

# 微型螺旋面叶轮的加工\*

袁格侠<sup>1,2</sup>, 杨公明<sup>3</sup>, 周敏姑<sup>1</sup>, 宁汪洋<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2 宝鸡文理学院 机械工程系, 陕西 宝鸡 721007;

3 西北农林科技大学 食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 分析了微型螺旋面叶轮的结构和工艺特点, 介绍了应用高精度万能铣床和特殊刀具加工该种叶轮的方法。实际生产表明, 该加工工艺方法可获得较好的加工效果。

[关键词] 螺旋面叶轮; 铣削加工; 加工工艺

[中图分类号] TG4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)07-0111-03

叶轮是涡轮流量传感器的核心部件, 其典型的应用还有涡轮式发动机、离心压缩机、泵等许多机械, 其加工质量的优劣直接影响着传感器的测量精度。然而, 微型传感器中的叶轮通常为整体叶轮, 而其叶片的形状又是机械中最难加工的曲面, 因此整体叶轮的加工一直是机械加工中长期困扰的技术难题。为加工出合格的零件, 人们想出了许多方法, 由最初的铸造成型后修光, 到现在的精密铸造、数控铣削、电解套料、数控展成电解、数控火花成形加工等, 但这些加工方法都有其局限性和不同的适用范围<sup>[1-3]</sup>。对于材质为不锈钢、直径 3 mm 左右、叶片薄、叶间通道窄的微型螺旋面叶轮, 精密铸造是无法实现的; 电解加工时阴极设计复杂, 工艺条件和工艺参数选择难度大, 同时电解加工会带来环境污染; 而数控铣削价格昂贵, 编程复杂, 需专用的计算机软件。因此, 对于微型螺旋面叶轮的形面特点及其具体

的工艺结构, 有必要进行充分的研究与分析, 以找出一种经济实用的工艺方法, 为同类叶轮的加工提供参考。

## 1 微型螺旋面叶轮的结构和形面特点

叶轮是涡轮流量传感器的核心部件, 叶片的对称性、分布的均匀性、叶片形状的准确性等均直接影响着传感器的精度。

该种叶轮的材料为 1Cr18Ni9Ti, 导程 12.86 mm, 底径 1.5 mm, 高度 0.7 mm, 顶径 2.9 mm, 旋向右, 叶片共 8 片, 顶径法向厚度 0.15 mm, 底径处发向厚度 0.17 mm (图 1)。其结构特点是整体尺寸小, 叶面为螺旋面, 属直纹曲面, 叶片薄而高, 易变形, 叶间通道窄, 最小法向距离只有 0.5 mm, 材料塑性好, 导热系数低, 断屑难, 零件的切削加工性差, 加工难度大<sup>[4]</sup>。

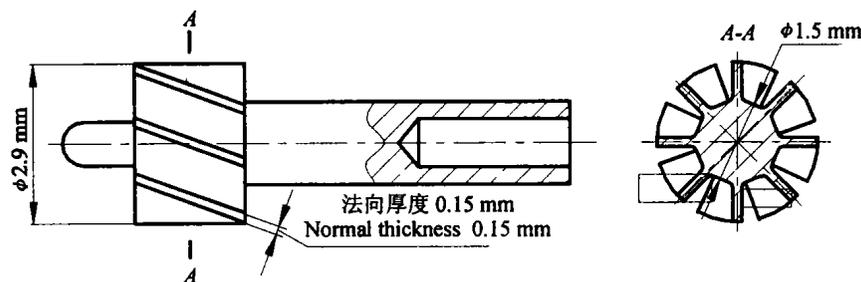


图 1 螺旋面叶轮的结构

Fig 1 Structure of spiral face impeller

所研究的螺旋面为延长渐开线型螺旋面, 其形成过程为: 以螺旋线为导线, 使母线 AB 沿着导线运

动, 并与同轴小圆柱相切, 母线运动时与垂直螺旋线轴线的平面所成角度为  $0^\circ$ ; 其在 1 周上的运动方

\* [收稿日期] 2003-06-18

[作者简介] 袁格侠(1970-), 女, 陕西扶风人, 工程师, 在读硕士, 主要从事机械设计及制造研究。

程<sup>[5]</sup>为:

$$\begin{cases} x = r \cos t - l \sin t \\ y = r \sin t + l \cos t \\ z = (H/2\pi)t \end{cases} \quad (0 \leq t \leq 2\pi)$$

(0 ≤ l ≤ L)

式中,  $H$  为导程;  $r$  为小圆柱半径;  $L$  为母线  $AB$  的长度;  $t, l$  为参数。

由于螺旋面为等导程螺旋面, 在不同直径  $d$  上, 螺旋角  $\beta$  不同。要得到规定精度的螺旋面, 在理论上可用单刃刀具车削成形。经过分析和计算, 车削螺旋面时, 叶片的最大弯曲变形远远超过了叶轮的精度要求, 因此, 不能采用车削加工。经过进一步的分析, 决定采用铣削加工方法来完成。然而, 铣削螺旋面时, 刀具的形状和侧刃干涉直接影响着螺旋面的准确性, 因此减少干涉和选择刀具参数是首先要解决的关键技术。

## 2 螺旋铣削的侧刃干涉

铣刀和工件间的螺旋成形运动, 虽然是铣削螺旋面时首先应当满足的要求, 但铣出的螺旋面是否能达到图纸要求和使用要求, 这与铣刀的刀具形状及交换齿轮计算时所选的直径尺寸有密切关系。

螺旋角的计算公式为:

$$\beta = \arctan(\pi d/H)$$

式中,  $\beta$  为螺旋角;  $H$  为导程;  $d$  为直径。由于螺旋面为等导程螺旋面, 直径  $d$  不同, 螺旋角  $\beta$  也就不同。在铣削过程中, 刀具为旋转运动, 因此, 刀具的形状直接影响着螺旋面的准确性<sup>[6]</sup>。

### 2.1 用三面刃铣刀铣削

因任一母线通过轴心的螺旋面均不存在与之相切的平面, 所以必然产生侧刃干涉<sup>[6]</sup>(图 2), 且刀具的直径越大, 干涉的区域也越大。

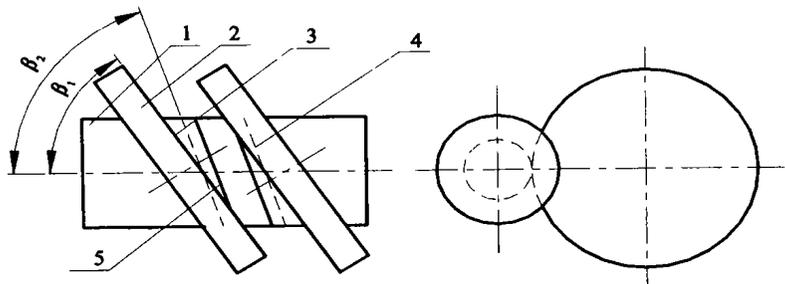


图 2 三面刃铣刀加工螺旋面时的侧刃干涉

1 工件; 2 刀具; 3 中径螺旋线位置; 4 外径螺旋线理论位置; 5 外径螺旋线实际位置

Fig 2 Interference of side blade at processing the spiral face by three-side blade milling tool  
1 Work; 2 Cutting tool; 3 Spiral line position of middle path; 4 Spiral line theoretic position of outside path;  
5 Actual position of spiral line of outside path

### 2.2 用立铣刀铣削

用立铣刀铣削时, 同样会发生侧刃干涉(图 3)。

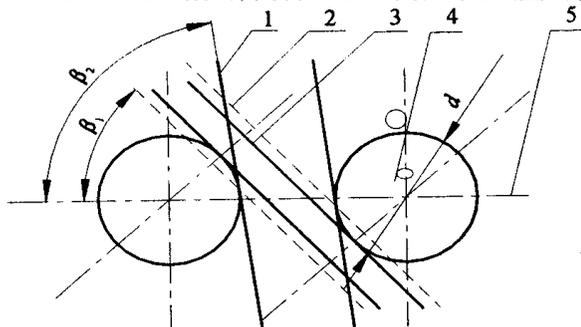


图 3 立铣刀加工螺旋面时的侧刃干涉

1 外径螺旋线位置; 2 内径螺旋线理论位置;  
3 内径螺旋线实际位置; 4 刀具; 5 工件轴线

Fig 3 Interference of side blade at processing the spiral face by vertical milling tool

1. Spiral line position of outside path;  
2. Spiral line theoretic position of inside path;  
3. Actual position of spiral line of inside path;  
4. Cutting tool; 5. Axes of work

因为由螺旋面的形成原理可知, 在螺旋运动时, 螺旋面上任一点的导程是相等的, 因叶片有高度, 叶片上每一点的螺旋角是变化的, 所以圆的直径越大, 螺旋角越大; 直径越小, 螺旋角越小, 加工时的交换齿轮是按某一点的直径计算的, 在其余各处, 由于螺旋角的变化都会发生一定程度的干涉<sup>[6]</sup>。

## 3 叶轮铣削的工艺选择

因加工叶片材料为 1Cr18Ni9Ti, 属难加工材料, 且叶片间最小法向距离为 0.5 mm, 没有专用工具, 加工难度大, 精度难以保证。因此, 要求铣刀的直径应小于 0.5 mm, 或刀具的宽度小于 0.5 mm。由于用立铣刀铣削, 干涉小, 故先采用立铣。

### 3.1 用 0.5 mm 的中心钻进行加工

立铣虽有一定干涉, 但因刀具直径较小, 实际干涉量不大, 加工相对简单, 故优先选用立铣。但目前

的立铣刀系列尚无  $\phi 5\text{ mm}$  的标准铣刀, 因而只能借用  $d=0.5\text{ mm}$  的中心钻进行螺旋面的加工。由于直径小, 切削过程实际为挤压式, 钻头易断, 叶面粗糙度低, 叶片易变形, 经多次试验均无法达到技术要求, 证明此方法并不适用, 只好放弃。

### 3.2 用片铣刀加工螺旋面

采用片铣刀进行加工时, 铣刀的直径越大, 干涉区域越大; 同时, 铣刀宽度要适合, 若太大, 有可能铣掉相邻的叶片。因无现成的符合要求的片铣刀和三面刃铣刀, 故在自制铣刀时, 减小铣刀直径与宽度是实现此螺旋面加工的关键。

### 3.3 用改制的刀具进行加工

经过分析, 将  $d=4\text{ mm}$  的立铣刀磨成 T 形刀 (图 4), 用于螺旋面的加工。加工时, 交换齿轮按中径  $=2.2\text{ mm}$  进行计算, 以减小干涉。在线性尺寸精度为  $\pm 0.005\text{ mm}$ , 分度精度为  $\pm 20$  的铣床上, 试加工表明, 加工后的零件能够满足要求, 装配后的传感器验收合格。按照此方法加工的叶轮合格率在 90%

以上。

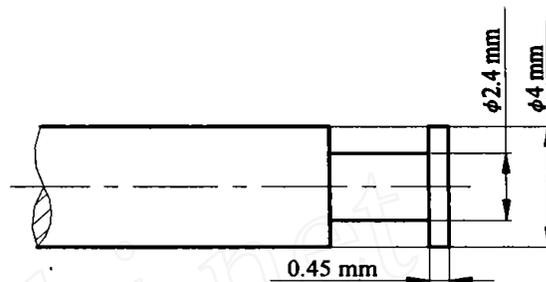


图 4 T 形刀具

Fig 4 T-shape cutting tool

## 4 结 论

本文较详细地分析了微型螺旋面叶轮的结构和工艺特点, 以及用立铣刀和片铣刀铣削螺旋面时的干涉规律, 为利用现有设备——万能铣床铣削微型螺旋面叶轮设计了刀具, 并用于实际生产, 加工出了合格的产品, 取得了较好的经济效益, 对同类零件的加具有有一定的参考作用。

### [参考文献]

- [1] 徐家文, 朱永伟, 胡平旺, 等. 整体叶轮的数控电解加工及其在航天制造中的应用前景[J]. 宇航材料工艺, 2003, (1): 13- 16
- [2] 钱 密, 徐家文. 小型整体叶轮的展成电解加工[J]. 机械制造, 2003, 41(470): 43- 45
- [3] 王 刚, 赵万生. 涡轮制造技术的现状和发展[J]. 航空工程与维修, 2000, (4): 41- 43
- [4] 方昆凡. 工程材料手册 黑色金属材料卷[M]. 北京: 北京出版社, 2002
- [5] 同济大学教研室. 高等数学[M]. 第 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1996
- [6] 《铣工实践》编写组. 铣工实践[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990

## Processing of mini spiral face impeller

YUAN Ge-xia<sup>1,2</sup>, YANG Gong-ming<sup>3</sup>, ZHOU in-gu<sup>1</sup>, NING Wang-yang<sup>1</sup>

(1 College of Mechanism and Electronic Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Department of Mechanical Engineering, Baoji College of Arts and Science, Baoji, Shaanxi 721007, China;

3 College of Food Science and Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** This paper analyzes the structure and characteristic of mini spiral face impeller, and introduces a new method by the use of milling machine and special cutting tool. The practical producing attains satisfactory effect of processing.

**Key words:** spiral face impeller; milling processing; technology design