

超声波焊接技术在继电器塑料壳体连接中的应用

黎晓贞¹, 黄华福², 邹文生³, 张坚琳⁴

(1. 南昌大学信息工程学院, 江西 南昌 330029; 2. 南昌大学第四附属医院, 江西 南昌 330001;
3. 南昌大学网络中心, 江西 南昌 330029; 4. 南昌大学软件学院, 江西 南昌 330029)

摘要: 在简述了超声波焊接技术基本理论的基础上, 分析了超声波焊接技术的优越性。对于继电器壳体和基座焊接而言, 焊接的强度是影响其使用性能的主要因素。以聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT) 为继电器壳体材料, 聚碳酸酯 (PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) 为基座材料, 制备相应材料试件并进行焊接试验, 分析了焊接时间、超声波振幅、延迟时间和保压时间对焊接强度的影响, 并获得了异种材料焊接的最佳工艺参数。结果表明, 随着焊接时间的增加, 试件所能承受的最大拉力表现为先升高后下降的趋势; 超声波振幅越大, 焊接强度越高; 延迟时间和保压时间对焊接强度的影响较小, 几乎可以忽略。根据试验获得的最佳工艺参数, 设计了继电器壳体焊接区域结构。焊接后继电器壳体与基座连接强度和密封性能良好, 工艺稳定性可以满足生产要求。

关键词: 超声波焊接技术; 继电器塑料壳体; 焊接强度

doi: 10.3969/j.issn.1005-5770.2018.11.026

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-5770 (2018) 11-0115-04

Application of Ultrasonic Welding Technology in Relay Plastic Housing Connection

LI Xiao-zhen¹, HUANG Hua-fu², ZOU Wen-sheng³, ZHANG Jian-lin⁴

(1. Information Engineering School, Nanchang University, Nanchang 330029, China;
2. The Fourth Affiliated Hospital, Nanchang University, Nanchang 330001, China;
3. Network Center, Nanchang University, Nanchang 330029, China;
4. School of Software, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract: Based on the basic theory of ultrasonic welding technology, the superiority of ultrasonic welding technology was analyzed. For relay housing and pedestal welding, the strength of the weld was a major factor affecting its performance. Taking PBT as relay housing material and PC/ABS as base material, the corresponding material test pieces were prepared and welded test, the effects of welding time, ultrasonic amplitude, delay time and dwell time on welding strength were analyzed, and the best process parameters for welding of dissimilar materials were obtained. The results show that the maximum tensile force of the specimen could provide an increasing trend firstly and then decrease with the increase of welding time. As the increase of ultrasonic amplitude, the welding strength could be higher. Delay time and dwell time have little effect on weld strength, which is almost negligible. According to the optimal process parameters obtained from the test, the welding shell structure of the relay shell is designed. After welding, the relay housing and the base have good connection strength and sealing performance, and the process stability can satisfy the production requirements.

Keywords: Ultrasonic Welding Technology; Relay Plastic Housing; Welding Strength

随着声学、热学和高分子材料学等基础学科的不断深入探索与研究, 多学科和交叉学科研究领域的新兴制造技术与工艺逐渐成熟并开始应用于实际生产中。与其他连接工艺相比, 超声波焊接具有能耗低、无污染、焊接时间短、效率高、连接处强度高、工艺

质量稳定和成本低廉等优点, 对于表面质量要求较高的装饰件和薄壳类零部件连接, 超声波焊接点的表面平整度远高于其他焊接方法, 这使得超声波焊接工艺几乎不会对产品整体的外观水平和美观性产生负面影响^[1]。

超声波焊接属于破坏性连接,焊接完成后,对于连接强度较差的区域无法进行二次焊接^[2-4]。焊接过程中,超声波焊接机中发生器产生频率约为15~20 kHz的高频脉冲信号,经换能系统将高频脉冲信号转化为机械振动后,由焊头将振动传递至焊接点处,振动作用下焊接工件表面分子间摩擦生热,当局部热量累积至表面温度达到材料的熔点时,工件迅速熔化,熔体迅速将工件间的缝隙填满并完成焊接^[5]。超声波振动作用完成后,焊头持续将压紧力焊点几秒钟,焊接处熔体凝固后会形成稳定的分子链,从而实现异种材料焊接。由于连接处分子间的作用力大小远高于物理作用力,超声波塑料焊接的连接强度和效果也大大优于传统连接工艺^[6-7]。

继电器的壳体材料为聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT),基座的材料为聚碳酸酯(PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)合金。其中,PBT的机械性能稳定,高温下尺寸变形量小,耐老化性和水稳定性好,潮湿和高温环境中仍能保持优异的绝缘性能,广泛应用于电子、电器和高电压设备零配件制造中。ABS/PC合金融合了PC和ABS两者的优点,与PC相比,降低了熔体黏度,改善了加工性能,并大大提高了产品耐应力开裂的性能;与ABS相比,提高了耐热性和耐候性,具有良好的成型性和耐低温冲击性能、较高的热变形温度及光稳定性,并且可以电镀,生产成本介于PC和ABS之间,适合作为继电器基座材料。PBT的玻璃化转变温度(T_g)为22~43℃,维卡软化温度大约为170℃;PC材料的 T_g 为148~152℃,维卡软化温度大约为220℃;ABS的 T_g 为90~100℃,维卡软化温度为185℃。PBT继电器壳体与PC/ABS合金基座连接需要通过塑料焊接工艺完成,但两者的维卡软化点相差较大,传统焊接方法的强度较差且焊接处表面碎屑较多^[8-9]。在继电器壳体的超声波塑料焊接中,通过调节焊接时间、振幅、延迟时间和保压时间等参数并对焊接后的试件进行拉伸试验,可确定焊接工艺参数对焊接强度的影响。

1 实验部分

1.1 实验材料

PC/ABS合金:颗粒,N1830SC,PC质量分数占比为55%,熔体质量流动速率均为15 g/10min(测试条件为300℃/1.2 kg),深圳市科罗威材料科技有限公司;PBT:120GF30 BK,广东东莞市晶宏塑胶原料有限公司。

1.2 实验设备

超声波塑料焊接机:HB-2030,深圳市恒波超声波设备有限公司;双螺杆挤出机:ZC-35,南京市欣辉机械有限公司;拉力试验机:GL8305,武汉市国量仪器有限公司;注塑机:DQ-100T卧式,广东东莞市德群机械有限公司;万能材料试验机:TestStar(新秀)104B-TS,深圳市万测集团;干燥箱:DHG-9030A,上海和呈仪器制造有限公司。

1.3 实验方法

将PC/ABS合金颗粒和PBT颗粒在干燥箱内放置6 h,再经注塑机制备标准焊接试件,试件尺寸为100 mm×50 mm×4 mm。将焊点设置在PC/ABS合金试件上,则PBT试件无焊点,焊接条件如表1所示,焊接完成后的部分试件如图1所示。

表1 焊接条件

Tab 1 Welding conditions

延迟时间/s	焊接时间/s	保压时间/s	振幅/%	焊接压力/N
0.7	0.1	0.15	70	2

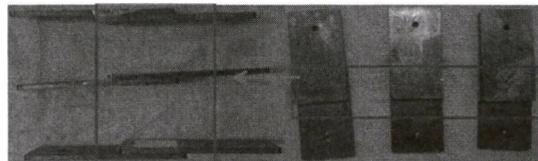


图1 部分焊接试件

Fig 1 Partially welded test piece

将试件与PBT试件进行焊接,焊接参数如表2所示,分析超声波焊接工艺条件对试件连接强度的影响。

表2 试件焊接实验工艺参数

Tab 2 Welding experiment process parameters of test piece

工艺参数	焊接试件编号								
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
焊接时间/s	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
振幅/%	70	70	70	50	90	70	70	70	70
延迟时间/s	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	1	0.7	0.7
保压时间/s	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.05	0.1

试件焊接完成后,用拉力试验机夹头一端夹住PC/ABS合金试件,一端夹住PBT试件,测量焊缝处断裂时的拉力并获得拉力形变曲线,拉伸速度为50 mm/min,分析材料的焊接强度和破坏形式。

2 结果与讨论

2.1 焊接时间对试件焊接强度的影响

超声波焊接中可控工艺参数包括超声波振幅、延迟时间、焊接时间和保压时间等,通过控制这些参数

可以对超声波能量进行调节, 提高异种材料焊接强度。1[#]、2[#]和 3[#]组试件的焊接时间分别为 0.1、0.2 和 0.3 s, 其他工艺参数均相同。由图 2 可知, 随着焊接时间的增加, 试件所能承受的最大拉力表现为先升高后下降的趋势。这是因为, 随着焊接时间的增加, 超声波产生能量作用于焊接区域的时间增长, 即作用于焊接区域的总热能增加, 有利于提高异种材料的相容性, 增加焊接强度。但是, 焊接时间过长会使连接处发生焊接过度, 试件接触区域的表面形貌较差, 碎屑较多, 对材料的焊接强度产生负面影响。

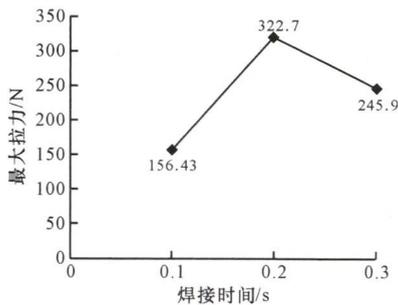


图 2 焊接时间对焊接强度的影响

Fig 2 Effect of welding time on welding strength

2.2 振幅对试件焊接强度的影响

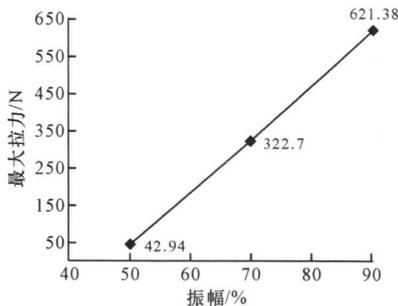


图 3 振幅对焊接强度的影响

Fig 3 Effect of amplitude on welding strength

2[#]、4[#]和 5[#]组试件的焊接时超声波振幅分别为 70%、50% 和 90%, 其他工艺参数均相同。由图 3 可知, 随着超声波振幅的增加, 试件能承受的最大拉力逐渐增大, 即焊接区域的焊接强度增加。在实验中发现, 当振幅低于 50% 以下时, 产生的能量几乎无法使 PC/ABS 和 PBT 材料试件产生稳定的连接。因此, 为了提高异种材料的连接强度, 在设备使用寿命允许的情况下, 可以适当的提高超声波振幅。

2.3 延迟和保压时间对试件焊接强度的影响

2[#]、6[#]和 7[#]组试件的延迟时间分别为 0.7、0.5 和 1 s, 2[#]、8[#]和 9[#]组试件的保压时间分别为 0.15、0.05 和 0.1 s, 其对焊接强度的影响分别如图 4 和图

5 所示。由此可以发现, 随着延迟时间和保压时间的增大, 试件可以承受的最大拉力增大, 即其焊接强度增加。但是, 相比于焊接时间和振幅, 延迟时间和保压时间对焊接强度的影响明显较小。实验中发现, 当保压时间足够长时, 继续增大保压时间, 试件的焊接强度不再发生变化。这是因为, 焊接能量的高低主要由焊接时间和超声波的振幅决定, 延迟时间和保压时间几乎对焊接能量没有影响。

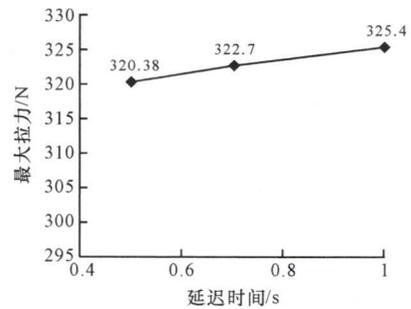


图 4 延迟时间对焊接强度的影响

Fig 4 Effect of extended time on weld strength

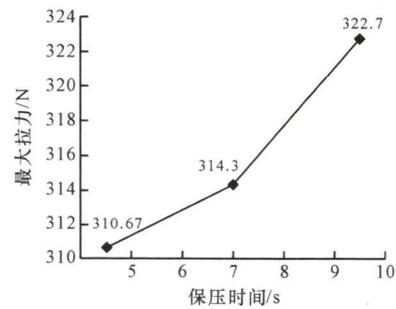


图 5 保压时间对焊接强度的影响

Fig 5 Effect of holding time on welding strength

综上所述, 超声波塑料焊接强度主要由焊接时聚集在焊接区域的能量所决定。焊接能量较高时, 焊接区域产生的热量比较高, 塑料的熔解量大且熔体流动性能比较好, 焊接强度较高; 焊接能量较低时, 超声波产生的能量无法使塑料熔化, 焊接强度较低。但是, 焊接能量过高时会发生焊接过度, 焊接区域的表面形貌较差, 碎屑较多, 对材料的焊接强度产生负面影响。因此, 文中 PC/ABS 和 PBT 焊接的最佳工艺参数为: 焊接时间 0.2 s, 振幅 70%, 延长时间 1 s, 保压时间 0.15 s。

3 继电器壳体的超声波焊接

继电器外壳的材料为 PBT, 基座的材料为 PC/ABS, 焊接时, 工艺参数按照实验分析结果选取, 即焊接时间 0.2 s, 振幅 70%, 延长时间 1 s, 保压时间 0.15 s。图 6a 和 b 分别为焊接前壳体的二维图和焊接

后的总装图。焊接过程中,壳体底部边缘面与基座槽底面会同时产生两个焊接端面,不利于能量的控制,焊接质量也比较差。因此,在继电器壳体底部边缘处设置导能棱,其结构如图6a中A位置所示。导能棱的宽度为2 mm,高度为1 mm。焊接时,超声波产生的能量主要集中作用于导能棱,该位置的材料先熔化并在基座槽内形成PBT熔体。冷却后,壳体底部边缘面与基座槽底面之间形成均匀稳定且具有密封效果的连接层,实现继电器壳体与基座的焊接。焊接后发现,成型后的继电器壳体与基座连接强度和密封性能良好,连接处弯折后也无明显色差变化,说明工艺非常稳定。

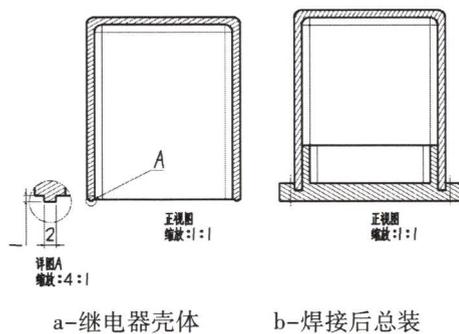


图6 继电器外壳工程图

Fig 6 2-D drawing of relay housing

4 结论

1) 随着焊接时间的增加,试件连接所能承受的最大拉力表现为先升高后下降的趋势。随着焊接时间的增加,作用于焊接区域的总热能增加,有利于增加焊接强度,而焊接时间过长会使连接处发生焊接过度,对材料的焊接强度产生负面影响。

2) 随着超声波振幅的增加,试件连接能承受的最大拉力逐渐增大,即焊接区域的焊接强度增加。为了提高异种材料的连接强度,在设备使用寿命允许的情况下可以适当提高超声波振幅。

3) 焊接能量的高低主要由焊接时间和超声波的振幅决定,延迟时间和保压时间几乎对焊接能量没有影响,即对试件的焊接强度影响不大。

参考文献

- [1] 张胜玉. 塑料超声波焊接技术 [C] //中国工程塑料复合材料技术研讨会. 济南: 《工程塑料应用》杂志社, 2014.
- [2] ZHI Q, TAN X R, LIU Z X. Effect of moisture on the ultrasonic welding of carbon-fiber-reinforced polyamide 66 composite [J]. Weld J, 2017, 96 (6): 185s-192s.
- [3] 库媛. 超声波焊接参数对PP-ABS接头抗拉强度的影响 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [4] CHINNADURAI T, VENDAN S A. Thermal and structural analysis of ultrasonic-welded PC/ABS blend for automobile applications [J]. J Therm Anal Calorim, 2017, 127 (3): 1995-2003.
- [5] LIU J, XU G, REN L, et al. Defect intelligent identification in resistance spot welding ultrasonic detection based on wavelet packet and neural network [J]. Int J Adv Manuf Technol, 2016, 90 (9-12): 1-8.
- [6] WANG K, SHRIVER D, LI Y, et al. Characterization of weld attributes in ultrasonic welding of short carbon fiber reinforced thermoplastic composites [J]. J Manuf Process, 2017, 29: 124-132.
- [7] PARK J Y, LEE J R. Application of the ultrasonic propagation imaging system to an immersed metallic structure with a crack under a randomly oscillating water surface [J]. J Mech Sci Technol, 2017, 31 (9): 4099-4108.
- [8] LEE D, CAI W. The effect of horn knurl geometry on battery tab ultrasonic welding quality: 2D finite element simulations [J]. J Manuf Process, 2017, 28: 428-441.
- [9] WANG K, LI Y, BANU M, et al. Effect of interfacial pre-heating on welded joints during ultrasonic composite welding [J]. J Mater Process Technol, 2017, 246: 116-122.

(本文于2018-08-08收到)

(上接第98页)

- [7] 田洪池, 刘月星, 伍社毛, 等. 动态硫化IIR/PP TPV热塑性弹性体的结构与性能 I. 软化和填充体系对IIR/PP TPV结构和性能的影响因素 [J]. 合成橡胶工业, 2003, 26 (4): 216-220

- [8] 徐建荣, 唐颂超, 王庆海. 动态硫化溴化丁基橡胶/聚丙烯热塑性弹性体制备及性能的影响因素 [J]. 合成橡胶工业, 2010, 33 (5): 387-390.

(本文于2018-06-25收到)