

D10车型塔状盖板总成二序焊装夹具设计及基于ANSYS WORKBENCH的仿真分析

张 开

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2023年2月23日; 录用日期: 2023年5月24日; 发布日期: 2023年5月31日

摘 要

本文分析了D10车型塔状盖板总成二序焊装夹具设计的可行性及必要性, 围绕着塔状盖板总成二序设计合格的焊接夹具。本文分析了塔状盖板的形状及尺寸, 制定了整个焊接工艺流程, 并在ANSYS WORKBENCH上进行模态分析。在此次塔状盖板焊接夹具设计中, 分析塔状盖板的形状与尺寸, 对其焊点、定位点、夹紧点等进行分析及确定具体位置, 并选用三个夹紧单元固定塔状盖板焊接件, 选用三个圆形定位销对塔状盖板进行定位, 并设计BASE。考虑焊接夹具的实用性及经济性, 对盖板等零部件进行倒角处理。并且为了防止生产工作中发生共振, 进行了一个模态分析, 验证了合理性。

关键词

夹具, 塔状盖板, 设计, ANSYS WORKBENCH, 模态分析

Design of Second Sequence Welding Fixture for Tower Cover Assembly of D10 Model and Simulation Analysis Based on ANSYS WORKBENCH

Kai Zhang

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Feb. 23rd, 2023; accepted: May 24th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

This paper analyzes the feasibility and necessity of the design of the second sequence welding fix-

ture for the tower cover assembly of D10 model, and designs qualified welding fixture around the tower cover assembly second sequence. Analyze the shape and size of the tower cover plate, formulate the whole welding process, and conduct modal analysis on ANSYS WORKBENCH. In the design of the tower cover plate welding fixture, the shape and size of the tower cover plate is analyzed, the solder joints, fixing points, clamping points are analyzed and the specific position is determined, and three clamping units are used to fix the tower cover plate welding parts, three circular positioning pins are used to locate the tower cover plate, and the design BASE. Considering the practicability and economy of welding fixture, the opposite plate and other parts are chamfered. In order to prevent resonance in production work, a modal analysis is carried out to verify the rationality.

Keywords

Fixture, Tower Cover Plate, Design, ANSYS WORKBENCH, Modal Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汽车焊接装置在将汽车生产过程中占据最相当重要的地位，是车身零件进行装配和焊接的一种特殊工艺装置。它是直接影响汽车生产和质量的重要工艺工具，对保证焊接质量、提高劳动生产率、降低工人劳动强度、降低生产成本具有重要意义[1]。

夹具的用途有很多，许多学者针对不同的用途进行着不同的设计与研究。曲春旭等[2]根据汽车夹具功能和结构特点聚类分析，对其进行模块层次划分，最终进行模块化设计。吕安强等[3]是对夹具在高压绝缘电缆热学特性影响的有限元分析。苗红丽[4]在讨论汽车车身焊装夹具的设计时候认为焊装夹具属于汽车车身前期设计中的重要环节，汽车车身焊装夹具设计的质量水平与本身加工工艺的精度直接决定了车身加工质量与生产工期的长短。

本文分析了 D10 车型塔状盖板总成二序焊装夹具设计的可行性及必要性，用 CATIA 进行三维建模；围绕着塔状盖板总成二序设计合格的焊接夹具。分析塔状盖板的形状与尺寸，对其焊点、定位点、夹紧点等进行分析及确定具体位置，并选用三个夹紧单元固定塔状盖板焊接件，选用三个圆形定位销对塔状盖板进行定位，并设计 BASE；通过 ANSYS WORKBENCH 有限元分析软件对设计好的夹具进行模态分析，得到了前 6 阶的固有频率，确保在工业生产中不会出现共振现象(本次设计的夹具在生产使用环境一般不会超过 100 Hz)，验证设计的合理性。

2. 设计要求

2.1. 技术指标

- 1) 设计塔状盖板焊装夹具；
- 2) 要求：确保产品达到标准，设计符合轻量化与标准化，以及在生产使用中确保不出现共振现象；
- 3) 生产方面：成批量，可持续生产。

2.2. 结构设计

为了确保焊接的品质、生产效率高、安全可靠的使用、制造成本低以及其他要求，我们将竭尽全力

促进这些要求在焊接设计中的实现[5]。焊装夹具的种类有很多，此次是针对塔状盖板进行焊接夹具的设计。其中包括固定塔状盖板的夹紧机构、支撑及基准定位的基板(BASE)以及旋转机构和一些辅助元件。

夹紧单元的作用是在焊接件定位好后，对焊接件进行一个固定的作用。这时候，需要选用合适的气缸满足其夹紧力需求，以及需要夹紧块、立板及压臂协同对焊接件进行夹紧固定其中需要限位块进行限位。其中还需要 L 座与立板相连，固定在基板(BASE)上，满足操作员合适焊接高度及固定效果。其中的夹紧单元的三维图，如图 1 所示。

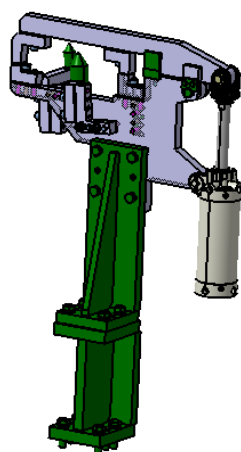


Figure 1. The clamping unit is composed
图 1. 夹紧单元组成

图 1 为所设计的焊装夹具第一单元，选取两个夹紧点及压紧点对塔状盖板进行固定，选取两个定位销进行定位。根据对塔状盖板形状与尺寸分析，设计的压臂长度为 415 mm，耳板与立板通过铰支销进行连接，以铰支销的中心轴为气缸工作时的旋转点，使得压臂可以通过气缸伸缩来进行打开与压紧。

2.3. 焊点的布置

点焊(spot welding)属于电阻焊的一种，是将焊件装配成搭接接头，并紧压在两电极之间，利用电阻热熔化母材金属，形成焊点的电阻焊方法[6]。点焊具有成本低、大电流、时间短等特点，主要适用于薄板焊接。电阻点焊工作的循环包括：加压、焊接、保持、停止的过程[7]。保证焊点强度，碰撞过程中不易脱开。为了保证焊点有效，焊点距离两焊接件的边缘距离不能太小，太小会导致焊点失效，达不到焊接的强度要求，其中焊点最小尺寸可参考表 1。一般来说焊点与焊点间的中心距离不小于 35 mm。对塔状盖板分析最终采用九个焊点。

Table 1. Distance between solder joint center and plate edge

表 1. 焊点中心距板边的距离

一个焊件的厚度/mm	1	2	3	4	6
焊点中心到板边最小距离/mm	8	12	18	25	30

2.4. BASE 板

BASE 板一般由槽钢与钢板焊接而成。钢板采用 $t = 20 \text{ mm}$ 加工厚度，材料为 Q235A，基准孔孔径要求为 $\phi 10H7$ ，并要加盖板保护。设计时还应考虑其吊装、运输等便捷性。BASE 底板采用非连续焊缝，

要求焊缝均匀、牢固。起吊装置采用吊耳形式。整个夹具的运输及放置选用地脚及定向轮与万向轮带刹车。避免平台尖角碰伤操作人员，对平台尖角处进行倒角处理。最终 BASE 板设计结果如图 2 所示。

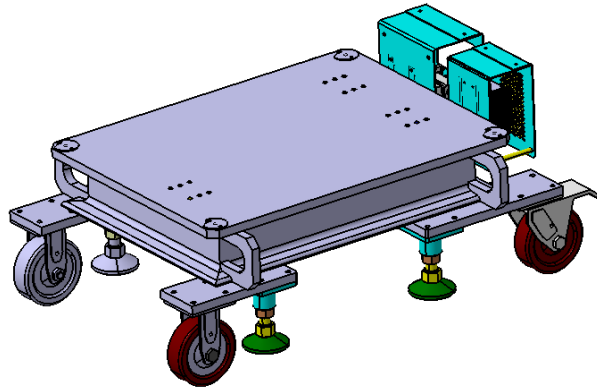


Figure 2. BASE plate
图 2. BASE 板

3. 塔状盖板焊装夹具总布置

此次焊装夹具设计为夹紧单元对塔状盖板进行夹紧和定位，基板(BASE)进行支撑等，采用四个地脚支撑，两个定向轮与两个带刹车的万向轮组合为一套完整的焊装夹具，塔状盖板焊装夹具体单元与基板总布置如下图 3 所示。

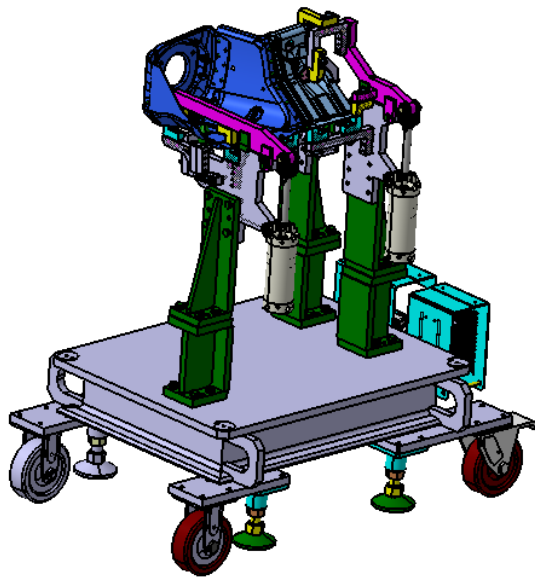


Figure 3. General arrangement of welding fixture
图 3. 焊装夹具总布置

4. 模态分析

4.1. 模态分析相关介绍

模态分析是以识别振动系统模态参数为目的的一种分析方法。它把振动系统中相互耦合的运动方程

通过模态坐标变换,使方程组解耦,进而求出各阶模态参数[8]。由于模态分析技术在振动控制方面存在巨大的应用价值,自上世纪中期开始,模态分析技术迅速发展,如今在线性模态分析方面已发展至成熟阶段。目前国内外已研制出多款模态分析软件,这些软件为解决振动问题发挥了巨大作用[9]。

根据模态展开定理,可得物理坐标系的自由响应函数

$$x = \sum_{i=1}^n \varphi_i y_i = \phi y \tag{1}$$

式中 $y_i (i=1,2,\dots,n)$ 为向量 x 对应的模态坐标。

令 $f(t)=0$, 则此时振动微分方程为

$$M\ddot{x} + Kx = 0 \tag{2}$$

将公式(1), 代入到(2)并左乘 ϕ^T 得

$$\ddot{y} + \begin{bmatrix} \omega_1 & & & \\ & \omega_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \omega_n \end{bmatrix} y = 0 \tag{3}$$

令初始条件 $y_0 = \phi^{-1}x_0$, 的模态坐标自由响应函数

$$y_i = y_i \sin(\omega_{0i}t + \theta_i) \tag{4}$$

$$Y_i = \sqrt{y_{0i}^2 + \frac{\dot{y}_{0i}^2}{\omega_{0i}^2}}, \theta_i = \arctan \frac{\omega_{0i}y_{0i}}{\dot{y}_{0i}} \tag{5}$$

将式(4)带入式(1)可得物理坐标系的自由响应函数

$$x = \sum_{i=1}^n \varphi_i Y_i \sin(\omega_{0i}t + \theta_i) = \sum_{i=1}^n D_i \sin(\omega_{0i}t + \theta_i) \tag{6}$$

4.2. 固有频率和模态振型

在进行模态分析时,要先简化模型。压臂在夹具中的作用最大也是起关键性作用的器件,所以要对它进行模态分析,防止共振的发生,模型如下图 4 所示。要先对该压臂进行处理,首先设定材料属性为 Q235A,在圆孔处及其相邻的下平面为约束面,约束完之后,进行 5 mm 的网格划分,最终有了 7401 个节点,3946 个网格。压臂模态分析后可以得到模态振型,在不同的模态振型中可以看到不断变化的部分就是它的变形趋势,在图中标出 MAX 的地方是它最薄弱的环节,在设计优化的时候就应该针对这个地方下手。由于模态分析通常只考虑低阶模态频率的固有频率,高阶频率对传动系统影响小,故提取前六阶的传动系统的扩展模态,其频率和对应振型如图 5 所示,各阶固有频率如表 2 所示。

Table 2. The first six natural frequencies and mode shapes of the boom
表 2. 压臂前六阶固有频率和模态振型

阶次	固有频率/Hz
1	169.8
2	264.19
3	1032.5
4	1663.8
5	2090.4
6	2761.7

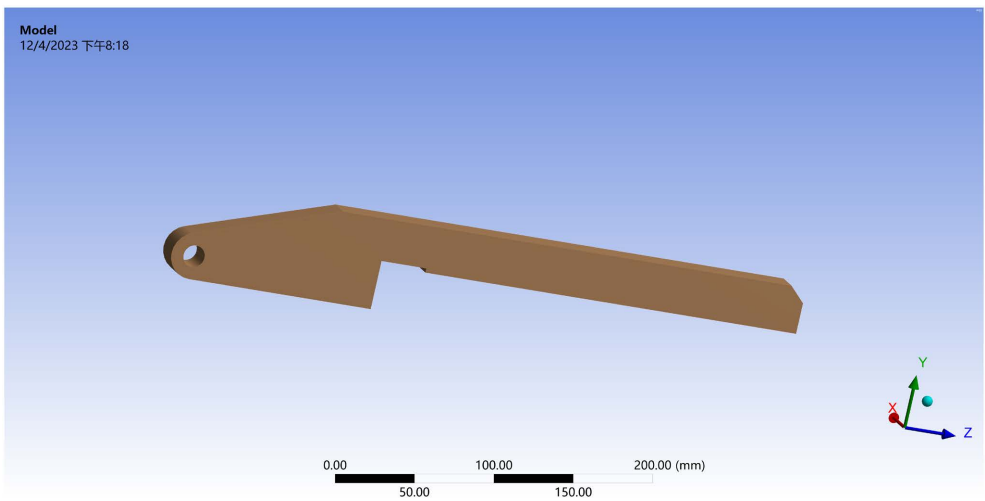
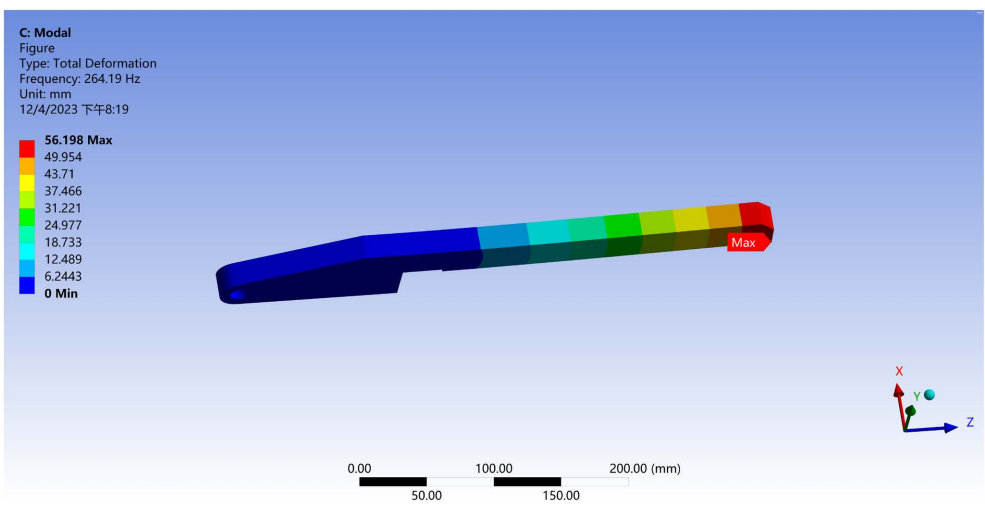
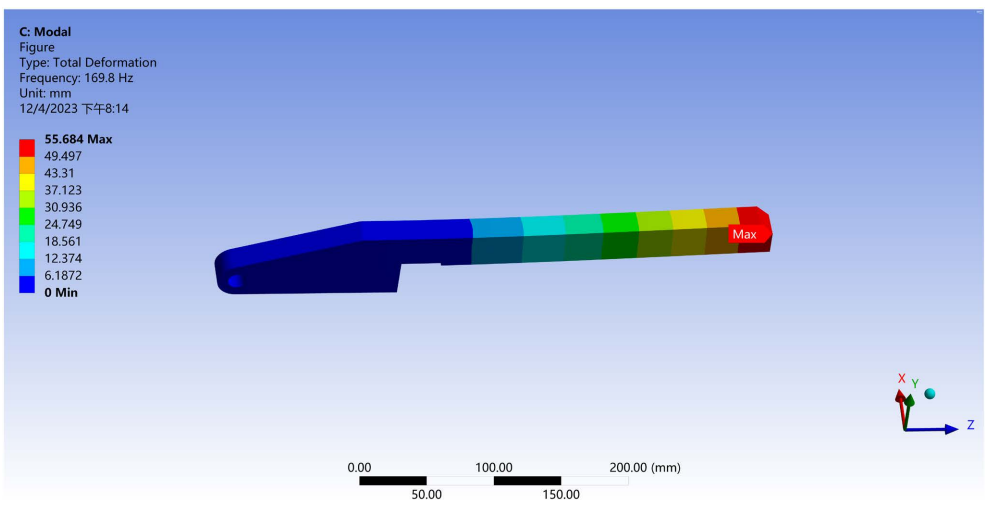
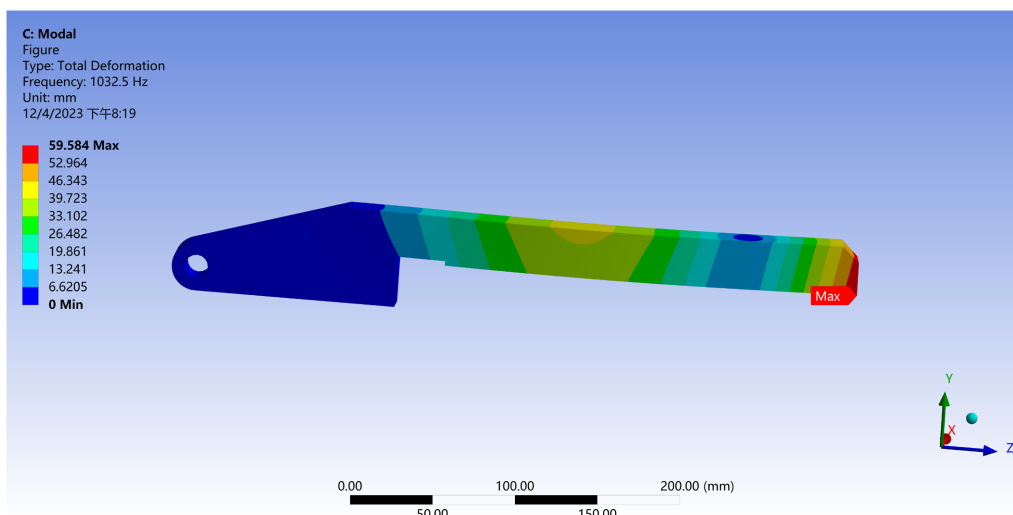
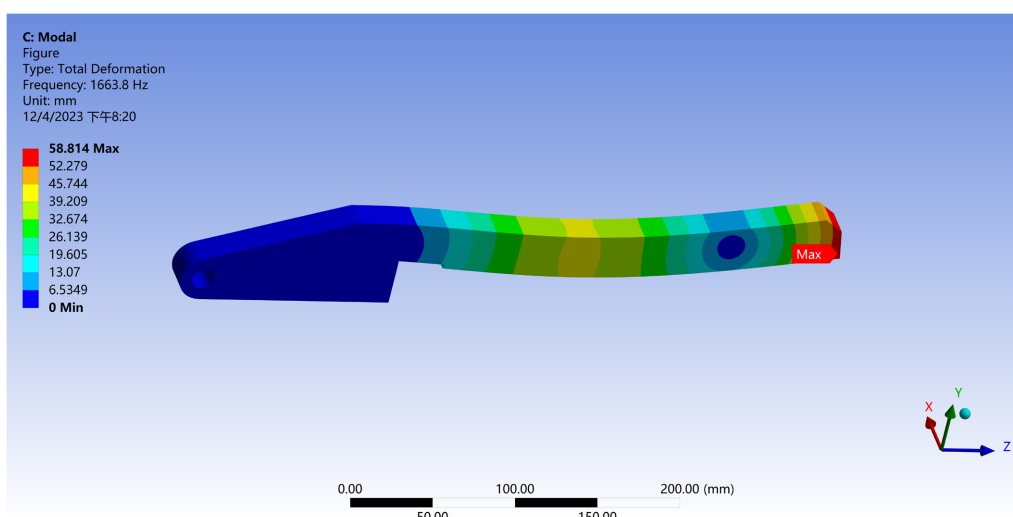


Figure 4. Pressure arm model drawing
图 4. 压臂模型图

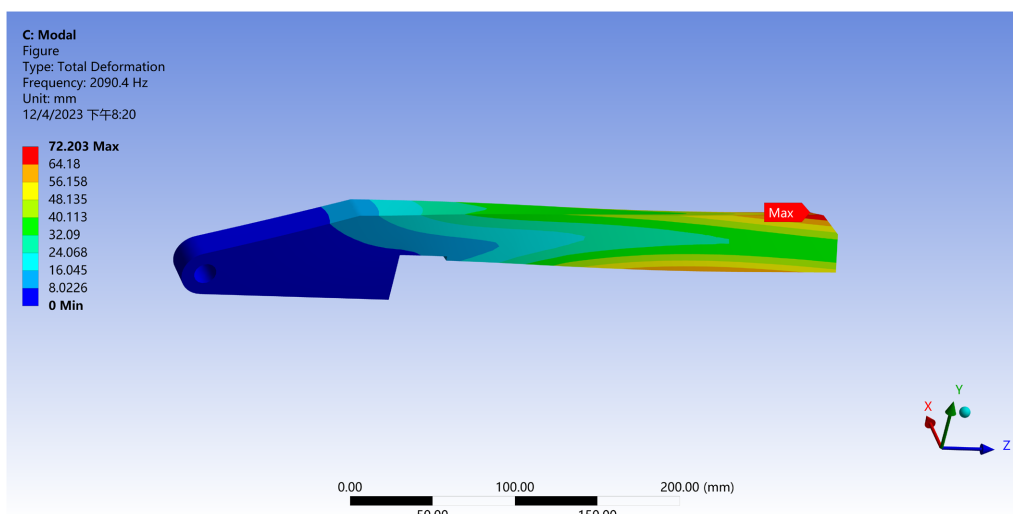




(c) 三阶振型



(d) 四阶振型



(e) 五阶振型

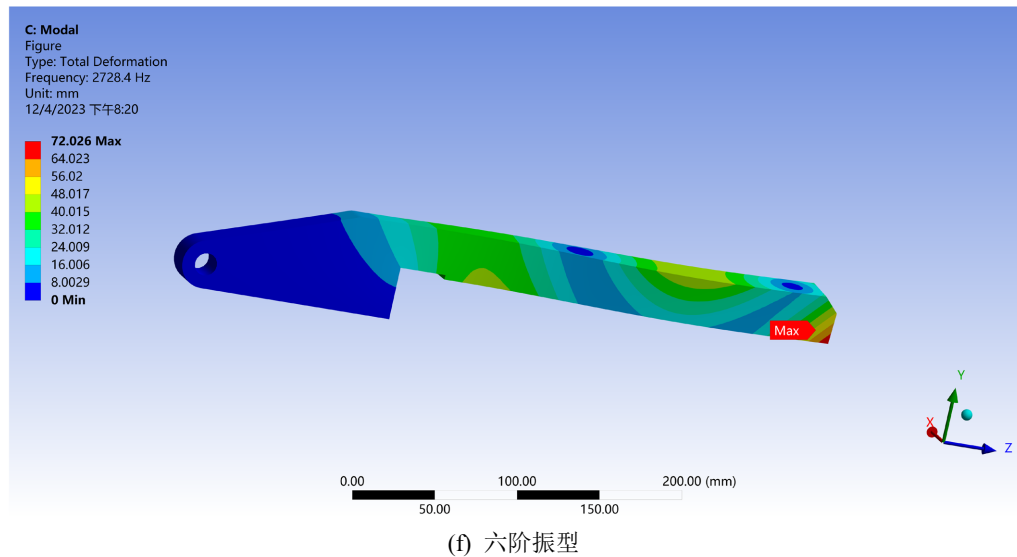


Figure 5. Modal analysis diagram

图 5. 模态分析图

5. 结论

焊接夹具是用于组装和焊接工序的正确定位和紧固焊接部件的装置。对于焊接夹具进行合理设计，能够大大减少产品的焊接工艺作业，减少了产品尺寸偏差，提高了零件的加工精度与兼容性，有效地防止和降低了焊接的变形。将手动组装部件替换为机械装置是定位、钳子、工件的切换等复杂的工作，改善作业者的工作条件。采用汽车零部件焊接设备能有效保证和提高企业产品质量，提高劳动生产率，降低了企业的产品开发和制造费用，提高整体焊接的自动化程度。在第 4 小节中通过 ANSYS WORKBENCH 模态分析可得压臂的六阶振动频率，从变形情况可以看出本次设计的焊装夹具是很理想的，在 300 Hz 之内基本没有什么变形，在得到前几阶固有频率之后就可以与现实使用中的频率相对比，看是否发生共振。在本夹具的实际生产使用环境中，频率在 80~100 Hz 与压臂的固有频率相差很远，所以不会发生共振。从而验证本设计是合理的。

参考文献

- [1] 濮良贵. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [2] 曲春旭, 张俊华, 张长法, 等. 基于平台的汽车焊装夹具模块化设计[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2021, 34(1): 119-126.
- [3] 吕安强, 李静, 张振鹏, 等. 夹具对高压绝缘电缆热学特性影响的有限元分析[J]. 电工技术学报, 2022, 37(1): 283-290.
- [4] 苗红丽. 汽车车身焊装夹具的设计探究[J]. 内燃机与配件, 2020(6): 102-103.
- [5] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [6] 朱波, 唐碧秋, 唐焱. 浅议客车车身的焊接加工技术[J]. 装备制造技术, 2012(7): 162-164.
- [7] 张洪博. 汽车后侧围内板点焊机器人工作站研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春工业大学, 2018.
- [8] Kumari, S. and Prince, S. (2022) Modal Analysis of Silicon-on-Insulator Based Rib Waveguide Using Fully Vectorial Finite-Difference Mode Solver. *Laser Physics*, 32, Article ID: 126204. <https://doi.org/10.1088/1555-6611/ac9ec0>
- [9] 郝勇, 王经磊, 刘铂, 等. 模态分析理论与工程应用[J]. 河北建筑工程学院学报, 2021, 39(3): 43-47. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-4185.2021.03.009>