

杯形研磨工具对阀球的去除机理的研究

周永宏¹ 兰丕祥² 邹崇¹

(1.福建上润精密仪器有限公司, 福建 福州 350015; 2.厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 研究了杯形研磨工具研磨阀球时基于 Preston 公式的去除函数, 通过对去除函数的 Matlab 仿真, 得出杯形研磨工具的去除函数曲线呈凹状; 不同转速比、不同刀具半径与阀球径比, 会有不同的函数曲线形状, 进而给出了优化去除函数及实际加工效果的方法。

关键词: 阀球; 杯形研磨工具; 去除函数

中图分类号: TG701 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4801(2012)05-131-03

阀球的球度及表面粗糙度是影响球阀密封效果的关键因素。研磨抛光工艺可以进一步提升阀球的表面质量, 使球阀达到良好的密封效果及理想的使用寿命。杯形研磨工具应用于球阀研磨抛光的工装简单^[1], 安装在现有机床上, 经济性好; 能满足小尺寸到大尺寸的加工要求, 通用性好。本文研究杯形研磨工具对阀球的去除机理。

1 杯形研磨工具工作原理

杯形研磨工具的工作原理如图 1 所示, 阀球由夹具加紧, 夹具连接于机床主轴上, 研磨工具由电机带动。研磨运动由两部分构成: 一是机床主轴旋转带动阀球的旋转, 二是电机带动杯形研磨工具的旋转。杯形工具以一定的力压紧在球体上, 球体与工具间发生相对运动, 磨料在相对运动和压力下产生物理和化学作用, 将球体表面的材料逐渐去除^[2]。

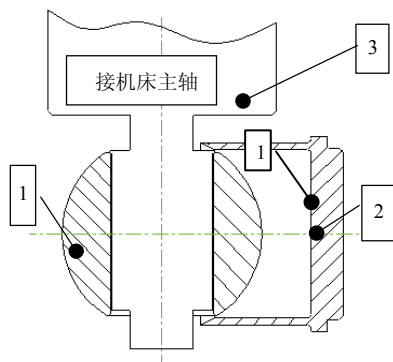


图1 杯形研具工装

1.阀球; 2.研磨工具; 3.夹具

2 去除函数模型及求解

对于研磨抛光, Preston 假设是一个比较成功的模型, 其内容是: 材料的去除效率与研磨工具相对工件的压力和速度成正比^[3], 表达式为:

$$\frac{\Delta h(x, y)}{\Delta t} = k_w P(x, y) V(x, y) \quad (1)$$

式中: k_w ——比例常数, 由压力和速度以外的因素决定;

$P(x, y)$ ——对应坐标点 (x, y) 处的压力;

$V(x, y)$ ——对应坐标点 (x, y) 处的相对速度。

为满足本球体模型的特点, 变量归一化使去除函数式(1)中只含位置 x , 确定球体旋转一周, 位置 x 处的去除量为:

$$\Delta h(x) = k_w P(x) V(x) \Delta t \quad (2)$$

式中, x 表示球体通孔方向的位置(如图 2 所示); Δt 表示旋转一周 x 处与刀具的接触时间。

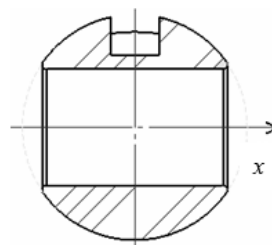


图2 x 方向位置

为了简化模型, 假设接触面上压强处处相等, 工具上点的速度都等于其中径上的速度。

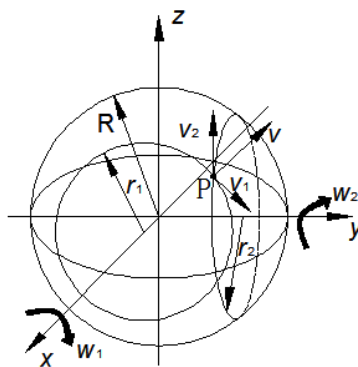


图3 数学模型

作者简介: 周永宏(1962—), 研究方向: 机电一体化、工业控制阀的设计制造。

1) 速度求解: 如图3所示, 球径为 R , 工具中径为 r_2 , 球转速为 w_1 , 工具转速为 w_2 , 工具中径上一点 P (设 P 点 x 坐标为 x) 与球的相对速度 v 由球体速度 v_1 和工具速度 v_2 合成。

通过数学方法可求得中径上合成速度的大小^[4]:

$$v = \sqrt{(r_2^2 \cdot w_2^2 + R^2 \cdot w_1^2 - x^2 \cdot w_1^2 - 2w_1 \cdot w_2 \cdot x \cdot \sqrt{R^2 - r_2^2})} \quad (3)$$

2) 时间求解: 如图4所示, 杯形工具的内外径分别为 r_3 、 r_4 。

当 P 点的 x 坐标处于 $(-r_3, r_3)$ 时, 球体上一点 P 旋转一周与工具接触两次, 接触时间即为 P 点的研磨时间。设 P_3 、 P_4 分别为球体上点 P 与工具内外径的接触点, 由图得 P_3 、 P_4 的三维坐标:

$$P_3(x, \sqrt{r_3^2 - x^2}, \sqrt{R^2 - r_3^2}); P_4(x, \sqrt{r_4^2 - x^2}, \sqrt{R^2 - r_4^2})$$

将坐标投影到 yz 平面, 如图5所示, 设向量 \vec{p}_3 、 \vec{p}_4 夹角为 k , 求得:

$$\cos k = \frac{\sqrt{R^2 - (r_3)^2} \cdot \sqrt{R^2 - (r_4)^2} + \sqrt{r_3^2 - x^2} \cdot \sqrt{r_4^2 - x^2}}{R^2 - x^2} \quad (4)$$

当 P 点的 x 坐标处于 $(-r_4, -r_3) \cup (r_3, r_4)$ 时,

$$\Delta t = \frac{2k}{w_1} = \begin{cases} \frac{2 \arccos \frac{\sqrt{R^2 - (r_4)^2}}{\sqrt{R^2 - x^2}}}{w_1} & \dots\dots\dots x \in [-r_4, -r_3] \cup [r_3, r_4]; \\ \frac{2 \arccos \frac{\sqrt{R^2 - (r_3)^2} \cdot \sqrt{R^2 - (r_4)^2} + \sqrt{r_3^2 - x^2} \cdot \sqrt{r_4^2 - x^2}}{R^2 - x^2}}{w_1} & \dots\dots\dots x \in (-r_3, r_3) \end{cases} \quad (5)$$

综上可得去除函数:

$$\Delta h(x) = \Delta t \cdot k_w \cdot P \cdot V(x) = \begin{cases} \Delta t_1 \cdot k_w \cdot P(x) \cdot V(x) & \dots\dots\dots x \in [-r_4, -r_3] \cup [r_3, r_4]; \\ \Delta t_2 \cdot k_w \cdot P(x) \cdot V(x) & \dots\dots\dots x \in (-r_3, r_3) \end{cases} \quad (6)$$

3 去除函数的参数分析与仿真

上边所求的去除函数式(6)中, 可控变量有 w_1 、 w_2 和 r_2 (或 r_3 、 r_4)。下面对转速比 w_1/w_2 为 10, 半径比 r_2/R 为 0.85 进行 Matlab 仿真分析。仿真时定 $k_w P(x)$ 为 1, 球体直径为 25.4 mm, 可得到去除函数曲线, 如图6所示, 去除函数曲线呈凹状, 中间部分比较平坦, 靠近两端加工量较大。

$$\cos k = \frac{\sqrt{R^2 - (r_4)^2}}{\sqrt{R^2 - x^2}};$$

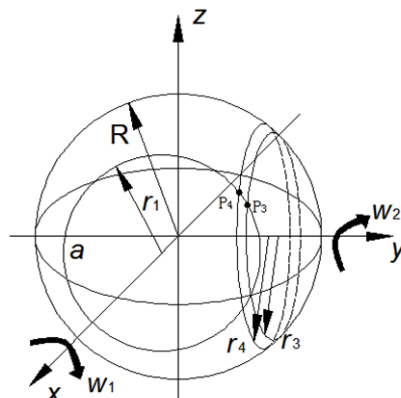


图4 模型求解

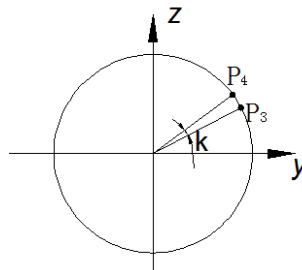


图5 yz面投影

从而有:

由上仿真分析可得到:

1) 由于去除函数整体上呈现较大的不均匀, 工具尺寸设计上要尽量避免突起部分;

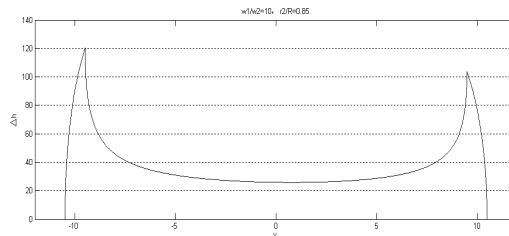


图6 Matlab 仿真得到去除函数曲线

2) 由于随着加工时间的积累, 球体球度偏差会越来越大, 为了使研磨抛光后的球度尽可能好, 应减少研磨抛光加工余量, 在研磨抛光前安排精加工工序。

4 实验验证研磨工具研磨时的研磨曲线的正确性

为验证仿真分析的正确性，做如下实验，具体条件如下^[5]：

工件：316 材料阀球(球径 25.4 mm，表面粗糙度 Ra3.2，球度偏差 10~15 μm)；

加工设备：数控车床，杯形研磨工装(研磨头材料为灰铸铁)中径分别为 19.5 mm 和 22.6 mm；

压强 P ：0.4 MPa；

研磨速度 v ：30 m/s；

磨料：白刚玉、粒度 W20、浓度(研磨剂为乳化液)40%；

研磨时间：5 min/球。

实验结果：球体研磨加工后，用圆度仪测量过 x 轴截面的圆度偏差，用其代替球体的球度偏差。如图 7 所示，当刀具被球体覆盖时，即刀具外径完全与球体接触，得到球体过 x 轴截面的圆度偏差。

由图 7 可知，研磨后的球体表面去除量呈现倒写的凹字形，与理论分析的去函数曲线正好相符。

同时，由图 7 可以得出，去除量的最大值落在球体上，这样会造成球体球度偏差过大，实际球体与理论球体偏差较大，统计范围内(图 7 中的非阴影区域)球度偏差达 10 μm。

为了避免上述缺陷，可以将刀具加大，可以避免去除量最大值落在球体上。图 8 所示为刀具加大后，球体过 x 轴截面的圆度偏差。改进后，球体球度偏差减小，实际与理论球体贴合更为紧密，统计范围内(图 8 中的非阴影区域)球度偏差为 4 μm，球度大为改善。

参考文献：

[1] 赖海瑜,杨志中.球阀球体研磨装置改进[J].阀门,2006(2):34-35.
 [2] 吴明明,汪建平,周兆中.高精密切球体研磨方式的研究[J].机电产品开发与创新,2004(1):94-96.
 [3] 牟志超,郑子文,王贵林.确定性球形抛光工具的加工特点和去除能力研究[J].航空精密制造技术,2011(3):12-15.
 [4] LAN Pixiang, HU Guoqing,ZHENG Ziwen. A study of analysis and simulation of the valve ball's lapping instrument with a cup shaped cutter[C]. Advanced Materials Research Vols. 468-471 (2012):569-573
 [5] 许秦,袁巨龙,周兆忠,等.硬质材料球体新型研磨方式下的工艺优化试验研究[J].新技术新工艺,2008(8):41-44.

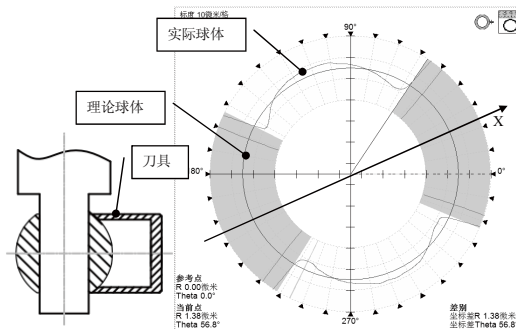


图 7 19.5 mm 刀具及其研磨后实测的球体球度曲线

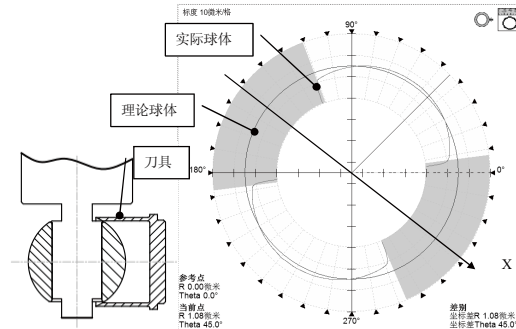


图 8 22.6mm 刀具及其研磨后实测的球体球度曲线

5 结语

本文从理论上对杯形抛光工具的数学模型进行研究，建立了杯形抛光工具的去函数模型，并对去函数进行仿真分析，研磨实验验证了去函数曲线的正确性，取得了良好改进效果。最终得出结论：

- 1) 杯形抛光工具的去函数曲线呈凹状分布，工具设计上要避开突起部分，这样可以使得球度有很好的改善；
- 2) 在抛光前安排精加工工序，可以减少研磨余量，提升加工效率的同时还可以使球度更好。