

轻量化车身热熔自攻螺接拧紧装置的设计

王 康,王志勇,刘荣芳,吕 涛
(滨州学院 机电工程学院,山东 滨州 256600)

摘要: 热熔自攻丝(Flow Drill Screw ,FDS)是一种用于轻量化车身的新型机械连接工艺,为促进热熔自攻丝技术在轻量化车身上的应用,设计了一种双电机驱动的热熔自攻螺接拧紧装置,开展了热熔自攻螺接拧紧装置的结构设计和分析,利用 SolidWorks 对机械结构进行了三维建模,并进行了运动校核和有限元分析。结果表明,所设计的机械结构符合要求,通过运动校核与有限元分析验证了其可行性。所设计的拧紧装置为热熔自攻丝工艺的开展奠定了工程基础。

关键词: 轻量化车身; 拧紧装置; SolidWorks; 热熔自攻丝

中图分类号: TG65

文献标志码: A

文章编号: 1006-0006(2022)03-0060-04

Design of Flow Drilling Screw Tightening Device for Lightweight Car Body

WANG Kang , WANG Zhiyong , LIU Rongfang , LV Tao
(College of Mechatronics Engineering , Binzhou University , Binzhou 256600 , China)

Abstract: Flow drill screw (FDS) is a new joining technology for lightweight car body. In order to promote the application of FDS technology in lightweight car body , a double motor driven flow drill screw tightening device was designed , and the structure design and analysis of the device were carried out , the mechanical structure was modeled by SolidWorks , and the motion check and finite element analysis were also carried out. The results show that the designed mechanical structure meets the requirements and the feasibility was verified by the motion check and finite element analysis. It is concluded that the designed tightening device has laid an engineering foundation for the development of flow drill technology.

Key words: Lightweight body; Tightening device; SolidWorks; Flow drill screw

随着气候变暖和环境污染日益加剧,节能减排成为汽车工业可持续发展的重要方向,汽车轻量化成为提高实现节能减排竞争力的重要手段^[1],大量使用多种轻质高强度材料已经成为车身轻量化的重要方式,这也给车身材料的焊接工艺提出了新的挑战^[2]。热熔自攻丝螺接(Flow Drill Screw ,FDS)是一种新型的连接工艺,能够实现单面连接,在铝合金车身连接方面有独特的优势,近年来已在轻量化车身制造领域获得广泛应用。

国内外学者针对热熔自攻丝工艺过程开展了大量研究工作。为了实现钢铝等不同强度板材的连接,Anonymous^[3]提出了一种自穿刺和挤压紧固件的自攻螺钉;Fadik 等^[4]研究了薄板对热熔钻孔过程参数的影响;Martin 等^[5]研究了多材料车身的创新连接技术;Réjane 等^[6]研究分析了在车身结构中高强度钢与铝创新剪切技术的机械性能;叶雨寒等^[7]

开展了铝合金在 3 种不同连接工艺下的接头拉伸强度试验,对比分析了自冲铆接技术(SPR)、热熔自攻丝技术(FDS)和传统点焊技术(RSW)所形成接头的连接强度;于渊等^[8]试验分析了铝合金夹层结构在进行热熔自攻丝连接时所需的工艺参数;羊军^[9]利用正交试验分析了热熔自攻丝过程中下压力、转速及锁紧时的扭矩对车身自攻螺钉连接接头力学性能的影响;王健强等^[10]对 DC54 钢板与 6082-T6 铝板的热熔自攻丝工艺进行了参数优化,在保持接头力学性能的前提下大幅度减少了工艺时间。但是,目前对热熔自攻丝连接装置研究还比较少。目前,工厂使用的热熔螺钉拧紧机大多为国外产品,存在结构复杂、价格高昂和效率低下等问题,不利于热熔自攻丝技术在汽车轻量化车身上的应用。

本文对热熔自攻螺接拧紧装置进行结构创新设计,实现驱动机构和下压机构的配合,对热熔自攻螺

收稿日期: 2021-08-02

基金项目: 滨州学院博士科研启动基金项目(2016Y06); 滨州学院科研基金(BZXYLG2015); 滨州学院双服务项目(BZXYSFW201912); 山东省大学生创新创业训练计划项目(S202010449049)。

接拧紧装置的机械结构进行建模以及校核。

1 热熔自攻螺接拧紧装置的设计

汽车车身装配流水线对自攻螺钉拧紧装置的自动化水平要求较高,需要解决的关键问题有:热熔螺接拧紧装置在工作过程中同时实现下压动作、拧紧动作以及实现热熔自攻丝工艺过程中杆件的稳定。采用的方案是利用下压机构带动旋转驱动机构实现上下移动,实现螺钉旋转和下压动作的同时进行。

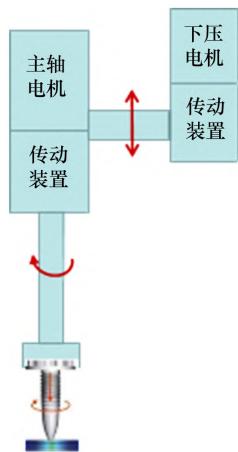


图1 热熔螺接拧紧装置的方案示意图
Fig.1 Schematic Diagram of Flow Drill Screw Tightening Device

1.1 驱动机构的结构设计

驱动机构由主轴电机、扭矩传感器、拧紧传动杆和拧紧头组成。其中,主轴电机壳体的底部通过法兰与下压装置连接,主轴电机的外壳与外框架通过导轨连接,在导轨的作用下,限制主轴电机外壳在径向的位移和旋转,主轴电机及传动装置能够沿轴向上下移动。主轴电机通过联轴器与扭矩传感器连接,扭矩传感器通过联轴器与拧紧传动杆连接,将主轴电机的旋转动力传输至拧紧头。

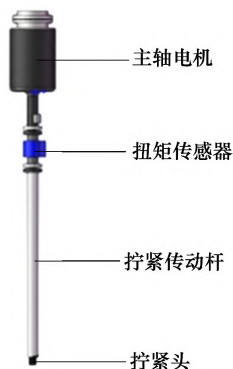


图2 驱动机构
Fig.2 Overall Structure of Driving Mechanism

1.2 下压机构的结构设计

下压机构由推杆电机和联轴器组成,固定在拧紧装置的壳体导轨上,与驱动机构连接,为拧紧装置提供轴向移动的动力,在工作过程中保证拧紧装置

线性行程,同时对轴向下压力进行自适应精准控制,由下压机构带动驱动机构实现拧紧装置轴向移动的目的。



图3 下压机构
Fig.3 Overall Structure of Down Press Mechanism

工作时,主轴电机带动拧紧传动杆和拧紧头旋转,同时,推杆电机带动整个驱动机构实现上下移动,实现旋转驱动和下压动作的协同进行,扭矩传感器进行传动杆扭矩的测量。

1.3 压紧机构的结构设计

压紧机构由气缸、导向杆、压紧块、支撑件、复位弹簧和夹持片组成。其中,导向杆与压紧块连接,压紧块通过支撑杆与夹持片连接。气缸为导向杆提供气动压力,压紧块能够沿着导向杆上下移动,从而完成定位。复位弹簧装在支撑杆与夹持片之间,夹持片依靠复位弹簧将自攻螺钉夹持,在工作完毕后,夹持片在复位弹簧的作用下实现自动复位。

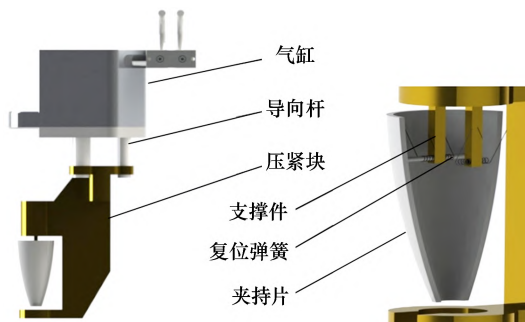


图4 压紧机构
Fig.4 Hold-down Mechanism

1.4 防振动设计

为了减小驱动机构在工作过程中的扭摆振动,对拧紧装置进行了防振动设计,如图5所示。1处所示为下压推杆的外壳固定在外框架内部;2处所示为外框架与主轴电机之间设置有导轨,解决旋转电机在螺钉装配过程中的自身振动问题;3处为扭矩传感器通过联轴器与旋转电机连接,拧紧传动杆通过联轴器与扭矩传感器连接;4处为机构内部设置轴承,平衡轴向与横向力矩的同时固定拧紧传动

杆;5处为压紧装置支撑机构内部设置轴套,不影响拧紧传动杆轴向移动的同时固定拧紧传动杆。通过以上防振动设计,提高了拧紧装置自攻螺钉装配精度和可靠性。

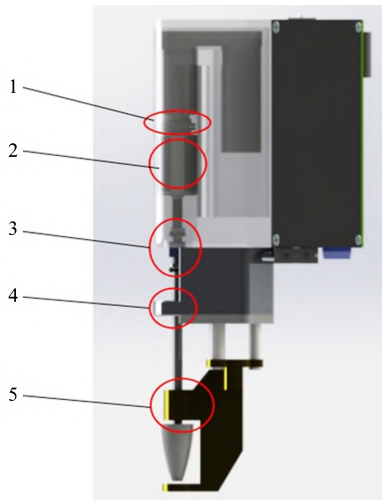


图5 防振动结构设计
Fig.5 Anti Vibration Design

1.5 拧紧装置参数计算

在拧紧装置实际工况下,拧紧装置的转速最高可达4 000 r/min,扭矩最高可达15 N·m,进给压力最高为2 000 N,对转速、压力和位移均可以实现有效控制与监测。预压紧机构最大压力为1 200 N,采取的双电机为下压电机和主轴电机,根据技术要求对拧紧装置的下压电机和主轴电机进行计算。

根据技术要求,电机转速 $n_D = 4\,000\text{ r/min}$,扭矩 $T_D = 15\text{ N}\cdot\text{m}$ 。拧紧电机所需要的功率为

$$P = \frac{T_D \cdot n_D}{9.55 \eta \cdot \eta_c} \quad (1)$$

式中 η 为电机效率; η_c 为传动机构效率。

根据电机的工作环境, η 的取值为0.8,由于机构中主轴电机与拧紧传动杆相连,传动效率 η_c 取1。根据公式(1)可以计算出所需主轴电机的功率 P 约为7 853 W。

根据已知条件筛选出额定电压为DC72 V、额定功率为7.9 kW、额定转速为4 200 r/min的直流电机。

拧紧装置的轴向下压力为 $F_N = 2\,000\text{ N}$,拧紧装置的下压速度为 $v = 0.01\text{ m/s}$,下压电机的目标转速为 $n_D = 45\text{ r/min}$ 。计算需要的轴向下压电机的扭矩 T_D 为

$$T_D = \frac{F_A L}{6.28 N_1} \quad (2)$$

根据式(1)可以得到下压电机的功率为56.4 W。根据已知条件,选择额定电压AC220 V,额定功率60 W,额定转速50 r/min,型号为51K60A-U的三相感应减速电机。

2 基于SolidWorks Motion的拧紧装置运动校核

2.1 零部件装配

如图6所示,将两个夹持片分别与压紧机构的左右支撑杆进行同轴心配合,将复位弹簧同轴心配合至支撑杆与夹持片之间的弹簧卡座位置,达到实现复位弹簧自动复位的目的。其中,在设置夹持片配合时,应采用高级配合中的宽度配合限制其自由度,保证按照实际工况工作。

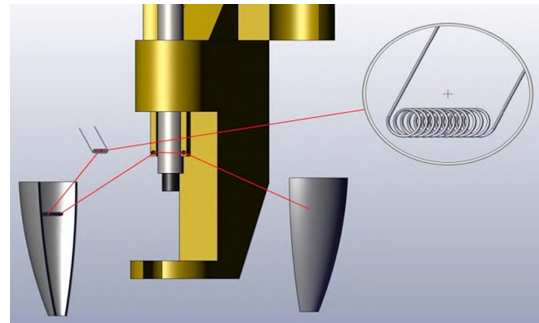


图6 夹持片自动复位机构
Fig.6 Automatic Reset Mechanism of Clamping Piece

2.2 添加模拟约束进行运动校核

自攻螺钉装配工作时,夹持片开口角度为 30° ,如图7所示。

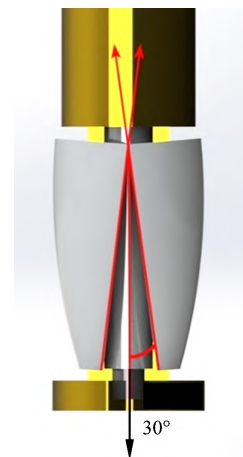


图7 夹持片张开示意图
Fig.7 Schematic Diagram of Clamping Piece Opening

图8所示在添加约束条件以及所需数据后,使用SolidWorks Motion软件直接运行运动算例,分析得出复位弹簧在模拟实际工作环境下的受力以及夹持片的位移,由此确定复位弹簧。

图9所示为夹持片张开过程受力曲线,符合拧紧装置安装螺钉的技术要求。

3 主要零部件的受力分析

3.1 前处理

将拧紧传动杆一端固定,另一端施加 $15\text{ N}\cdot\text{m}$ 的转矩,拧紧传动杆和夹持片的材料均选择合金钢,

根据技术要求划分合适数量的网格,使用有限元分析中的六面体网格类型,不仅可以提升精准计算,而且其抗畸变能力也较突出,如图 10 所示。

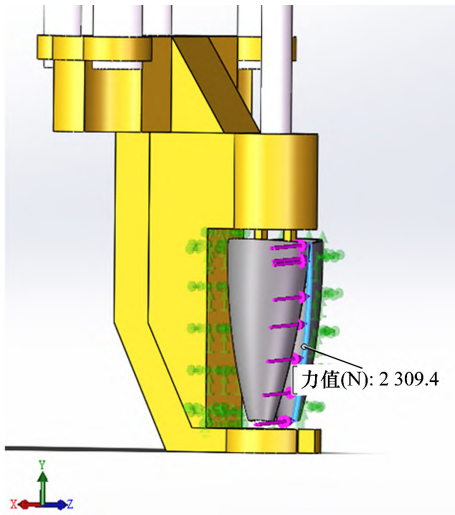


图 8 夹持片受力图
Fig. 8 Diagram of Force on Clamping Piece

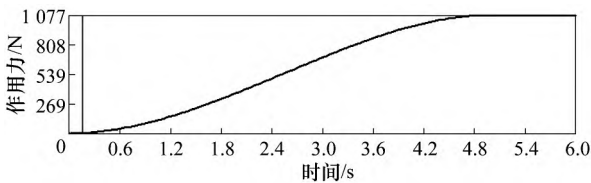


图 9 夹持片张开过程受力曲线图
Fig. 9 Force Curve of Opening Displacement of Clamping Piece

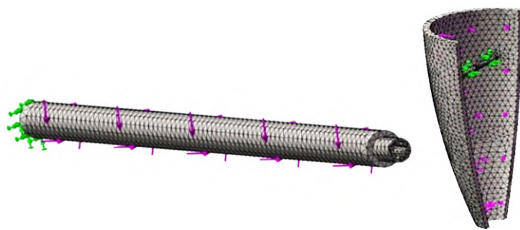


图 10 网格划分
Fig. 10 Grid Partition

3.2 SolidWorks Simulation 的分析结果

拧紧传动杆的静应力云图,如图 11 所示。

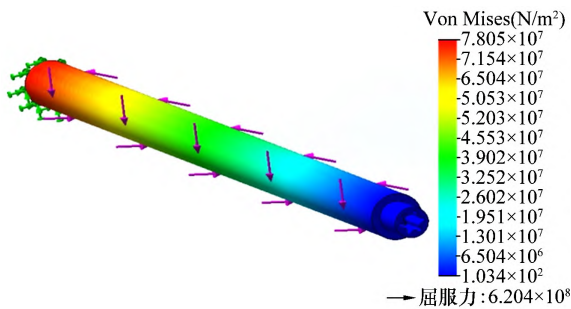


图 11 拧紧传动杆应力云图
Fig. 11 Tightening Transmission Rod Stress Nephogram

拧紧传动杆的应变云图如图 12 所示。

夹持片的静应力结果如图 13 所示。

夹持片的应变云图如图 14 所示。

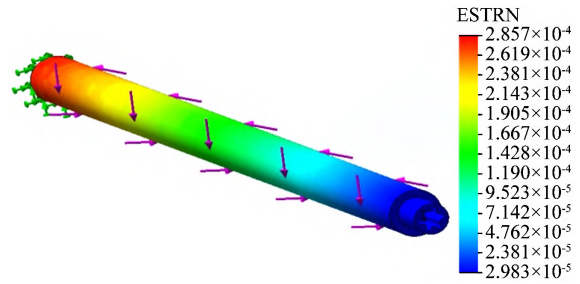


图 12 拧紧传动杆应变云图
Fig. 12 Strain Nephogram of Tightening Transmission Rod

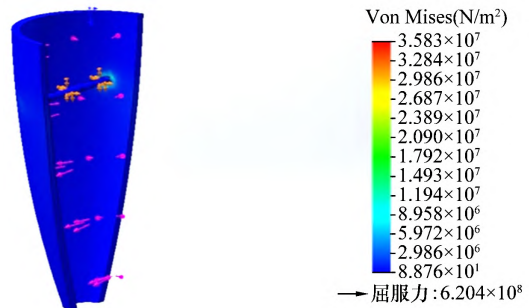


图 13 夹持片应力云图
Fig. 13 Stress Diagram of Clamping Piece

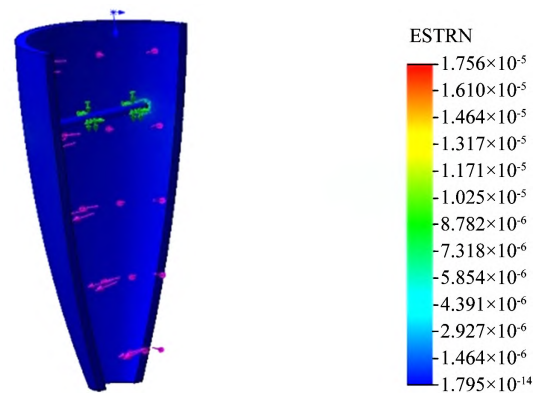


图 14 夹持片应变云图
Fig. 14 Strain Diagram of Clamping Piece

通过静力学有限元分析,对拧紧传动杆和夹持片进行了受力分析,发现拧紧传动杆和夹持片的应力在允许范围值之内,符合相应标准。

4 结论

本文对热熔自攻丝工艺过程进行了分析,开展了轻量化车身热熔自攻螺接拧紧装置的创新设计,通过对驱动机构和下压机构的集成设计,选择了主要技术参数,建立了热熔自攻螺接拧紧装置的三维模型,并对关键结构件进行了有限元分析。结果表明,设计的拧紧装置能够实现对自攻螺钉旋转和下压动作的同时驱动,关键部件的强度满足要求,热熔自攻螺接拧紧装置的设计制造具有一定的工程应用价值。

参考文献:

[1] 李永兵,马运五,楼铭,等.轻量化多材料汽车车身连接技术进展[J].机械工程学报,2016,52(24):1-23.

(下转第 70 页)

试验后测量的 8.8 mm 数据基本一致,证明了有限元分析模型加载条件与实际受力情况一致,同时也说明了使用 SolidWorks 软件对提升器接油盆进行有限元分析的可靠性。

3.2 改进后的接油盆有限元分析

通过对改进前提升器接油盆受力情况的有限元分析,获知了受力严重的部位。为了改善提升器接油盆的受力情况,需要对受力严重的区域增加加强筋。改进后重新建模如图 6 所示。

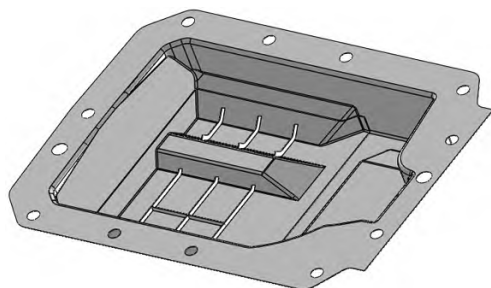


图 6 改进后的提升器油盆
Fig.6 Improved Lifter Oil Basin

使用相同的加载条件对改进后的接油盆重新进行有限元分析,结果如图 7 所示。从分析结果来看,改进后的接油盆在承受相同载荷情况下的最大变形量约为 0.793 mm。可见改进后的接油盆在抵抗变形方面有很大的提高。

4 验证试验

为了验证增加加强筋后的接油盆是否真实有效,在同样的试验条件下,对改进后的零件进行了整机试验,最终测量的接油盆的最大变形量为 0.86 mm,与改进后的接油盆受力情况和有限元分析结论基本一致,在可接受范围内,不存在齿轮磨接油盆的隐患,可有效解决该类故障问题。

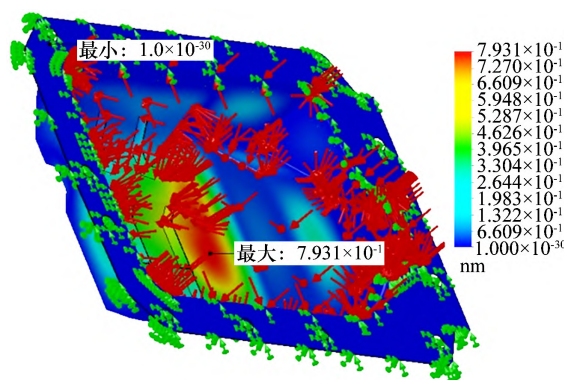


图 7 改进后接油盆受力分析
Fig.7 Stress Analysis of Improved Oil Basin

5 结论

通过使用有限元分析法对拖拉机提升器油盆的受力情况进行了分析,并根据分析结论对零件进行了相关改进和验证,证明了改进的有效性,解决了接油盆在液压系统长时间高压工作中造成的变形问题。

参考文献:

- [1] 王伟, 陈黎卿, 杨洋, 等. 农业机械底盘技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2021, 52(8): 1-15.
- [2] 杜计荣, 张玉鑫. 拖拉机半分置式液压系统的常见故障及判断方法[J]. 农机使用与维修, 2021(1): 89-90.
- [3] 蒋顾秋. 拖拉机提升器卡阀故障原因与设计改进[J]. 南方农机, 2020, 51(20): 37.
- [4] 苗开辉. 拖拉机液压悬挂系统常见故障分析与诊断[J]. 农业装备技术, 2020, 46(5): 43.
- [5] 周佳, 刘军, 韩丽, 等. 基于故障树分析大轮拖液压不提升故障[J]. 拖拉机与农用运输车, 2020, 47(4): 24-26.
- [6] SolidWorks 公司. SolidWorks Simulation 高级教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

(编辑 姜洪君)

(上接第 63 页)

- [2] Dilthey, U. Stein, L. Multimaterial car body design: Challenge for welding and joining [J]. Science and Technology of Welding & Joining, 2006, 11(2): 135-142.
- [3] Anonymous. Pneumatic Technology Drives Innovative Flow Drill Systems [J]. Assembly, 2018, 61(11): 36-49.
- [4] Fadik Aslan, Laurent Langlois, Tudor Balan. Experimental analysis of the flow drill screw driving process [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 104(5-8): 2377-2388.
- [5] Martin, Ivanjko, Gerson, et al. Innovative joining technology for multi-material applications with high manganese steels in lightweight car body structures [J]. Welding in the World, 2019, 63(1): 97-106.
- [6] Réjane Hörhold, Martin Müller, Marion Merklein, et al. Mechanical properties of an innovative shear-clinching technology for ultra-high-strength steel and aluminium in lightweight car body struc-

tures [J]. Welding in the World, 2016, 60(3): 1-8.

- [7] 叶雨寒, 袁芝宁, 刘庆涛, 等. 汽车车身铝合金连接构件的拉伸试验分析 [J]. 锻压技术, 2020, 45(4): 189-194.
- [8] 于渊, 臧建新, 朱振江, 等. 铝合金夹层结构自动钻铆工艺参数研究 [J]. 机械工程与自动化, 2020(2): 155-156.
- [9] 羊军. 铝合金热熔自攻丝工艺与性能研究 [J]. 汽车工艺与材料, 2020(6): 23-27.
- [10] 王健强, 高朗, 顾延帆. DC54 钢板与 6082-T6 铝板热熔自攻丝工艺参数优化 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(10): 136-140.

(编辑 姜洪君)

作者简介: 王康(2000-), 男, 山东菏泽人, 本科, 研究方向为机电创新设计。

通信作者: 王志勇(1985-), 男, 山东阳信人, 硕士, 讲师, 研究方向为轻量化异质板材先进连接技术。