

文章编号: 1001 - 2303(1999)12 - 0014 - 04

# 压力可变的超声波塑料焊机

Pressure-variable Ultrasonic Plastic welder

哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室(黑龙江 150001)

田修波 杨士勤 阎久春 董 震

Harbin Institute of Technology TIAN Xiurbo et al

**[摘要]** 对超声波塑料焊接过程进行了分析,发现在焊接接头经历熔化开始、铺展、熔融层形成、熔融物挤出及接头凝固不同阶段中,压力的作用也不尽相同。传统焊机的压力不变模式使得焊接工艺很难优化。为此本文利用 VEP312 压力控制型电气比例阀在能量模式控制的超声焊机基础上,首次实现了压力在焊接过程中的可变调节,使得焊机能够优化焊接压力,从而为接头质量优化奠定了硬件基础。

**关键词:** 超声波塑料焊机;焊接压力;可调

**中图分类号:** TG453<sup>+</sup>.9

**文献标识码:** A

**[Abstract]** The analysis of the ultrasonic plastic welding process is conducted in this paper. It indicates that the pressure has an evidently different function in each time-phase of the whole welding process consisting of initial melting, spreading of the melt, formation of the melt layer, squeezing out of the melt and the solidation of the joint. Consequently it is difficult to optimize the welding pressure in pressure-constant mode used in conventional ultrasonic plastic welder. AVEP312 type pressure-control proportional valve is used in the ultrasonic plastic welder with the energy control mode realizing the pressure adjustment during the welding process, hence laying the fundamental for better weld quality control.

**Key words:** ultrasonic plastic welder; welding pressure; adjusting

## 1 引言

塑料及其复合材料工业的迅猛发展,使得人们对于结构及功能材料的使用有了新的概念。单纯的塑料制品已经在人们的日常生活中占有很重要的地位,而且在国防工业和尖端科学技术部门也被广泛应用。塑料/金属复合型材料的兴起,如铝塑复合管、钢筋骨架塑料复合管等等,作为功能和结构材料已有取代金属材料的趋势。近些年树脂基纤维复合材料的开发与应用一直是材料科学领域的热点。因为热塑性的数值基复合材料具有韧性好、易于加工、高温性能好、阻燃性

能好、寿命长以及可重复使用等一系列优点。

可见热塑性塑料及其复合材料的应用日益广泛,因而需要快速而可靠的连接方法。工程上比较常用的热塑性塑料和复合材料的连接方法主要有机械连接、粘接以及加热连接等等。由于加热连接没有引入孔洞(机械连接)或异物(粘接)而得到人们重视。加热连接的方法主要包括热气焊、热板焊、摩擦焊、超声波焊等等,其中超声波焊接是塑料焊接方法中应用最广泛的一种<sup>[1]</sup>。塑料超声波焊接以其焊接时间短、效率高、易于实现自动化、焊接质量高等优点,成为热塑性塑料和

收稿日期:1999-09-09

基金项目:国家自然科学基金(59675054)资助项目

复合材料的理想连接手段。对于超声波塑料焊接的质量控制,传统的焊机一般采用时间、能量或行程控制模式,但不管那种方式,在焊接过程中焊接压力均是不变的,而且保持压力等于焊接压力。这种控制方式是很难优化焊接质量的。本文通过对焊接过程的研究分析,首次提出了一种新的过程控制方法,即焊接过程的变压力柔性控制,从而更加有效地保证焊接质量的稳定性。

## 2 焊接过程分析

为了获得焊接过程的内在规律,利用自行研制的能量模式控制的超声焊机数据采集口对焊接过程的功率变化进行了测量研究。图1是一个典型的焊接过程中经过滤波后的声学系统功率输出曲线。观测到的这种功率变化规律与文献<sup>[2]</sup>焊接阶段推理是一致的。如图2所示,该文将焊接过程分为四个阶段:阶段1,由于超声振动所致的界面摩擦使导能筋首先熔化,并在压力作用下铺展,随着熔化进行,熔化率变慢;阶段2,上下工件开始接触,熔化率趋于稳定,熔融物分布面积逐

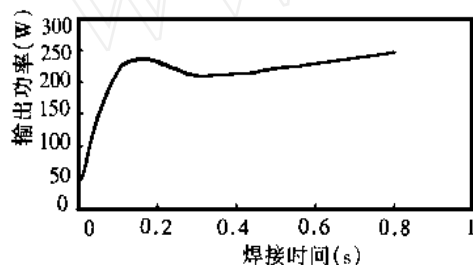


图1 焊接过程中声学系统输出功率变化曲线  
接头位移

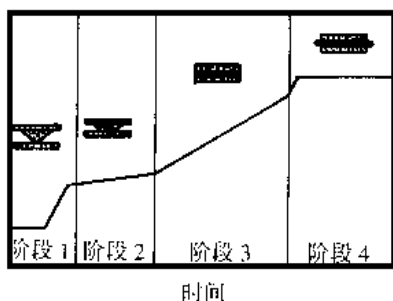


图2 接头熔化过程模型

渐增大;阶段3,该阶段的特点是:稳态熔化,界面间的温度分布趋于均匀,并形成了一定厚度的熔融物。阶段4,在焊头振动停止的瞬间,大量的熔融物挤出,接头

在压力作用下凝固。本文获得功率曲线反应了上述的阶段信息,开始阶段导能筋处于固态,阻抗较大,使焊机输出较大功率。随着导能筋的熔化,接头阻抗迅速下降,焊机输出功率降低,随着导能筋的逐渐熔化,上下工件接触面积增大,接头的声阻抗迫使焊机输出更大的功率。

## 3 质量控制对焊接压力的要求

研究表明,目前超声波塑料焊机的主要控制参数有焊接压力、焊接时间、输入功率(焊头振幅)、焊头行程等因素对接头强度的影响。几乎所有研究工艺的文献均表明,焊接压力对焊接质量有较大的影响。即认为对于一个特定的焊接(包括焊机及工件)存在一个最佳焊接压力<sup>[3]</sup>。当然该规律是在传统焊机的压力不变的模式下获得的。实际上,这种最佳压力并不能使接头性能达到最佳,因为在整个焊接过程中,焊接接头变化经历熔化开始、铺展、熔融层形成、熔融物挤出及接头凝固等几个阶段。而每个阶段对压力的作用要求也不尽相同。在焊接(超声能量输出)阶段,焊接压力过小可能会导致焊头与工件接触不好,声传递效率较低;同时压力过小也会导致界面导能筋熔体的流动变弱,对熔体铺展不利,从而导致接头强度下降。若压力过大会导致熔体的高速流动,一方面导致接头分子间的横向排列,另一方面也会由于接头局部过热造成内部熔体向边缘的喷溅,形成严重缺陷,从而导致接头质量下降,因而在传统焊接控制模式中必然会存在一个最佳焊接压力。尽管不同材料对这种强度——压力极值特性反应比不同,但这一规律具有普遍意义。可见压力一方面影响着接头产热及熔体流动行为,一方面也影响着接头冷却凝固特性。在一次完整的焊接过程中,压力在超声停止后仍然保持,以使接头良好融合凝固。在此阶段,接头表现为压力下的结晶行为,尤其在凝固的后半阶段,这种压力下结晶特性更为显著。压力影响着熔体的过冷度以及结晶度。另一方面压力又充当凝固焊缝的拘束条件,从而影响着接头的强度。

可见压力对接头强度具有较大的影响,而且这一影响贯穿于焊接过程中的焊接/保压两个阶段。要获得良好的接头性能,仅仅控制时间、能量或焊头行程是不够的,因此本文提出了变压力控制技术,即在焊接过

程中变化压力,使得焊机能够给出最佳的压力变化曲线,从而用于优化焊接过程。

#### 4 焊机变压力控制系统

研制的超声波塑料焊机如图3所示,变压力控制技术是在能量控制模式焊机的基础上进行的。该焊机由气动系统、声学系统、超声波发生器及微机控制系统组成。超声波塑料焊机的能量模式控制在我们实验室研究开发得较早。在1993年即已实现了采用单片机 MCS-51 的能量模式控制<sup>[4]</sup>。在能量模式下,设置了时间窗口,如图4所示。焊接时间的过大(超过  $t_{\max}$ )和过小(小于  $t_{\min}$ )均表明焊机工作不正常、或焊接质量难以保证,在时间模式中做不到这一点。因为在时间模式中,无论焊接状况如何,一次焊接过程都会在预定时间后结束,不具备质量柔性控制。实验表明,能量模式对电网压波动、气压波动以及工件参差不齐、装配不好具



图3 压力可调的能量控制模式的超声波塑料焊机

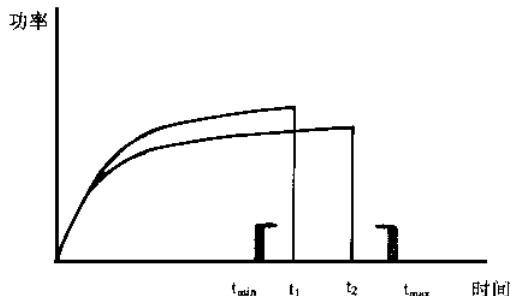


图4 焊接过程能量控制模型

有较好的补偿能力,因而比传统焊机的时间模式更容易保证质量。为了保证焊机的有效控制和功能扩展,我们近年对焊机采用了PC机控制<sup>[5]</sup>,使得控制功能明显加强。在焊接过程中,计算机系统利用电流、电压传感器,获得输入到换能器的电流电压信号,通过内部的

数据处理获得有效输入功率,同时获得声学系统的输入能量。将此能量与由试验获得的最佳能量相比较,来控制焊接过程,使得焊接过程在最佳能量输入时刻停止,以保证焊接质量的稳定性。同时由压力传感器获得气缸中的压力信息,从而实现压力的优化控制。

微机控制系统硬件包括传感器电路、信号提取电路、A/D、D/A 电路、I/O 控制接口电路和工业PC机等组成。其中 A/D、D/A 及 I/O 接口电路采用了 HY8071 多功能数据采集板,既提高了采样速度,又增强了系统与PC主机接口的通用性。整个焊机硬件系统如图5所示。

压力控制的核心是压力实现系统,如何快速实现压力的变化是本项研究的关键。所以选用了日本 SMC 的 VEP312 压力控制型电器比例阀,同时配以 VEA250 型电源,该系统能够对压力的转换快速响应。实验研究表明,在超声波塑料焊接常用的工艺范围内,如焊接压力由  $P = 1.0\text{bar} \sim 1.5\text{bar}$  之间跃变响应时间小于 60ms。这个时间是很短的,是一般焊机最大焊接时间(10s)的 0.6% 或最大保压时间(1s)的 6%。可见电气比例阀的这种响应特性完全可满足超声波焊接的变压力控制技术的要求。

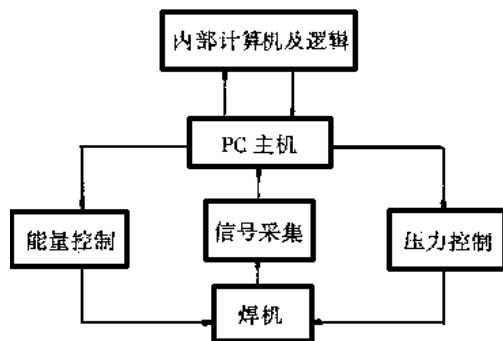


图5 超声波塑料焊机控制原理框图

对 PS 材料(焊缝接触面积为  $2.54\text{mm} \times 50.8\text{mm}$ )进行了焊接,在 450W 输入能量、焊接压力为  $P = 1.5\text{bar}$ 、保压时间 0.2s 的条件下,保持压力降低(传统焊机的保持压力等于焊接压力),使得焊件周围的喷溅产物减少,表明压力的变化改善了界面熔体的流动行为,从而使得焊接接头的焊接压力优化成为可能。由于 VEP312 压力控制型电气比例阀可以实现压力的无级调节,因而可以实现焊接全过程的压力优化控制。在上述硬件

基础上,进一步的压力优化曲线的工艺试验正在进行,有关的实验结果将在以后讨论。

## 5 结论

(1)在超声波塑料焊接过程中,接头界面经历熔化开始、铺展、熔融层形成、熔融物挤出及接头凝固等几个阶段。这与本文获得功率变化规律是一致的。

(2)对焊接过程的分析表明,焊接压力决定了焊机的输出功率、影响接头熔体的流变行为和凝固行为,因而影响着焊接质量。

(3)利用 VEP312 压力控制型电器比例阀实现了焊接过程中的压力无级调节,为实现焊接质量的压力优化控制奠定了硬件基础。

## 参考文献

- 1 V. K. Stokes. Joining Methods for Plastics and Composites [J]. Polym. Eng. Sci. 1989(19)
- 2 W. Michaeli, et al. Quality assurance in ultrasonic plastic welding on the basis of statistical process models-prediction of weld strength[J]. Weld. Word, 1995(5)
- 3 Benata, et al. Ultrasonic welding of thermoplastics in near-field[J]. Polym. Eng. Sci. 1989(23)
- 4 田修波. 微机控制的超声波塑料焊机[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文. 1993
- 5 胡振海. 超声波塑料焊接能量模式控制系统的研制[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文. 1997

(上接第 6 页)

- 15 青野 进. スポット溶接の品质保証は何处まひ進む 溶接技術, 1981(12):45~51
- 16 天沼克之. 抵抗 スポット溶接の品质 モニタと制御方式. 溶接学会志, 第 58 卷(4):50~55
- 17 上田幸雄. 計量化構造 材料とその接合技術, 溶接学会, 平成 6 年 11 月 22 日初版発行:91~92
- 18 染谷 明. 抵抗溶接品质管理装置の最近の动向について 溶接技術, 1980(3):35~37
- 19 佐藤亮拿, 坂本勇. 抵抗溶接の信頼性向上と新分野への適用. 溶接技術, 1984(3):57~58
- 20 奥田, 山本. スポット溶接のモニタリング装置の現状と评价. 溶接技術, 1980(3):33~40
- 21 井上胜敬. 接合 加工 ブロ・スへの AI 技術の応用. 溶接学会志, 第 60 卷 1991(1):61~67
- 22 大岛健司, 山根 敏. 溶接 システムの制御. 溶接学会志, 第 67 卷, 1998. (1):53~59
- 23 田中一男. インテリジエント制御 システム(ファジ・ニューロ・GA・カオスによる知的制御). 共立出版社株式会社, 130, 134

(上接第 9 页)

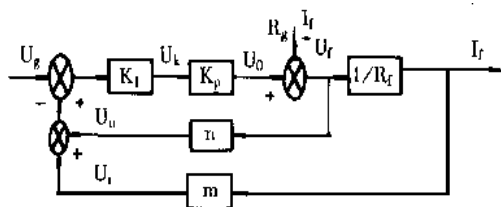


图 5 电源外特性获得原理示意图

接口, 通讯接口简单, 并采用软硬件措施来保证通讯正常。实践证明, 该方法是可行的。

## 参考文献

- 1 黄石生 著. 现代焊接电源及设备[M]. 广州:华南理工大学出版社, 1994, 9
- 2 李阳 等. 机器人用弧焊逆变器动特性优化控制的研究[J]. 焊接学报, 1994, 7
- 3 李华 等编著. MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京:航空航天大学出版社, 1993, 8
- 4 Dallas Semiconductor Databook[M], 1998, 10