

气动钣金快速成形机的研制

Development of Pneumatic Sheet Metal Rapid Prototyping Machine

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司工装设计所 耿秋颖 宋宝炜

[摘要] 针对电动钣金成形机制造成本高、效率低、易产生死点的问题,提出一种采用气液增力装置代替液压传动系统的气动钣金成形机设计方案。气液增力装置采用精密气压转换阀控制,实现行程平稳控制和加工成形过程平稳加载,显著提高了生产效率;配套研制的多种无齿收缩成形模具,可加工不同形状钣金件并获得更好的表面质量。该技术在钣金快速成形方面的研究处于国内领先水平,已获得3项国家专利。

关键词: 气动钣金快速成形机 收缩模具 整平模具 槽形模具

[ABSTRACT] This pneumatic former is used for the shrinking of metal sheets. By arching or pre-forming metal sheets or shrinking the edge and bend of sheet metal parts with the technology of toothless shrink, a favorable appearance can be obtained. This pneumatic former overcomes the shortcomings existing on electric former, characterized as adjusting of module stroke each time to satisfy the thickness of metal sheets. This achievement is taking the lead technically in China and is worthy of a wide application.

Keywords: Pneumatic sheet metal rapid prototyping machine Shrinkage mould Leveling mould Trough the mold

气动钣金快速成形机用于钣金件的收缩、展开成形,可收缩、展开钣金件的边缘,弯边、板弯和挤压型材零件缘条,使其拱曲或预成形。因采用无齿收缩块,可保证零件表面不受损伤,获得良好的表面质量。一般电动成形设备采用电动机带动偏心轮与曲柄连杆传动结构,结构复杂,每次工作需按钣件厚度调整模具行程,如调整不当易产生死点,无法正常工作,影响设备使用效能,且制造成本高。由于飞机生产线钣金零件数量大且厚度不等,每次调整模具行程给加工带来不便。气动钣金快速成形机采用一种创新方法:用气液转换装置的传动结构形式,工作时自动调节工作行程,无死点,不需调整模具行程,可收缩成形异厚板材,能设置不同工作气

压,操作简便、省时省力,可大幅提高工效,具有耗能低、运动平稳、无冲击、长期免维护等特点。在航空、航天、汽车等钣金加工制造业,该产品具有良好的市场推广前景。

1 总体思路

钣金件成形工作过程:压力传动机构对成形模具施加垂直压力,将钣金零件夹紧,成形模具内部传动结构将垂直压力分解为水平方向的收缩(伸张)力,使钣金件侧向微量增(减)厚达到永久变形,所以,水平方向的收缩(伸张)力必须大于该材料的屈服强度,才能满足使用要求。钣金收边机工作时其力的分布见如图1(以收缩成形功能为例)。

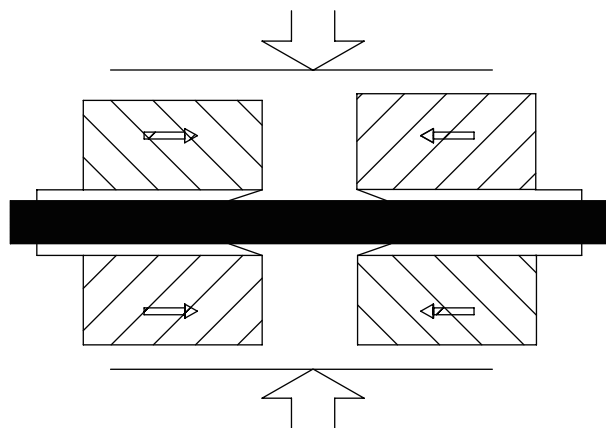


图1 气动钣金快速成形机工作时力的分布图
Fig.1 Force distributing chart of pneumatic sheet metal rapid prototyping machine in use

钣金零件的收边、放边、压平、翻边、封边等成形加工需要不同类型的成形模具来完成,钣金件的成形加工分有齿加工和无齿加工。成形模具中的成形模片直接与钣金件接触,工作时压紧、夹持零件表面。通常成形模片有齿,以增大对板料的摩擦力,成形加工完成后将零件的工艺余量切掉;无工艺余量的零件成形加工,应使用无齿成形模片。有齿成形模片优点:夹紧力大,成形效率高;缺点:易形成零件表面压痕。无齿成形模片优点:成形

零件表面不受损伤,成形效率高,零件表面质量优,适合无工艺余量零件成形加工和成品零件修整^[1]。钣金零件成形采用无齿加工是最优选择。

钣金成形机应具有较高工作压力、适应高频工作、运行平稳且安全可靠的特点,成形模具将成为该机的关键部件之一,成形模片又是成形模具的关键零件。设计中根据成形模具工作原理,设计合理的传动结构形式,提高模具收缩力;选择合适的成形模片材料,可保证零件表面不受损伤,获得良好的表面质量,并适应高频工作,使用寿命长,满足钣金件生产需要。

压力较高的设备通常有液压传动和机械连杆传动两种。液压传动优点:同等功率的液压传动装置重量轻、结构紧凑、运动较平稳、便于实现自动控制;缺点:易泄漏污染环境,耗能较高、制造成本高。机械传动优点:运动平稳,用变频电机可无级调速,便于维护;缺点:操作不方便,每次工作需根据零件高度调整行程,调整不当易产生死点,体积较大^[2]。

根据计算,传动系统向成形模具施加压力为 60 kN 才能满足使用要求,通过两种传动方式比较和对钣金成形工作过程分析,经多个设计方案反复论证,认为要实现设计创新,新产品应具备高效多功能、节能环保、低成本、安全可靠特性,首选方案是采用液压传动系统设计该设备。为克服液压传动系统的不足,采用气液转换装置代替液压传动系统设计气动钣金快速成形机。

采用气液转换装置作为驱动力,不但简化气动钣金快速成形机的结构,降低制造成本和能耗,还能使设备运行平稳、冲击力小、噪音小、安全可靠,工作时能自动调整行程,不必因零件厚度差异而每次操作都需调整模具行程,可大幅提高工作效率。

2 详细技术特征

2.1 气压系统设计

气动钣金快速成形机选择气液转换装置工作动力系统,对系统气压提出严格要求:气压需达到 0.6MPa,并保持气压平稳。为降低成本选用通用气源,一般气源气压为 0.4~0.5MPa,厂房内多台设备共用一套系统,气压极不稳定,易产生冲击,对钣金成形机的平稳工作影响极大。为此设计一套气压自动增压稳压装置联接在系统上,此装置可将 0.4~0.5MPa 气压先提高到 0.8~1.0MPa,再装上气动减压阀就可以满足气动钣金快速成形机的气压技术要求。气压自动增压稳压装置工作原理见图 2:电磁阀线圈 CT3 通电,电磁阀 10 的线圈 CT3 得电换向接通气源,气压自动增压稳压装置开始工作,向系统提供高压气源,用 11 号减压阀调节系统工作

压力,系统将获得稳定气压。

2.2 压力传动机构设计

压力传动机构采用气液增压装置直联传动轴和成形模具,用导向键保证传动轴不侧转。工作时,气液增压装置带动成形模具作直线往复运动,自动调整模具行程。系统安装气压调节阀,用来设置工作压力,适应不同钣金件的厚度。

气动钣金成形机工作时自动调整模具行程的原理:气液增压装置具有快速移动到位,只有接触到工件负载,系统工作压力升高后打开卡换向阀才产生力行程的功能,所以,气动钣金快速成形机工作时,根据板材厚度不同,气液增压装置输出轴带动成形模具快速移动的行程也不同,当成形模具接触到钣金零件后,气液增压装置产生工作压力,开始夹紧、收缩(伸张)钣金零件,不需根据板材厚度而调整工作行程,提高工作效率。气动钣金快速成形机气液工作原理见图 2。

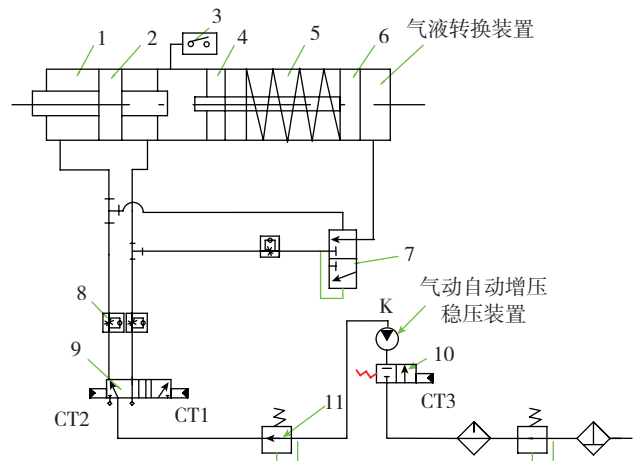


图2 气动钣金快速成形机气液工作原理
Fig.2 Gas-liquid working principle of pneumatic sheet metal rapid prototyping machine

气液增压装置工作原理:按下“开始”按钮,电磁阀 9 的线圈 CT1 通电换向,气液转换装置开始工作,其工作过程分为 3 步:(1)快进行程:电磁阀 9 的线圈 CT1 得电换向,活塞 2 工作,带动活塞杆向右快速移动,直到在某一位置遇到外阻即遇到工件时,外阻使空气压力升高,将控制力行程的转换阀 7 打开。(2)工作行程:当转换阀 7 打开时,活塞 6 挤压工作油腔 4,使其油压升高,此油压作用于工作活塞杆 2 后面,完成力行程,当达到设定的工作压力后,压力检测开关 3 发出信号给电磁阀 9 的线圈 CT1 断电。(3)返回行程:电磁阀 9 的线圈 CT1 断电后,电磁阀 9 的线圈 CT2 得电进行换向,力行程控制阀 7 自动换向,工作活塞 2 返回到初始位置,活塞 6 在弹簧 5 的作用下也返回到初始位置,完成了一次

锤击动作。精密减压阀 11 用来精确调整系统工作压力，8 为截流调速阀，1 为气缸。

2.3 成形模具结构设计

成形模具是将钣金件夹紧并收缩(伸张),使钣金件部分微量增(减)厚,是该机的关键部件之一,它有两项作用:一是产生垂直压力将钣金件夹紧,二是同时产生一个侧向推力,将钣金件收缩(伸张)增(减)厚。根据力的传递与分解,必须有一倾斜面,使之垂直的力分解成两个方向力,即正压力和水平推力,通过分析成形模具的工作原理及力传递的方向,设计多套成形模具。考虑到成形模具的稳定性,决定采用双斜支撑,其结构见图 3。

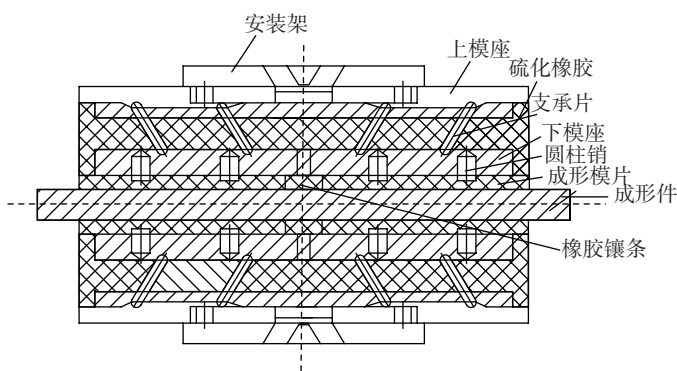


图3 成形模具总体结构示意图
Fig.3 Overall structure diagram of forming mould

成形模具包括:安装架、上模座、硫化橡胶、支承片、下模座、圆柱销、成形模片和橡胶镶条。此成形模具分为上、下对称两部分。结构特征是:安装架下面与上模座连接,上面与设备连接;上模座与支承片和下模座经硫化橡胶成为一体;下模座分为左右两部分,圆柱销安装在下模座底面;用复合材料制成的成形模片安装在下模座底面,用圆柱销定位;左右成形模片中间装有橡胶镶条。图 3 为收边模具,将支承片向外倾斜安装该模具就成为放边模具。

成形模具工作过程:将成形模具与设备连接,钣金件放在上、下模具中间,在设备工作压力作用下,成形模具产生压紧力和水平收缩力,在压紧钣金件的同时,还将钣金件收缩(伸张)增(减)厚成形,达到贴胎要求^[3]。

2.4 成形模具受力计算

铝合金 LY12 的屈服强度 $\sigma_s=255\text{MPa}$,板料厚度 $\delta=0.5\sim 2\text{mm}$ 。其收缩的面积为双面,因此:

$$S=2 \times 4\text{cm} \times 1\text{cm}=8\text{cm}^2,$$

则成形模具所需水平收缩力 $F \geq 255\text{MPa} \times S$ 。

$F=\sigma_s \times S=255\text{MPa} \times 8\text{cm}^2=20.4\text{kN}$,其力的分解如图 4 所示。

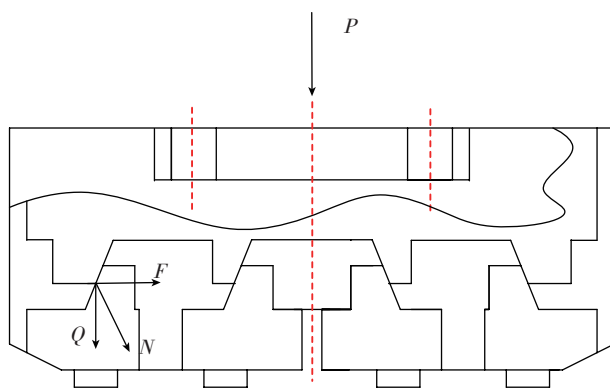


图4 成形模具受力图
Fig.4 Force bearing diagram of forming mould

已知钢的静摩擦系数 $f=0.15$,摩擦角 $\psi=\arctan f=8.53^\circ$,斜面角度 $\alpha=31^\circ$,分解的垂直压力 $Q=F/\tan(\alpha-\psi)=20.4\text{kN}/\tan(31^\circ-8.53^\circ)=20.4/0.41=49.75\text{kN}$ 。

通过计算,其成形模具的垂直压力 $Q \geq 49.75\text{kN}$ 。考虑到摩擦力的原因,取成形模具正向压力 $P=55\text{kN}$,选用气液增力装置的工作压力为 $P=60\text{kN}$ 。

2.5 成形模片材料的选取

成形模片的作用是工作时压紧零件表面,侧向移动,将零件收缩(伸张)增(减)厚。根据使用要求,成形模片材料的选用必须满足成形机对钣金件表面进行修整,而不损坏零件,其关键在于成形模片的技术性能,如应具有较高的抗压强度 σ_c 、硬度、静摩擦系数等,其主要技术性能要求见表 1。通过多次试验、筛选,认为高性能复合材料的技术性能比较适合成形模片的使用条件,其机械物理性能见表 2^[1]。

2.6 收缩模具的工作方法

收缩模具对板件的收缩范围一般为 4~5 倍料厚为

表1 成形模片的主要技术性能要求

机械物理性能	数值
静摩擦系数 f	>0.5
硬度(HB)	10~15
抗压强度 σ_c/MPa	80~90
热稳定性能	在 100° C 范围内,机械性能不降低

表2 高性能复合材料的主要技术性能

机械物理性能	数值
抗压强度 σ_c/MPa	> 100
肖氏硬度(HB)	10~12
热变形温度 /°C	170
摩擦系数 f	0.56

宜,对不同厚度的板材成形,需要调整上下模具相对位置。假设模具中心与中间硬橡胶中心需偏移 E 值,上下模的安装位置如图5(a)所示,板件收缩区 $L = 2E$,用于修整薄板零件;将上下模转换 180° ,如图5(b)所示,板件收缩区 L 等于中间硬橡胶宽度,用于修整较厚板件。

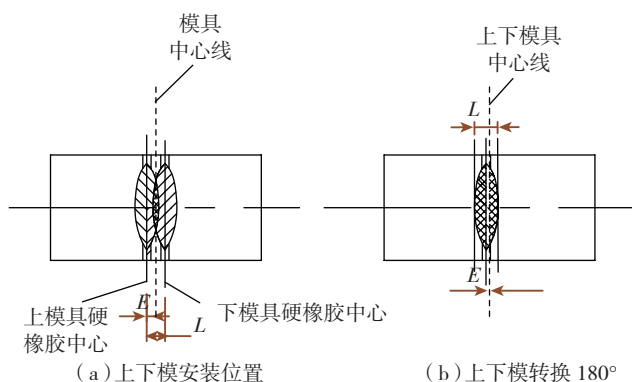


图5 上、下模具安装位置图

Fig.5 Installation diagram of upper and lower moulds

2.7 气动钣金快速成形机总体结构设计及工作原理

气动钣金快速成形机主要由可调支承、底座、防护罩、气压自动增压稳压装置、U形床身、卡箍、滑动轴承、连接轴、气液转换装置、限位螺钉、操作面板、丝杠轴、调节手轮、丝母轴、导向键、上下模具、安装座、连接轴套和左右支座构成。气动钣金快速成形机总体结构见图6,其结构特点:

- (1) 设备采用气液转换增力装置替代液压传动系统,使设备结构尺寸紧凑,节能高效,制造成本低;
- (2) 气液转换增力装置采用气压转换阀,实现了空行程平稳控制和成形过程平稳加载,显著提高生产效率;

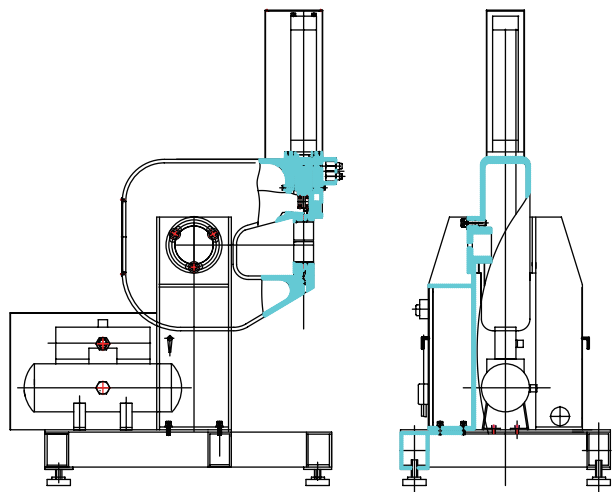


图6 气动钣金快速成形机总体结构示意图

Fig.6 Overall structure diagram of pneumatic sheet metal rapid prototyping machine

率;

(3) 配套研制出多种创新结构无齿收边、放边成形模具,可以加工不同形状钣金件,实现模具快速换装,扩大钣金成形机适用范围;

(4) 工作时自动调整工作行程无死点、操作方便、工作效率高。

气动钣金快速成形机工作原理:接通气源、电源,气压自动增压稳压装置将低气压增加到需要的较高工作压力,气液转换装置又将气压力转换成更高的液压力,气液转换装置输出轴上、下往复运动,带动上模具上、下振动,从而对钣金件进行成形加工。根据加工零件需要,更换不同模具,如收边模具、放边模具、整平模具和槽形模具等,可加工不同形状、不同变形的钣金零件。

2.8 主要技术指标及技术参数

- (1) 工作压力: 60kN。
- (2) 工作气压: 0.6MPa。
- (3) 收缩材料厚度: $\leq 2\text{mm}$ 。
- (4) 模具行程: 6mm。
- (5) 喉口深度: 330mm。

2.9 实施效果

经过多种多类型钣金零件成形加工验证,各项技术指标完全符合钣金技术条件,产品合格率100%,达到零件技术要求。产品质量得到保障和提高,工作效率提高5倍以上,减轻了操作者劳动强度,改变了过去使用手动收边机操作非常不便、工作效率低、费时费力和使用电动收边机制造成本高、占地面积大、安全性差,每次操作需调整模具行程,影响设备发挥效能等诸多不宜状况。

3 结束语

本项目提出一种采用气液转换增力装置替代液压传动系统设计钣金快速成形机,并实现气动钣金快速成形机的研制成功。经生产单位应用鉴定,此设备可显著提高生产效率,其技术水平处于国内领先,已获得3项国家专利,可广泛用于飞机、汽车、船舶等钣金零件加工制造行业。

参考文献

- [1] 航空制造工程手册编委会. 航空制造工程手册·飞机钣金工艺. 北京: 航空工业出版社, 1992.
- [2] 孙恒, 傅则绍. 机械原理(第4版). 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [3] 航空工艺装备设计手册委员会. 航空工艺装备设计手册·夹具设计. 北京: 国防工业出版社, 1977.

(责编 深蓝)