

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.05.011

一种能够加工薄壁壳体内壁的杠杆摆动式 辅助装置*

薛 岚^{1,2}, 杨 帅^{1,2*}

(1. 江苏电子产品装备制造工程技术研究开发中心, 江苏 淮安 223003;

2. 淮安信息职业技术学院 自动化学院, 江苏 淮安 223003)

摘要:针对普式车床不能高质量加工薄壁壳体类零部件的问题,通过改造刀架使其刀体做低速圆周运动,设计了一种能够加工薄壁壳体内壁的杠杆摆动式辅助装置。采用二力杆原理,设计了杠杆摆动式辅助装置的螺纹副伸缩机构、刀体回转机构组成和微调部件,提高了杠杆摆动式辅助装置加工能力和自适应能力;采用 Pro/E 对杠杆摆动式辅助装置进行了校验,对刀体在切削力作用下的变形不会对壳体加工质量产生主要影响,以及杠杆摆动式辅助装置各部件均不存在与壳体不发生干涉的现象进行了分析。研究结果表明:通过杠杆摆动式辅助装置,改进了普式机床在薄壁壳体加工领域的局限性,提高了车床的利用率。

关键词:杠杆摆动式辅助装置;刀体回转机;螺纹副伸缩机构;二力杆原理;薄壁加工

中图分类号:TH122;TG511;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)05-0506-05

A lever swing auxiliary device for machining the inner wall of thin shell

XUE Lan^{1,2}, YANG Shuai^{1,2}

(1. Jiangsu Engineering Technical R&D Center for Equipment Manufacturing of Electronic Products, Huaian 223003, China;

2. Department of Automation, Huaian College of Information and Technology, Huaian 223003, China)

Abstract: Aiming at the problem that thin-walled shell parts with high quality could not be processed by general lathe, by modifying the tool holder to make the tool body move at low speed, a lever swing auxiliary device which could process the inner wall of thin-walled shell was designed. A screw retract mechanism, a cutter body slewing mechanism and a fine-tuning components were designed, the principle of two-force bar was used to improve the machining ability and adaptive ability of lever swing auxiliary device. It was checked and analyzed that the deformation of the tool body of lever swinging auxiliary device under cutting force could not have a major impact on the processing quality of the shell by computer aided design software Pro/E, and there was no interference between the parts of lever swinging auxiliary device and the shell. The results indicate that the limitation of the general lathe in the field of thin-walled shell processing is improved, the utilization rate of the lathe is increased.

Key words: lever swinging auxiliary device; screw retract mechanism; cutter body slewing mechanism; principle of two power rods; thin-wall machining

0 引言

随着科技的高速发展,机电类行业对零部件加工

提出了越来越高的要求:(1)对零部件的种类需求越来越多样化,薄壁壳体等特殊型零部件应用越来越多;(2)对产品的经济性等方面提出了综合性要求,市场

收稿日期:2018-10-09

基金项目:江苏省高等学校自然科学研究资助项目(18KJB510003);教育部工业机器人领域职业教育合作项目(教职成司函[2017]14号);淮安市智能制造重点实验室项目(HAP201805)

作者简介:薛岚(1982-),女,辽宁沈阳人,硕士,副教授,主要从事自动化技术方面的研究。E-mail:hcitxuelan@163.com

通信联系人:杨帅,男,副教授。E-mail:457007099@qq.com

竞争越来越激烈,目前价格还是决定市场的主导因素;(3)对零部件的精度和质量提出了更高的要求。普式机床加工曾经是我国制造业的主要基础,伴随着智能制造的提出,大型现代化制造企业逐渐将其淘汰,智能装备开始被企业采用。智能装备虽然能够较好地满足现代行业的高要求,但企业面临着投资金额缺口巨大、操作设备所需人才素质太高的难题^[1-3]。我国产业形态比较复杂,大量小微型企业基础比较薄弱,资金短缺,很难吸引高素质人才,普式机床低廉的设备价格受到小微型企业的欢迎,因此,普式机床还在被广泛应用。根据我国产业发展现状,普式机床很难在短时间被淘汰,尤其在小微型企业会存在很长时间,故通过对普式机床实施简易化改造,无需太多的资金投入,就能满足当今行业对产品的新要求,具有重要的社会应用价值^[4-5]。

薄壁壳体内壁尤其是大弧度接近整圆的壳体加工难度系数大,加工过程容易受壳体变形的影响,且加工刀具的运动在壳体内部受到很大限制。因此,本文通过设计杠杆摆动式辅助装置,实现普式车床对大弧度薄壁壳体的加工。

1 大弧度薄壁壳体加工改进方法的分析

薄壁壳体加工过程中主要产生的误差按其产生机理可分为两大类:第一类误差为系统误差,第二类误差为加工过程误差。通过改进加工工艺方法仅能减少加工误差,但是不能完全消除加工误差。

薄壁壳体加工误差包括切削力影响误差、热应力影响误差、内应力影响误差和刀具磨损影响误差,为了减少这些类型的加工误差,除了采用冷却的办法消除热应力影响、控制刀具磨损,采用辅助装置补偿尺寸、形状和位置等加工误差也是重要的方法手段^[6-7]。大弧度薄壁壳体不同于半球壳体,半球壳由于开口大体内辅助装置运动空间受限小,大弧度薄壁壳由于开口小体内辅助装置运动空间受限大,要求辅助装置必须结构简单,体积小。同时薄壁壳体刚性小,随机变形几率大,这也是设计改进方法必须考虑的客观因素。

根据上述分析,辅助装置可以采用蜗轮蜗杆和杠杆摆动两种形式,采用蜗轮蜗杆式辅助装置具有传动比范围大、冲击载荷小、传动平稳、噪声低等优点,但是结构相对复杂、空间安置受限,传动的中心距难以调整,对中心距误差的敏感性强,摩擦磨损严重、效率低。采用杠杆摆动式辅助装置具有结构简单、制造容易、操作简单、易于自锁等优点^[8-9],但是具有传动磨损快的

缺点。因此,相对于蜗轮蜗杆式辅助装置,杠杆摆动式辅助装置中传动部件如果采用标准件,磨损后更换简单,比较容易解决磨损问题。因此,该改进方法采用杠杆摆动式辅助装置实现大弧度薄壁壳体内壁加工。

辅助装置工作原理图如图1所示。

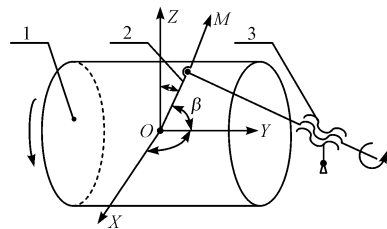


图1 杠杆摆动式辅助装置工作原理图

1—回转工件;2—车刀;3—螺纹副伸缩机构

图1中:杠杆摆动式辅助装置利用二力杆原理,即工件绕装置自身轴线高速旋转,刀具通过连杆机构绕圆心点做低速圆周运动,刀尖对工件内壁进行切削,使工件内部成为球面。

2 杠杆摆动式辅助装置的设计

根据杠杆摆动式辅助装置工作原理,所设计的杠杆摆动式辅助装置主要由螺纹副伸缩机构和刀体回转机构组成。

辅助装置结构图如图2所示。

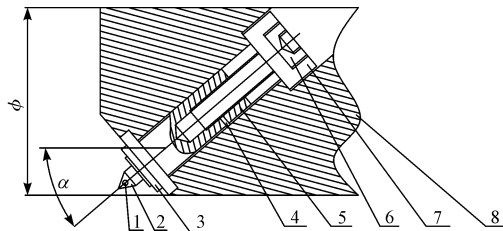


图2 杠杆摆动式辅助装置结构图

1—刀体;2—传动螺杆;3—传动螺母;4—轴套;5—附座;
6—刀杆;7—手轮;8—刀台;9—刀尖;10—刀体随动回转中心;
11—刀体固定回转中心;12—摆动固定回转中心

图2中:杠杆摆动式辅助装置螺纹副伸缩机构由螺纹副、带销耳的传动轴套、手轮构成,传动形式是螺母旋转不移动,螺杆沿轴线移动并摆动^[10-11],装置的动力来源于手轮。摇动手轮,使传动螺母做旋转运动,带动传动螺杆做直线运动,同时传动螺母绕固定在刀杆上的附座上的销轴做圆周摆动。螺旋副的传动方式优化为滑动螺旋,易于自锁适合于本案。杠杆摆动式辅助装置的螺纹副伸缩机构安装在刀体回转机构上,刀杆6固定到车床的刀台8上,机构有两个回转轴:传动螺杆2与刀体1间的回转轴通过一个销轴与刀体1

连接为刀体随动回转中心,刀杆 6 与刀体 1 间的固定回转轴通过另一个销轴连接为刀体固定回转中心^[12-13]。壳体加工要求刀体 1 在传动螺杆 2 的拉动下绕刀杆 6 回转轴做匀速圆周运动,该设计保证了刀体 1 随传动螺杆 2 的伸缩运动与摆动绕销轴做圆周运动。刀杆 6 与刀体 1 间的固定回转轴与壳体中心重合,使刀体 1 绕壳体中心旋转,并适合大弧度壳体加工。

薄壁壳体加工过程中,刀具磨损必不可免,每次刀具磨损都要更换整套工装,耗时又耗财。在刀杆上增设刀微调部件装夹到刀体上,这种改进设计使杠杆摆动式辅助装置具有自动调整功能^[14-15],增加了杠杆摆动式辅助装置自适应性。

杠杆摆动式辅助装置微调部件结构图如图 3 所示。

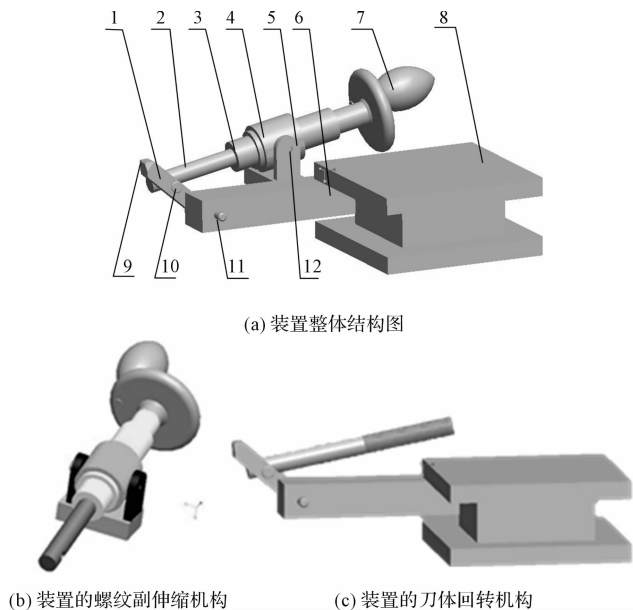


图 3 杠杆摆动式辅助装置微调部件结构图

1—刀片压紧螺钉;2—成型刀片;3—调整螺母;
4—定位销;5—刀体;6—内六角螺钉;7—压紧垫圈;8—刀杆

图 3 中:对刀微调部件的刀体 5 与调整体之间通过一个精密螺纹副连接在一起,在转动调整体 360° 时,刀体 5 在轴向(或径向)移动一个螺距 t ,当转动角度为 n 时,则刀体 5 移动距离为 $(t * n) / 360^\circ$,从而达到调整的目的。调整体既可以采用调整螺钉,也可以采用调整螺母,该方案使用调整螺母。微调部件结构采用差动螺旋机构,螺杆转动 θ 角时,车刀移动的距离为: $S = (t_A - t_B) \theta / (2\pi)$ (t_A, t_B —双头螺杆的螺距)。调整时,松

$$v = \frac{C_v}{T^{0.2} a_p^{0.15} f^{0.35}} = \frac{158}{360^{0.2} \times 2^{0.35} \times 0.2^{0.35}} = 76 \text{ m/min} \quad (1)$$

式中: v —切削速度, m/min ; C_v —切削速度修正系数; T —刀具耐磨时间, min ; a_p —吃刀量, mm ; f —进给量, mm/r 。

刀体作为杠杆摆动式辅助装置夹持刀具的末端执

开内六角螺钉 6,旋动螺距为 0.75 的调整螺母 3 至适宜位置时,拧紧内六角螺钉 6,拉紧固定,定位销保证刀体 5 正确的导向。刀体 5 与刀杆 8 以 H7/g6 配合,以保证调整准确。调整螺母 3 做成 50 格,转动一格刀体 5 在与刀杆 8 成 α 角的方向上移动 0.015 mm,而刀体 5 在壳体的水平半径方向上的增量为 $b = 0.015 \times \sin \alpha$,为使 $b = 0.01 \text{ mm}$, α 角需做成 48.2° ,这样,即可做到调整螺母 3 每转动一格,刀体 5 径向移动 0.01 mm。

3 杠杆摆动式辅助装置的改进校验分析

增强杠杆摆动式辅助装置通用型的目的,就是适应直径在 100 mm ~ 300 mm 之间的大弧度壳体,加工误差不小于 0.1 mm 大弧度薄壁壳体的加工,能够配合国内多数类型的普通卧式车床。以壳体材料为 30CrMnSi,刀具材料按 YT15 考虑,加工误差小于 0.1 mm,加工内壁表面粗糙度为 $Ra0.4$,内壳尺寸为 $S\phi 180_{+0.05}^{+0.12} \text{ mm}$,刀具耐磨时间 T 为 360 min,吃刀量 a_p 为 2 mm,进给量 f 为 0.2 mm/r,查表切削系数 $C_{p_z} = 308$, $C_{p_y} = 258$, $C_{p_x} = 229$,作为校验的参考加工工艺技术参数,采用计算机辅助设计 Pro/E 软件并结合图解法,兼顾于各状态下杠杆摆动式辅助装置与壳体不发生干涉情况,对杠杆摆动式辅助装置结构进行了改进设计,关键结构参数如下。

刀杆刚度需要强化设计,刀体选定截面尺寸为 19 mm × 19 mm,刀杆截面尺寸为 38 mm × 28 mm,刀杆总长度 345 mm,摆动螺杆铰链点与刀具随动铰链点距离在 150 mm ~ 226 mm 范围变化,摆动螺杆中心线距离工件内壁距离不小于 22.5 mm。为保证切削点在两回转中心的连线上,切削点距离刀体固定回转中心距离为切削点距离随动回转中心的距离的 2 倍^[16-17],工作时刀具有效回转角度(与水平线正向夹角)范围为 $48^\circ \sim 163^\circ$;为简化结构,将摆动杆的十字铰链座与刀杆一体设计;传动螺杆总长 150 mm,螺纹有效长度 130 mm;螺母作为动力输入元件,末端与手轮固定联结,与传动螺杆组合成螺旋副工作,最大旋合长度 103 mm,最小旋合长度 27 mm,螺杆的长径比小于 40;为保证螺旋副绕摆杆固定回转中心摆动,设计有十字铰链式回转轴套,各处铰链均按 $\phi 10 \text{ mm}$ 铰链设计,即:

行元件,直接与壳体内壁接触,其受力变形情况直接影响加工精度。以刀体为受力元件,根据经验公式,切削点处各切削分力为:

$$F_z = C_{p_z} \cdot a_p \cdot f^{0.75} \cdot v^{-0.2} = 308 \times 2 \times 0.2^{0.75} \times 76^{-0.2} = 50.20 \text{ N} \quad (2)$$

式中: F_z —主切削力,N; C_{p_z} —主切削力系数; a_p —吃刀量,mm; f —进给量,mm; v —切削速度,m/min。

$$F_y = C_{p_y} \cdot a_p^{0.9} \cdot f^{0.6} \cdot v^{-0.2} = 258 \times 2^{0.9} \times 0.2^{0.6} \times 76^{-0.2} = 49.95 \text{ N} \quad (3)$$

式中: F_y —切深抗力,N; C_{p_y} —切深抗力系数; a_p —吃刀量,mm; f —进给量,mm; v —切削速度,m/min。

刀体截面为正方形,尺寸为19 mm × 19 mm,该截面轴惯性矩为:

$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{19^4}{12} = 10\,860 \text{ mm}^4 \quad (4)$$

$$f_z = \frac{F_z l^3}{\xi E I} = \frac{50.20 \times 0.045^3}{3 \times 520 \times 10^9 \times 10\,860 \times 10^{-12}} = 2.70 \times 10^{-7} \text{ m} \quad (5)$$

式中: f_z —Z轴方向挠度变形量,m; F_z —主切削力,N; l —悬臂长度,m; E —弹性模量,Pa; I —轴惯性矩,m⁴。

$$f_y = \frac{F_y l^3}{\xi E I} = \frac{49.95 \times 0.045^3}{8 \times 520 \times 10^9 \times 10\,860 \times 10^{-12}} = 2.68 \times 10^{-7} \text{ m} \quad (6)$$

式中: f_y —Y轴方向挠度变形量,m; F_y —主切削力,N; l —悬臂长度,m; E —弹性模量,Pa; I —轴惯性矩,m⁴。

4 实验及结果分析

根据薄壁壳体加工最大允许误差为0.1 mm可知,结合校验结果可以判定刀体在切削力作用下的变形量不会对壳体加工质量产生主要影响。

铰链作为杠杆摆动式辅助装置重要受力支撑部件,其性能直接影响壳体加工的安全性,出于销轴耐磨性需要的考虑,使用45钢调质处理加工后表面淬火处理,淬后硬度HRC52-55。装置中各处铰链轴均为剪切受力,对其受剪强度进行分析,销轴有效截面积为:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.141\,59 \times 0.01^2}{4} = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (7)$$

式中: S —销轴有效截面积,m²; d —销轴直径,m。

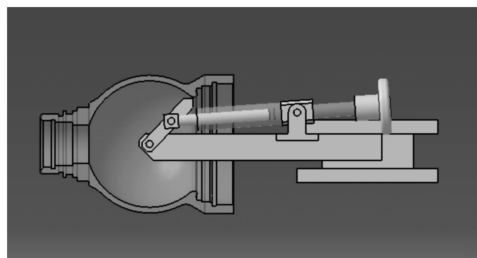
螺杆和螺母属于啮合传动件,通常按软硬齿面配合设计,螺杆选用45钢调质处理,螺母使用锡青铜ZCuSn10Pb1加工。其余零件为了降低加工成本,使用Q235加工。查表得:45钢调质后许用应力 $\sigma_b = 860 \text{ MPa}$,45钢调质后剪切极限应力 σ_r 按0.6倍 σ_b 计算,有 $\sigma_r = 287 \text{ MPa}$,则该销轴的极限剪力为:

$$\tau = S \sigma_r = 7.85 \times 10^{-5} \times 287 \times 10^6 = 2.25 \times 10^4 \text{ N} \quad (8)$$

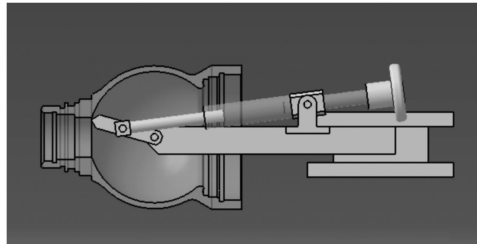
式中: τ —极限剪力,N; S —销轴有效截面积,m²; σ_r —剪切极限应力,Pa。

该剪力远大于装置工作时的反作用力,所设计的杠杆摆动式辅助装置达到薄壁壳体加工预期的安全要求。

杠杆摆动式辅助装置干涉状态图如图4所示。



(a) 杠杆摆动式辅助装置初始状态



(b) 杠杆摆动式辅助装置结束状态

图4 杠杆摆动式辅助装置干涉状态图

图4中:采用Pro/E检查了各状态下杠杆摆动式辅助装置与壳体加工对象的干涉情况,用Pro/E软件视图管理器的简化表示功能将杠杆摆动式辅助装置与壳体放在一个组中,使用全局干涉进行分析,经实验检查,刀体在初始状态和结束状态时,杠杆摆动式辅助装置各部件均不存在与壳体发生干涉现象。

5 结束语

为了实现普式车床加工薄壁壳体类零部件,本研究设计了一种基于二力杆原理的杠杆摆动式辅助装置,该装置被装夹到普式车床上,并通过装置上的螺纹副伸缩机构、刀体回转机构以及附属微调部件,使其刀体做低速圆周运动,实现刀尖对薄壁壳体内壁切削,并对薄壁壳体加工时有较宽的半径调节能力;运用杠杆

摆动式辅助装置校验分析,改进了该装置的关键结构参数。

实验结果表明:利用杠杆摆动式辅助装置对普式车床进行改造,使之能够加工大弧度薄壁壳体类零部件,达到预期的设计要求和标准;该辅助装置结构简单、操作方便,通过更换刀体可在一定尺寸范围内扩展其内球加工能力,扩大普式车床使用范围和性能,通用性强。

参考文献 (References):

- [1] 史太生. 大型铸钢壳体内壁斜孔加工工艺[J]. 金属加工: 冷加工, 2013(8): 43-44.
- [2] 董日治, 岳欠杯, 刘巨保. 壳体出入口位置对中心管振动影响规律分析[J]. 压力容器, 2017, 34(2): 21-35, 46.
- [3] WAN X Q, YAN H S, WANG Z H. Scheduling and self-reconfiguration of an aircraft engine assembly line in knowledgeable manufacturing [J]. **Acta Automatica Sinica**, 2015, 41(1): 136-146.
- [4] 王海涛, 李初晔. 基于拓扑优化的大推力测量工装设计及应用[J]. 制造技术与机床, 2014(10): 30-33.
- [5] HESHRAGHI H, BOROOMAND M, TOUSI A M. The effect of variable stator on performance of a highly loaded tandem axial flow compressor stage[J]. **Journal of Thermal Science**, 2016, 25(3): 223-230.
- [6] 王海涛, 李初晔. 有限元法在工装优化设计中的应用[J]. 金属加工: 冷加工, 2010(18): 53-55.
- [7] 张丰收, 杨星星, 刘建亭, 等. 摆线针轮传动偏心距及承载能力的优化分析[J]. 机械设计与制造, 2017(1): 21-23.
- [8] GAO K Z, SUGANTHAN P N, PAN Q K, et al. Pareto-based grouping discrete harmony search algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling[J]. **Information Sci-**

ences, 2014, 289(1): 76-90.

- [9] 王仲楠, 王武义, 张广玉. 低频往复摆动式模拟平台摩擦特性及实验研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016(4): 614-618.
- [10] LIU L Q, ZHANG X L, XIE L M, et al. Hybrid pareto-based particle swarm optimization for muhi-objective flexible job shop scheduling problem[J]. **Journal of North University of China**, 2013, 34(2): 121-128.
- [11] 张新明, 邓运来, 张 勇. 高强铝合金的发展及其材料的制备加工技术[J]. 金属学报, 2015(3): 257-271.
- [12] 夏 禹, 吴 朋. 多加工路径柔性作业调度方法[J]. 仪器仪表学报, 2016(6): 1433-1440.
- [13] TURKYYIMAZ A, BULKAN S. A hybrid algorithm for total tardiness minimisation in flexible job shop: genetic algorithm with parallel VNS execution [J]. **International Journal of Production Research**, 2015, 53(6): 1832-1848.
- [14] GAO K Z, SUGANTHAN P N, PAN Q K, et al. Discrete harmony search algorithm for flexible job shop scheduling problem with multiple objectives[J]. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 2014, 27(2): 1-12.
- [15] MORADI E, GHOMI S M T F, ZANDIEH M. Biobjective optimization research on integrated fixed time interval preventive maintenance and production for scheduling flexible job-shop problem[J]. **Expert Systems with Applications**, 2011, 38(6): 7169-7178.
- [16] 杨 帅. 一种新型油气悬挂系统关键工装的设计[J]. 机床与液压, 2018, 46(20): 40-43.
- [17] 袁玉成, 杨胜强, 李文辉. 振动光饰机磨粒螺旋运动机理分析及实验验证[J]. 机械设计与制造, 2014(9): 260-263.

[编辑: 李 辉]

本文引用格式:

薛 岚, 杨 帅. 一种能够加工薄壁壳体内壁的杠杆摆动式辅助装置[J]. 机电工程, 2019, 36(5): 506-510.

XUE Lan, YANG Shuai. A lever swing auxiliary device for machining the inner wall of thin shell[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2019, 36(5): 506-510.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>