

驱动桥壳整体复合胀形工艺及液压机系统开发*

李长江^① 徐明^① 林顺洪^① 黄琪^① 罗良^②

(^①重庆科技学院机械与动力工程学院,重庆 401331;^②重庆科技学院人文艺术学院,重庆 401331)

摘要:在介绍现有驱动桥壳成形技术基础上,提出了一种新的驱动桥壳整体复合胀形工艺。针对与该工艺相匹配的核心工序,整体复合胀形的变形过程,采用有限元法进行了验证分析,获得了开槽管坯胀形温度为 600 ℃时,胀形过程最大应力值达到 243 MPa,能够满足驱动桥壳成形需求。结合胀形成形的功能需求和变形分析数据,通过集成中频加热炉、传送带、机械手等辅助装备,开发出驱动桥壳整体复合胀形液压机系统。可在同一平台上实现复杂的工艺过程,可实现不同型号驱动桥壳制造。

关键词:驱动桥壳;整体复合胀形;液压机系统

中图分类号:TH163;U468.2+1 **文献标识码:**B

DOI:10.19287/j.cnki.1005-2402.2019.06.036

Development of the integral compound bulging forming process and hydraulic press system for driving axle housing

LI Changjiang^①, XU Ming^①, LIN Shunhong^①, HUANG Qi^①, LUO Liang^②

(^①College of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, CHN; ^②College of Humanities and Arts, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, CHN)

Abstract: Based on the analysis of the existing forming technology of driving axle housing, a new integral compound bulging process of driving axle housing is proposed. Aiming at the deformation process of integral compound bulging, which is the core process matched with this process, the finite element method is used to verify and analyze the deformation process. It is obtained that the bulging process of slotted tube blank is the most when the bulging temperature is 600 ℃. The large stress value reaches 243 MPa, which can meet the forming requirement of driving axle housing. According to the function requirement and deformation analysis data of bulging forming, the hydraulic press system of driving axle housing integral compound bulging was developed by integrating auxiliary equipment such as intermediate frequency heating furnace, conveyor belt, manipulator and so on. Complex process can be realized on the same platform, and different types of driving axle housing can be manufactured.

Keywords: driving axle housing; integral compound bulging; hydraulic press system

随着我国汽车产销量的迅猛增长,越来越多的车企开始加入到这个急速膨胀的产业链中,而对于消费者来说,汽车已经从最初的奢侈品转化为了生活中的必需品。但与国外品牌的差距较大,需要提升自主创新能力和品牌竞争力,才能推动我国汽车工业质量和数量的稳步增长。

为了更好地适应市场发展需求,作为车辆重要零部件的驱动桥壳,除应具备制造成本低,便于拆装、调

整、维修和保养等优点外,在动载荷条件下,还要求其具有足够的强度、刚度和疲劳寿命^[1]。

随着有限元技术的成熟,其在桥壳设计中也有很多应用,包括:桥壳的静力分析、模态分析、谐响应分析、疲劳分析等^[2]。因此,为了开发驱动桥壳整体复合胀形工艺及液压机系统,将采用有限元法对整体复合胀形变形过程进行验证分析,并获得液压机系统开发的关键载荷数据。

* 重庆市高等学校特色学科专业群:机械与动力工程学科专业群;重庆科技学院校内科研重点基金项目:汽车桥壳胀形成型技术研究(CK2016Z06)

其中相关的关键技术及装备,已获得国家授权发明专利和实用新型专利保护。该技术的开发将带来汽车及工程装备驱动桥壳制造水平的逐步提升,尤其是对可靠性要求极高的后勤装备、陆战装备、导弹运输装备等军用装备的生产,产生深远影响。

1 驱动桥壳生产工艺

1.1 现有成型技术分析

根据结构特点的不同,驱动桥壳可分为整体式桥壳和分段式(装配式)桥壳。根据成形工艺的不同,整体式驱动桥壳可分为铸造桥壳、冲焊桥壳、机械扩胀桥壳和液压胀形(内高压成形)桥壳。目前,我国实际应用中的驱动桥壳多为铸造桥壳和冲压焊接桥壳。

半桥壳冲压工艺流程为加热→压形→整形→冷却→抛丸^[3],也有冷冲压工艺流程为喷油覆膜→冷压成形→清洗→抛丸^[4],其中压形均是利用液压机,在凸模和凹模共同作用下冲压成型半桥壳,后续拼焊、除锈和机加工等工序。

而驱动桥壳液压胀形是一种新工艺,与铸造和冲压焊接方法相比,具有壁厚分布合理、材料利用率高、节能降耗、加工工序少,同时无焊缝、重量轻、强度高等优点,但存在效率较低,同时由于设备能力的限制,无法提供足够大的液体成形压力及相应的密封技术,目前只应用于中小桥壳的成形,是一种满足汽车轻量化要求的先进制造技术^[5]。另外,机械扩胀工艺因具有材料利用率高、重量轻、强度高、焊接工作量少、对设备要求较低和成本低等优点,而被广泛关注。但胀形时,桥壳在工艺孔端口处易出现横向裂纹,在琵琶包内侧的中间区域易出现起皱,严重影响桥壳的工作强度和后续加工,成为该工艺的难点^[6]。

1.2 整体复合胀形工艺

因此,根据驱动桥壳成形工艺,结合机械扩胀和液压胀形工艺优势,实现驱动桥壳整体复合胀形工艺,在同一系统中同时解决胀形过程稳定化、反复胀形去应力、胀形补料与端面密封等技术难题。设计驱动桥壳整体复合胀形工艺(如图1所示)为:采用Q345(16Mn)冷拔无缝矩管为基材,经锯床切割成段,铣床开槽形成胀形毛坯(即开槽管坯成形);开槽管坯再经中频加热到 $\leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,在外模约束下,通过内模装置进行连续液压机械胀形(即整体复合胀形)^[7],校正桥壳中段,缩径轴端圆管段;经空冷、抛丸处理,再修边,拼装焊接提前独立加工准备的零件:半轴套管、法兰、三角钢板、加强圈、后盖以及钢板弹簧座等;切削加工内孔、法兰、端面和安装孔等;最后清理、清洗、喷涂和

检测等^[8],得到高性能的驱动桥壳。

该工艺的关键工序为驱动桥壳整体胀形成形部分,涉及开槽管坯成形、开槽管坯加热和整体复合胀形工序,其中开槽管坯成形和开槽管坯加热工序是整体复合胀形工序的前提条件。



图1 驱动桥壳整体复合胀形工艺流程图

2 整体复合胀形变形分析

针对核心工序驱动桥壳整体复合胀形,是将加热到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (加热后辅助时间降温致)的开槽管坯放入胀形外模内,在外模约束下,利用内模装置对其施加胀形力,通过连续液压机械作用,使其发生连续的弹性变形和塑性变形,实现整体复合胀形。对开槽管坯的变形过程,采用有限元法进行了验证分析。

2.1 有限元对象分析

Q345在高温($550\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$)下,随温度升高黑色逐渐加深,试件接近破坏时呈塑性流动,有很高的延伸率。屈服强度 σ_s 和极限强度 σ_b 均随温度升高而降低,在 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $\sigma_s \leq 185\text{ MPa}$, $\sigma_b \leq 250\text{ MPa}$ ^[9]。为了不改变材料微观组织,加热温度不高于相变温度,设计中频加热温度为 $\leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$,可控制调节温度值。结合物料搬运和设备运行等辅助时间引起的温降,开槽管坯的胀形温度设计为 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

以某型号驱动桥壳(如图2所示)为例,提取该型号驱动桥壳中段(需要胀形成形提供毛坯部分,如图3所示),壁厚为 16 mm ,成形总长为 $1\ 665\text{ mm}$,沿长度方向展开确定锯床切割成段长度为 $1\ 730\text{ mm}$,两端预留加工余量修边切除和打对焊坡口。

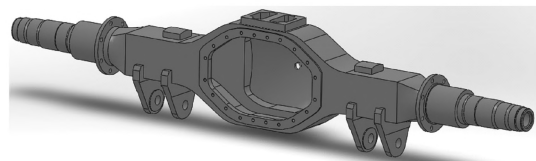


图2 某型号驱动桥壳图

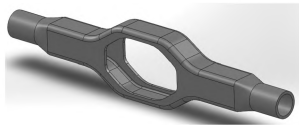


图3 某型号驱动桥壳中段图

2.2 有限元建模

有限元分析已知数据:开槽管坯材料为 Q345, 密度 ρ 为 $7\ 870\ \text{kg/m}^3$, 屈服强度 σ_s 为 $345\ \text{MPa}$, 极限强度 σ_b 为 $675\ \text{MPa}$, 弹性模量 E 为 $206\ \text{GPa}$, 切变模量 G 为 $79\ \text{GPa}$, μ 泊松比为 0.31 ; 管坯长度为 $1\ 730\ \text{mm}$, 截面尺寸 $170\ \text{mm} \times 160\ \text{mm}$ (长边上开槽长度 $1\ 000\ \text{mm}$, 宽度 $30\ \text{mm}$), 壁厚为 $16\ \text{mm}$; 开槽管坯温度为 $600\ \text{℃}$ 。

利用三维建模软件, 根据尺寸建立开槽管坯和模具模型 (如图 4 所示), 在有限元软件中进行前处理: (1) 对几何模型划分网格, 建立有限元网格模型。(2) 分别在开槽管坯的两端和中间部位施加约束, 对于胀形模具施加刚体约束, 其中内模约束 x 、 y 两方向平动和三个方向的转动自由度, 上下外模施加全部约束。(3) 在内模表面节点施加均布载荷, 分别指向 z 正反方向。(4) 建立开槽管坯与内模、上下外模的接触, 定义管坯为可变形接触体, 内外模为刚性接触体, 建立起整体有限元模型 (如图 5 所示)。

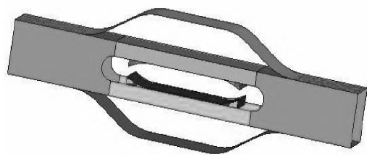


图4 开槽管坯和模具模型图

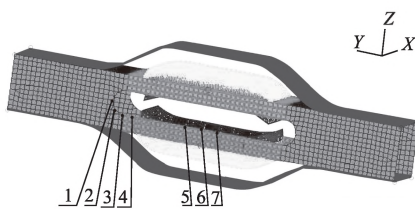


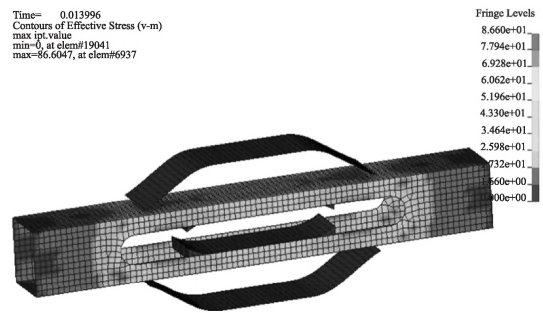
图5 整体有限元模型

2.3 结果分析

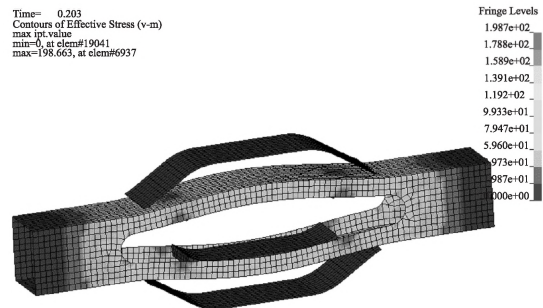
在管坯胀形变形过程中, 管坯变形力通过管坯表面与内外模表面接触来传递, 控制管坯与外模不动, 在内模上施加 Z 轴正负向位移和胀形所需要的外力, 随着内模位移的增大, 外力值逐渐变化。

经数值计算, 得到开槽加热管坯变形应力 ($v-m$) 分布图 (如图 6 所示)。由于开槽加热管沿水平纵截面和轴向横截面对称, 取开槽加热管的端部和中部有限元网格 7 个特征单元点 (如图 5 所示) 进行结果分

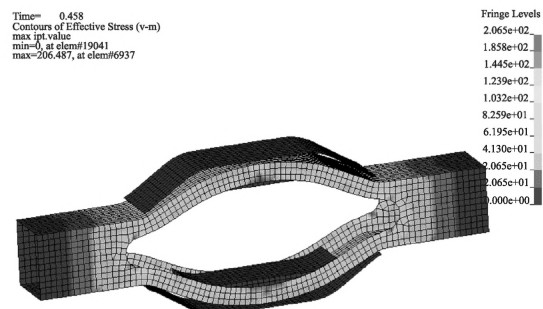
析, 得到特征单元点的应力变化规律 (如图 7 所示)。



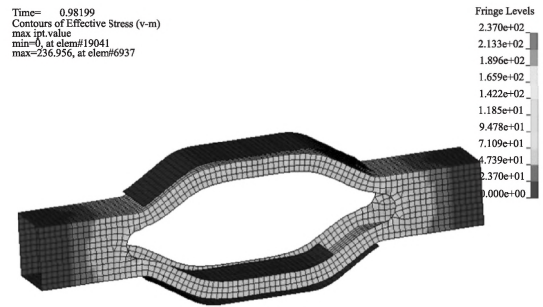
(a) 胀形前期



(b) 胀形中前期



(c) 胀形中后期



(d) 胀形后期

图6 应力分布图

根据应力分布图和应力变化规律图, 应力伴随着整个整体复合胀形变形过程。在胀形前期 (时长 0.1 进程前), 管坯未见明显形变, 特征点应力变化呈现波动状态, 主要集中在开槽的端部圆角区与中部, 主要是弹性变形; 在胀形中前期, 管坯开槽中部开始出现明显弯曲变形, 呈现弧形状, 且各特征点应力随之增大, 发生塑性变形; 在胀形中后期, 管坯中部与上下外模开始

接触,受到外模约束,中部应力下降明显,开槽端部圆角区应力有所减小,而后特征点应力随之增大;在胀形后期,管坯与外模完全接触,内膜继续施加载荷,进行稳压成形,所受到成形力最大,达到 348 kN,特征点应力趋于稳定,最后胀形变形完成。变形过程中,最大应力值出现在开槽的端部圆角区特征点 2 处(单元# 6937),是最危险位置,最大应力值达到 243 MPa,对比 Q345 强度值,能够满足驱动桥壳变形成形需求。

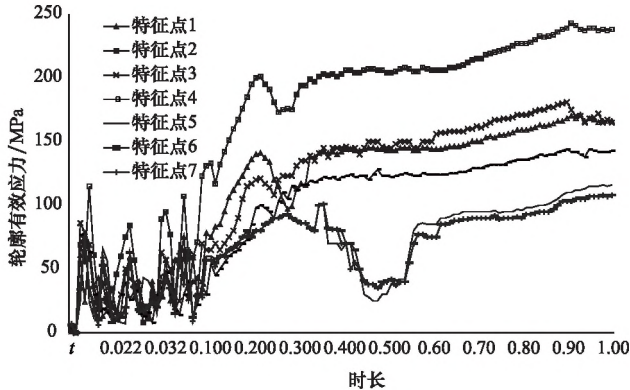


图7 特征单元点的应力变化规律

其中,在胀形中后期,中部各特征点应力值下降明显,其原因是开槽中部与外模接触,在受到内膜和外模挤压作用,管坯变形减小,合应力也减小;胀形的继续进行,管坯变形增大,合应力也增大。

3 液压机系统设计

3.1 整体复合胀形装置

为了实现整体复合胀形成形,开发专用的整体复合胀形装置(如图 8 所示),主要由左侧液压推力装置、下外模、胀形内模组件、上外模和右侧液压推力装置等组成^[10]。

该装置输出胀形力,主要由两端液压推力装置的水平推力分解到垂直方向的推力和胀形内模组件压力发生装置的垂直推力组成,且结合位移、受力等参数的反馈控制,实现开槽加热管坯的上下对称胀形成形。在胀形过程中,对开槽加热管坯施加的胀形力为(图 9 所示)。

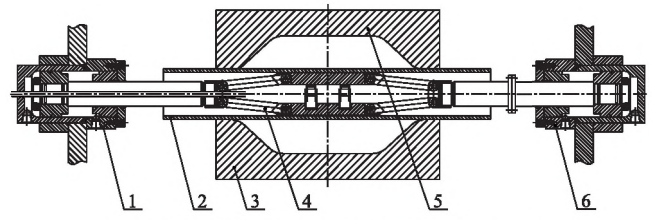
$$F = 2F_1 \cdot \tan \frac{\theta}{2} + F_2 \quad (1)$$

式中: F 为对开槽加热管坯施加的胀形垂直推力; F_1 为两端液压推力装置的水平推力; F_2 为胀形内模组件压力发生装置垂直推力; θ 为胀形内模组件上下连杆夹角。

3.2 液压机结构方案设计

结合整体复合胀形装置和功能需求,设计整体复

合胀形液压机结构方案(如图 10 所示)。液压机本体包括设有工作台机架,工作台上安装有用于驱动桥壳工件胀形的胀形内模和胀形外膜,工作台的两端分别设有用于向胀形内模施加胀形推力的左推力液压缸和右推力液压缸,胀形内模通过连杆机构与左、右推力液压缸的活塞杆快速拆卸铰接连接。工作台的上方设有作用在上外模上的提升液压缸,下方设有作用在下外模上的顶出液压缸^[11]。



1—左侧液压推力装置；2—开槽加热管坯；3—下外模；4—胀形内模组件(含中芯缸1)；5—上外模；6—右侧液压推力装置。

图8 整体复合胀形装置结构图

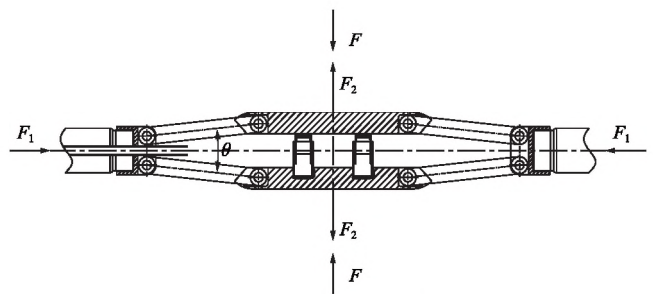
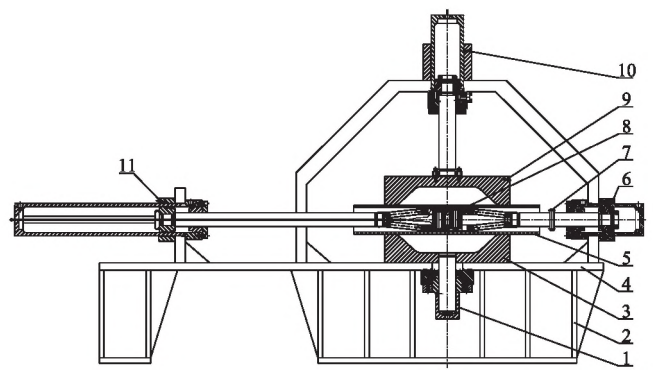


图9 胀形内模组件受力简图



1—顶出液压缸；2—机架；3—下外模；4—工作台；5—开槽毛坯；6—右推力液压缸；7—快速拆卸连接结构；8—多级液压缸；9—上外模；10—提升液压缸；11—右推力液压缸。

图10 整体复合胀形液压机结构方案图

主要技术参数:

液压系统公称压力 32 MPa,内模组件中芯缸工作压力 130 MPa;工作台尺寸 2 000 mm×1 500 mm,装机总功率 300 kW。

内模组件:最大载荷 1 500 kN,行程 240 mm,速度 10~50 mm/s;上合模:最大载荷 3 000 kN,行程 1 000

mm,速度 50~200 mm/s;左右水平缸:最大载荷 300 kN,工进行程 100 mm,工进速度 5~30 mm/s,复位速度 30 mm/s;左水平缸送/退模:行程 2 000 mm,速度 100 mm/s;成形周期 180~200 s。

3.3 液压机系统设计

根据驱动桥壳制造材料加工特性和工艺方法,集成原材料开槽机床、中频加热炉、传送带、取料机械手、胀形机械手和液压机等装备,形成驱动桥壳整体复合胀形核心工序布局^[12],设计液压机系统方案,如图 11 所示。

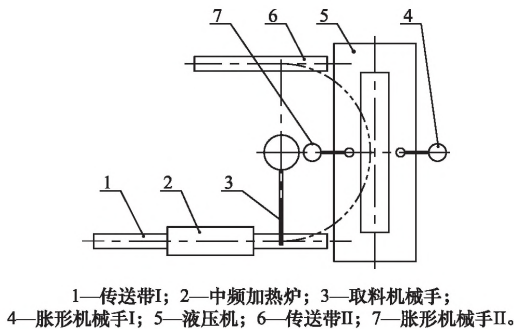
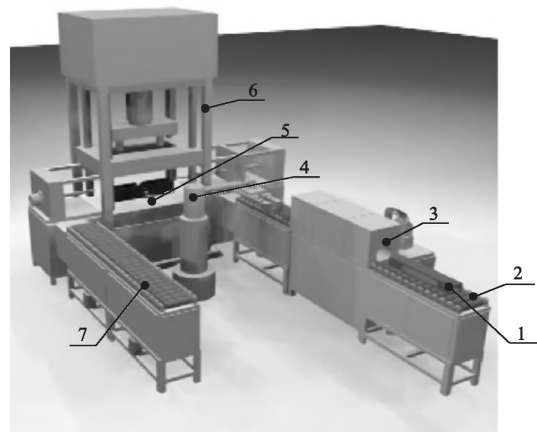


图11 液压机系统方案图

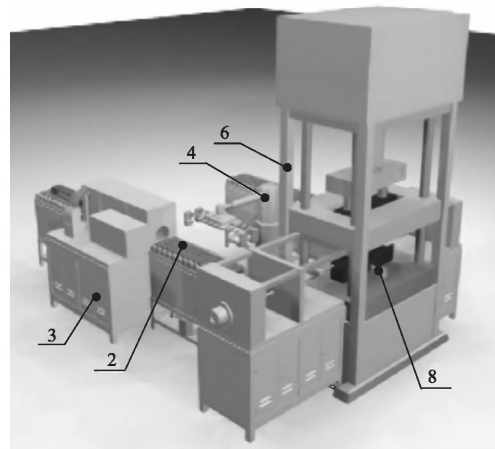
经机床进行机加工的开槽管坯,放到传送带 I 上,再经中频加热炉加热到 $\leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,利用取料机械手将加热毛坯放入液压机的复合胀形装置外模中,在外模约束下,通过内模装置进行整体复合胀形成型,再用机械手取出放到传送带 II,送到后续加工工位。

结合液压机结构方案和变形分析数据,研究出稳定可靠的驱动桥壳整体复合胀形液压机系统(如图 12 所示)。其工艺动作和技术参数如下:

工艺动作:开槽管坯送入→中频加热炉(温度 $\leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$)→传送带 I 送出→取料机器人取料→加热开槽管坯装入下外模→上外模合模(取料机器人退出,回到传送带 I,待下一次取料、装料)→左水平缸装入内模组件(右水平缸与内模组件连接)→第一次内胀成形(中芯缸 I 和左右水平缸稳压)→胀形机械手 I 装入中芯缸 II→第二次内胀成形(左右水平缸稳压,中芯缸 I 复位)→中芯缸 II 复位→胀形机械手 I 退出→胀形机械手 II 装入中芯缸 III→第三次内胀成形(中芯缸 III 和左右水平缸稳压)→中芯缸 III 复位→胀形机械手 II 退出→左右水平缸复位(右水平缸与内模组件脱离)→内模组件退出→上外模上行→取料机器人伸入取出成形驱动桥壳半成品→取料机器人的机械手旋转 180° 装入下一件加热开槽管坯(液压机进入下一周期胀形过程)→取料机器人退出→驱动桥壳半成品放到传送带 II 送出→取料机器人回到传送带 I,待下一次取料、装料。



正面轴测图



背面轴测图

1—开槽管坯; 2—传送带I; 3—中频加热炉;
4—取料机械手; 5—胀形机械手II(含中芯缸III);
6—液压机; 7—传送带II; 8—胀形机械手I(含中芯缸II)。

图12 驱动桥壳整体复合胀形液压机系统

在整体复合胀形装置基础上,突破了液压胀形在形状(球形)、超高压和安全等方面的限制,巧妙利用机械胀形和液压胀形的协同效应,用于驱动桥生产的核心特种加工机床,是机电液一体化高效集成系统,整合工序,使生产要素成组,可在同一平台上实现复杂的工艺过程,通过不同规格的整体复合胀形装置及胀形内模设计,可实现不同型号驱动桥壳制造。

4 结语

(1)在介绍现有驱动桥壳成形技术基础上,提出了一种新的驱动桥壳整体复合胀形工艺,与该工艺相匹配的核心工序——整体复合胀形的变形过程,采用有限元法进行了验证分析,设计条件能够满足驱动桥壳成形需求,并获得了液压机设计的主要载荷数据。

(2)为了实现新工艺中的整体复合胀形,开发出专用的整体复合胀形装置,并对该装置输出胀形力进行了受力分解。再结合胀形成形的功能需求和变形分

柴油机油道自动去毛刺专机的设计

李海东

(潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261041)

摘要:以油道毛刺为对象,通过设计一台专用机床,取代目前人工去毛刺工作方式,实现缸体油道的自动去毛刺。

关键词:油道;毛刺;专用机床

中图分类号:TH122 **文献标识码:**A

DOI:10.19287/j.cnki.1005-2402.2019.06.037

Design of automatic deburring machine for diesel engine oil passage

LI Haidong

(Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261041, CHN)

Abstract: By designing a special machine tool to replace the current manual deburring work mode, the automatic deburring of the oil passage of the cylinder block is realized.

Keywords: oil passage; burrs; special machine

随着汽车制造业的发展,人们对发动机性能的要求越来越高,毛刺成了影响质量的潜在因素。例如,发动机运行中的缺缸问题,曲轴轴瓦的刮伤问题,齿轮传动的噪声问题,元件的漏油问题等都与毛刺直接有关,并影响到汽车发动机的性能和使用寿命。发动机内在的清洁度,成为品质提升的核心,也是评定汽车发动机总成质量的重要指标之一。

发动机缸体因体积大且形状、工艺复杂,是发动机制造过程中去毛刺的重点对象,其中缸体油道加工毛

刺若不彻底去除,在发动机振动的工作环境中会脱落,产生的危害远远大于残存的细小杂质,发动机缸体油道去除毛刺技术达到了一个全新的要求。

1 设计背景及意义

1.1 设计背景

传统的工艺方案是人工去除油道毛刺,这种方法虽然简单易行,但其去毛刺效果不尽人意,现场执行难度大。图1所示为人工去毛刺。

析数据,设计了液压机结构方案,通过集成中频加热炉、传送带、机械手等辅助装备,开发出驱动桥壳整体复合胀形液压机系统。可在同一平台上实现复杂的工艺过程,可实现不同型号驱动桥壳制造。

参 考 文 献

- [1]周驰,杨彦超,王铁,等.组合工况下自卸车驱动桥壳强度分析[J].汽车技术,2014(8):8-12.
- [2]黄霞,丁军,陈松.某重型车驱动桥壳结构强度及模态分析(英文)[J].机床与液压,2013,41(24):72-75.
- [3]张祎光.半桥壳冲压生产线的设备组成及其特点[J].汽车实用技术,2011(6):32-34.
- [4]李晓丽,赵鹏成,王俊杰.半桥壳冷冲压生产线的设备组成及其特点[J].汽车实用技术,2015(11):129-130.
- [5]薛克敏,孙大智,李萍.汽车驱动桥壳液压胀形数值模拟及试验研究[J].塑性工程学报,2017,24(3):36-42.
- [6]王连东,梁晨,马雷,等.汽车桥壳液压胀形工艺的研究及最新进展[J].燕山大学学报,2012,36(3):206-209.
- [7]重庆科技学院,龚仕林.汽车驱动桥整体复合多次胀形工艺.中

国;201310246607.3[P].2015-06-10.

- [8]李圣亮.先进的微车驱动桥壳总成生产线[J].生产与装备,2011(3):78-80.
- [9]李国强,陈凯,蒋首超,等.高温下Q345钢的材料性能试验研究[J].建筑结构,2001,31(1):53-55.
- [10]龚仕林.汽车驱动桥整体复合多次胀形装置.中国;201320355685.2[P].2013-12-04.
- [11]龚仕林.汽车驱动桥整体复合胀形液压机.中国;201210357629.2[P].2014-07-23.
- [12]龚仕林.汽车驱动桥整体复合胀形生产线.中国;201320325602.5[P].2013-12-04.

第一作者:李长江,男,1970年生,博士,教授,研究方向为计算机辅助设计的教学与研究,已发表论文29篇。

(编辑 高扬)

(收稿日期:2018-12-21)

文章编号:190647

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。