

文章编号:1000-582X(2002)02-0008-03

# 超精密研磨砂轮结构的优化设计<sup>\*</sup>

郭隐彪<sup>1</sup>, 黄元庆<sup>1</sup>, 梁锡昌<sup>2</sup>

(1. 厦门大学机电系, 福建厦门 361005; 2. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆, 400044)

**摘要:**超精密平面研磨中工件的加工精度受到研磨轮结构参数的影响。为了得到最高的加工精度和最合理的砂轮磨损曲线, 必须研究研磨轮的结构参数。通过研究研磨轮的加工精度系数曲线和磨损系数曲线得出: 对于大量生产的研磨机床, 研磨轮磨损是加工精度的主要影响因素, 研磨轮应采用正三角形放射线结构; 对于高精度小批量的研磨加工, 加工精度系数是主要影响因素, 研磨轮应采用反三角形放射线结构。

**关键词:**超精密平面研磨; 研磨轮结构; 加工精度; 研磨轮磨损; 优化设计

**中图分类号:** TG 74

**文献标识码:** A

游离磨粒加工像研磨、抛光等, 使用简单的机器虽然很容易得到非常高光洁度的镜面, 但是存在加工后工件表面误差大, 加工工序不容易控制等因数。文献[1]提出了一种采用超微粒金刚石研磨轮的垂直布置的超精密平面研磨方法。实验结果表明: 平面研磨具有很高的加工精度及加工效率。但工件的加工精度受到研磨轮结构参数的影响<sup>[2]</sup>。为了进一步提高平面研磨的加工精度, 现在国内外已经进行大量这方面的研究, 并发表了的相关的研究论文如: 螺线、放射线研磨轮结构参数对加工精度影响、螺线、放射线研磨轮磨损曲线对加工精度影响<sup>[3]</sup>; 研磨轮加工参数对加工精度影响<sup>[4]</sup>。本文通过分析研磨轮结构参数和工件加工精度系数、研磨轮结构参数和磨损系数之间的关系, 得到最佳精度系数和最佳磨损系数条件下研磨轮结构参数, 解决了超精密平面研磨中研磨轮结构参数的选择问题。

## 1 研磨轮加工精度系数

平面无沟槽结构研磨轮可以得到最好的研磨精度表面, 但是无沟槽结构也带来研磨中排屑的不便, 影响到工件的加工表面精度。由文献[3]的研究结果得出: 设计放射线结构研磨轮可以得到高的研磨精度和小的表面粗糙度。考虑到研磨轮的制造问题, 重点研究如图1所示正三角形放射线和图2所示反三角形放射线

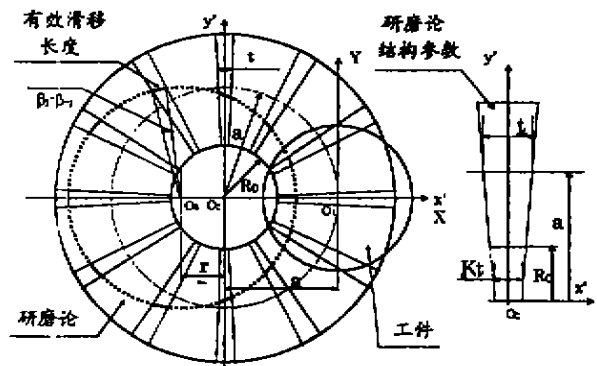


图1 正三角形放射线研磨轮

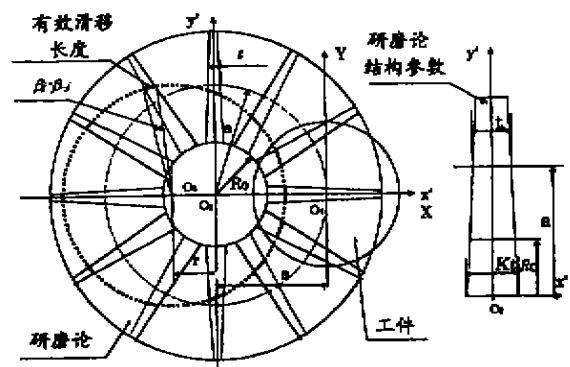


图2 反三角形放射线研磨轮

研磨轮的结构参数, 对加工精度系数和砂轮磨损系数的影响。对于三角形结构可得到研磨轮结构方程

• 收稿日期: 2001-11-20

基金项目: 国家 863 基金资助项目(8042416)

作者简介: 郭隐彪(1962-), 男, 福建人, 厦门大学教授, 工学博士, 研究方向: 精密加工、机电一体化技术。

$$y' = \tan(\phi_j \pm \Delta\phi) \left( x' \pm \frac{k \cdot t}{2\sin(\phi_j \pm \Delta\phi)} \right) \quad (1)$$

$$\Delta\phi = \arctan \frac{t(1-k)}{2a} \quad (2)$$

式中

$$\phi_j = \frac{2\pi j}{n} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$n$ —放射线条数; $k$ —放射线中心点厚度系数; $t$ —放射线  $R = a$  处厚度; $a$ —研磨轮和工件中心距; $L_0$ —工件中心点的有效滑移长度。

$$(x' + r)^2 + y'^2 = a^2 \quad (3)$$

式中: $r$ —工件上滑移点半径

由研磨轮放射线方程式(1)和轨迹线方程式(3),并经坐标变换  $x'_1 = x' - r$ ,  $y'_1 = y'$ , 可得到研磨轮放射线和轨迹的交点方程

$$(1 + \tan^2(\phi_j \pm \Delta\phi)) x'^2_1 + \left( \frac{-2rt \tan^2(\phi_j \pm \Delta\phi) \pm kt \sin(\phi_j \pm \Delta\phi)}{\cos^2(\phi_j \pm \Delta\phi)} \right) x'_1 + \frac{rkt \cdot \sin(\phi_j \pm \Delta\phi)}{\cos^2(\phi_j \pm \Delta\phi)} + r^2 \tan^2(\phi_j \pm \Delta\phi) + \frac{k^2 t^2}{4\cos^2(\phi_j \pm \Delta\phi)} - a^2 = 0 \quad (4)$$

从式(4)可解得  $(x'_1, y'_1)$  通过坐标变换  $x'_1 = a \cos \beta_j$ ,  $y'_1 = a \sin \beta_j$  可求得研磨轮放射线上、下边和轨迹的交点角坐标  $(\beta_{-j}, \beta_j)$ 。由此得到工件上点在放射线研磨轮的有效滑移长度

$$L_N = \sum_1^N (\beta_i - \beta_{-i}) a \quad (5)$$

式中: $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $\beta_j$ —研磨轮放射线上部和轨迹线的交点; $\beta_{-j}$ —研磨轮放射线下部和轨迹线的交点。

为了能更准确地评价不同结构研磨轮对加工精度的影响指标,引入工件上任一点的有效滑移长度和工件中心点的有效滑移长度比,即加工精度系数  $l(r)$ 。通过加工精度系数可以评价不同结构研磨轮对工件的加工效果。

$$l(r) = \frac{L_N}{L_0} \quad (6)$$

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。

## 2 研磨轮磨损系数

由砂轮上一点在工件上的切削轨迹方程和工件的外圆方程,并通过坐标变换,可得到研磨轮上一点在工件上的切削轨迹长度

$$L_M = \int_{\phi_{-M}}^{\phi_M} \sqrt{\left( \frac{dx}{d\omega_1 t} \right)^2 + \left( \frac{dy}{d\omega_1 t} \right)^2} d\omega_1 t \quad (7)$$

式中  $\phi_{-M}, \phi_M$ —研磨轮上切削点的切削轨迹和工件外周的交角。

为了正确评价研磨轮的磨损情况,引入研磨轮上任一点的有效切削长度和研磨轮上半径为  $R$  的切削圆有效工作长度比,即研磨轮磨损系数  $k(R)$ 。

$$k(R) = \frac{L_M}{L_m} \quad (8)$$

式中  $L_M$ —研磨轮上切削点对工件的有效切削长度; $L_m$ —研磨轮上切削点的有效工作长度。

研磨轮切削圆的有效工作长度由研磨轮结构方程式(1)、式(2)和研磨轮上切削点的圆周方程求得。研磨轮上切削点的圆周方程

$$x'^2 + y'^2 = R^2 \quad (9)$$

式中  $R$ —砂轮的切削点半径

由式(1)、式(2)和式(9)可求得放射线研磨轮结构方程和圆周线的交叉点方程

$$R \tan(\phi_j \pm \Delta\phi) \cos \varphi - R \sin \varphi \pm \frac{kt}{2\cos(\phi_j \pm \Delta\phi)} = 0 \quad (10)$$

由式(10)可解得交叉点坐标  $(\varphi_r, \varphi_{-r})$ 。放射线研磨轮切削圆的有效工作长度。

$$L_m = \sum_1^n (\varphi_r - \varphi_{-r}) R \quad (11)$$

图3所示为以表1研磨轮的结构参数,求得放射线研磨轮切削圆的有效工作长度。研磨轮的有效切削长度  $L_M$  通过式(7)计算得到。

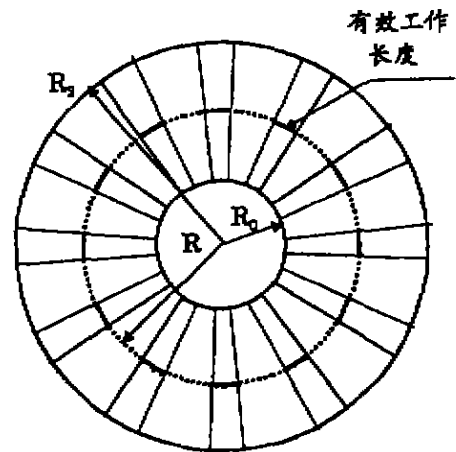


图3 研磨轮有效工作长度

## 3 最佳参数设计

### 3.1 最佳精度系数

表 1 所示为研磨轮结构参数。设定研磨轮结构参数中放射线中心点厚度系数  $k$  为设计参数, 要使研磨轮的加工精度系数最优, 则应满足下列方程成立

$$\frac{\partial l(r)}{\partial k} = 0 \quad (12)$$

式中  $0 < r < r_2$ ;  $r_2$ —工件半径。

表 1 研磨轮参数与实验条件

研磨轮型号 Diamond	内、外圆直径 $\Phi/\text{mm}$	放射线宽度 $t/\text{mm}$	放射线条数 $n$	研磨轮和工件中心距 $a/\text{mm}$	研磨轮转速 $\omega_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	工件转速 $\omega_2/r \cdot \text{min}^{-1}$
SD3000B	100, 350	3	78	110	400	400
工件材料 LiTaO <sub>3</sub>	工件直径 $\Phi/\text{mm}$	研磨加工压力 $p/\text{N}$	研磨时间 $T/\text{min}$	冷却液 水 / liter · min <sup>-1</sup>	修形砂轮型号 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	修形砂轮直径 $\Phi/\text{mm}$
	150	10	5	1.2	GC3000A	100

以表 1 的研磨轮结构参数, 由式(2) - (6) 可解得研磨轮的加工精度系数, 通过式(12) 可得到最优加工精度系数时, 研磨轮放射线中心点厚度系数  $k$ 。

图 4 所示为  $k = 0, k = 0.5$  和  $k = 1.65$  时研磨轮的加工精度系数曲线。

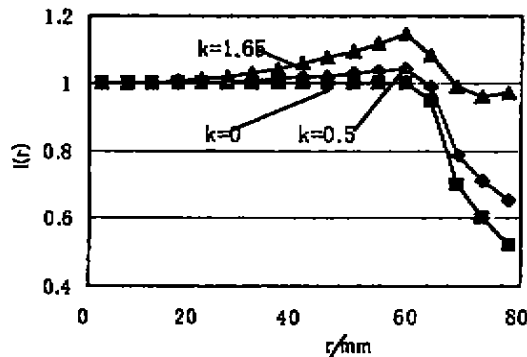


图 4 研磨轮的加工精度系数曲线

### 3.2 最佳磨损系数

设定研磨轮结构参数中放射线中心点厚度系数  $k$  为设计参数, 要使研磨轮的磨损系数最优, 则应满足下列方程成立

$$\frac{\partial k(R)}{\partial k} = 0 \quad (13)$$

式中  $R_0 < R < R_2$ ;  $R_0$ —研磨轮外圆半径;  $R_2$ —研磨轮内圆半径

以表 1 的研磨轮结构参数, 由式(7) - (11) 可解得研磨轮的磨损系数, 通过式(13) 可得到最优加工精度系数时, 研磨轮放射线中心点厚度系数  $k$ 。

图 5 所示为  $k = 0, k = 0.5$  和  $k = 1.65$  时研磨轮的磨损系数曲线。

## 4 结 论

通过建立平面研磨中研磨轮和工件的相对运动数学模型, 分析研磨轮结构参数和工件加工精度系数和

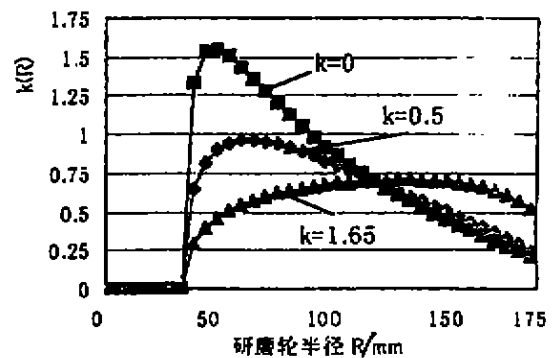


图 5 研磨轮的磨损系数曲线

磨损系数之间的关系, 经过理论计算结果表明:

- 1) 对于大量生产的研磨机床, 研磨轮磨损是加工精度的主要影响因素, 研磨轮应采用正三角形放射线结构 ( $k = 0$ )。
- 2) 对于高精度小批量的研磨加工, 加工精度系数是主要影响因素, 研磨轮应采用反三角形放射线结构 ( $k = 1.65$ )。
- 3) 若不考虑研磨轮的制造因素, 可设计高次方程结构的研磨轮, 满足高精度研磨中对加工精度系数和研磨轮磨损系数两方面的要求。

### 参考文献:

- [1] LIN W, KASAL T, HORIO K. Surface character - istics of the polyurethane polisher in mirror - polishing process[J]. JSPE, 1999, 65(8): 1 147 - 1 152.
- [2] KURIYAGAWA T. Mirror Plane Finishing Using Ultra - Fine grit diamond wheels[J]. JAME, 2000, 44(4): 157 - 160.
- [3] KURIYAGAWA T, GUO Y AND SYOJI K. Ultra - precision plane honing[C]. Proceedings of JSME, Nagoya'2000, 458 - 459.
- [4] KURIYAGAWA T, GUO Y AND SYOJI K. Effect on accuracy of machining speed change in ultra - precision plane honing[C]. Proceedings of JSPE, Nagoya'2000, 162.

稍优于直线筋加固。

3)对体外预应力加固雁形板这类薄壁梁构件,还需考虑其扭转屈曲问题,除保证足够的抗弯强度外,应保证构件在使用及吊装阶段不发生失稳破坏。

#### 参考文献:

[1] 郑毅敏,熊学玉. 体外预应力混凝土结构设计若干问题的探讨[J]. 工业建筑, 2000, 30(5): 24-26.

[2] 中华人民共和国行业标准. V形折板屋盖设计与施工规程, JGJ/T21-93[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.

[3] 曾德荣,周绥平. 雁形板刚度与强度分析[J]. 工业建筑, 1999, 29(7): 4-6.

[4] 李正英. 体外预应力加固钢筋混凝土梁板(雁形板)的性能分析与研究[D]. 重庆大学建筑工程学院, 2000, 12.

[5] 周绥平,程永才. 雁形板的整体稳定分析[J]. 工业建筑, 1999, 29(7): 12-14.

## Bearing Capacity of the External - Prestressed Bird - Shape Plates

LI Zheng-Ying<sup>1</sup>, ZHENG Shuo-cai<sup>1</sup>, LIN Wen-Xiu<sup>2</sup>, DUAN Cheng-Lu<sup>2</sup>

(1. College of Architectural Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Research Institute of Building Science, Chongqing 400015, China)

**Abstract:** By means of static loading and destruction test on two 18 m span bird - shape plates before and after strengthening, the change of the bird - shape's bearing capacity is analyzed which is strengthened by external tendon. It is indicated by comparing the theoretic results with those of tests that the bird - shape's bearing capacity is raised to some extent after strengthening, the plate's stability confined the increment of bearing capacity, and reinforcement by the curved line - shape tendon is superior to that by the straight line - shape tendon.

**Keywords:** external prestressing; bird - shape plate; the beam analogy method

(责任编辑 成孝义)

(上接第 10 页)

## Optimization of Structure Parameters in Ultra-precision Plane Honing

GUO Yin-biao<sup>1</sup>, HUANG Yuan-qing<sup>1</sup>, LIANG Xi-chang<sup>2</sup>

(1. Xiamen University, Xiamen Fujian, 361005, China; 2. Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The structure parameters of honing wheel have effects on machining accuracy in ultra - precision plane honing. This paper put forward to the optimization of structure parameters. By calculating the machining accuracy coefficient and wear coefficient of triangle radial structure honing wheels, it is obvious that the suitable triangle radial structure honing wheel can improve machining accuracy of workpiece.

**Key words:** ultra - precision plane honing; honing wheel structure; machining accuracy honing wheel wear; optimization

(责任编辑 成孝义)