

锥形件结构的半自动化 电磁铆接托架

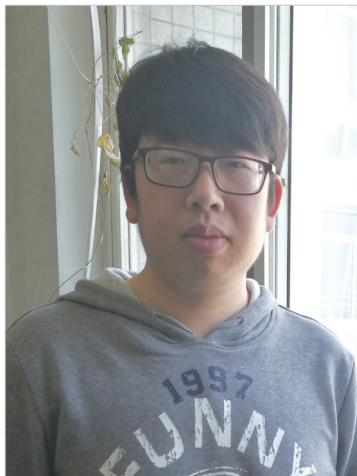
李可,曹增强,杨宝惠,左杨杰

(西北工业大学机电学院,西安 710072)

[摘要] 分析了航天锥形件结构普通铆接方法存在的问题,提出采用电磁铆接技术具有一定的优势。针对手工电磁铆接和自动化电磁铆接的不足,提出了电磁铆接技术在航天锥形件结构装配应用中的工艺方法,设计了半自动化电磁铆接系统托架的结构和工作流程。该系统关键技术包括铆枪和顶铁自动对中、工件精确角度自动调整及铆枪减振系统设计。最后,对半自动化电磁铆接托架可以解决手工铆接出现的问题进行了总结。

关键词: 锥形工件;电磁铆接;半自动化;自动对中;减振系统

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2017.22.061



李可

硕士研究生,主要研究方向为飞机先进装配与连接技术。

主要的连接方式。机械连接主要有螺接和铆接,螺接安装成本高、工艺复杂,而铆接工艺简单、成本低,所以航天产品连接主要以铆接为主^[2-4]。随着国内航天制造技术的快速发展,航天产品的质量和可靠性越来越受到关注,许多航天产品开始采用复合材料结构、钛合金结构和大直径铆钉结构,这些结构的使用对铆接工艺提出了更高的要求^[5]。普通铆接,如锤铆和压铆,虽然成本较低、技术较成熟,但难以实现钛合金结构和大直径铆钉的铆接,同时容易引起复合材料结构损伤,无法满足新型结构对铆接工艺的要求,并且存在铆接效率低、铆接质量差、干涉量控制难、噪音大等难题^[6]。

和普通铆接相比,电磁铆接具有很多优点:首先,电磁铆接加载速率极高,适合于应变率敏感材料的成形,是解决钛合金等难成形材料铆钉铆接的有效途径;第二,电磁铆接干涉量均匀,接头疲劳寿命大于普通铆接,同时可避免因膨胀不均匀带来的

复合材料结构安装损伤问题^[7]。在航天制造领域,利用电磁铆接技术,可以解决大直径铆钉、复合材料结构的铆接难题,并且可减小铆接噪音,改善工人劳动条件^[8]。

电磁铆接

电磁铆接在国内经过 30 多年的发展,国产电磁铆接设备已在航空航天领域得到一定的应用,并已成为解决铆接难题的有效方法。电磁铆接分为手工电磁铆接和自动化电磁铆接。

1 手工电磁铆接

手工电磁铆接系统主要由托架和铆枪组成,托架由龙门框架、两个重力平衡器、滑轮等组成^[9]。图 1 为西北工业大学研制的手工电磁铆接系统,其中重力平衡器用来平衡铆枪和顶铁的重力。手工铆接过程需要两名操作者同时工作,通过滑轮沿导轨凹槽的滑动,实现铆枪与顶铁水平方向的定位;通过平衡器调节铆枪与顶铁的高度,实现铆枪与顶铁垂直

航天产品舱段主要以锥形筒状结构为主,结构特征明显、数量多^[1]。在航天产品舱段制造中,机械连接是

方向的定位。

手工电磁铆接托架结构简单、经济成本低^[10]。但手工电磁铆接需要双人操作,铆枪和顶铁对中性不易保证;操作者每次对铆枪的顶持力有差异,导致铆头成形尺寸不一样,铆接质量不稳定;铆接过程中铆枪产生的后坐力比较大,对操作者会产生不良影响;工人劳动量和劳动强度比较大。

2 自动化电磁铆接

自动化电磁铆接系统主要包含自动钻铆机、机器人钻铆设备等^[11]。其中自动钻铆机属于大型数控一体设备,主要应用于大型飞机壁板装配铆接。机器人自动钻铆设备是在机械手末端增加相应的制孔和铆接末端执行器,适合开敞性不好的工件局部铆接^[12]。自动钻铆技术在机翼蒙皮的铆接和装配上,是最可靠、最有效的连接方式之一,自动钻铆机可以自动完成夹紧、钻孔、镗窝、注胶、放铆、铣平等工序^[13]。自动钻铆系统总体尺寸比较大,可实现复杂结构的高质、高效铆接,在国外很多航空主机厂已得到广泛应用。图2为EI (Electroimpact) 公司生产的 E6000 自动化电磁铆接系统^[14]。

从总体上看,自动化铆接的铆接质量好、铆接效率高,但自动化铆接系统结构复杂、整套自动化设备价格昂贵,在实际工程应用中也受到较大限制。

半自动化电磁铆接托架

手工电磁铆接和自动化电磁铆接都有各自的优缺点,本文结合某项目提供的锥形筒件结构,提出开发半自动化电磁铆接托架。

1 托架结构设计

本文所设计的半自动化电磁铆接托架通过气缸控制实现铆枪和顶铁的自动前进、夹紧,通过电机控制实现工件的自动旋转和角度调节,但需要手工放钉、半自动对中来辅助完

成铆接。该托架如图3所示,包括以下几部分:立柱、C型架单元、铆枪工作单元、工件夹紧单元、工件旋转单元、工件角度控制单元,以及工件平移单元。

立柱为C型架单元提供支撑;C型架单元保证铆枪和顶铁Z轴同步移动;铆枪工作单元实现铆接;PLC

控制气缸实现铆接单元的夹紧和释放,同时控制铆枪充放电;工件旋转单元和角度控制单元实现铆接孔所在母线垂直铆枪和顶铁的中心轴线;工件平移单元使工件的待铆接孔沿X方向移动定位到铆枪和顶铁的中间。

2 半自动化工作流程

锥形结构半自动化电磁铆接过



图1 手工电磁铆接系统

Fig.1 Manual electromagnetic riveting



图2 自动化电磁铆接系统

Fig.2 Automatic electromagnetic riveting

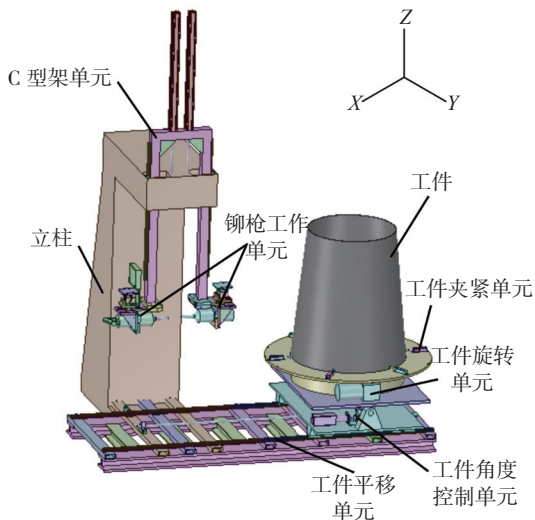


图3 系统结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of bracket structure

程的工作流程如图4所示。首先对工件进行夹紧,设定工件倾斜角度,转动转台,使工件待铆接孔所在母线垂直铆枪和顶铁的中心轴线;在X方向移动工件,使工件待铆接孔所在母线位于铆枪和顶铁中间;调节C型架单元高度,使铆枪、顶铁和待铆接孔的轴线三线合一;最后铆枪开始工作。

关键技术

1 铆枪、顶铁和锥形工件的对中

电磁铆枪工作过程中对对中性要求比较高,对中精度直接影响着铆接质量,所谓的对中性指铆枪轴线、顶铁轴线、铆接孔轴线三线合一^[15]。手工电磁铆接质量不稳定的一个重要原因是铆接过程中铆枪和顶铁的对中性不能保证。

1.1 铆枪和顶铁的自动对中

本文设计C型托架单元,来实现铆枪和顶铁的自动对中,如图5所示。C型托架单元包括C型框架和平衡机构。铆枪单元和顶铁单元分别对称安装在C型框架竖梁下侧。

C型框架采用整体式设计,并且在C型架两个直角处增加两个加强肋,用来增加C型架整体强度。在C型框架竖梁导轨的作用下,铆枪单元和顶铁单元可以实现在Z轴方向上移动的同步性。

平衡机构是通过气压来平衡铆枪单元和顶铁单元并同步机构重力,铆接过程中在Z方向采用手工方式,操作者仅需克服导轨摩擦力即可实现铆枪和顶铁Z方向的定位移动,有效降低了劳动强度。

1.2 铆枪、顶铁和铆接孔的对中

由于铆接对象为锥形筒状工件,铆枪轴线、顶铁轴线与待铆接孔法线存在一定的偏角,为了实现3线同轴,铆枪和顶铁相对工件需保证一定的可调节角度,如图6所示。

锥形工件属于单曲面,有固定角度 α ,本文设计工件角度控制单元,实现铆枪、顶铁轴线与工件母

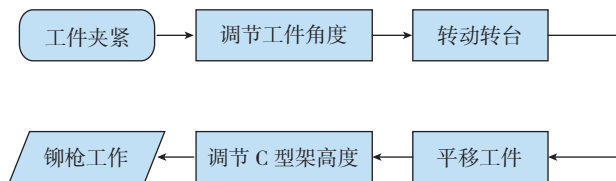


图4 系统工作流程
Fig.4 Bracket work flow chart

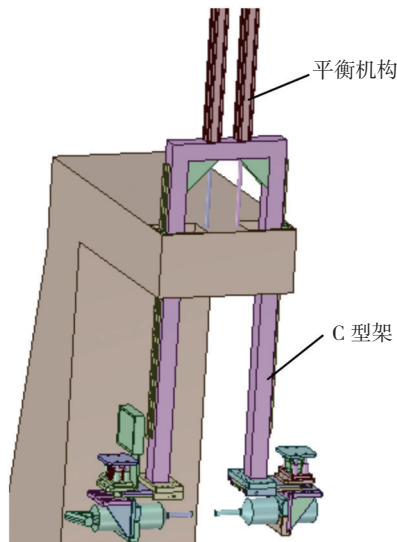


图5 C型托架单元
Fig.5 C-type bracket unit

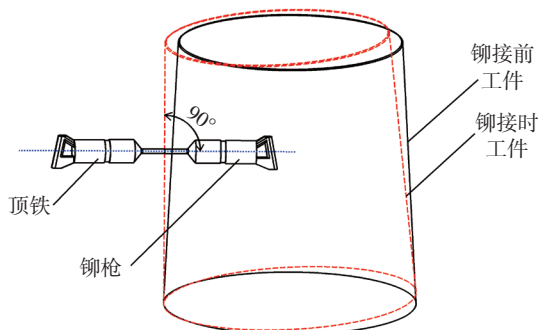


图6 工件铆接示意图
Fig.6 Workpiece riveting diagram

线垂直定位。工件角度控制单元主要包括蜗轮蜗杆传动机构和伺服电机。蜗轮和圆盘托架焊接在一起,蜗杆通过轴承座支撑,蜗杆与伺服电机相连。PLC控制伺服电机转动,带动蜗轮蜗杆控制圆盘托架转动相应的角度,蜗轮蜗杆具有自锁性,电机停止转动后,角度会被锁定,如图7所示。

调节角度时,预设置伺服电机额定转速为 v , r/min;编码器每圈脉冲数为 a_1 , pulse/r;蜗轮蜗杆传动比为 i ;

转动角度需要达到 0.01deg/pulse 的精度。

伺服电机经蜗轮蜗杆减速机驱动,蜗轮每圈脉冲数为:

$$a_2 = a_1 \cdot i \quad (1)$$

为了满足蜗轮转动的精度要求,蜗轮转动每圈的脉冲数为 36000pulse/r ,则 $a_2 = a_1 \cdot i = 36000$ 。

给定蜗轮蜗杆传动比,把编码器每圈脉冲数设置到PLC中即可实现精度控制。

2 铆枪工作时的减振系统设计

电磁铆枪工作时,铆枪头产生高幅值脉冲力,使铆钉完成塑性成形。根据相互作用原理,等幅值后坐力作用于托架,对托架整体刚度和稳定性带来不利影响,高效的减振系统设计对保证托架的工作性能十分必要。

本文设计的减振系统主要包括缓冲器单元和气缸缓冲单元两部分,气缸缓冲单元包括顶持气缸、气缸连接件,缓冲器单元包括气缸夹紧装置、夹紧滑板、缓冲器套、导向连接杆、缓冲器,如图8所示。

在铆枪工作过程中,气缸缓冲单元有两个作用:(1)给铆枪单元提供恒定顶持力,解决手工铆接顶持力不均匀导致的铆接质量不稳定问题;(2)铆接结束瞬间,电磁铆枪在铆接后坐力的作用下高速后移,压缩气缸活塞,气缸气压与后坐力相抵抗,起到缓冲减振的作用,有效减少铆接后坐力。

缓冲器单元中,缓冲器套和夹紧滑板焊为一体,电磁铆接前,气缸夹紧装置夹紧滑板,在铆接结束瞬间,电磁铆枪高速后移,铆枪单元通过导向连接杆接触到缓冲器接头并压缩缓冲器,缓冲器开始储能吸收后坐力,起到减振作用。

电磁铆枪减振系统中,把铆枪所受的摩擦力和缓冲器的缓冲力归为系统阻尼,把所受的气缸阻力等效为弹簧,系统可以简化为铆枪质量 M 、弹簧 K 和阻尼 C 的模型,如图9所示。铆枪由初始位置开始压缩气缸和缓冲器至最大压缩行程,然后在气缸顶持力的作用下恢复到初始位置。固定端承受该系统传递过来的由小到大,再由大到小变化的作用力 F_R ,该力即为 C 型架承受的后坐力。气缸为储能元件,在没有外界摩擦力的情况下会带动铆枪做来回振荡的周期运动,若系统没有阻尼,运动将止于机械之间的撞击,而机械之间的撞击亦是噪音的来源。

由动量定理:

$$\int_0^t F_R dt = Mv_{1M} - Mv_{0M} = M(|v_{1M}| + |v_{0M}|) \quad (2)$$

可知,等式右边铆枪动量的变化量越小,且等式左边动量变化的持续作用时间越长,后坐力 F_R 就越小。首先分析减少铆枪动量变化量的方法,由铆枪工作原理可知,铆枪具有初始动量 Mv_{0M} 和初始动能 $\frac{1}{2}Mv_{1M}^2$,要减小铆枪动量的变化量,可以分别减小 Mv_{0M} 和 Mv_{1M} 。 Mv_{1M} 为回弹阶段弹簧顶持力作用于铆枪而产生的动量,减小 Mv_{1M} 的方法是使用耗能效果显著的缓冲器,该缓冲器应适用于高速冲

击场合,具有不同于一般工业用缓冲器的节流孔设计,能将更多的动能转换为缓冲器油缸内液压油的热能。

结论

参照目前已广泛使用的手工电磁铆接,设计了应用于锥形件结构的半自动化电磁铆接托架。该托架为电磁铆接技术在锥形件结构装配中的应用提供了一条新的思路,并且可以解决手工电磁铆接对中性差、顶持力不均匀、后坐力大等问题,实现高质量铆接,大幅度降低劳动强度及产品制造成本。

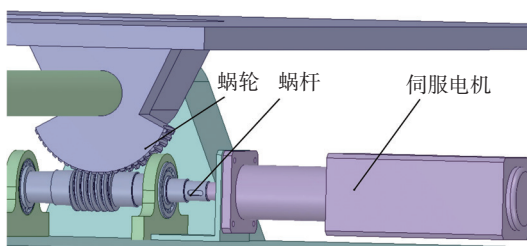


图7 调节角度机构
Fig.7 Adjusting the angle mechanism

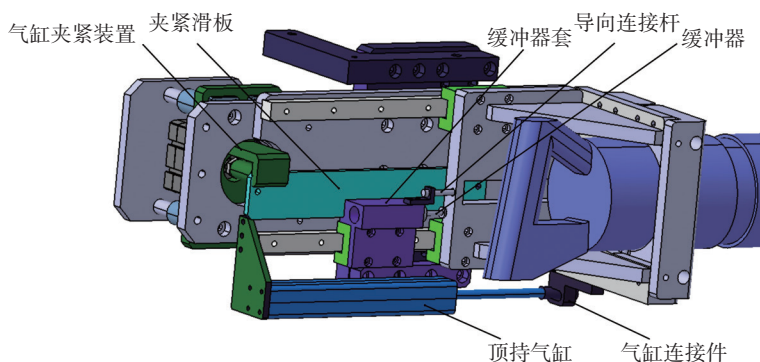


图8 减振系统
Fig.8 Shock mitigation system

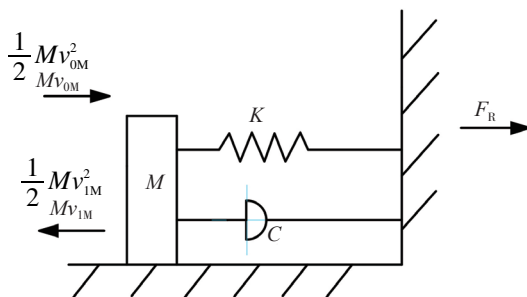


图9 减振系统模型
Fig.9 Vibration system model

参考文献

- [1] 章茂云, 孟令博, 孙立强, 等. 自动钻铆技术在运载火箭壳段产品中的应用分析[J]. 航空制造技术, 2015(7): 72-75.
- ZHANG Maoyun, MENG Lingbo, SUN Liqiang, et al. Analysis on application of automatic drilling and riveting technology in launch vehicle shell product[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015(7): 72-75.
- [2] 张旭, 张树国, 李炯轶, 等. 飞机装配过程中的电磁铆接技术概述[J]. 科技广场, 2014(5): 86-90.
- ZHANG Xu, ZHANG Shuguo, LI Jiongyi, et al. Summarization of electromagnetic riveting technique on aircraft manufacturing[J]. Science Mosaic, 2014 (5): 86-90.
- [3] BINNUR G K. Effect of the clearance and interference-fit on failure of the pin-loaded composites[J]. Materials & Design, 2010, 31(1): 85-93.
- [4] 贾玉红, 何景武. 现代飞行器制造工艺学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 135.
- JIA Yuhong, HE Jingwu. Modern aircraft manufacturing technology[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2010: 135.
- [5] 马兴海, 刘琦. 电磁铆接技术在航天产品上的应用[J]. 航天制造技术, 2009(4): 40-43.
- MA Xinghai, LIU Qi. Application of electromagnetic riveting technology on aerospace products[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2009(4): 40-43.
- [6] 王新, 闻伟, 张毅, 等. 复合材料电
- 磁铆接技术现状及评析[J]. 航天制造技术, 2016(1): 1-6, 27.
- WANG Xin, WEN Wei, ZHANG Yi, et al. Current status and analysis on electromagnetic riveting technology for composite materials[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2016(1): 1-6, 27.
- [7] 姜杰凤. 电磁铆接技术在大飞机铆接装配上的应用[J]. 机械工程与自动化, 2011(3): 167-169.
- JIANG Jiefeng. Application of electromagnetic riveting technology in large aircraft riveting assembly[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2011(3): 167-169.
- [8] 邓将华, 李春峰, 于海平, 等. 电磁铆接技术[J]. 锻压技术, 2010, 35(3): 1-6.
- DENG Jianghua, LI Chunfeng, YU Haiping, et al. Electromagnetic riveting technology[J]. Forging and Stamping Technology, 2010, 35(3): 1-6.
- [9] 刘晨昊, 曹增强, 盛熙, 等. 基于C7-636的低压电磁铆接设备控制系统[J]. 中国制造业信息化, 2011, 40(5): 50-53.
- LIU Chenhao, CAO Zengqiang, SHENG Xi, et al. The control system of low-voltage electromagnetic riveting equipment based on C7-636[J]. Manufacturing Information Engineering of China, 2011, 40(5): 50-53.
- [10] 张喆, 曹增强, 陈琦. 基于人机工程分析的手持式电磁铆枪旋转托架设计[J]. 机械设计与制造, 2013(3): 33-34.
- ZHANG Zhe, CAO Zengqiang, CHEN Qi. Design of the spinning bracket with electromagnetic riveter based on ergonomic analysis[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(3): 33-34.
- [11] 李菡. 基于双机器人协同的自动钻铆终端器及其自动供钉装置的设计与研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- LI Han. Study on dual robot based drilling & riveting end effector and automated rivet feeding apparatus[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [12] 董辉跃, 曹国顺, 曲巍巍, 等. 工业机器人自动钻孔及镗窝一体化加工[J]. 浙江大学学报(工学版), 2013(2): 201-208.
- DONG Huiyue, CAO Guoshun, QU Weiwei, et al. Processing research of industry robots drilling and countersinking automatically[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2013(2): 201-208.
- [13] 朱孝峰. 自动钻铆机数控托架控制系统设计开发[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- ZHU Xiaofeng. Bracket control system development of automatic drilling and riveting machine[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [14] Electroimpact. E6000 gantry wing panel riveter[EB/OL]. [2017-07-18]. <https://electroimpact.com/Products/Fastening/E6000.aspx>.
- [15] 魏乐愚, 杨宏青, 荣田. 自动对接装配技术在航天产品对接装配中的应用研究[J]. 航天制造技术, 2013(5): 46-48.
- WEI Leyu, YANG Hongqing, RONG Tian. Application research on automatic join-assembly technology in aerospace products[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2013(5): 46-48.

通讯作者: 曹增强, 教授, 研究方向为飞机先进装配与连接技术, E-mail: czq66326@nwpu.edu.cn.

Semi-Automatic Electromagnetic Riveting Bracket With Conical Structure

LI Ke, CAO Zengqiang, YANG Baohui, ZUO Yangjie

(School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

[ABSTRACT] The limitations of conventional riveting methods were discussed, and electromagnetic riveting technology was proposed for the riveting of aerospace conical structures. The method of semi-automatic electromagnetic riveting system of aerospace conical structure assembly was developed to avoid the disadvantages of manual and automatic electromagnetic riveting, and the details of the structure design and work-flow for the bracket of semi-automatic electromagnetic riveting system were also presented. The key technologies of the bracket include: automatic alignment of the rivet gun and top iron, the automatic angle adjustment of the workpiece, and the damping system design of the riveting gun. Finally, relevant problems which should be beyond controlled in manual riveting but solved by using semi-automatic electromagnetic riveting bracket are summarized.

Keywords: Conical workpiece; Electromagnetic riveting; Semi-automatic; Automatic alignment; Shock mitigation system

(责编 逸飞)