

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.02.010

基于摆线旋分原理的齿套倒锥 加工方法及刀具设计*

王利华¹, 郝瑞参²

(1. 内蒙古民族大学 机械工程学院, 内蒙古 通辽 028043;

2. 北京电子科技职业学院 汽车工程学院, 北京 100176)

摘要:针对汽车同步器齿套倒锥加工方法间歇分度、生产效率低等问题,结合平面摆线逼近渐开线的方法,使用了摆线簇逼近渐开线,在此基础上建立了倒锥旋分加工数学模型,以便得到倒锥加工刀尖切削点轨迹曲线,并提出了一种基于摆线旋分原理的齿套倒锥加工方法。使用了摆线参数控制切削点轨迹曲线的形状来逼近渐开线,以便达到一定的加工精度;使用 Matlab 进行了仿真实验,证明了齿套倒锥摆线旋分加工方法的可行性。研究表明:基于摆线旋分原理的齿套倒锥加工方法及刀具设计理论是正确可行的,所设计完成的倒锥刀具满足同步器齿套厂家对齿套倒锥的加工要求,同时还显著提高了加工效率。

关键词:同步器齿套;旋分加工;倒锥加工;刀具设计

中图分类号:TH161.1;U463.2

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)02-0164-04

Machining method and tool design of gear sleeve inverted cone based on cycloidal spinning principle

WANG Li-hua¹, HAO Rui-can^{2*}

(1. College of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao 028043, China;

2. School of Automotive Engineering, Beijing Polytechnic, Beijing, 100176)

Abstract: Aiming at the problems of intermittent indexing and low production efficiency of the car synchronizer sleeve inverted cone processing method, combined with the method that the plane cycloid approaching the involute, the cycloid cluster was used to approximate the involute, and on this basis, the establishment was established. The mathematical model of the inverted cone rotation machining was used to obtain the trajectory curve of the cutting point of the inverted cone machining tool. A gear sleeve inverted cone machining method based on the cycloidal rotation principle was proposed. The shape of the cutting point trajectory curve was controlled by using the cycloidal parameter. The involute was approached to achieve a certain machining accuracy, and the Matlab simulation experiment was used to prove the feasibility of the sleeve inverted cone cycloidal processing method. The results show that the method of tooling inverted cone processing and tool design theory based on cycloidal rotation principle is correct and feasible. The designed inverted cone tool meets the requirements of the synchronous gear sleeve manufacturer for the processing of the gear sleeve inverted cone, and improves processing efficiency.

Key words: synchronizer sleeve; spinning; inverted cone; cutter design

收稿日期:2019-06-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51865046);内蒙古自治区科技创新引导项目(KCBJ2018028);内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY18159)

作者简介:王利华(1970-),男,内蒙古通辽人,教授,主要从事机械设计与智能制造方面的研究。E-mail:wlhimun@163.com

0 引言

倒锥工艺是汽车同步器齿套加工工艺中的重要工艺步骤^[1]。同步器齿套倒锥加工质量的好坏关乎整车的安全性能。常用的汽车同步器齿套倒锥加工方法包括:轧制方法、齿轮成型方法和挤压方法。(1)轧制方法是使用具有收缩角的滚轮和待加工的工件,通过滚轮的正向和反向滚动来获得倒锥,该方法加工效率相对较高,但是加工得到的两侧齿面不对称,齿向精度较差;(2)齿轮成型法较灵活,但加工效率低;(3)涨挤法加工效率和精度都较高,但需要昂贵的工艺装备、复杂的夹具设计和专门的涨挤刀,且涨挤加工产生的毛刺无法一次性去除,零件容易失去原有的精度。

国内外关于同步器齿套倒锥加工方法的研究成果已经有很多,其中,国内关于倒锥加工技术的研究工作主要是围绕挤压成型法^[2-3]进行。重庆机床厂提出了一种用于间断齿齿套倒锥的挤压加工方法^[4];江苏太平洋精密锻造有限公司提出了一种倒锥加工工艺方法^[5],其是在对坯料进行环形处理之后,首先对花键齿和齿端面锁定角进行冷挤压成形,然后在挤压机床上进行反向斜面冷挤压。

近年来,国外一些发达国家在齿套倒锥加工方面取得了较为先进的研究成果,特别是在汽车工业方面。由德国 PRAWEMA 和 WERA 开发的数控旋分机床^[6-7]可以使用专用倒锥刀具,进行倒锥的切削加工,其加工效率大大提升,加工精度也很高。美国和日本也都有类似功能的机床设备和相应的刀具。

基于摆线旋分原理,本文将提出一种连续分度的齿套倒锥加工方法,同时提出一种通用型的倒锥刀具设计方案。

1 加工原理

1.1 摆线的参数方程

摆线是工程中最重要曲线之一。平面上,移动圆上的点在固定圆上做纯滚动,则移动圆上点的轨迹是摆线,移动圆与固定圆的内侧相切,则形成内摆线;移动圆与固定圆的外侧相切,则形成外摆线。在工程中,移动圆通常被称为发生圆,固定圆被称为基圆。

摆线的参数方程为^[8]:

$$\begin{cases} x = (R - r) \cos \alpha + e \cos(\theta + \beta) \\ y = (R - r) \sin \alpha + e \sin(\theta + \beta) \end{cases} \quad (1)$$

式中: R —基圆半径; r —发生圆半径; e —定点到发生圆圆心的距离; β —初始角度; α —公转角; θ —自转角,

$$\theta = (1 - R/r) \times \alpha。$$

其中, R 、 r 和 e 影响摆线的形状,而 β 只是影响摆线发生的位置,并不影响摆线的形状, α 决定摆线轨迹的长短^[9]。

根据实际工程的需要,调整摆线参数,可以得到不同形状的摆线,用于加工不同的零件。

1.2 摆线旋分加工倒锥原理

摆线旋分原理就是使刀尖点的轨迹根据摆线轨迹运动,利用摆线轨迹沿圆周周期性分布的特点,来加工一些具有周向分布表面的零部件,比如齿轮倒棱或者齿套倒锥等等。当采用摆线旋分加工倒锥时,工件轴和基圆轴重合,刀具轴与发生圆轴重合,则刀尖点的轨迹为摆线轨迹。此时,刀具具有两个运动:(1)围绕其自身轴的自转运动;(2)刀具围绕静止工件轴的公转运动。若完全按照此原理加工,会使机床的运动变得相对复杂。

在实际加工过程中,加工的具体过程由刀具和工件的相对位置和相对运动决定。若保证工件绕其圆心以 ω_1 的角速度转动,刀具以 ω_2 的角速度绕自身轴线转动,根据相对运动的关系,此时刀具上的点对于工件的运动轨迹同样是摆线。

利用摆线旋分方法加工倒锥的原理图如图1所示。

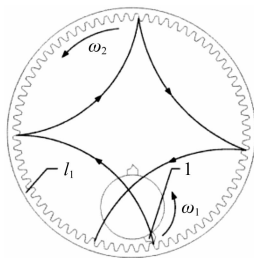


图1 旋分加工示意图

本文利用摆线旋分方法加工倒锥,还需要考虑加工时的跨齿数 k 。根据摆线旋分加工原理,工件轴与刀具轴旋转角速度比为 $\omega_1/\omega_2 = r/R$ ^[10]。工件齿数 z 由加工图纸获得,工件和刀具应满足 $r/R = k/z$ 的关系式,其中, k 应为小于 z 的自然数,以保证工件的每个齿都被加工到。

经过整理,刀尖点相对工件基本运动轨迹可以^[11]表示为:

$$\begin{cases} x = \frac{z-k}{z} R \cos \alpha + e \cos\left(\frac{z-k}{k} \alpha - \beta\right) \\ y = \frac{z-k}{z} R \sin \alpha - e \sin\left(\frac{z-k}{k} \alpha - \beta\right) \end{cases} \quad (2)$$

利用式(2)的摆线轨迹逼近渐开线,可以得到一系列的摆线参数值,利用一系列摆线簇可以减小逼近精度,达到本研究所需要的逼近精度要求。

以某汽车同步器齿套倒锥为例,其参数如下:模数 $m = 2\text{ mm}$,压力角为 20° ,齿数 $z = 33$,分度圆直径 $d = 66\text{ mm}$,齿顶圆半径 $R_a = 33\text{ mm}$,齿根圆半径 $R_f = 35\text{ mm}$ 。

用 5 条摆线来逼近渐开线,理论逼近误差为 $0.003\ 79\text{ mm}$,满足零件的加工要求。

2 刀具结构设计

同步器齿套倒锥是一个在内齿齿廓上倾斜某一角度,沿渐开线齿廓向里切得到的结构,倒锥的尺寸大小和角度尺寸根据工件参数计算得到。

为了保证一把倒锥刀具可以加工不同角度参数的倒锥,本文设计的刀具需要根据不同的倒锥体倾斜的角度,可以灵活地调节相应的刀刃和柄轴之间的角度。为了增加可由刀头加工的倒锥长度,刀头半径应尽可能大,以确保刀头与内花键齿廓之间不发生干涉。

此外,通用倒锥刀具理论上还可以加工一定范围内不同模数和齿数的倒锥,所以需要实现刀尖回转半径可调的功能。为了实现这一功能,本文设计了一种新的锥形轮结构。锥形轮头是一个带有凹槽的短圆柱形结构,锥形尾部是外螺纹结构,允许其上下移动,尾部的外螺纹结构穿入柄部中心的内螺纹。

由于锥形轮的中间部分宽而窄,当其向下移动时,将向刀头产生向外的推力,从而增加了刀头的回转半径;当其向上移动时,外力可以施加到刀头上,使得刀头的底部与锥形轮紧密接触。

刀具的内部结构如图 2 所示。

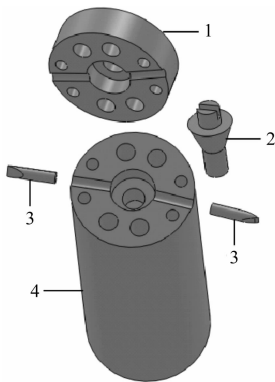


图 2 刀具内部结构

上述刀具结构的设计主要包含以下几个部分:(1)用于安装锥形轮和安装刀柄的短圆柱体端盖;(2)用于改变刀尖回转半径 e 值的大小的锥形轮;(3)用于齿套倒锥的切削加工的刀头和主要用来固定刀头的位置的刀柄,其内螺纹主要用来实现锥形轮的移动及固定。

本研究用专用夹具将刀具固定在刀具主轴上。刀柄和短圆柱体端盖通过螺栓连接,刀头依靠短圆柱体

端盖与刀柄之间的压紧力,固定在刀柄和短圆柱体端盖上的圆弧槽内,圆弧槽半径和刀头半径相等,圆弧槽深度分别比刀头半径小 0.5 mm 左右。

为了实现刀尖回转半径的可调性,锥形轮需要上下移动,因此锥形轮的高度应小于短圆柱体端盖和刀柄上凹槽深度的总长^[12]。此外,锥形轮通过尾部外螺纹结构和刀柄的内螺纹结构固定。

通过以上设计,使刀具各零件紧密装配成一个整体,保证了刀具结构的稳定性。

通过刀头角可以计算出其切削刃、前刀面和后刀面所在的坐标位置。

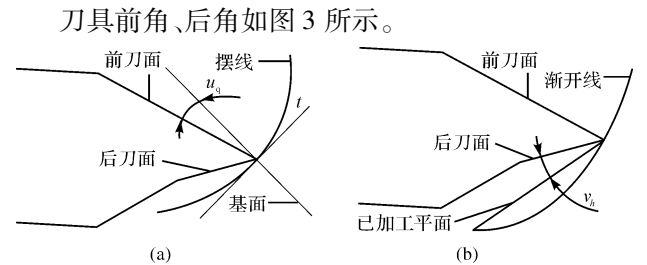


图 3 刀具前角、后角

在保证后刀面与内花键渐开线齿廓不发生干涉条件下,应尽量增加前角大小以调高刀刃的锋利性,后角可以根据刀具材料在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 范围内选取。

本文利用摆线簇逼近渐开线,求出各个刀尖点的坐标值,拟合形成刃型,进行刀头模拟加工;利用有限元软件模拟仿真,找到刀尖沿摆线轨迹切削时,不与渐开线齿廓干涉的刀具参数。

3 实验及结果分析

本文为了验证上述加工方法的可行性,以某型号汽车低速档同步器内花键齿套倒锥加工为例。

其内花键参数如表 1 所示。

表 1 内花键参数			
分度圆 d/mm	齿顶圆 d_a/mm	齿根圆 d_f/mm	
94.5	96.87	93	
模数 m	齿数 z	压力角 $\alpha/(^\circ)$	基圆 d_b/mm
1.5	63	30	81.84

各条摆线具体参数如表 2 所示。

表 2 各摆线参数				
摆线	R/mm	e/mm	$\beta/(^\circ)$	k
摆线 1	43.293 5	30.962 0	0.117 5	38
摆线 2	42.572 8	30.962 0	0.114 0	38
摆线 3	42.197 3	30.962 0	0.112 5	38
摆线 4	44.011 7	30.962 0	0.121 5	38

工件图纸要求的齿形精度为 0.012 mm ,最后所求得逼近渐开线的摆线条数为 4。

刀尖轨迹的扫略图如图4所示。

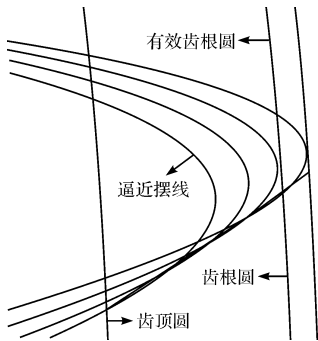


图4 刀尖点的摆线轨迹

根据上述摆线的参数值可以得到刀体的参数,如表3所示。

表3 刀体尺寸参数

刀总长	刀体长	半径	前刀面和刀轴	后刀面和
L/mm	T/mm	r/mm	夹角 $u/(\text{°})$	刀轴夹角 $v/(\text{°})$
25	18	5	35.54	20

本文通过 Matlab 软件进行加工仿真。

刀尖点的运行轨迹所形成的一系列包络线如图5所示。

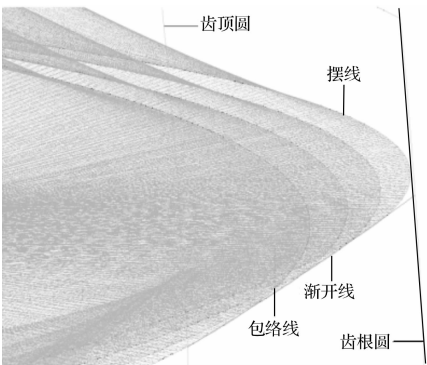


图5 刀具刃扫包络图

从图5可以看出:刀具与要加工的工件齿廓互不干涉,证明了本文设计的摆线旋分倒锥刀具加工方法的可行性。

根据表2中的摆线参数,本文设计制造了刀具、准备毛坯,编制了数控程序,并在数控摆线旋分加工机床上进行实切,加工出的产品样件详见图5所示的刀具刃扫包络图。

本文在齿轮测量中心上进行了精度测量,所测左、右齿面各3个齿。其中,左齿面平均齿形误差0.0091mm,右齿面平均齿形误差为0.0094mm;所测6个齿中最大齿形误差0.0107mm。

根据国家颁布的圆柱直齿渐开线花键标准 GB/

T3478.1,可以判定其精度等级为5级。

4 结束语

基于摆线旋分原理,本文提出了一种连续分度的齿套倒锥加工方法,即采用平面摆线逼近渐开线的方法,并利用摆线簇逼近渐开线以小逼近误差;同时,本文还提出了一种通用型的倒锥刀具设计方案。

本文通过 Matlab 仿真实验,证明了齿套倒锥摆线旋分加工方法的可行性,以及刀具设计方案的正确性。由于大量的工艺实验证明,基于摆线旋分原理的刀具切削效率及其精度都很高,本文的结果具有一定的推广应用价值。

与传统的间歇分度加工齿套倒锥相比,本文提出的花键齿套倒锥刀具(根据摆线旋分的原理设计),具有旋转分度、加工效率高、精度高等优点,具有一定的市场前景。

参考文献(References):

[1] 谷文金. 浅析汽车变速器同步器关键零部件制造[J]. 汽车工艺师,2018(10):22-25.

[2] 翟增林. 同步器倒锥齿加工工艺分析[J]. 机械管理开发, 2017,32(11):19-20,24.

[3] 赵立强. 浅析同步器齿套的加工工艺流程[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报,2019,18(1):81-85.

[4] 赖人评,吴宜华. 同步器齿套滑块槽数铣加工胀套式夹具设计[J]. 汽车实用技术,2019(4):148-150.

[5] 翟增林. 同步器倒锥齿加工工艺分析[J]. 机械管理开发, 2017,32(11):19-20,24.

[6] 闫波,李 佳. 基于摆线旋分原理的飞刀加工及其刀具的结构设计[J]. 机械传动,2014,38(3):163-166.

[7] 田茂权. 端面花键齿参数设计及计算方法研究[C]. 探索创新交流(第4集)——第四届中国航空学会青年科技论坛文集,北京:中国航空学会,2010.

[8] 李 佳,高 朋,何江华. 汽车同步器齿套倒锥摆线旋分加工法研究[J]. 中国机械工程,2007,18(6):650-654.

[9] 阎 波,张冠伟. 基于等刚度原理的汽车同步器齿套倒锥刀具设计[J]. 机械管理开发,2006(6):29-30.

[10] 孟 文. 直齿锥齿轮旋分加工技术基础研究[D]. 天津:天津大学机械工程学院,2013.

[11] 何江华. 摆线旋分加工技术的研究与实践[D]. 天津:天津大学机械工程学院,2007.

[12] 邢 英. 内花键齿套倒锥加工技术改进及刀具设计[D]. 天津:天津大学机械工程学院,2012.

[编辑:程 浩]

本文引用格式: