

平板及回转试件表面超声冲击装置的设计

谢雨田¹, 张体明², 陈玉华², 邓云发²

(1. 方大特钢科技股份有限公司, 南昌 330012;
2. 南昌航空大学 江西省航空构件成形与连接重点实验室, 南昌 330063)

摘要: **目的** 针对现有冲击装置只能对一种外形结构进行加工, 造成设备占用空间大、成本高等问题, 设计了一种适用于多种外形结构的表面超声冲击装置。**方法** 针对平板件和回转件的结构特点, 设计了一套超声冲击设备, 包括台面、调速电机、三爪卡盘、尾座、三轴丝杠系统和超声冲击枪等组成部分。**结果** 一套装置即可实现对平板及回转件的超声冲击处理。**结论** 该超声冲击装置兼具对平板件和回转件处理的能力, 特别是对于当构件表面存在局部不平整时, 如存在焊缝金属余高的情况下可保持冲击载荷的恒定, 从而保证冲击能量的稳定性。

关键词: 超声冲击; 平板件; 回转件

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2019.05.019

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2019)05-0127-04

Design of Surface Ultrasonic Impact Device for Plate and Rotary Parts

XIE Yu-tian¹, ZHANG Ti-ming², CHEN Yu-hua², DENG Yun-fa²

(1. Fangda Special Steel Technology Co., Ltd., Nanchang 330012, China;
2. Jiangxi Key Laboratory of Forming and Joining Technology for Aviation Components,
Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

ABSTRACT: The paper aims to design a surface ultrasonic impact device for different shape structures to solve the problem that the current impact device may only be used for one single shape structure, leading to large space and high cost of equipment. Considering the structural characteristics of flat and rotary parts, a new UIT device was developed in this work. And the device was composed of frame, adjustable motor, three-jaw chuck, tailstock, three-axis screw system, and UIT kit. The developed device can be used to treat flat and rotary parts, especially when there is local unevenness on the surface of the parts, such as outward weld metal. The impact load can be maintained constant to ensure distribution of impact energy.

KEY WORDS: ultrasonic impact; plate parts; rotary parts

超声波冲击处理 (UIT) 是由前苏联造船业发展起来的一种较新的且非常具有发展前途的技术。由于其可以降低焊接残余应力^[1-2]和焊接变形^[3], 并且可以使产品获得较高的强度、抗腐蚀、抗磨损性能^[4], 特别是在结构的疲劳延寿领域具有显著的优势^[5], 目前广泛运用于航空航天、汽车制造、船舶、桥梁和铁

路^[6-12]。超声冲击是利用超声波驱动冲击针对试件表面进行高速、高频撞击, 在试件近表面可以获得一层厚度约 100~200 μm 深度的塑性变形层, 减小试件表面的应力集中, 从而提高试件表面的强度、硬度、抗腐蚀、抗磨损和抗疲劳等性能^[13-15]。就目前情况来看, 在使用超声冲击时, 往往只能对外形结构单一的

收稿日期: 2019-07-25

作者简介: 谢雨田 (1966—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为堆焊及耐磨技术开发和工程应用。

构件进行加工。现有的加工方案一般为：将超声冲击装置与车床配合进行回转体构件的表面冲击处理；与铣床配合进行平板件表面的冲击处理，这样就导致加工设备占用空间大、成本偏高。与此同时，对于一些构件表面存在尺寸变化时，如焊接试件表面有焊缝余高，会导致冲击载荷不稳定，这就大大降低了试件的冲击效率和冲击稳定性。为了解决上述技术问题，文中将设计一种试件表面超声冲击装置，能对平板或回转件进行加工，且能够保持冲击载荷的稳定性，操作简便，并可以提高加工效率。

1 超声冲击装置的组成及布局

目前，实验室使用的超声冲击装置由换能器、电源、变幅杆和冲击针组成，但是现有的冲击装置并没有确切的固定方式，需要根据试验要求和特点选择固定装置。与此同时，对于一些平板焊件或变截面的回转体来说，由于试件表面存在焊缝余高或回转体截面尺寸发生变化时会造成冲击载荷变化，会导致冲击能量不够稳定。鉴于此，考虑平板和回转体构件对超声冲击处理的要求以及现有装置存在的问题进行了改进，设计出一种既能对平板和回转件进行超声冲击处理，又能使冲击载荷稳定的装置。文中设计的超声冲击装置轴视图如图1所示，超声冲击装置主要由工作台面、调速电机、三爪卡盘、尾座、三轴丝杠系统和超声冲击枪等6部分组成。

工作台面的主要由高强钢焊接而成。在工作台面的底部固定连接4个支脚，这些支脚用来支撑台面，并且工作台面对所有构件起固定作用，并提供一个工作平面。在台面上设计了一系列规则排列的定位孔，这些定位孔配合螺栓或压块可以对平板试件进行固定，以便后续对平板件进行超声冲击处理。工作台上固定有调速电机，调速电机输出轴与三爪卡盘相连，用以驱动三爪卡盘转动。此外，在调速电机输出轴的另一侧安装有尾座，该尾座由手轮、尾座体和顶尖组成。尾座体和台面以尾座滑轨方式在工作台面上滑动连接，顶尖是通过螺纹连接于尾座体内部，并与手轮固定连接。通过尾座和三爪卡盘的配合可以对回转件进行轴向固定，其中，尾座的作用是顶住回转件的端面，试验时，转动手轮使尾座在台面上滑动，使顶尖与三爪卡盘一起对回转件进行夹持固定。对于长度不同的回转件，可以通过转动手轮使尾座在尾座滑轨上移动，以便找到合适的位置，并且通过顶尖和三爪卡盘一起夹紧回转件。在调速电机的带动下，电机输出轴带动三爪卡盘转动，进而带动回转件旋转，在超声冲击枪的作用下对试件进行全方位的处理。

为了控制超声冲击枪的移动范围和移动速度，工作台上还装有三轴丝杠系统，分别由 x 、 y 、 z 轴3个

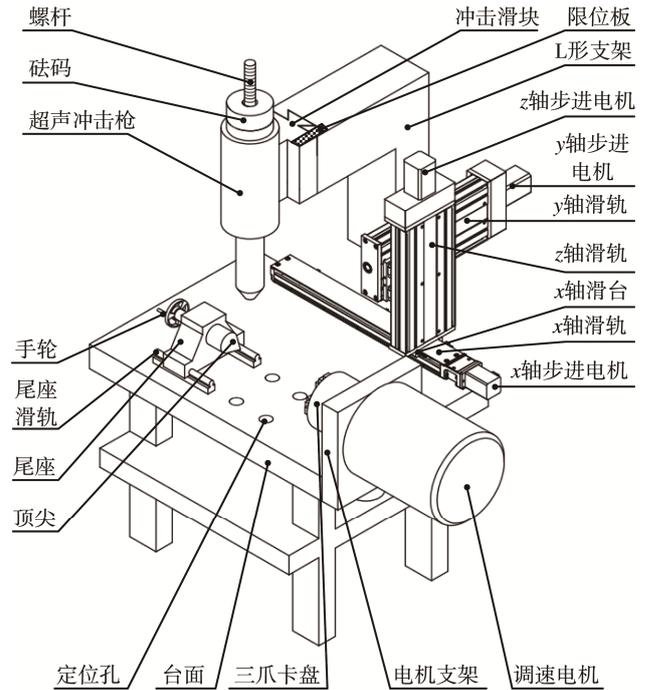


图1 适合平板件及回转件的超声冲击装置

Fig.1 Ultrasonic impact device for plate and rotary parts

方向的步进电机、丝杠、滑台和滑轨组成。其中， x 轴步进电机和 x 轴滑轨滑动连接并固定在工作台面上， x 轴丝杠由台面上的 x 轴支撑件支撑， x 轴滑台与螺纹连接于 x 轴丝杠上的轴丝螺母固定，并且 x 轴的步进滑轨平行于三爪卡盘轴线， x 轴滑台与 x 轴滑轨滑动连接，因此， x 轴丝杠系统主要作用是驱动超声冲击枪通过 x 轴滑台沿滑轨作往复运动。 z 轴丝杠支撑件支撑在 x 轴的滑台上， z 轴滑台通过螺纹与 z 轴丝杠上丝母相连接，与此同时， z 轴滑台与滑轨滑动连接，并与 z 轴步进电机一起固定在台面上，因此， z 轴丝杠系统的作用是根据平板试件的厚度或回转体的直径调整合适的超声冲击枪高度。 y 轴丝杠支撑件固定在 z 轴滑台上，另一端与步进电机相连， y 轴滑台通过螺纹固定于 y 轴丝杠上的丝母上，与此同时， y 轴滑台与滑轨连接。 y 轴丝杠系统的主要作用是驱动超声冲击枪沿平板试件的宽度方向移动。在 x 、 y 、 z 轴三轴丝杠系统中，通过协调配合，控制超声冲击枪在工作台面上的空间位移。

超声冲击模块包括超声冲击枪、L型支架、冲击滑块和砝码组成。超声冲击枪上的冲击滑块呈燕尾状，与L型支架相连的冲击滑轨为燕尾槽，超声冲击枪通过侧壁上的冲击滑块与冲击滑轨滑动连接固定在L型支架上，L型支架固定在 y 轴滑台上，并且超声冲击枪方向垂直于工作台面，与 z 轴方向平行。在冲击滑轨上装有限位板，目的是为了防止自然状态下超声冲击枪脱落。在超声冲击枪的尾部有螺杆菌，螺杆菌上可以套装砝码，并通过锁紧螺母使固定在螺杆菌上的砝码紧固，通过调节砝码重量来改变冲击载荷。此外，

即使平板试件表面存在凹凸不平,或者回转件直径发生变化,由于超声冲击枪可沿 L 型支架上下自由滑动,进而可以保证超声冲击时冲击枪可随试件外表面高低起伏而自动上下移动,并且可以维持冲击载荷保持恒定。

2 工作流程

1) 根据试件的类型选择合适的夹持工具,并根据试件的尺寸大小对试件进行夹持。当试件是平板时,根据平板试件的大小确定所选择的定位孔的位置,确定好位置后,用螺栓或压块配合台面上开设的定位孔对试件进行固定;如果试件是回转件,根据不同回转件的直径,在三爪卡盘上固定回转件的一端,然后通过转动手轮使尾座在尾座滑轨上移动,当尾座体连接的顶尖与回转件的另一端接触时,继续缓慢转动手轮,直至尾座和三爪卡盘将回转件固定不动。

2) 根据试件的冲击要求,选择合适的冲击针,冲击前将冲击针装好。随后,选定冲击载荷,用螺母将套在螺杆上的砝码锁定,以保证超声冲击枪的冲击载荷稳定。

3) 将待冲击试件和冲击针装好以及冲击枪尾部螺杆上的砝码固定好后,根据要求选择冲击区域,随后,通过超声冲击枪配合三轴丝杠系统移动,确定好冲击起点,并确定起点坐标,然后根据调试结果选择前后两道次的冲击间距。冲击间距的选择应根据不同材料选取。然后,根据冲击起点坐标和冲击间距设置

好冲击针移动的程序。

4) 超声冲击枪的移动程序设置完成后,按照试验要求运行空载开关,然后让超声冲击枪按照设定好的程序空走一遍,检查超声冲击枪行走轨迹是否正确,确认无误后,通过 z 轴步进电机调整冲击针的下压量,随后对平板或回转件进行冲击,直至冲击完毕。

3 实际应用效果

采用本装置,对 T4 态的 2A12 铝合金板材进行超声冲击试验,试验时,将铝合金板材用螺栓和压块配合固定在台面上,然后,用超声冲击枪对试件进行超声冲击。为了确定试件近表面经过超声冲击后表面塑性变形层的深度,对比观察冲击前后铝合金试件的截面金相组织形貌,根据晶粒变形情况确定冲击层的有效深度。

对试件进行冲击试验后,试件表面经过高频率、高强度冲击针碰撞冲击,近表面晶粒受到冲击力的作用而发生屈服,从宏观上能明显看出试件表面有一定深度的凹陷。随后,对经过超声冲击后的试件截面进行显微组织观察。图 1 所示为试件表面超声冲击前后的显微组织形貌,可以明显看出,经过超声冲击后,在试件近表面形成一层塑性变形层,晶粒尺寸明显减小,近表面的组织已观察不出具有明显的宏观晶粒特征,晶粒尺寸达到纳米级别。随着深度的增加,晶粒细化程度降低,但塑性变形痕迹清晰可见,晶粒发生明显的扭曲和变形。经测量,最大变形层深度约为 200 μm 。

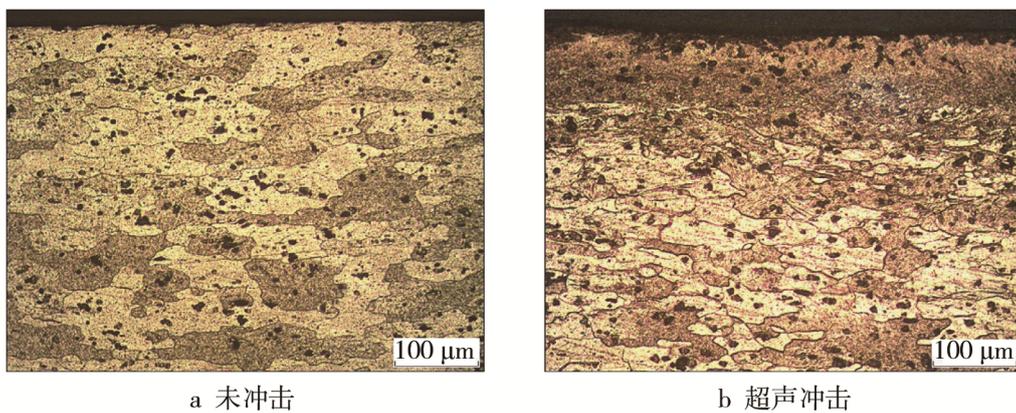


图 2 2A12 铝合金显微组织形貌
Fig.2 Microstructure of 2A12 aluminum alloy

4 结论

1) 研制出一种既可以对平板和回转件进行超声冲击,又可以使冲击载荷稳定的装置,大大提高了对试件的冲击效率,与现有冲击设备相比具有广的加工范围;与此同时,避免了因冲击载荷不稳定而导致的缺陷,保证了试件的冲击质量。

2) 整套冲击装置由工作台面、调速电机、三爪卡盘、尾座、三轴丝杠系统和超声冲击模块 6 部分组成,其中,台面既可以作为工作面,同时对平板件起固定作用。尾座、三爪卡盘能够实现回转件的装夹固定,并在调速电机的作用下带动回转件旋转,以便实现全方位的冲击。三轴丝杠系统主要是对超声冲击枪的位置进行精确控制,能够调节冲击针的移动速度、

移动范围, 以及冲击针的下压量。

3) 通过采用本装置对 2A12 铝合金平板试件进行超声冲击, 冲击后的试件表面质量得到提升, 并能形成一层质量均匀的塑性变形层, 冲击层的有效深度约为 200 μm , 且无冲击缺陷产生。

参考文献:

- [1] 耿其东, 汪炜. 超声冲击强化铝合金小孔构件的试验研究[J]. 表面技术, 2019, 48(4): 189—195.
GENG Qi-dong, WANG Wei. Experimental Study of Aluminium Alloy Hole Test Specimen Reinforced by Ultrasonic Impact[J]. Surface Technology, 2019, 48(4): 189—195.
- [2] 邹家生, 沈嘉斌, 刘川. 复杂结构焊接残余应力超声冲击处理调控[J]. 江苏船舶, 2019, 36(1): 1—4.
ZOU Jia-sheng, SHEN Jia-bin, LIU Chuan. Control of Welding Residual Stress in Complex Structure by Ultrasonic Impact Treatment[J]. Jiangsu Ship, 2019, 36(1): 1—4.
- [3] 赵中强, 燕旭, 李栋, 等. 正面随焊超声冲击对焊接变形及组织的影响[J]. 电焊机, 2019, 49(5): 79—83.
ZHAO Zhong-qiang, YAN Xu, LI Dong, et al. Effect of the Front Trailing Ultrasonic Impact Treatment on Welding Residual Stress and Deformation[J]. Electric Welding Machine, 2019, 49(5): 79—83.
- [4] FERREDOONI B, MOROVVATI M R, SADOUGH-VANINI S A. Influence of Severe Plastic Deformation on Fatigue Life Applied by Ultrasonic Peening in Welded Pipe 316 Stainless Steel Joints in Corrosive Environment[J]. Ultrasonics, 2018, 88: 137—147.
- [5] VASYLYEV M A, MORDYUK B N, SIDORENKO S I, et al. Corrosion of 2024 Alloy after Ultrasonic Impact Cladding with Iron[J]. Surface Engineering, 2018, 34(4): 324—329.
- [6] YANG L, WANG D, DENG C, et al. Influence of Re-ultrasonic Impact Treatment on Fatigue Behaviors of S690QL Welded Joints[J]. International Journal of Fatigue, 2014, 66(8): 155—160.
- [7] 何柏林, 金辉, 封亚明. 超声冲击对 6082 铝合金 MIG 焊接接头表层组织的影响[J]. 兵器材料科学与工程, 2019, 42(2): 13—17.
HE Bo-lin, JIN Hui, FENG Ya-ming. Effect of Ultrasonic Impact Treatment on Surface Microstructure of MIG Welded Joints of 6082 Aluminum Alloy[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2019, 42(2): 13—17.
- [8] ZHANG H, WANG D, LI Q, et al. Effects of Ultrasonic Impact Treatment on Pre-Fatigue Loaded High-strength Steel Welded Joints[J]. International Journal of Fatigue, 2015, 80: 278—287.
- [9] STANIKOV E S, TRUFIKOV V I, MIKHEEV P P, et al. Specification for Weld Toe Improvement by Ultrasonic Impact Treatment[J]. Procedia Structural Integrity, 2016, 2(6): 3483—3490.
- [10] PEDERSEN M M, MOURITSENO, HANSEN M R, et al. Comparison of Post-Weld Treatment of High-Strength Steel Welded Joints in Medium Cycle Fatigue[J]. Welding in the World, 2010, 54(7/8): 208—217.
- [11] ZHENG J, AYHAN I, TANG L, et al. Applications of Operational Ultrasonic Impact (UIT) Technologies in Production of Welded Joints[J]. Procedia Engineering, 2018, 44(3): 11—21.
- [12] TAKANORI D, MASASHI M, JUNYA H, et al. Fatigue Strength Improvement for Ship Structures by Ultrasonic Peening[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2012, 17(3): 360—369.
- [13] 金辉, 何柏林. 超声冲击技术强化机理的研究[J]. 热加工工艺, 2018, 47(16): 18—26.
JIN Hui, HE Bo-lin. Research on Strengthening Mechanism of Ultrasonic Impact Technology[J]. Hot Working Technology, 2018, 47(16): 18—26.
- [14] 王东坡, 龚宝明, 吴世品, 等. 焊接接头与结构疲劳延寿技术研究进展综述[J]. 华东交通大学学报, 2016, 33(6): 1—14.
WANG Dong-po, GONG Bao-ming, WU Shi-pin, et al. Research Review on Fatigue Life Improvement of Welding Joint and Structure[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2016, 33(6): 1—14.
- [15] 谢学涛. 超声冲击对 P355NL1 钢焊接接头超高周疲劳性能的影响[D]. 南昌: 华东交通大学, 2018.
XIE Xue-tao. Effect of Ultrasonic Impact Treatment on very High Cycle Fatigue Properties of Welded Joint of P355NL1 Steel[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2018.