

超声波塑料焊机声学系统连接界面破坏及 PIII 强化*

田修波** 汤宝寅** 杨士勤

(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室)

Paul K Chu

(香港城市大学)

摘要 对超声波塑料焊机的声学系统连接界面破坏进行了分析研究。表明硬铝合金焊头极易发生表面的粘着磨损破坏,使得声学系统谐振特性变坏,效率降低。采用等离子体浸没离子注入(PIII)的方法对声学系统的连接面进行了氮的注入强化。高、低压的交替处理使得表面显微硬度提高 60%,而且在材料近表面生成了 AlN 相,从而改变了其表面化学特性,使处理后的声学系统连接表面粘着倾向大大降低。

关键词: 超声波塑料焊接 粘着破坏 声学系统 等离子体浸没离子注入

0 序 言

塑料制品应用的迅猛发展迫切要求高质量的连接方法。实践已经证明,超声波焊是热塑性塑料加热连接最为有效的方法之一^[1]。为适应不同的工况,如铆接、钳插;或焊接材料、工件形状及尺寸的变化,经常需要更换变幅杆或焊头。当声学系统由声学性能良好、价格较低的硬铝合金制成时^[2],由于铝合金材料质地较软,以及其固有的物理化学特性,常常会造成更换时连接界面的破坏,端表面形成深的划痕,使得界面接触变差,声能传输效率降低,为此连接界面的强化是焊机制造中必须解决的问题。本文对铝合金焊头端面的破坏及其对性能的影响进行了研究分析,进而利用等离子体浸没离子注入的方法对其表面进行了强化处理。

1 表面破坏分析及对声学系统性能影响

1.1 界面破坏对声学系统整体性能的影响

利用惠普公司的 4192A 阻抗分析仪对连接界面已出现严重划伤声学系统进行了测试分析,并与界面完好时测得的原始数据进行了对比,试验结果如图 1 所示。可见前者的阻抗特性发生了

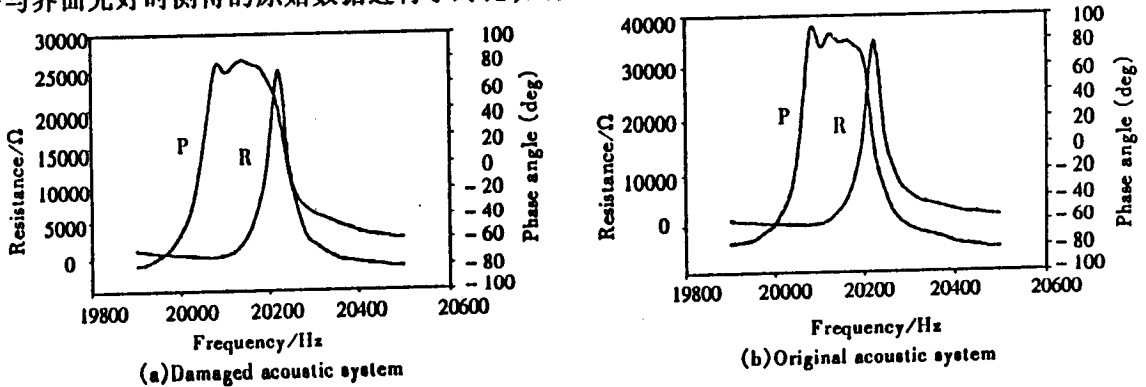


图 1 声学系统的阻抗—频率特性

Fig.1 Impedance - frequency characteristics of acoustic system

* 国家自然科学基金(59675054)和航天基金(970951-093)资助项目。
** 田修波、汤宝寅现为香港城市大学访问学者。

较大变化,内阻由原来的 90Ω ,升高到 170Ω ,增加近 90%,相角在谐振频率处的震荡特性已经消失,表现出阻尼上升。谐振频率和反谐振频率之间的最大相角小于 78° ,而性能良好的声学系统在此频率段的相角近于 $80 \sim 85^\circ$,表明界面的破坏使声学系统整体性能变坏。在声学系统的等效电路中,它的效率由 η [$\eta = \text{辐射阻}/(\text{内阻} + \text{辐射阻})$] 决定,可见内阻的增加必然导致其声传输效率的降低。

1.2 表面破坏分析

图 2 是焊头的连接端表面破坏后的典型照片。利用橡皮泥对划伤的表面进行了复形,获得的表面状态在 α -step 轮廓仪上进行了测试分析,该连接面的划伤局部点竟然超过 1mm^2 ,图 3 是一组典型的划痕轮廓曲线。从图 2 和图 3 中清晰可见严重的粘着磨损迹象。剥落的焊点或氧化膜充当磨粒,光洁的表面受到挤压磨削,同时发生着塑性变形和金属的撕裂。金属间的粘着实际上是一种界面材料分子间的相互作用。同种材料、较低的硬度、纯净表面接触、大的接触应力和面心立方结构均有助于表面的粘着或冷焊的发生^[3],进而在相对运动时发生严重的磨损。由此可见,声学系统的连接面是极易发生粘着的。因为声学系统一般由同种材料制成(换能器除外),铝合金的硬度也非常低,而且铝是一种典型的面心立方的金属。所以声学系统在螺纹预紧压力作用下的焊接及装配过程中动态粘着磨损是很难避免的,这种焊合的强度有时可达 150MPa 。

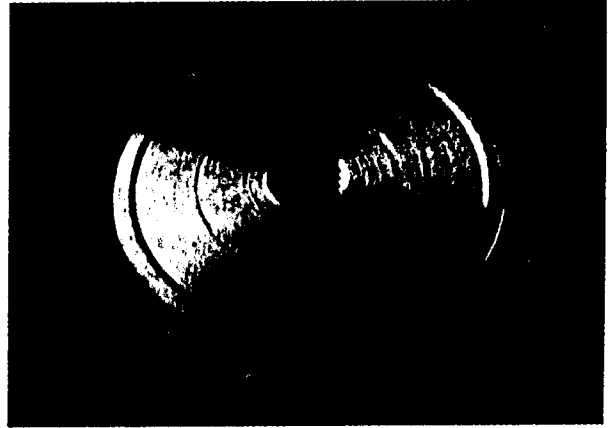


图 2 焊头端表面(与变幅杆相接处)的划伤形貌
Fig.2 Appearance of wear track of horn surface

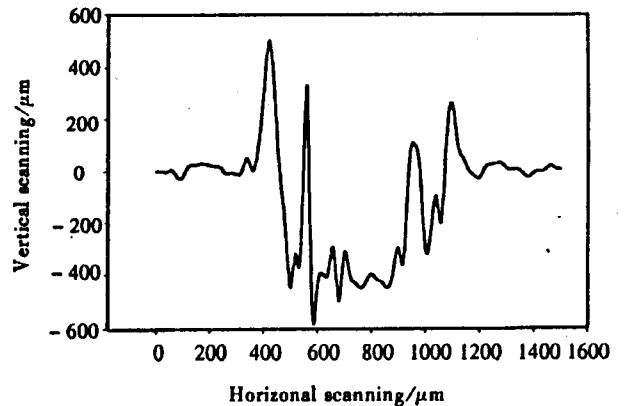


图 3 焊头端面(与变幅杆连接处)划痕轮廓曲线
Fig.3 Profile of wear track on damaged surface

2 表面强化方法的确定

研究表明,表面状态的改变有助于提高抗粘着磨损能力。合金硬度提高,塑性变形抗力提高,粘着倾向下降;尤其是对于面心立方的金属,维氏硬度提高,黏附系数显著下降^[4]。因此为减小声学系统接触面间的粘着破坏,一方面要改变材料的表面硬度,同时也要改变相互接触表面的化学状态。

铝是表面难以强化的材料,对于焊头等铝合金器件,一般采用涂层的方法来增加其表面硬度,如镀铬或碳化物。但由于涂层与基体材料的性能失配往往会造成涂层的过早脱落,反而加剧表面的损伤。为此本文采用等离子体浸没离子注入的方法来强化铝合金的表面,由于离子注入是利用

高能离子打入材料,在材料基体的近表区形成强化冶金,因而没有表面膜脱落问题。同时由于靶体浸没于等离子体中,整个表面处理可以同时进行,无需象传统束线离子注入对表面进行扫描处理及靶台操作,因而快捷、简单。

3 PIII 强化及讨论

3.1 注入强化

为获得高的表面硬度并改变声学系统连接面的化学状态,需要进行较大剂量的离子注入,因为在温度不高的条件下,增大剂量是增加改性层厚度的有效手段^[5]。为控制处理温度并满足剂量的要求,靶台进行了循环油冷却,同时注入采用高低压交替的方式进行。其中注入脉冲调制器均是由作者自行研制的^[6-7],高压电源采用硬管调制方式,低压电源采用单端正激-变压器升压方式。注入处理采用高压→低压→高压→低压→的顺序进行,使用的工艺参数如表 1 所示。

表 1 PIII 处理过程中的工艺参数
Table 1 Instrumental parameters during plasma immersion ion implantation

	High voltage implantation	Low voltage implantation
Voltage/kV	20	1.5
Frequency/Hz	100	6000
Pulse duration/ μ s	10	30
Pulse number	$(1.8 \times 10^5) \times 5$	$(1.08 \times 10^7) \times 4$

首先利用高频低压电源对被处理表面进行氮的等离子体溅射清洗,清洗时间为 40min。然后,PIII 改性处理按如下方式进行:(1)氮等离子体的高压浸没离子注入。利用高能离子注入在铝表面引入可与铝形成硬化相的氮元素,同时由于高能离子注入过程中的级联碰撞而形成的大量缺陷与位错,为低能离子注入的氮的快速内扩散提供条件。(2)氮等离子体的高频低压浸没离子注入。采用高频低电压的目的是为了在较低温度及合适入射能量的条件下获得较大的注入剂量。与传统高压 PIII 相比,能量的降低可以获得较大的注入剂量率,而不使工件过热。两者的交替进行将有助于获得较深的改性层,从而获得铝合金表面的高硬度和化学状态的变化。该过程采用高、低压的注入交替 4 次,最后的工序为高压 PIII 以获得近表面层的高氮含量。这种剂量率与注入能量的组合较单纯等离子体注入处理更易于获得深厚度的改性层。

3.2 讨论

LY12CZ 铝合金表面经 PIII 处理后颜色变成深褐色。在 MATSUZAWAMXT-27 数字式显微硬度计上对处理后的样品进行了测试分析,结果如图 4 所示。可见注入处理后的硬度得到明显提高,采用 10g 载荷时,硬度提高 60%;当采用 50g 的测量载荷时,硬度值基本上没有变化,说明 PIII 处理温度低于 100℃、没有对基体造成软化。对于同时注入的样品进行了 X 射线衍射分析,如图 5 所示。可见在材料的近表面获得了 AlN 相。表明离子注入的氮除了以过饱和的固溶体形式存在外,还形成细小、弥散的氮化铝硬质相,二者均提高了铝合金的表面硬度。另外离子注入过程中诱发的晶格辐照损伤、原子位移以及局部热效应等等多种机制的综合,导致了金属表面的强化。

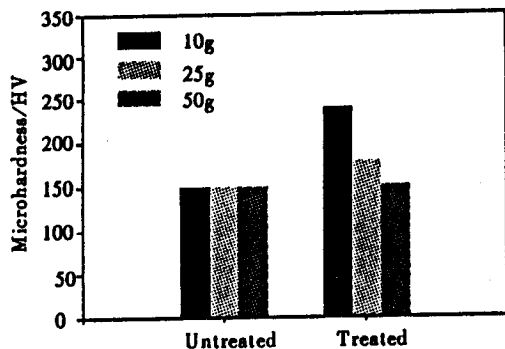


图4 等离子体浸没离子注入后的硬度变化

Fig.4 Microhardness change after PIII treatment

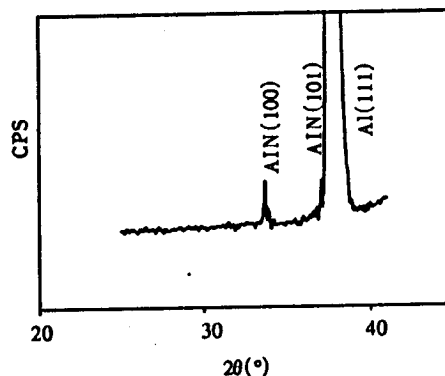


图5 处理试样的X射线衍射图谱

Fig.5 X-ray diffraction patterns of treated sample

可见连接表面的PIII处理后,表面硬度提高,抗塑变能力增强,使得有效接触面积减小。同时AlN相表面层阻碍了新鲜金属的直接接触,综合结果使得界面的材料状态大大变化。声学系统在组配时一般在接触面涂抹硅油,这样利用注入的改性效果和硅油润滑的协同作用,连接面间的接触摩擦状态将发生质的变化。实际的运行表明,连接面的粘着磨损的倾向大大减轻,累计拆卸30次后仍未见到明显划痕。

4 结 论

(1) LY12CZ 铝合金焊头由于质地较软,且铝是面心点阵结构,易于产生连接界面的粘着磨损破坏及冷焊,造成表面的划痕、损伤。

(2) 划伤后的声学系统,内阻明显加大、谐振特性变差,因而降低了声学系统传输效率。

(3) 利用等离子体浸没离子注入的方法,对声学系统的连接面进行了强化处理。氮注入后材料表面的显微硬度明显提高,利用表面形成的氮化铝获得纯净金属的阻挡层,从而减小表面粘着倾向。

(1999-04-19收到初稿,1999-09-05收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Stokes V K. Joining methods for plastics and composites. *Polym. Eng. Sci.* 1989, (29): 1310 ~ 1323.
- 2 杨士勤, 田修波. 国外焊机使用中的焊头设计. *电焊机*. 1996, (5): 25 ~ 28.
- 3 金锡志. 机器磨损及其对策. 北京: 机械工业出版社. 1997.
- 4 孙家恒. 金属的磨损. 北京: 冶金工业出版社. 1992.
- 5 Shigeo Ohira, Masaya Iwaki. Formation of ALN by nitrogen molecule ion implantation. *Nucl. Instrum. Meth.* 1987, B19/20: 162 ~ 166.
- 6 Chu P K, Tang B Y, Cheng Y C, et al. Principle and characteristics of a new generation plasma immersion ion implanter. *Rev. Sci. Instrum.* 1997, (68): 1886 ~ 1874.
- 7 Xiubo Tian, Xiaofeng Wang, Baoyin Tang, et al. Special modulator for high-frequency low-voltage plasma immersion ion implantation. *Rev. Sci. Instrum.* 1999, (70): 1824 ~ 1828.

**Adhesion Damage and PIII Strengthening of Interfaces of
Acoustic System in an Ultrasonic Plastic Welder**

Tian Xiubo, Tang Baoyin, Yang Shiqin

(National Key Laboratory Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology)

Paul K. Chu

(HongKong City University of HongKong)

Abstract The connection - surface damage of the acoustic system in an ultrasonic plastic welder is analysed. It is shown that the horn made of aluminum alloys (e.g. Ly12CZ) is apt to adhesion - wear, that makes the resonance properties worsening and leads to decreasing of the acoustic transmitting efficiency. The surfaces are treated using nitrogen plasma immersion ion implantation. After treatment alternatively with high voltage and low voltage implantation, the surface microhardness is increased by 60% and AlN phase precipitates in the near surface. Consequently, it substantially decreases the tendency of the adhesion - wear.

Key words ultrasonic plastic welding adhesion damage, acoustic system, plasma immersion ion implantation

作者简介 田修波, 1969年生, 哈尔滨工业大学学士(1990)及硕士研究生(1993)毕业, 留校工作。研究方向: (1)超声波塑料焊接设备及工艺; (2)等离子体浸没离子注入。完成航天部八五攻关项目“航天用塑料及复合材料超声波焊割技术研究”。1996年获得国家自然科学基金资助研究“塑料超声波焊机自适应控制技术”; 1997年获得航天基金资助研究“超声频低能量等离子体浸没离子注入与氮化”; 1998年8月~1999年8月香港城市大学访问学者。发表论文20余篇。