

漆包线的超声-热压复合焊接工艺

路志明,于兆勤,郭钟宁,李远波,袁聪
(广东工业大学 机电工程学院,广东 广州 510006)

摘要 针对漆包线焊接的难点,在现有热压工艺和引线键合工艺的基础上,重新研究了一种新型的漆包线直接焊接的微连接方法,并设计搭建了超声热压工艺的试验平台。以直径0.2 mm的漆包线和厚0.2 mm的磷铜片作为试验样例,对焊接工艺进行了试验研究。通过工艺试验,分析了焊接电流、焊接时间、焊接压力和超声功率对焊接质量的影响,得出了各个参数对焊接结果影响关系的主次,并通过正交试验得到了试验材料的最佳焊接参数。

关键词 漆包线;超声焊;热压焊;复合焊接;正交试验

中图分类号:TG453+.9 文献标志码:B 文章编号:1001-2303(2014)03-0078-05

DOI:10.7512/j.issn.1001-2303.2014.03.20

Research on the technology of ultrasonic-thermocompression welding for enameled wire

LU Zhi-ming, YU Zhao-qin, GUO Zhong-ning, LI Yuan-bo, YUAN Cong

(School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This paper introduces a new kind of micro-connection for directly enameled wire welding, which based on the wire bonding process and the thermocompression process. A test platform is built on the theory of ultrasonic thermocompression technology. Enameled wires with a diameter of 0.2 mm and a thickness of 0.2 mm phosphor sheets are tested. Through the process of testing, the relationship between the welding quality and parameter such as welding current, welding time, welding pressure and ultrasonic power are studied. And in the last, optimum welding parameters are obtained by orthogonal experiment.

Key words: enameled wire; ultrasonic welding; thermocompression welding; hybrid welding; orthogonal experiment

0 前言

漆包线是一种电工材料,它是在一根圆形的铜线表面加工一层薄薄的高强度聚酯绝缘层,起到与外界绝缘的作用,其广泛应用于电气、电子、医疗器具和半导体的生产(传感器、植入电极、线圈、芯片互联引线等),可充当内部基础元件的一部分,或者作为元件内外连接的导体介质。当其作为内外连接的介质时,漆包线的末端必须和金属终端(插片、针、箔等)实现导电接触,而且需要满足一定的力学性能、导电性能和耐温度疲劳性能等要求。一般的漆包线焊接有钎焊、激光软钎焊、电阻微连接、超声焊接和热压焊接等方法。传统的焊接方法,如锡钎焊,

必须先将妨碍导电以及影响接头可靠性的绝缘薄膜去除,费时费力,焊接产生的有害物质也容易对人体健康造成危害和污染环境。激光焊接虽然可以去除漆膜直接焊接,但其对焊件组装和定位要求较高,另外成本也相对较高。电阻微焊、热压焊在焊接线径较大的漆包线时效果不理想,电阻焊也不适于焊接某些绝缘层的漆包线^[1]。超声焊接一般用于金丝球的焊接,对于漆包线,传统的线性振动轨迹的超声设备无法焊接^[2]。借鉴国内外精密微点焊工艺理论研究结合实际情况,提出了超声-热压复合焊接的方法,研制了一种新型的超声-热压复合焊接装备。借助超声的机械摩擦和对金属的软化作用以及热压焊提供的热能量实现对漆包线的直接焊接,是一种漆包线直接焊接的新技术。

介绍了漆包线的超声-热压复合焊接试验装置,并对漆包线的焊接进行了工艺试验研究,分析了

收稿日期:2013-07-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50775046)

作者简介:路志明(1987—),男,河南辉县人,硕士,主要从事特种加工、漆包线的微连接等研究工作。

焊接四个参数对焊接质量的影响。

1 超声-热压焊复合试验装备

针对漆包线焊接的技术特点和要求,结合相关理论和工艺,所研制的超声-热压复合焊接装备如图1所示。该设备主要由精密逆电阻焊电源、超声振动系统、加压机构、自热压头等系统组成。

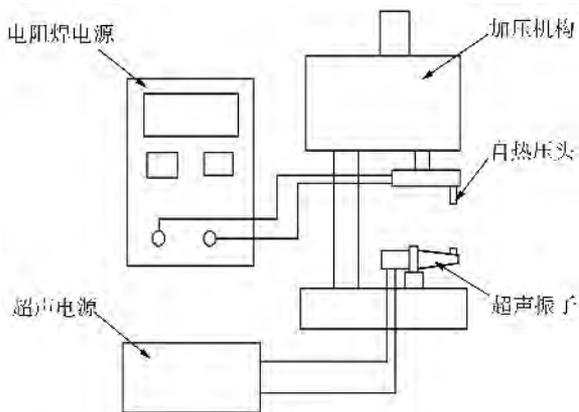


图1 焊接装备示意

电阻焊电源可控制输出焊接电流和焊接时间,对压头进行电阻加热,超声振动系统包括超声电源和超声振子,振子带动工作台上的工件振动,提供超声机械振动的能量,加压机构对焊接件进行加压,保证两个焊接紧密接触,确保能量的有效传递,自热压头由于电流的通过,在尖端产生高温电阻热。焊接过程如图2所示。

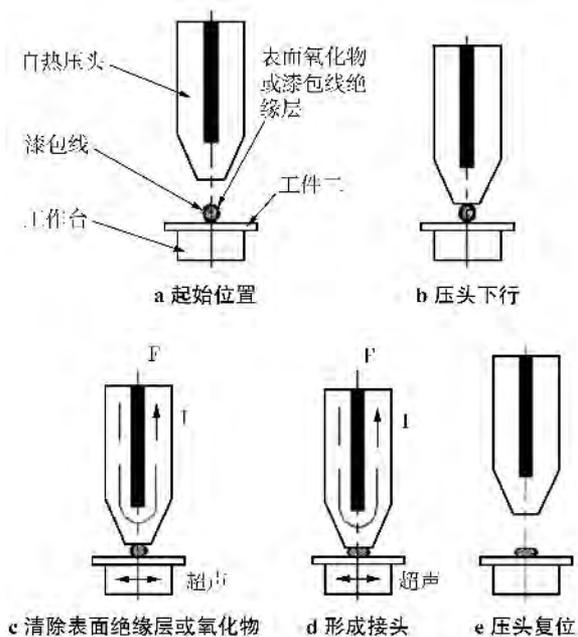


图2 焊接过程示意

2 工艺试验及分析

试验研究的是一种新的漆包线焊接工艺,缺少相关的参考和标准,考虑到引线键合工艺与其在工艺方法和金属线应用场合上有许多相似之处,参照引线键合工艺中的主要质量评价标准作为本试验研究工艺的质量评价标准,即采用焊点抗拉强度和外观形貌质量作为评价的依据。试验中发现,焊点线长方向的长度变化不大,与线长垂直方向的宽度变化较大,故焊点外貌形状的评价取宽度值作为评价数据。试验中焊点拉断力的测试用到的是CMT8501微机控制电子万能试验机,焊点宽度值通过Keyence公司生产的超景深三维显微系统测得。

2.1 正交试验

为研究各参数对焊接影响的大小,取5水平进行正交试验。试验研究的因素和水平如表1所示。

表1 试验因素和水平

	焊接电流 /A	焊接时间 /ms	焊接压力 /N	超声功率 /W
水平1	421	22	70	10
水平2	422	24	75	20
水平3	423	26	80	30
水平4	424	28	85	40
水平5	425	30	90	50

抗拉强度正交试验分析结果如表2所示。

表2 抗拉强度正交试验分析结果

	电流	时间	压力	超声功率	
抗拉强度/N	均值1	2.784	2.288	3.610	3.658
	均值2	3.266	2.676	3.442	3.826
	均值3	3.564	3.786	3.696	3.544
	均值4	3.920	4.156	3.632	3.294
	均值5	4.236	4.864	3.390	3.448
	极差	1.452	2.576	0.306	0.532

焊点宽度正交试验分析结果如表3所示。

表3 焊点宽度正交试验分析结果

	电流	时间	压力	超声功率	
焊点宽度 /μm	均值1	651.032	537.732	647.832	683.734
	均值2	713.908	566.300	682.502	681.700
	均值3	646.934	560.674	673.600	528.862
	均值4	706.300	742.068	595.740	732.632
	均值5	607.866	919.266	726.366	639.700
	极差	106.042	381.534	130.626	99.892

由正交试验结果可知,各个工艺参数对焊点接

头拉断力的影响程度从大到小依次为 焊接时间、焊接电流、超声功率和焊接压力 ;对焊点外观质量的影响程度从大到小依次为 焊接时间、焊接电流、焊接压力、超声功率。综合考虑焊点的接头强度和外观质量 ,对本焊接试验材料而言 ,最佳的焊接参数为 :焊接时间 24 ms ,焊接电流 425 A ,超声功率 30 W ,焊接压力为 2.25 kg。

2.2 焊接参数对焊接质量的影响

2.2.1 焊接电流的影响

焊接电流的变化与焊点的抗拉强度和焊点宽度的关系总体上呈上升的趋势 ,如图 3、图 4 所示 ,随电流的增大 ,焊点的抗拉强度和宽度逐渐增大。

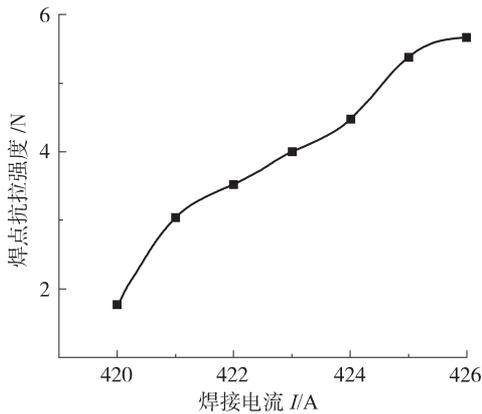


图 3 焊接电流与焊点抗拉强度的关系

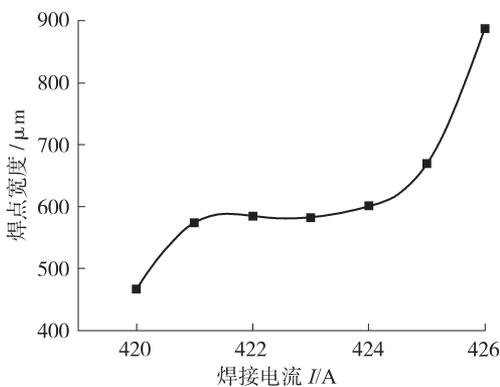


图 4 焊接电流与焊点宽度的关系

电流小于 420 A 时 ,焊接很不稳定 ,漆包线很难焊接在铜箔上 ;大于 420 A 时 ,随着电流的增大 ,焊点接头的断裂形式相应地发生变化 ,焊点接头部分残留和焊点侧脚断裂形式的焊点在试验样本中的比例越来越大。当电流接近 426 A 时 ,电流对焊点接头强度的影响已不太明显 ,如果再增大电流 ,自热压头火花明显偏大 ,端部碳化严重 ,焊点接头位置的漆包线会出现熔化现象(见图 5) ,有的甚至粘

连在自热压头上。随着电流的增大 ,焊头产生的热量也随之增多 ,在压力的作用下 ,金属的高温扩散和塑性流动增强^[3] ,相应的表现就是焊点形貌变大 ,即焊点宽度逐渐变大。

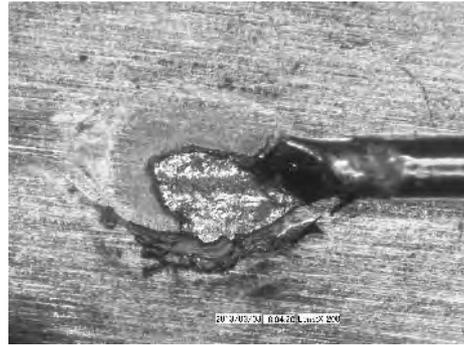


图 5 融化的焊点

2.2.2 焊接时间的影响

焊接时间与焊点接头抗拉强度和宽度的关系如图 6、图 7 所示 ,与焊接电流的特性具有相似性。焊接区在加热和压力以及超声振动的作用下发生塑性变形 ,氧化层遭到破坏 ,金属丝与金属接触面间达到原子的引力范围 ,从而形成焊点接头。自热压头焊接产生的热量来自尖端的焦耳热

$$Q = \int_0^t i^2(t)R(t)dt$$

式中 Q 为产生的电阻热量 ; i 为流经压头的电流 ; R 为焊头尖端电阻 ; t 是电流持续的时间。

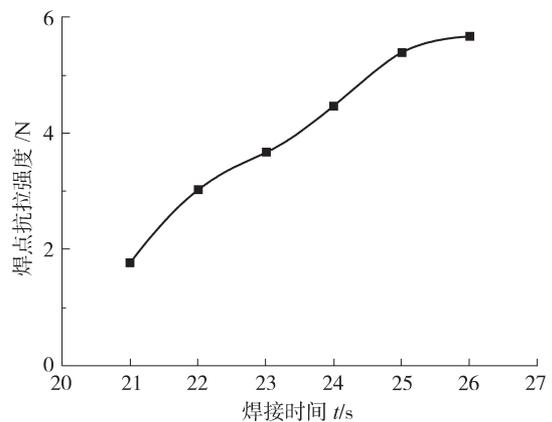


图 6 焊接时间与焊点抗拉强度的关系

焊接电流和焊接时间都是影响压头尖端处产生焦耳热的因素 ,故其对焊点质量的影响具有相似性。

2.2.3 焊接压力的影响

焊接压力小于 1.5 kg 时 ,焊接压力值过小 ,焊接热量和超声能量都得不到很好的传递 ,导致虚焊 ,不能形成焊点^[3-4]。如图 8、图 9 所示 ,焊接压力在 1.5~1.75 kg 时 ,抗拉强度和焊点接头宽度皆随焊接

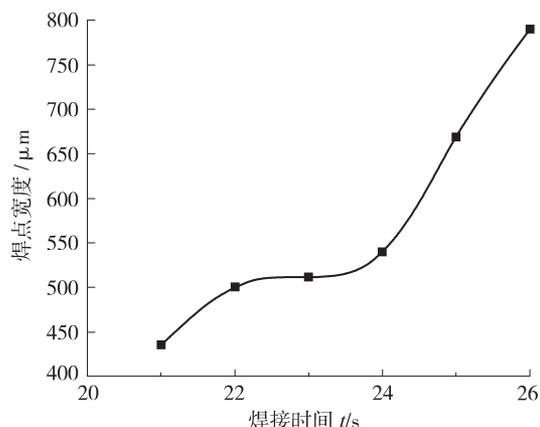


图7 焊接时间与焊点宽度的关系

压力的增大而明显增大。此种趋势是由于在焊点失效模式为接合界面断裂的情况下,焊点抗拉强度由焊点接头面积和键合强度共同决定。当键合强度较低时(焊点接头沿接合界面断裂),增加焊接压力将会在一定程度上增大焊点接头面积,其外在表现为增大了焊点的抗拉强度。当焊接压力在 1.75~2.125 kg 时,此时焊点接头面积已经达到一定值,单位面积的压强相对减小,其对焊点宽度的影响不再那么明显,但焊接压力的增大给热量和超声的传递带来了一定程度的有利因素,这对焊点抗拉强度有相应的增强作用。但是随着焊接压力的继续增大,当超过 2.125 kg 时,在超声、热的综合作用下,漆包线出现过变形^[3-4],焊点宽度剧烈增大,焊点出现侧脚断裂模式,抗拉强度相应减小。

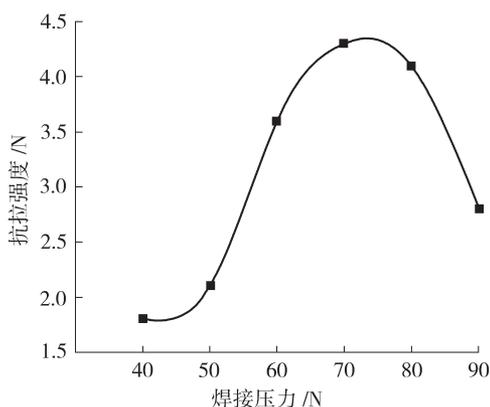


图8 焊接压力与抗拉强度的关系

2.2.4 超声功率的影响

测得超声功率变化与焊点抗拉强度和焊点宽度的关系如图 10、图 11 所示。

超声功率与焊点强度的关系,类似开口向下的抛物线,如图 10 所示。在其他参数一定的条件下,当

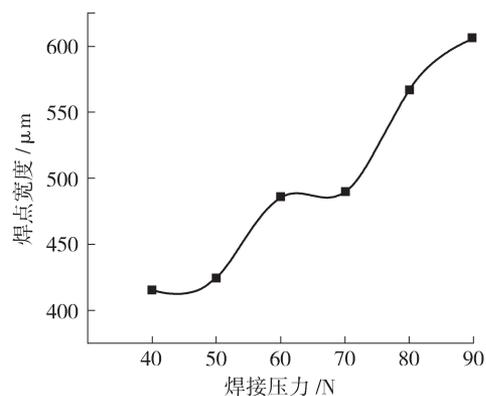


图9 焊接压力与焊点宽度的关系

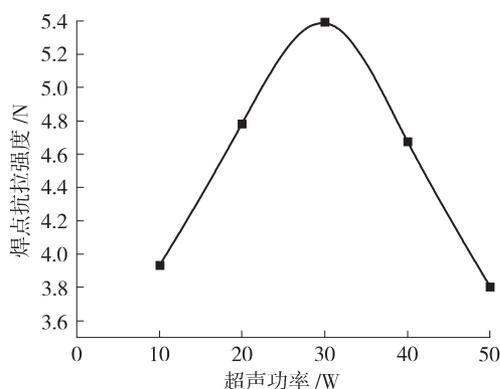


图10 超声功率与焊点抗拉强度的关系

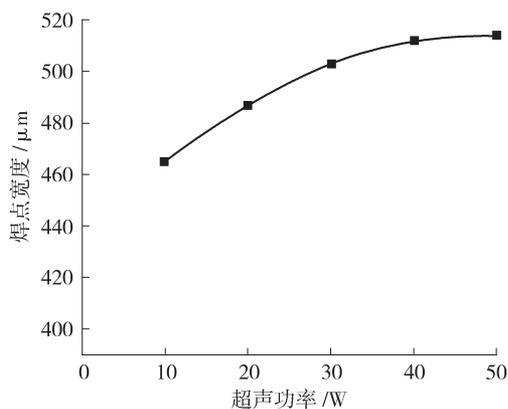


图11 超声功率与焊点宽度的关系

超声功率较小时,焊点接头强度随超声功率的增大而增大;当超声功率达到一定值,若继续增加,焊点接头强度会随之下降。这与引线键合工艺中超声功率的影响类似。在焊接压力的作用下,若超声功率较小,不能提供足够的能量来去除键合表面的氧化物及绝缘漆层,导致欠键合。过大的超声功率会破坏已经形成的焊点,“振松”金属线与锡箔片间的键合,导致焊点抗拉强度减弱^[5]。

随着超声功率的增加,焊点宽度逐渐增大后,如

图 11 所示。由于超声的软化作用,会使漆包线的屈服强度降低^[6-7],使漆包线在同等的焊接压力下变形更大。另外,超声振幅跟超声功率存在着线性关系,即超声功率增大,超声振幅也相应变大,这使得焊点接头的切向挤压增加,从而导致焊点接头宽度增大。

3 结论

试验分析得到了各参数与焊接质量的关系,其中焊接时间和焊接电流对焊接质量的影响最大,超声功率和焊接压力次之。为进一步提高焊接的质量以及适应不同线径的漆包线,还需要完善焊接装备,建立完善的工艺参数库。

参考文献:

- [1] 袁 聪,郭钟宁.漆包线微连接技术综述[J].电加工与模具,2013(S1):22-25,35.
- [2] J Tsujino, S Ihara.Characteristics of coated copper wire specimens using high frequency ultrasonic complex vibration welding equipments[J].Ultrasonics,2004,42(1):121-124.
- [3] 余 斋,王 肇.热压超声球引线键合机理的探讨[J].电子工艺技术,2009,30(4):190-195.
- [4] 王 权,建 宁.硅芯片外引线键合的热压焊装置及焊接工艺[J].焊接学报,2006,27(5):61-64.
- [5] 王福亮,韩 雷.超声功率对引线键合强度的影响[J].机械工程学报,2007,43(3):107-111.
- [6] Mason W P.Physical Acoustics and the Properties of Solids [J].J.Acoust.Soc.Am,1956,28(6):1197-1206.
- [7] Harman G G,Albers J.The Ultrasonic Welding Mechanism as Applied to Aluminum and Gold Wire Bonding in Microelectronics[J].IEEE Trans.on Parts,Hybrids and Packaging,1977,PHP-13(4):406-412.

[1] 袁 聪,郭钟宁.漆包线微连接技术综述[J].电加工与模

好书推荐,欲购从速!

《气体保护焊工艺及应用》

书号 0163

售价 46 元



本书对易于实现自动化和智能化生产的气体保护焊技术及工程中的应用作了简明地阐述,力求突出先进性和实用性特色。本书主要针对工程中最常见的惰性气体保护焊(TIG、MIG)、活性气体保护焊(CO₂焊、MAG)、等离子弧焊(PAW)等焊接方法,突出了各种气体保护焊的工艺特点和应用。给出了具体的工艺参数、相关技术数据及针对一些典型工程结构产品的应用实例,可以指导焊接生产。本书内容选用了一些便于实现自动化焊接的先进的气体保护焊工艺和成功的经验,书中的数据大多选自近几年的技术资料,反映了当前气体保护焊工艺的应用现状。使一些生产部门的科研和技术人员能全面了解气体保护焊的技术现状和发展,扩大其应用领域。本书主要供从事与焊接技术相关的工程技术人员、管理人员和操作人员使用,也可供大中院校、科研单位的有关教学和科研人员参考。

订书热线 028-83267908

联系人 黄秀艳