

薄壁类零件装夹夹具设计方法研究

Research on Design Method of Sheet Part Fixture

中航工业北京航空制造工程研究所 汪鹏 王焱

[摘要] 提出了针对薄壁类零件加工时装夹定位困难这一难题的一种解决思路,即通过设计多自由度的夹具来解决问题。首先对夹具方案进行了理论设计,之后用数值解法对夹具的夹持范围进行分析。最终结合了理论分析给出了一种具体的设计方案,并在 Catia 中进行相关的运动机构分析。结论显示该方案能够对薄壁零件起到夹持作用。

关键词: 薄壁零件 5 自由度 夹具 数值分析

[ABSTRACT] A solution of solving the problem of clamping and positioning sheet parts by designing a fixture with multiple degrees of freedom is presented. At the first, a method of the fixture with multiple degrees of freedom is designed in theory, then the clamping range of the fixture is analysed by the method of numerical analysis. At the end, a specific design of fixture with multiple degrees of freedom is given by combining with the theory, and the kinematics analysis is carried out in Catia. The result shows that the fixture can clamp sheet parts.

Keywords: Sheet part 5 degrees of freedom Fixture Numerical analysis

薄壁类零件在汽车和航空航天等领域具有相当普遍的应用^[1]。目前精度要求不高的薄壁类零件可以采用滚弯、闸压、拉形等成形方法。而对精度要求比较高的零件例如飞机的蒙皮加工,主要则使用喷丸和蠕变时效成形等方法^[2]。

目前,随着数控技术的发展,已经出现了能够对薄壁类零件进行数控加工的方法,例如法国杜菲公司的镜像铣数控系统,能够对飞机上的大型蒙皮进行加工。对于此类数控加工薄壁类零件的方法,一个难题就是装夹的问题。由于薄壁类零件本身厚度不大而面积却相对较大,且多数表面为曲面,这 2 方面的因素都给零件加工时的装夹带来了困难。

由于曲面曲率的不确定性,若想对曲面进行装夹,需要夹具能够实现一定空间任意姿态的调节。本文根据这样的需求,提出了一种具有 5 自由度并能在不破坏薄壁类零件表面的情况下对其进行装夹的夹具设计方式。

1 薄壁零件夹持工况分析

对薄壁类零件加工时需要将其进行装夹,装夹过程不能破坏薄壁类零件的结构,亦即不能改变其在装夹点处的曲率;薄壁类零件都较大,例如客用飞机(如空客 A380)上的一些蒙皮可达到 32000mm × 2500mm,因此装夹时可在其边缘多处用夹具进行装夹,效果如图 1 所示。在不同处用夹具装夹时,各点的曲率是不一样的,因此需要夹具能在一定范围的空间内实现任意姿态的调节。

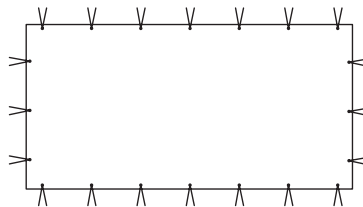


图1 薄壁零件的装夹
Fig.1 Clamp of sheet part

2 夹具设计原理

2.1 5 自由度结构整体设计

针对本次装夹薄壁零件所需要的夹具,设计的整体方案简图如图 2 所示。

该机构由 5 个转动副和 2 个滑移副组成。上部分为连杆 AE、CE、BF、DF 构成,其中 CE、DF 可以分别在 AE、BF 上的滑块中滑动伸缩。通过调整转动副 A、B、C、D 以及滑移副 E、F,可以使 CD 杆的姿态在平面内进行调节,并且可以呈现任意姿态。

下部分为支撑水平杆 AB 的转动副,可以使上部分的整体框架绕轴转动。

2 部分结合使得该机构可以通过调节的转动和上部分机构的姿态使 CD 杆在一定的空间区域内实现任意姿态的调整。

2.2 M 点的轨迹分析

在具体的设计中,可以将 M 点设计为薄壁零件的夹持点。因此, M 点的轨迹,也就是 M 点能够运动达到的范围,夹具能够实现的夹持点。

为了计算 M 点的轨迹,建立如图 3 所示的坐标。令式中 C 点的坐标为 (x_C, y_C) , D 点的坐标为 $(x_D,$

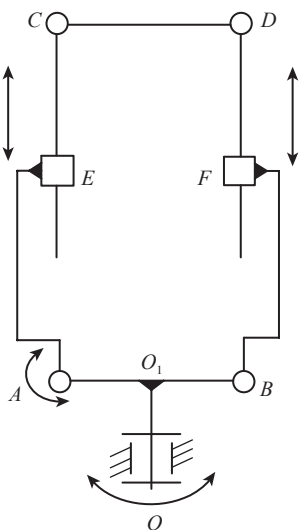


图2 结构简图
Fig.2 Diagram of structure

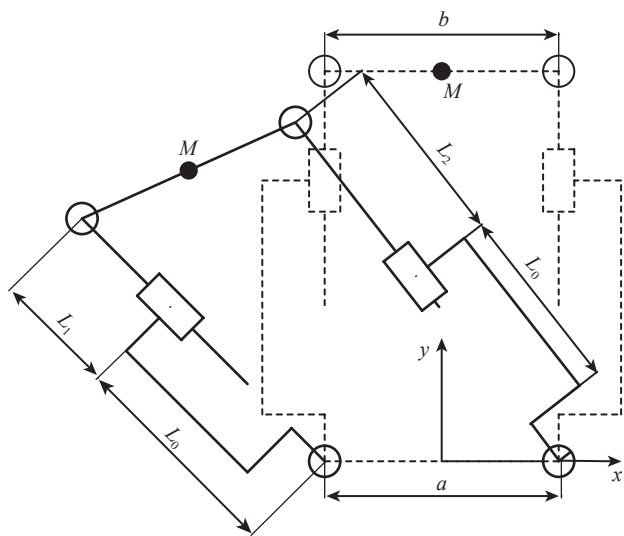


图3 坐标图
Fig.3 Coordinate graph

y_D); AE 、 BF 之间的距离为 L_0 (固定), CE 、 DF 之间的距离分别为 L_1 、 L_2 (可调); AE 、 CD 之间的距离分别为 a 、 b (固定)。 AE 、 BF 与 x 轴的夹角分别为 α 、 β (可调)。则根据条件可以建立以下方程:

$$(x_D - x_C)^2 - (y_D - y_C)^2 = b^2 \quad (1)$$

式中,

$$\begin{cases} x_C = (L_0 + L_1) \cos \alpha + (-\frac{a}{2}) \\ y_C = (L_0 + L_1) \sin \alpha \\ x_D = (L_0 + L_2) \cos \beta + (-\frac{a}{2}) \\ y_D = (L_0 + L_2) \sin \beta \end{cases} \quad (2)$$

CD 的中点 M 的坐标可表示为:

$$\begin{cases} x_M = \frac{x_C + x_D}{2} \\ y_M = \frac{y_C + y_D}{2} \end{cases} \quad (3)$$

从上面的表达式中可以看出,要想得到 M 点的轨迹,需要求出 C 、 D 点的坐标共4个未知数的表达式,而我们拥有的方程仅有1个。下面对方程加入约束条件,设定约束条件为:

$$\begin{cases} a = b = 140\text{mm} \\ L_0 = 150\text{mm} \\ 0 \leq L_1 \leq 150\text{mm} \\ 0 \leq L_2 \leq 150\text{mm} \end{cases} \quad (4)$$

这里加入了方程(1)的4个约束条件,根据式(4)中的约束条件,只要能够设法求出 M 点的极限轮廓,便能够得到夹具的可夹持范围了。

2.3 可夹持范围数值分析

为了用数值方法得到 M 点的轮廓,需要将 AE 、 BF 的摆动极限轮廓离散化处理。由于机构具有对称性,因此这里取左半部分进行分析。首先在第二象限内作出一个 $r_1=150\text{mm}$ 和 $r_2=300\text{mm}$ 的1/4圆围成的区域。然后我们在圆周上等距的取离散点,在每一个离散点 (x_C, y_C) 作出的 $r=b=150\text{mm}$ 的圆,并对该圆进行离散化,分析离散点的坐标距离到 B 点的距离 d 是否在 $150\sim 300\text{mm}$ 的区间范围内,在能够满足该条件的点中选取距离原点距离最大的点坐标 (x_D, y_D) 。取得一系列的 C 、 D 之后将其与 (x_C, y_C) 中点 M 拟合,便可以得到夹具夹持范围极限,数值解法的过程如图4所示。

根据外轮廓的 D 点及该点的圆心,就可以计算出中点 M 的一系列数据,然后最小二乘法拟合 M 点的轮廓曲线。

2.4 M点极限运动范围的最小二乘法拟合

利用上面的程序我们可以得到 C 、 D 点的坐标以及对应的 M 点的一系列数据,根据最小二乘法进行曲线拟合,即可以得到夹具的夹持范围。

首先用多项式拟合上部分分布具有一定规律的点。通过观察可以发现用二次曲线可以拟合这组点^[3]。

$$\phi^*(x) = c_0^* + c_1^*x + c_2^*x^2 \in \phi = \text{span}(1, x, x^2) \quad (5)$$

定义矩阵

$$A^T = \begin{pmatrix} \varphi_0(x_0) & \varphi_0(x_1) & \varphi_0(x_2) & \varphi_0(x_3) \\ \varphi_1(x_0) & \varphi_1(x_1) & \varphi_1(x_2) & \varphi_1(x_3) \\ \varphi_2(x_0) & \varphi_2(x_1) & \varphi_2(x_2) & \varphi_2(x_3) \\ \varphi_0(x_4) & \varphi_0(x_5) & \varphi_0(x_6) \\ \varphi_1(x_4) & \varphi_1(x_5) & \varphi_1(x_6) \\ \varphi_2(x_4) & \varphi_2(x_5) & \varphi_2(x_6) \end{pmatrix} \quad (6)$$

解线性拟合的法方程组 $A^T A C = A^T y$,得

$$y = -0.0029 \cdot x^2 - 0.2129 \cdot x + 291.8958 \quad (7)$$

同理可以将红点拟合为一元函数:

$$y = 1000 \times (-0.0049 \cdot x - 1.4262) \quad (8)$$

拟合结果如图5所示。最大最小极小范围曲线以及坐标轴 x 、 y 围成的区域即是夹具在第二象限内夹持

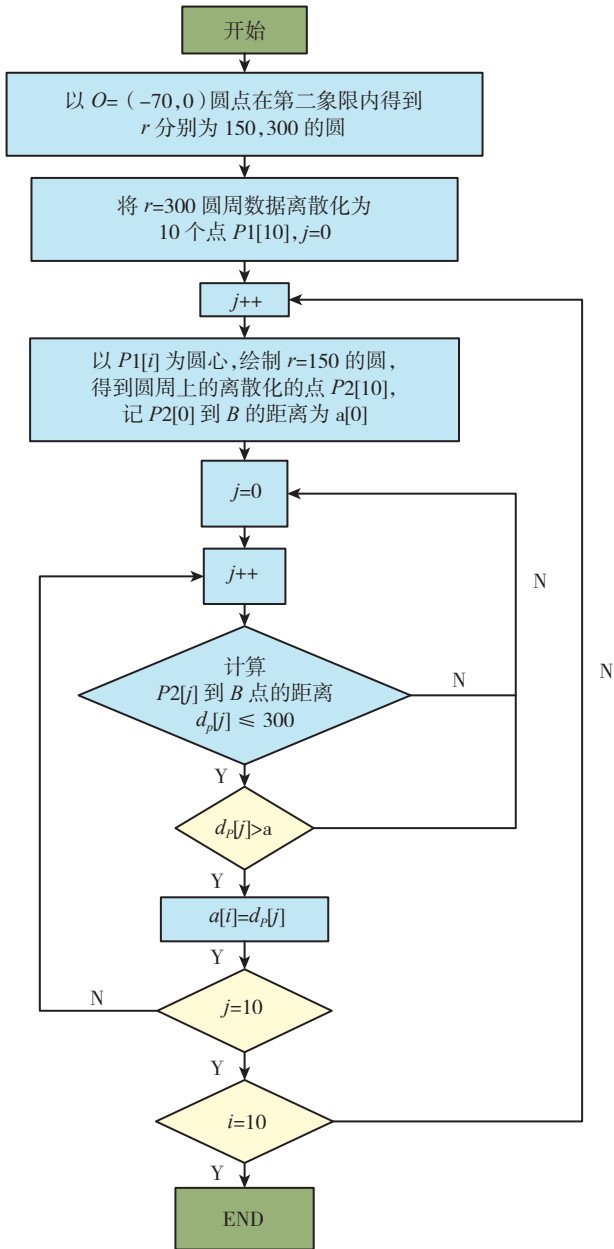


图4 程序流程图
Fig.4 Program flow chart

范围。

3 夹具实例设计

根据原理,利用 Catia 软件设计出一种方案如图 6 所示。

该方案主要部分为可转动底座和姿态调整框架。转动底座 1 可以在固定底座上转动。转动到合适位置时拧紧活动手柄压紧螺钉 2 能够将转动底座紧固在固定底座上。关节 8、9、10、11 处可以转动,转动配合关节 12、13 处的伸缩,可以使得整体框架在平面内旋转;结合转动底座的旋转,便可以让夹持手能够到达一定空间

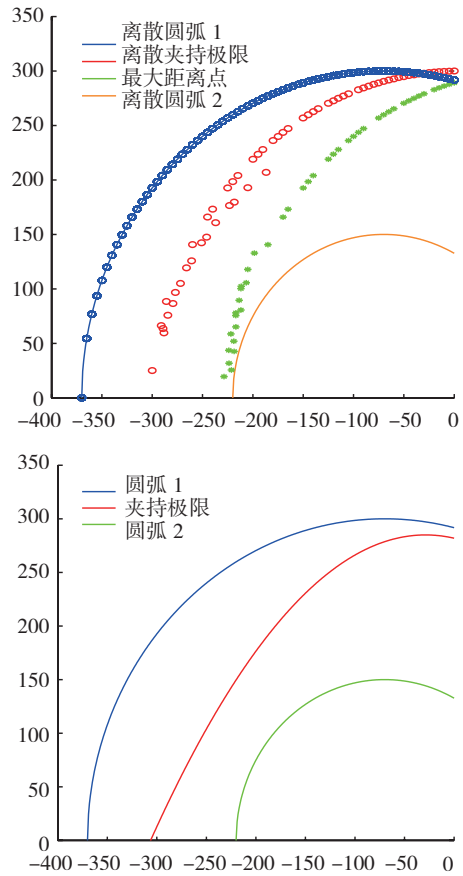


图5 曲线拟合
Fig.5 Curve fit

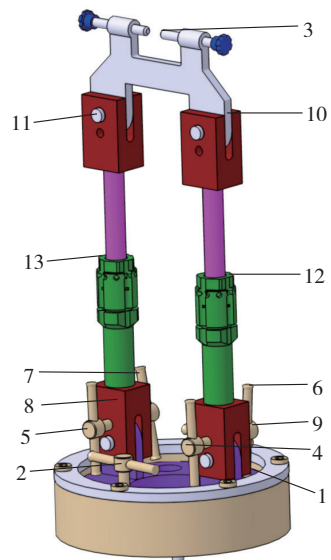


图6 设计实例
Fig.6 Design example

内的任意位置。

确定好夹具的整体框架的姿态之后——使得夹持手杆 3 与薄壁零件夹持点曲面法线重合,拧紧夹持手 4、5、6、7 便能够将薄壁零件夹持住。

(下转第 70 页)

3.3 机器体系的构建

李耀东等人^[15]长期开展综合集成研讨厅的具体化与实用化的工作,经过多年的探索和实践,已经从软硬件和体系结构上实现了综合集成研讨平台。结合本课题实际,采用分布关联式的大系统体系结构,以多媒体技术、信息融合技术、综合集成技术、网络技术、数据库、评价方法模型库、知识库为基础,以综合集成的思想和方法为指导来进行系统设计,并且要有很好的可扩展性、可维护性、智能性、结构健壮性及通用性。

从具体技术角度上课题组最终搭建的机器体系主要包括:在微机环境下建立 Windows 网络操作系统;软件开发以 Visual C 和 C++ 语言为主,数据库采用 Oracle 开发;利用 PowerDesigner 工具构建后台数据库;使用可视化开发方法进行系统菜单设计和操作界面设计,实现人机交互^[16];以 Visual Studio 2008 为开发平台,编程实现各模块功能;使用面向对象软件开发方法中的 MVC 三层架构将系统的界面层、业务逻辑层、数据层分开,降低系统耦合度,提高代码可移植性和系统的可维护性;采用软件重用和组件连接的方法,将系统最终用户可能用到的一些常用工具集成到系统中,提高系统的可用性;最后得到系统初始版本。

4 结束语

本文在对 AVEEPS 问题分析的基础上,提出了 AVEEPS 综合集成研讨厅,强调螺旋式推进和其质变过程,研究的最终目的是为了解决 AVEEPS 问题。AVEEPS 综合集成研讨厅的提出对宇航元器件是否满足特定的工程应用问题给出科学、客观的评价结果起到了一定的帮助作用,实践也证明将综合集成研讨厅应用于 AVEEPS 工作具有很强的理论价值和应用价值。

参考文献

[1] 于景元. 钱学森综合集成体系. 西安交通大学学报, 2006, 26(6):40-47.
 [2] 于景元,周晓纪. 从综合集成思想到综合集成实践. 管理学报, 2005, 2(1):4-10.
 [3] 于景元,刘毅,马昌超. 关于复杂性研究. 系统仿真学报, 2002, 14(11):1417-1424.
 [4] 王慧敏,唐润. 基于综合集成研讨厅的流域初始水权分配群决策研究. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(4): 42-45.
 [5] 徐玖平,卢毅. 地震灾害系统分析与评估的综合集成模式. 系统工程理论与实践, 2009, 29(11):1-18.
 [6] 周剑,朱耀琴,唐卫清. 基于综合集成研讨厅的武器装备系统综合. 系统工程理论与实践, 2010, 30(8):1492-1499.
 [7] 李元左. 关于空间军事系统综合集成研讨厅体系的研究. 中国软科学, 2000(3):12-14.
 [8] 魏法杰,周艳. 综合集成研讨厅在条件保障项目评价中的应

用研究. 管理学报, 2004, 1(3):363-368.

[9] Yu J, Zhou X, Feng S. Man-machine collaborated knowledge creation in HWMSE. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2005, 14(4):462-475
 [10] 于景元,周晓纪. 从定性到定量综合集成方法的实现和应用. 系统工程理论与实践, 2002, 22(10):26-32.
 [11] 苗东升. 系统科学精要. 北京:中国人民大学出版社, 1998.
 [12] 于景元,周晓纪. 综合集成方法与总体设计部. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(1):20-26.
 [13] 顾基发. 意见综合—怎样达成共识. 综合集成与复杂系统专辑, 2001, 16(5):340-348.
 [14] 熊才权,李德华. 综合集成研讨厅共识达成模型及其实现. 计算机集成制造系统, 2008, 14(10):1913-1918.
 [15] Li Y, Dai R. Framework for a man-computer cooperative information retrieval system for on-line discussion systems. International Journal of Computer Processing of Languages, 2007, 17(4):273-286.
 [16] 戴超凡,王明利. 研讨信息交互式可视化平台设计与实现. 计算机工程, 2010, 36(14):238-240.

(责编 亦非)

(上接第 62 页)

通过 Catia 中 DMU 运动机构的分析,该机构能够在上面的空间中进行姿态调节,这对理论设计进行了很好的验证。

4 结论

结论表明,该设计能够在一定的空间范围内进行任意姿态的调节,即能够在一定空间区域内对各处曲率不同的薄壁零件进行装夹,从而为此类零件的机加工难装夹问题的解决提供了一种可行方案。

参考文献

[1] 淮妮,张小粉,白瑀. 薄板类零件夹具的设计. 价值工程, 2012(2):191-201.
 [2] 韩志仁,戴良景,张凌云. 飞机大型蒙皮和壁板制造技术现状综述. 航空制造技术, 2009(4):64-66.
 [3] 欧阳洁,聂玉峰,车刚明等. 数值分析. 北京:高等教育出版社, 2009.

(责编 亦非)

(上接第 66 页)

2 版). 北京:国防工业出版社, 2005.
 [3] 陈思羽,龙泽明. 数控机床系统增益对进给伺服系统的影响. 机械工程师, 2008(1):45-46.
 [4] 张萌. 数控机床运动误差检测与分析[D]. 洛阳:河南科技大学, 2008.
 [5] 孙建仁. 数控机床进给伺服系统特性影响加工精度的分析. 兰州理工大学学报, 2004, 30(3):45-47.
 [6] 孙兴伟,董蔚,王可,等. 数控机床零件轮廓加工精度的分析与控制. 制造技术与机床, 2010(1):61-63.
 [7] 朱年军,王可,崔海. 数控伺服系统跟随及轮廓误差分析. 机床与液压, 2006(10):20-21, 23.

(责编 深蓝)