在机床上,控制弹簧的伸缩长度可以实现对工件的恒压加工。在线修整机构可实现对加工用砂轮的修整^[3]。

平面研磨加工原理如图 2 所示。为了方便分析,图中设定: M 为砂轮上一点; N 为被加工工件上的一点,砂轮和工件的基本参数如图中所示。



1—交流电动机；2—弹簧；3—静压轴承；4—真空装置；5—夹具；6—工件；7—研磨砂轮；8—修形砂轮；9—静压主轴；10—伺服电动机；11—滑轨。

图1 超精密平面研磨加工与在线修整机床

由图 2 所示砂轮与工件的运动关系, 并通过坐标变换可得到砂轮上 M 点在工件上的加工轨迹方程为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \cos(\alpha - (\omega_1 - \omega_2)t) - a \cos \omega_1 t \\ -R \sin(\alpha - (\omega_1 - \omega_2)t) - a \sin \omega_1 t \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 α ——砂轮加工初始角
 ω_1 ——工件的角速度
 ω_2 ——砂轮的角速度
 a ——砂轮和工件的中心距
 R ——砂轮上 M 点的半径

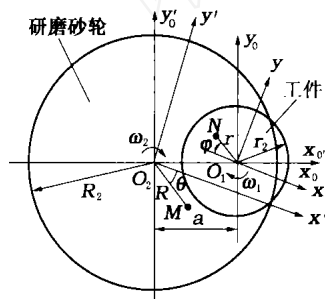


图2 研磨砂轮和工件的相对运动关系

与砂轮的加工轨迹的求解相同, 坐标系 $x_0 y_0$ 上半径为 r 的 N 点在砂轮上的滑移轨迹方程为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r \cos(\phi - (\omega_1 - \omega_2)t) - a \cos \omega_1 t \\ r \sin(\phi - (\omega_1 - \omega_2)t) - a \sin \omega_1 t \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 ϕ ——工件加工初始角
 ω_1 ——工件的角速度
 ω_2 ——研磨砂轮的角速度
 a ——研磨砂轮和工件的中心距
 r ——工件上 N 点的半径

2 研磨加工中的评价参数

从图 2 及公式 (1) 可得出: 砂轮上 M 点在工件上的切削轨迹长度 L_M (砂轮上的磨粒磨损) 为

$$L_M = \int_{-M}^M \sqrt{\left(\frac{dx}{d((\omega_1 - \omega_2)t)} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d((\omega_1 - \omega_2)t)} \right)^2} d((\omega_1 - \omega_2)t) \quad (3)$$

式中 $M, -M$ ——砂轮上 M 点的切削轨迹和工件外周的交角

砂轮在工件上 N 点的有效滑移长度 L_N 为

$$L_N = a(\omega_2 - \omega_1 + \omega_4 - \omega_3) \quad (4)$$

2.1 放射线砂轮

砂轮放射线方程可写为

$$y = \tan \phi_j (x \pm t/2 \sin \phi_j) \quad (5)$$

式中 $\phi_j = 2j / n, j = 1, 2, \dots, n$

n ——砂轮放射线条数

放射线砂轮的有效滑移长度为

$$L_r = \sum_{i=1}^j (\theta_i - \theta_{-i}) a \quad (6)$$

式中 θ_i ——砂轮放射线上部和轨迹线的交点

θ_{-i} ——砂轮放射线下部和轨迹线的交点

2.2 螺旋线砂轮

砂轮螺旋线方程可表示为

$$R(\theta) = \theta \pm t/2 \quad (7)$$

式中 θ ——砂轮螺旋线系数

t ——砂轮螺旋线宽度

可解得轨迹线和砂轮螺旋线的交点坐标, 由此得到螺旋线砂轮的有效滑移长度为

$$L_s = \sum_{i=1}^j (\theta_i - \theta_{-i}) \cdot a \quad (8)$$

式中 θ_i ——砂轮螺旋线上部和轨迹线的交点

θ_{-i} ——砂轮螺旋线下部和轨迹线的交点

$\theta_1 \dots \theta_j$ ——交点坐标

j ——交点数

用表 1 的砂轮结构参数, 并通过公式 (4)、(6) 和 (8) 可分别得到平面、螺旋线和放射线结构砂轮的有效滑移长度。同时为了便于表达不同结构研磨轮的加工精度^[4], 先引入加工精度系数 $l(r)$ 的概念。

$$l(r) = L_N / L_0 \quad (9)$$

式中 L_N ——工件上 N 点的有效滑移长度

L_0 ——工件中心点的有效滑移长度

由公式 (3) 和表 1 可求得砂轮 M 点在工件上的有效切削长度。同样, 为了便于表达不同结构研磨轮的磨损^[4], 引入砂轮磨损系数 $k(R)$ 的概念。

$$k(R) = L_M / L_k \quad (10)$$

式中 L_M ——工件上 M 点的有效切削长度
 L_k ——平面砂轮的有效切削长度

表1 研磨轮的基本参数

| | |
|--------------------|-----|
| 研磨轮内周半径 R_0 /mm | 50 |
| 研磨轮外周半径 R_2 /mm | 175 |
| 工件内周半径 r_0 /mm | 0 |
| 工件外周半径 r_2 /mm | 80 |
| 研磨轮与工件的中心距 a /mm | 110 |
| 砂轮放射线条数 n | 78 |
| 砂轮螺旋线宽度 t /mm | 3 |

3 相对角速度变化对研磨加工的影响

加工中,由于加速度及加工载荷变化的影响,以及加工冷却液的动压和工件材质结构参数的影响,研磨轮与工件的角速度无法保证一致,研磨轮与工件之间存在着角速度差。

现在针对放射线研磨轮和螺旋线研磨轮,研究研磨中砂轮和工件角速度不相等($\omega_1 \neq \omega_2$)时,研磨砂轮和工件的角速度差对砂轮的加工精度系数 $l(r)$ 和磨损系数 $k(R)$ 的影响。为了方便研究,本文假定 $\alpha = 0^\circ, \phi = 0^\circ, \omega_1 = 400 \text{ r/min}$ 不变, ω_2 变化。两种结构研磨轮结构参数如表1所示。

3.1 相对角速度变化对加工精度的影响

图3为($\omega_2 = \omega_1 - \Delta\omega$)取不同值时,工件在砂轮上的有效滑移长度。图中3条趋势线分别代表 $\Delta\omega = -20 \text{ r/min}, \Delta\omega = 0 \text{ r/min}, \Delta\omega = 20 \text{ r/min}$ 的情况。从图中可以看出:对放射线研磨轮而言,当 $\Delta\omega > 0$ 时,工件在砂轮上的有效滑移长度最长;当 $\Delta\omega = 0$ 时,次之;当 $\Delta\omega < 0$ 时,工件在砂轮上的有效滑移长度最短。而对螺旋线研磨轮而言, $\Delta\omega$ 的变化对有效滑移长度的影响并不明显。

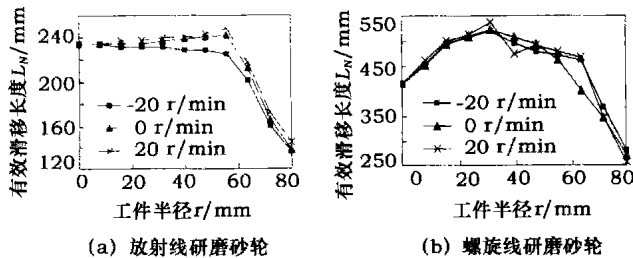


图3 $\Delta\omega$ 不同时,工件分别在两种不同结构研磨砂轮上的有效滑移长度

由公式(9)可得 ($\omega_2 = \omega_1 - \Delta\omega$)取不同值时,

不同结构砂轮的加工精度系数如图4所示,图中3条趋势线分别代表 $\Delta\omega = -20 \text{ r/min}, \Delta\omega = 0 \text{ r/min}, \Delta\omega = 20 \text{ r/min}$ 的情况。加工精度系数与工件在砂轮上有效滑移长度有直接的关系,对于放射线砂轮,加工精度系数随角速度差的增加而增加;而对于螺旋线砂轮,加工精度随角速度增加,变化不大。

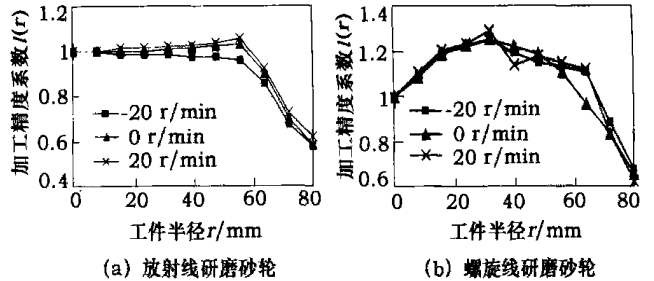


图4 $\Delta\omega$ 不同时,两种不同结构研磨砂轮的加工精度系数

3.2 相对角速度变化对研磨轮磨损的影响

图5为放射线和螺旋线砂轮($\omega_2 = \omega_1 - \Delta\omega$)取不同值时,砂轮在工件上的有效切削长度。图中3条趋势线分别代表 $\Delta\omega = -20 \text{ r/min}, \Delta\omega = 0 \text{ r/min}, \Delta\omega = 20 \text{ r/min}$ 的情况。如图所示,对于两种不同结构研磨轮而言,随着角速度差的增加,在工件上的有效切削长度也增加。

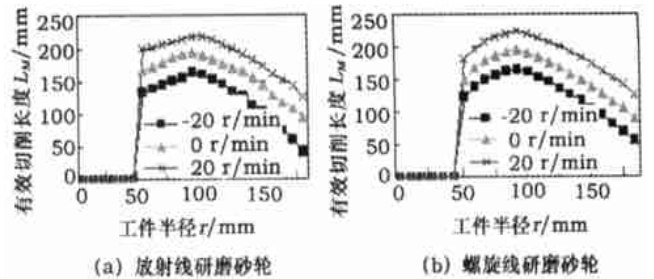


图5 $\Delta\omega$ 不同时,两种不同结构研磨轮在工件上的有效切削长度

由公式(10)可得 ($\omega_2 = \omega_1 - \Delta\omega$)取不同值时,放射线和螺旋线砂轮的磨损系数如图6所示,图中3条趋势线分别代表 $\Delta\omega = -20 \text{ r/min}, \Delta\omega = 0 \text{ r/min}, \Delta\omega = 20 \text{ r/min}$ 的情况。随着 $\Delta\omega$ 增加,磨损系数增大,即研磨轮的磨损增加。也可看出,放射线砂轮本身的磨损曲线也好于螺旋线砂轮。

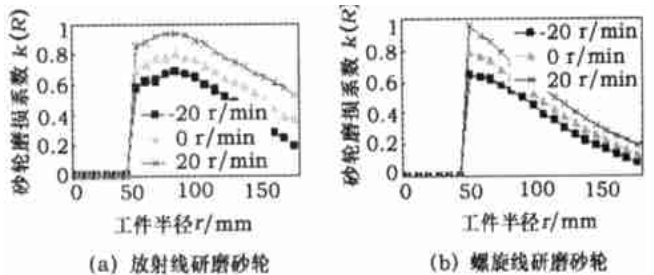


图6 $\Delta\omega$ 不同时,两种不同结构研磨砂轮的磨损系数

4 结论

本文通过建立平面研磨中研磨轮和工件的相对运动数学模型,得到砂轮上一点在工件上的切削轨迹及工件上一点在砂轮上的滑移轨迹。并分析了不同结构研磨砂轮及其与工件相对角速度与工件精度系数和砂轮磨损系数之间的关系。研究结果表明:

(1) 对于放射线研磨砂轮,随着研磨砂轮角速度与工件角速度的差值正向增大,加工精度提高;而相应地,随着研磨砂轮角速度与工件角速度的差值反向增大,加工精度将随之而降低。

而对于螺旋线研磨砂轮,加工精度随相对角速度改变影响不大。

(2) 对于放射线研磨砂轮和螺旋线研磨砂轮,随着研磨砂轮角速度与工件角速度的差值正向增大,研磨砂轮的磨损增加,这将相应地恶化工件的加工精度。从降低砂轮磨损、提高砂轮利用率的角度出发,应尽量减小研磨砂轮角速度与工件角速度的差值,或使之反向增大。

(3) 通过合理选择加工参数,即控制相对角速度的大小,可以得到最佳的加工精度曲线,同时取得理想的

砂轮磨损曲线,能更有效地实现加工精度高,研磨轮寿命长的目标。

参 考 文 献

- 1 Syoji K. Machining technology of plane honing. Machine and Tool, 1992, 36:73 - 78
- 2 Wang X, Syoji K. Plane honing with the fine grit diamond wheels. Proceeding of JSPE, Tokyo, Japan, 1994:479 - 480
- 3 Guo Y, Hu J, et al. Influence of wheel structure parameters on machining accuracy of Ultra - precision plane honing. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002,15:344 - 347
- 4 Kuriyagawa T, Guo Y, Syoji K. Ultra - precision plane honing. Proceeding of JSME, Nagoya, Japan, 2000: 458 - 459
- 5 Kuriyagawa T, Guo Y, Syoji K. Influence on accuracy by speed change of wheel in plane honing. Proceeding of JSPE, Nagoya, Japan, 2000: 162

第一作者:张翊,1977年生,男,厦门大学机电工程系,研究方向:微/纳米加工与检测技术,微机电系统,发表论文5篇,邮编:361005,电话:(0592) - 2187283

(编辑 周富荣)

(收稿日期:2003 - 04 - 30)

文章编号:4719

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

二手设备

- 1 G18 坐标磨,美国摩尔,1985年,少用。
- 2 Y58/ Y54 插齿机,天津,1978年,8成。
- 3 MQ1350 x2 m/M1450B x3 000 外圆磨,上海,1980年/2000年,8成/未用。
- 4 Z3080 摇臂钻,中捷,1972年,8成。
- 5 YS32 - 1000(2.8 x2.2 m)油压机,徐锻,1991年,少用。
- 6 ZSTZ 25/NILES 磨齿机,德国,1986年,少用。
- 7 B2152(1 500 x4 000)龙门刨,济南,8成。
- 8 T612A 卧镗,保定,1978年,8成。
- 9 12 m 刨边机,捷克,1969年,7成。
- 10 Q1327 管螺纹车床,应城,9成。
- 11 880 kW 柴油发电机组,德国道依茨,1997年,少用,共4台。
- 12 柴油机油泵试验台,汽车检查仪器,齿轮检测仪器,硬质合金刀片磨等。
- 13 YZK5125/ YI5120 高效插齿机,天津一机,1998年,安未用。
- 14 YBA3120 滚齿机,重庆,1988年,少用。
- 15 Y3150 滚齿机,上海,1978年,8成。
- 16 Y9420 倒棱机,重庆,1998年,安未用。
- 17 1300DLJ 斜齿倒棱机,北齿,1998年,安未用。
- 18 4 m30 模数滚齿机,德国,70年代,8成。
- 19 EBW - 4GC 齿轮电子束焊机,中科院电工所,1998年,安未

- 用。
- 20 KGPS250 中频棒料加热炉,上海华一电器厂,1995年,安未用。
- 21 YB6012B 半自动花键铣,青海二机,1998年,安未用。
- 22 X333/ HJ 高速花键铣,江东机床厂,1998年,安未用。
- 23 TH6363 卧式加工中心,天津,1993年,少用。
- 24 M131 外圆磨,保定,1978年,8成。
- 25 160/ 200/ 250 落地铣镗床,斯克达,80年代,8成。
- 26 5C270(Y2250) 弧齿铣,俄罗斯,1980年,8成。
- 27 SQX - 400 清洗机,无锡,1998年,安未用。
- 28 TOX - CE1550 气液增力块式字压印机,TOX 冲压,1998年,安未用。
- 29 XHY714 立式加工中心,北京,1995年,安未用。
- 30 T42100 双柱坐标镗,昆明,1985年,少用。
- 31 TG4280 双柱坐标镗,昆明,1985年,少用。
- 32 THP27 - 1250 单动薄板冲压機,天津,1998年,安未用。

北京市鸿森佳科贸有限公司

地址:广渠东路1号 邮编:100022

电话:01067797338 传真:01067797338

手机:13051270920,13901074072

E-mail:jhs@shebei.cn