

# PEEK材料减磨环类零件加工方法与应用研究

柯兵<sup>1</sup> 范存辉<sup>1</sup> 臧元甲<sup>1</sup> 张杰<sup>2</sup>

(1 郑州飞机装备有限责任公司 河南 郑州 450000; 2 新疆建设兵团 新疆 伊犁 835609)

**摘要:** 近年来,在新型挂弹钩类产品中,PPEK5600CF30材料的高耐磨性、突出的力学性能使其在减磨环类零部件中应用较广,但在加工过程中存在刀具磨损较快、零件刚性差、易于变形、尺寸沿轴向方向不一致,以及零件合格率低等问题。通过刀具几何角度选择、刀具磨损控制、调整零件顺序,将变形值补偿到数控程序中,有效提高产品的质量稳定性,提高零件的合格率。

**关键词:** PEEK材料;碳纤维;减磨环

## 0 引言

聚醚醚酮(PEEK)树脂具有机械性能优异、耐高温、耐磨性好且抗辐射等特点,碳纤维加强型PEEK材料(牌号PEEK5600CF30)在加入碳纤维后有效提高了材料耐磨性及力学性能,是一种性能优异的特种工程塑料。使用该材料的减磨环类零部件具备较高的尺寸精度及表面粗糙度要求。在车削加工过程中,遇到了较大的问题,主要有:刀具磨损过快;在加工高精度尺寸时,刀具补偿值变化较大,加工精度不易保证;刀具严重磨损后,零件表面粗糙度极差,导致零件报废。

## 1 零件功能分析及尺寸、技术要求分析

### 1.1 零件功能

当弹射弹射止动组件处于弹射状态时,减磨环类零件支撑各活塞沿直线运动。减磨环类零件减少活塞之间的摩擦,避免弹射及回收过程发生活塞卡滞的现象。

### 1.2 零件尺寸特征及技术要求

常用减磨环类零件按其结构分为两大类:

(1) 减磨环 I:一种外圆和一种内孔,结构及尺寸示意图见图 1;

(2) 减磨环 II:两种外圆(台阶圆)和一种内孔,结构及尺寸示意图见图 2。

图中标注符号的说明见表 1。减磨环类零件在内径  $d$ 、外径  $D$  中选择一项作为装配尺寸,另一项由装配尺寸及壁厚  $t$  间接保证。精加工工序必须考虑零件装配尺寸的选择,其加工步骤需保证装配尺寸的精度要求。减磨环类零件内外圆表面的表面粗糙度要求为  $Ra1.6$ ,其余加工面的表面粗糙度要求为  $Ra3.2$ 。

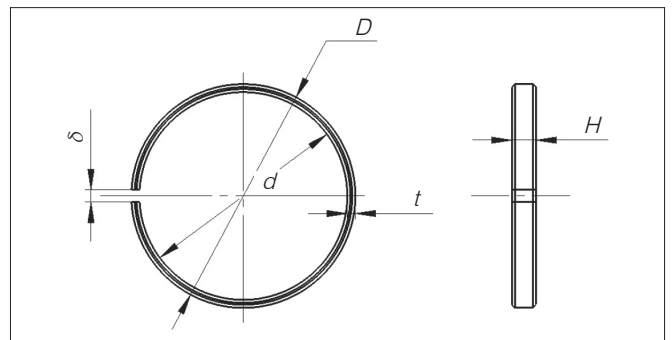


图 1 减磨环 I 结构及尺寸示意图

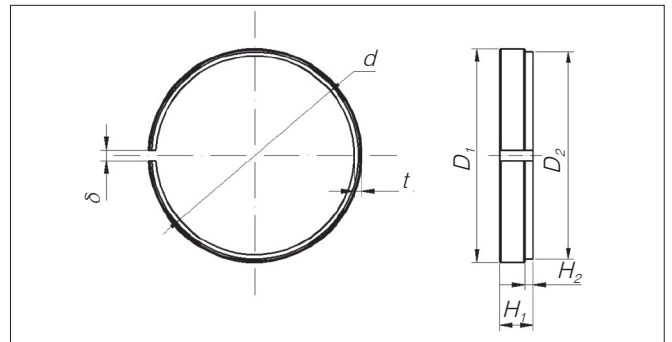


图 2 减磨环 II 结构及尺寸示意图

表 1 减磨环类零件尺寸标注符号说明

符号	含义	常见尺寸公差等级
$D$ 、 $D_1$ 、 $D_2$	外径	IT8 或 IT10
$H$ 、 $H_1$ 、 $H_2$	高度	IT12
$t$	壁厚	IT10
$\delta$	切断槽宽度	IT13 ~ IT14
$d$	内径	IT8 或 IT10

## 2 加工方法改进

### 2.1 零件粗加工

钻孔内容,钻孔时应注意:

(1) PEEK5600CF30 材料组织不均且有弹性, 钻通孔造成棒料孔出口端发生较大变形。建议粗钻盲孔, 盲孔深度应比毛料棒料总长短 40 ~ 50mm。

(2) 使用 U 钻粗钻内孔, 为粗车内孔工步至少留单边 2 ~ 3mm 余量。

粗车内孔及粗车外圆选择硬质合金刀片及相应的夹持刀杆作为加工刀具。

## 2.2 零件精加工

### 2.2.1 选择合适刀具

硬质合金刀片加工过程中易发生后刀面磨损。在刀具磨损初步阶段, 刃口因碳纤维挤压作用易发生崩裂; 前刀面涂层在碳纤维材料摩擦下迅速破损, 刀片基体发生快速磨损, 造成刃口强度进一步降低, 切削刃破损加剧; 在剧烈磨损阶段, 刀具后刀面磨损严重, 刀尖圆弧形状破损, 造成零件加工精度下降, 翻边毛刺严重, 表面质量无法保证。

使用 OLYMPUS 高倍电子显微镜测得的刀尖圆弧半径值为  $R0.34\text{mm}$ , 未使用的刀片刀尖半径为  $R0.4\text{mm}$ , 意味着理论刀尖位置的偏差为  $-0.06\text{mm}$ 。当零件按照第一件零件加工时测得的刀尖位置加工, 意味着零件加工轮廓误差为  $+0.06\text{mm}$ 。对于加工的减磨环零件壁厚公差为  $\pm 0.05\text{mm}$ , 此种情况足以使零件出现报废。

采用 PCD 聚晶金刚石刀具后, 刀具磨损情况得到有效改善, 同等加工时间及切削条件下, 刀片仅前刀面发生低程度磨损, 刃口基本完整, 刀尖圆弧形状保持较高精度, 零件加工精度得到较大改善。

PCD 刀具使用 OLYMPUS 高倍电子显微镜测得的刀尖圆弧半径值为  $R0.385\text{mm}$ , 未使用的刀片刀尖半径为  $R0.4\text{mm}$ , 意味着理论刀尖位置的偏差为  $-0.015\text{mm}$ 。

当零件按照第一件零件加工时测得的刀尖位置加工, 意味着零件加工轮廓误差为  $+0.015\text{mm}$ 。对于加工的减磨环零件壁厚公差为  $\pm 0.05\text{mm}$ , 此时零件依旧合格。

通过对比可以得出结论: PCD 刀具更加适合 PEEK5600CF30 材料的车削加工。

### 2.2.2 选择合适加工参数

通过分析研究和批次试加工, 对零件精加工采取的刀具牌号及加工参数进行了固化, 控制切削力的变化。加工刀具刀片牌号及加工参数选择推荐值见表 2。

## 2.3 加工路线

零件配合尺寸为内径  $d$ , 应先精加工内径  $d$  后精加工外径  $D$ ; 零件配合尺寸为外径  $D$ , 应先精加工外径  $D$  后精加工内径  $d$ 。

## 2.4 锉修内容加工要求

使用海绵砂纸对端面及切断处端面进行修整后, 使用 120# 砂纸进行抛光, 禁止直接使用锉刀锉修, 零件

表 2 加工参数

刀片牌号	切削线速度 /(m/min)	进给量 /(mm/r)	吃刀深度 /(mm)
VBMW160402F-L1PCD20	100 ~ 120	0.03 ~ 0.04	0.08 ~ 0.1
TCMW110204F-L1PCD20	100 ~ 120	0.03 ~ 0.04	0.08 ~ 0.1

应无尖边、无翻边、毛刺及分叉等加工缺陷。

## 3 控制加工变形

### 3.1 变形的产生

减磨环类零件属于薄壁零件, 壁厚范围为 1 ~ 1.5mm, 加工过程中如数控程序按正常尺寸编制, 发现加工后内孔形状及外圆形状带有锥度。

原因分析: 薄壁零件口部刚性较低, 在刀具切入过程中发生让刀现象。零件在切削力作用下, 发生弹性变形, 使得零件本该切除的材料被压缩从而被保留下来。当刀具撤出, 切削力消失, 发生弹性变形的部分恢复原状, 造成外圆尺寸出现锥度, 切入端面处外圆尺寸偏大, 外圆形状误差呈锥形。与之同理, 在内孔车削过程中, 零件在切削力作用下, 发生弹性变形, 使得零件本该切除的材料被压缩从而被保留下来。当刀具撤出, 切削力消失, 发生弹性变形的部分恢复原状, 造成内孔尺寸出现锥度, 切入端面处外圆尺寸偏大, 内孔形状误差呈锥形。

当零件内外圆均被加工后, 零件壁厚值沿轴线呈现不均匀变化: 内外圆加工刀具切入端的壁厚大, 零件从棒料切除处端的壁厚值偏小, 零件呈喇叭状。

经过现场摸索, 内孔口让刀量与零件轴向长度存在直接联系。轴向尺寸增加, 孔口变形量加大。在 10 ~ 12mm 长度上, 零件内孔变化量为 0.04 ~ 0.05mm, 外圆变化量为 0.01 ~ 0.03mm。

### 3.2 解决方案

控制刀具几何参数, 减小切削力并提高刀具抗磨性能。加工过程中已加工表面发生回弹, 刀具后刀面与材料之间发生摩擦, 后刀面磨损严重。后角  $\alpha$  越大, 切削力越小, 刀具抗磨性能越好, 刀具前角加大也能减少切削力。兼顾刀具刃口强度及数控车削刀具几何参数的特点, 刀具几何参数推荐值见表 3。

表 3 刀具几何参数推荐值

刀具类型	角度名称及代号	角度值
外圆刀具	前角 $\gamma$	5°
	后角 $\alpha$	5°
内孔刀具	前角 $\gamma$	5°
	后角 $\alpha$	7°

刀具磨损增大切削力,加工时禁止钝刀加工,加工零件数240~280件时,应更换刀片。如迫于客观条件限制,超出上述标准的磨损刀具仍继续加工,必须将加工变形补偿到数控程序中。在实际测量值基础上,参考进行加工补偿。超出规定,必须更换刀片。

加工过程中不允许干切,应使用水溶性冷却液充分冷却,减少刀具与零件中摩擦,减少刀具磨损,控制加工变形。

### 3.3 夹具改进

在用三爪卡盘夹持零件时,零件外圆表面经常出现不同程度的夹伤,沿径向的夹紧力使零件在加工过程中发生较大的加工变形。典型的三爪卡盘夹紧力沿周向三点均布。三点夹持造成的变形基本遵循以下规律:零件在自由状态下呈现三角状,零件加工精度较差。

在三爪卡盘和零件之间增加一个开口衬套,使夹紧力不直接作用在零件上,并且在开口衬套定位零件外圆面上压装1010塑料材质的软质层,夹具通过软质层夹持零件,避免了零件夹伤和变形。

### 3.4 量具改造

减磨环零件台阶轴小端外圆公差为0.05mm,并且壁厚只有0.5mm,外圆长度仅为3mm,超出标准千分尺砧头宽度,测量时操作很不方便,存在测量值不准确等问题,测量难度很大。

采取常规方法测量,需制造高精度的专用卡规,制造成本较高,而且PEEK复合材料具有较好的弹性,存在发生错检的可能性。千分尺有棘轮的测量力保护功能,在一定程度上能规避此问题。

设计了专用可调式直进叶片千分尺(图3),该千分尺测砧形状可以随意更换。曲柄一端设置有与可调式砧头配合的中 $\phi 4H6$ 连接孔,可调试砧头设置有与固定螺母配合外螺纹 $M4 \times 1-5h$ 及与调节螺母配合的外螺纹 $M4 \times 0.7-5h$ 。曲柄另一端与固定套管通过过盈配合 $p5/H5$ 连为一体。固定套管设置有与测微螺杆外螺纹相配合的内螺纹 $M8 \times 1-5h$ 。测微螺杆尾端设置有微分筒

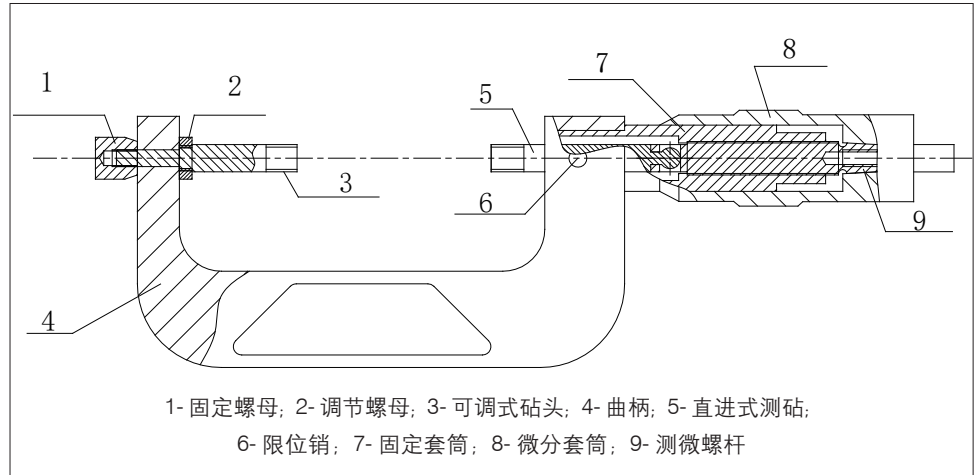


图3 可调式直进叶片千分尺

内锥面配合的外锥面,另一端设置有与直进式测砧连接的连接孔中 $\phi 5H5$ 。限位销限制直进式测砧发生旋转。可调式直进叶片千分尺避免了直进式测站旋转时与零件结构的干涉;通过系列化、可调整可调式砧头,扩展千分尺量程,能够方便快捷的测量上述难测量尺寸,有效提高了产品零件的加工精度和测量效率。该千分尺已获得国家专利(一种千分尺ZL201621241517.0)。

## 4 结语

该类零件的加工难点在于刀具磨损较快,零件易变形,高精度尺寸难以保证。本项目通过对典型零件加工全过程的分析,归纳总结了PEEK减磨环类零件加工中存在的刀具磨损、零件变形及装夹等典型问题,依托目前先进的数控加工方式,本文提出改进刀具及相应的加工参数,改进夹具和量具,解决了此类零件的加工难题。

### 参考文献:

- [1] 赵纯,张玉龙.聚醚醚酮[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [2] 李银海.数控车削加工[M].北京:科学出版社,2008.

作者简介:柯兵(1988.10-),男,汉族,江西瑞昌人,本科,工程师,研究方向:机械加工。