典型柱塞泵滑靴内球面的新型加工方法

■ 北京航科发动机控制系统科技有限公司　（102200）　张　喆　李　欢　刘彦超　吕红梅　赵　龙

摘要：高精度难保证和加工效率低是高精度内球面加工的两大难题。通过提高加工研具的互换性和通用性，结合机床自身特点，制定相应的加工工艺流程，可降低加工成本，提高整体工作效率。

1. 背景介绍

柱塞滑靴组件是柱塞泵内的关键零件，两个零件通过内球和外球的收口效果，保持灵活转动，在高转速、长寿命的运转要求下，要求柱塞外球和滑靴内球面精度非常高，配合精密。航空发动机内类似滑靴结构（见图1）内球面粗糙度值要求在0.05 μm，尺寸公差±0.005 mm，面轮廓度要求0.002 5 mm以内。而传统的内球面精加工，一般采用比最终要求尺寸稍小的研磨球进行内、外球的互研，加工时可采用手工或球面研磨机等设备，球面尺寸、轮廓度和圆度等加工精度完全由研磨球保证，每加工一个零件需要使用一个新研磨球。这样的加工方法就导致研磨球加工精度高，而且单台设备数量比较多，需求量很大，对于大批量生产而言，加工成本巨大，使用过的研磨球很难再重复利用，势必造成极大的浪费。

针对上述弊端，研究出了在满足所有高精度要求的前提下，代替研磨球加工内球面的方法。采用可重复使用的通用研具，不仅降低了研磨球的加工难度，而且避免了一个研磨球只能加工一个零件的瓶颈，大大提高了刀具的互换性和通用性，达到降本增效的目的。具体技术方案为：根据零件本身的结构特点和尺寸，设计制造圆柱形研磨柱，代替研磨球进行研磨内球面。采用精密球面珩磨机加工，需具备旋转主轴和刀具偏转机构、精确可控的压力和时间以及较好的机床稳定性。加工时通过带压力的自转及旋转运动拟合球面加工，引入展成法的概念，精度可靠。采用此方法加工可大大降低成本，简化加工过程，便于大批量生产的流水加工。

以下从研具设计、加工过程及工艺分析三方面进行阐述。

2.研具设计

如图2所示，该种用于滑靴零件内球面的研磨柱特征在于：

（1）该研磨柱为带台阶的中空圆柱形，材料可选择灰铸铁，台阶处可以避免研磨柱加工时与滑靴内球面干涉。

（2）台阶上方小圆柱体的内表面加工有与球面珩磨机的摆动杆联接的内螺纹，台阶下方大圆柱体的外圆直径需保证在加工时能涵盖滑靴内球面的最大直径边缘，可以通过以下公式计算：

$$d \geqslant 2R\ (\sin\alpha/2 - \sin\beta)\ /\cos\beta$$

式中，d为大圆柱体的外圆直径，α为滑靴内球面的有效弧长角度（≤180°），β为摆动杆最大摆动角度，R为滑靴内球面的半径。

（3）台阶下方大圆柱体的内孔直径$D \leqslant D_1$（D_1为滑靴内球面台阶的直径），内孔的设计主要是为了增加研磨膏的储存，便于研磨加工，将加工时研磨柱的损耗集中在圆柱体的边缘处，便于适时调整参数。

（4）高度尺寸可根据弹簧压力的大小进行调整，以加工时不干涉为原则。研磨柱的下端面的外缘处加工倒圆，倒圆R不小于0.5 mm。

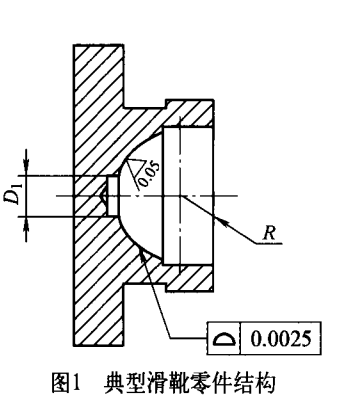

图1　典型滑靴零件结构

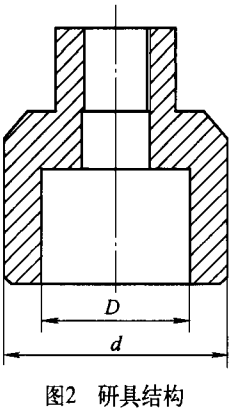

图2　研具结构

3. 加工过程分析

（1）将滑靴零件底端面固定在机床平台主轴上，滑靴零件内球面向上，将研磨柱联接到球面珩磨机的摆动杆上（机床摆动结构见图3），使研磨柱下端面的边缘与滑靴内球面贴合（见图4）。

（2）调整加工参数，研磨柱的工作压力可以通过改变球面珩磨机弹簧的长度调整。摆动杆的摆幅由滑靴内球面弧长和摆动杆半径计算得到：

$$L=\theta R$$

式中，L为摆动杆的摆幅，θ为摆动杆的摆动角度，R为摆动杆半径。

摆动杆的摆频可以通过调整球面珩磨机来改变，摆频不宜过快或过慢，应以维持机床稳定为前提，加工参数必须由一定批次的加工试验得到，不同尺寸零件及机床加工参数不同。

（3）在加工试验过程中，主轴带动零件自转，转速设定为约10 r/s。研磨柱由摆动杆联接摆动，摆动和滑靴零件内球面自转两个运动保证研磨柱的球面拟合，确保加工精度。初始试验阶段需分时间段进行测量，分别检查1 min、2 min和3 min等时间段加工结果，从而得到零件的加工时间（见附表）。

因本例中某型号滑靴零件球面尺寸为$S\phi$（11.5±0.005）mm，初始尺寸为$S\phi$11.48 mm，加工余量约0.02mm。因此由附表中得出的数据记录分析，将机床加工时间设置为2.5min为最适宜加工时间（附表中数据需进行较大批量的验证得出）。

4. 工艺分析

随着零件的加工，圆柱形研具的外观尺寸会产生轻微变化（见图5）。由图5可知，在初始阶段研具下端外侧倒圆R会逐渐增大，当倒圆大小覆盖整圈环带时，倒圆无法再继续增大，在加工磨损过程中，研具下端会逐渐消失，倒圆大小不变但位置逐渐上升，导致研具总长变短。但由于研具变短而导致的压力变化可忽略不计。以本例中某型号滑靴结构而设计的研具，经过大量试验，在保证零件精度的前提下，该研具可重复加工20个零件。因此采用本方法大大降低了成本，同时减少了重复拆装研具的次数，简化了加工过程，解放了劳动力，每人可同时操作5台设备，保证不间断流水加工，适用于大批量生产，提高了精益化程度，消除了不必要的浪费。

加工过程记录表

加工时间/min	零件尺寸$S\phi$/mm
初始时间	11.480
2	11.495
3	11.503
4	11.509
5	11.515
6	11.520

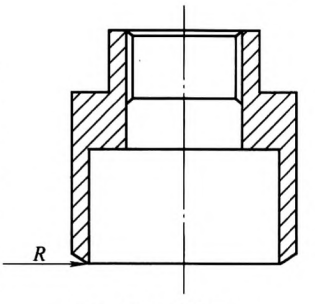

图5　研具变化图

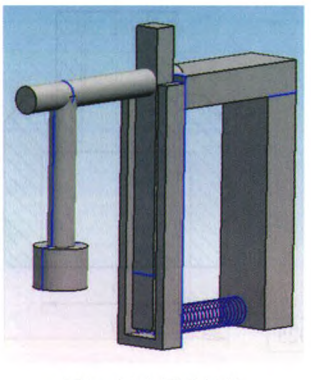
图3　机床摆动机构

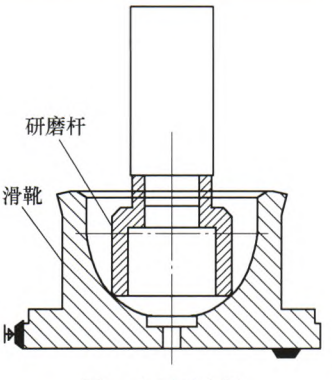

图4　加工示意图

5. 结语

本文论述的加工方法主要针对航空发动机附件中滑靴零件内球面的精密加工，通过提高加工研具的互换性和通用性，结合机床自身特点，制定相应的加工工艺流程，降低了加工成本，提高了整体工作效率。但是铸铁棒的直径必须小于球窝底孔，才可以进行整个球窝的光整加工。研磨半径较小的内球面时，很难做到这一点，因此这种方法有一定的局限性。

参考文献：

[1] 王先逵. 机械制造工艺学 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.

[2] 徐学林. 互换性与测量技术基础 [M]. 长沙：湖南大学出版社，2007.

[3] 余光国，马俊. 机床夹具设计 [M]. 重庆：重庆大学出版社，2005.

MW（收稿日期：20140507）

专家点评

球面珩磨机很早就开始使用，内球面精加工一般采用比最终要求尺寸稍小的研磨球去研磨较大的球窝，因为研磨球表面的磨损程度不同，很难长时间重复利用。本文中用研磨杆代替研磨球，改变研磨时的球面接触为切线接触，很有创意。应注意该方法的局限性。