

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.05.013

食品砖包的超声波热封工艺试验研究

顾荣华, 石秀东, 王斌, 黄巧, 许金州

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

摘要:为了解不同种食品砖包材料的超声波热封强度和工艺参数,采用正交法对3种砖包材料(纯塑材料、铝塑材料和纸铝塑材料)进行超声波热封试验并对其进行拉伸试验,研究每种材料的热封失效形式及最大拉断力。结果表明在同等工艺参数下,3种砖包材料的超声波热封强度大小依次为:纯塑材料>铝塑材料>纸铝塑材料。热封失效形式有2种:热封边缘处断裂和热封处材料剥离。3个焊接因素对3种砖包材料热封强度的影响主次关系和影响程度均不同。最后得出结论:3种试验材料中纯塑材料的超声波热封强度最高,但其热封边缘处易发生断裂而不适用于超声波热封;铝箔和纸的加入改变了3个焊接因素在超声波热封中的影响主次关系和影响程度。

关键词:超声波热封;砖包材料;焊接因素;热封强度;热封失效形式

中图分类号:TB484 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)05-0057-04

Experimental Study on Ultrasonic Sealing Process of Food Brick Package

GU Ronghua, SHI Xiudong, WANG Bin, HUANG Qiao, XU Jinzhou

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: To study sealing strength and process parameters of different kinds of food brick in ultrasonic heat sealing, according to the three main ultrasonic heat sealing welding factors, ultrasonic heat sealing tests were performed on three kinds of brick packaging materials (pure plastic material, aluminum plastic material, aluminum paper plastic material) by using orthogonal and then tensile tests were performed that recording each kind of material heat sealing failure form and the maximum tensile force. Under the same conditions, three kinds of ultrasonic heat sealing strength of brick package material size was as follows: pure plastic material > aluminum plastic material > aluminum paper plastic material. There were two types of heat seal failure: thermal sealing edge fracture and thermal sealing material stripping. The influence of three welding factors on the thermal sealing strength of these three kinds of brick materials was different. Finally came to the conclusion the ultrasonic heat sealing strength of the pure plastic materials in the three kinds of test materials is the highest, but the thermal sealing edge is prone to fracture and not suitable for ultrasonic heat sealing. The addition of aluminum foil and paper changes the influence of three welding factors in ultrasonic heat sealing.

Keywords: ultrasonic heat sealing; brick material; welding factors; sealing strength; heat sealing failure form

食品包装主要起着阻隔和缓冲的作用:一是防止空气、阳光等进入食品中延长保质期;二是保证食品在运输存储过程中受到冲击等导致食品变形和损坏^[1]。砖包因其便于运输及保质期长^[2]等优点被广泛应用于食品包装中,所灌装的食品种类也从起初的奶制品、

饮料等液态类食品演变至粥、面食等半固态类食品。在砖包类食品的生产加工中,砖包的封口问题最为关键,封口质量的好坏直接关系到砖包的密封性和食物的保质期问题。目前,常用的封口技术有高频热封、热板热封、脉冲热封、红外线辐射热封和超声波热封

收稿日期:2017-01-04;修回日期:2017-07-18

基金项目:国家科技支撑计划项目(2015BAF12B00)。

第一作者简介:顾荣华(1992),男,江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向为机械设计及原理。通信作者:石秀东(1965),男,安徽全椒人,博士,副教授,主要研究方向为食品加工装备和机械装备动态设计技术。E-mail:shixd5718@163.com

等^[3]。其中,超声波热封因其热封时间短,效率高,清洁卫生,热封强度高等优点^[4]越来越受到人们的重视,并且有逐步取代其他热封方式的趋势。超声波热封在食品行业的应用时间还不长,在某些方面仍不成熟,比如对不同种材料的热封品质问题。

食品砖包采用的包材通常是塑料及其复合型材料,由于复合的其他材料一般不具备热封性,所以食品砖包封口的实质是包材最内层的热塑性塑料或其薄膜受热后融合、凝固的一个过程,所以可以将食品砖包的超声封口问题看作超声波塑料焊接的问题。目前,国内外学者^[5-10]只是对 PVC、PE 及 PP 等塑料或其薄膜进行超声波热封试验研究,得到了几种工艺参数对超声波热封的影响以及较好的工艺参数组合,而食品砖包材料含有不同种非薄膜基材,所以有必要进行工艺试验研究。文中针对超声波热封的 3 个主要焊接影响因素,对不同种食品砖包材料进行热封试验研究,以期得到不同种砖包材料的热封强度大小以及 3 个焊接因素对不同种砖包材料热封强度的影响主次关系及影响程度,以便更好地了解 and 掌握不同种砖包材料的焊接规律,以提高食品砖包的封口品质。

1 超声波塑料焊接

1.1 超声波塑料焊接机理

超声波由工具头直接将纵向振动传至热塑性塑料的接触面,每秒产生上万次的高频振动,由于两焊接接触面即焊区声阻大,从而会产生局部的高温,再由于塑料的导热性比较差,热量不易散发而聚集于焊区,导致塑料熔化。这样,在持续的接触压力作用下,焊件的接触面熔融成一体,从而达到焊接的目的^[11]。

1.2 超声波塑料焊接设备

如图 1 所示为超声波塑料焊接设备,主要由超声波发生器、换能振动系统、加压系统和工作台(下声极)等部分组成,包括频率自动跟踪系统、振幅控制系统和时间控制系统^[12]。

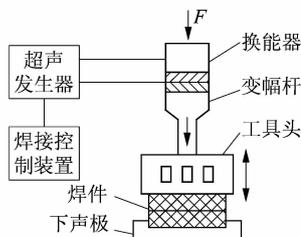


图 1 超声焊接设备原理示意图

Figure 1 Schematic diagram of ultrasonic welding equipment

1.3 超声波塑料焊接的影响因素

影响超声波塑料焊接的因素主要有 3 种^[13-14]: ①超声焊接设备可调的影响因素;②焊接材料自身性能的影响因素;③环境的影响因素。其中设备可调因素中超声时间、焊接压力和保压时间被公认为是对超声波塑料焊接影响程度最大的 3 个因素,也是国内外学者研究最多的 3 种因素。

2 超声热封工艺试验

2.1 条件

文中采用的食品砖包试验材料有 3 种,分别是:纯塑材料 (PE)、铝塑材料 (PE-AL-PE) 和纸铝塑材料 (PE-PAPER-AL-PE),其结构如图 2 所示。将这 3 种材料分别记为材料 A, B, C, 3 种材料的厚度均为 0.5 mm。

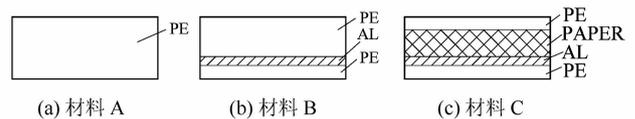


图 2 3 种材料的结构示意图

Figure 2 Sketch map of three kinds of materials

课题组采用的超声波焊接设备是某公司生产的 CSB-1520B 型超声波塑料焊接机,如图 3 所示。材料拉伸设备是 LRX-PLUS 型电子材料试验机,最大负荷为 5 kN。



图 3 超声波焊接设备

Figure 3 Ultrasonic welding equipment

2.2 方法

试验采用的方法为正交试验法,对影响超声波塑

料焊接最主要的3个因素进行正交组合,得到每个试验组合的热封强度,从而判断3个因素的影响主次关系和影响程度,并且初步确定每种材料的最佳工艺参数。在试验过程中使用同一台超声波焊接设备并保持焊接振幅不变,以排除其他因素的影响,如材料物性参数、振幅和连接形式等。

正交试验中,每个因素采取3个水平,且不考虑这3个因素的交互作用,每种材料进行9组试验,选取的因素和水平见表1。然后在拉伸试验机上将热封好的样品进行拉伸试验,如图4所示,记录下每种材料的热封失效形式和最大拉断力。

表1 正交试验表

Table 1 Table of orthogonal test

水平	因素		
	焊接压力/MPa	超声时间/s	保压时间/s
1	0.10	0.3	0.3
2	0.15	0.4	0.4
3	0.20	0.5	0.5



图4 拉伸试验示意图

Figure 4 Sketch map of tensile test

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

通过试验得到3种封合材料的最大拉断力,如表2所示。

表2 3种材料的拉断力

Table 2 Tensile strength of three kinds of materials

试验号	水平			拉断力/N		
	焊接压力	超声时间	保压时间	材料A	材料B	材料C
1	1	1	1	44.117	34.326	23.015
2	1	2	2	64.749	38.906	19.457
3	1	3	3	43.337	45.141	18.463
4	2	1	2	59.930	35.542	19.441
5	2	2	3	76.651	42.678	15.066
6	2	3	1	52.799	25.990	19.006
7	3	1	3	49.938	34.020	26.278
8	3	2	1	49.288	37.620	32.227
9	3	3	2	53.004	35.245	36.337

3.2 热封失效形式与分析

通过拉伸试验发现,3种试验材料封口处失效的形式主要有2种:第1种是热封处两层材料的剥离;第

2种是热封边缘处的材料断裂。第1种属于正常的材料拉伸分开而导致的热封失效情况,出现于材料B和C的热封样品中,而第2种属于非正常的热封失效情况,只出现于材料A热封样品中,如图5所示。

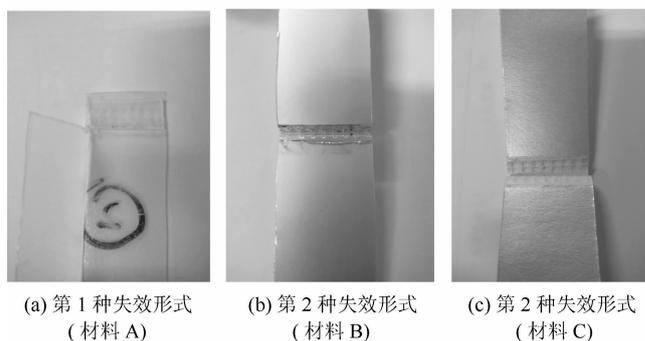


图5 封合材料的热封失效形式

Figure 5 Sealing failure forms of sealing materials

由表2可知,3种试验材料的各组拉断力大小都满足PE塑料的热封强度要求 $15\text{ N}^{[15]}$,而且多组数据都远大于热封强度要求,说明超声波的热封效果较好。由表2可知3种试验材料最大拉断力的大小排列情况是:材料A>材料B>材料C。这说明,在等等的参数条件下,超声波热封对纯塑材料(材料A)的热封强度要大于塑料薄膜复合材料(材料B和C)的热封强度。这是由于:①塑料薄膜的厚度小,并且铝箔的熔点高,超声波热封在短时间内产生的热量不足以融化铝箔而只有薄膜融合,所以塑料融合的厚度没有纯塑材料的多。②铝箔和纸的存在削弱了超声波热封的能量,所以在超声波热封的时候,复合材料产生的热量没有纯塑材料的多,而热量的多少决定了热封强度的大小。

纯塑材料在做拉伸试验时都在热封边缘处先发生断裂,而热封处基本没有发生剥落的现象,这说明热封处的强度大于热封边缘处的屈服强度。这是由于:纯塑材料的脆性大,超声热封只作用于材料的部分区域,在受到超声振动系统中激励位移和焊接压力共同作用时,热封边缘处的应力较大,材料会在该处最先发生应力屈服而断裂。因此,虽然纯塑材料的热封强度很高,但其热封边缘处易发生断裂而影响砖包的密封性,所以不适用于超声波热封。而加有铝箔和纸的复合材料没有发生断裂现象,这说明铝箔和纸的加入降低了热封边缘处的应力。

3.3 影响因素分析

对表2数据进行极差计算处理可以得到相应的极差,如表3所示。

表3 3种封合材料的试验数据极差
Table 3 Range of tensile test data of three sealing materials

因素	材料 A				材料 B				材料 C			
	K_1	K_2	K_3	R	K_1	K_2	K_3	R	K_1	K_2	K_3	R
焊接压力	152.203	189.380	152.230	37.177	118.373	104.210	106.885	14.163	60.935	53.513	94.842	41.329
超声时间	153.985	190.688	149.140	41.548	103.888	119.204	106.376	15.316	68.734	66.750	73.806	1.984
保压时间	146.204	177.683	169.926	31.479	97.936	109.693	121.839	23.903	74.248	75.235	59.807	14.441

表3中: K_1 是对应的因素所有水平1得到的最大拉断力之和; K_2 是对应的因素所有水平2得到的最大拉断力之和; K_3 是对应的因素所有水平3得到的最大拉断力之和;极差 R 是 K_1, K_2, K_3 中最大值与最小值之差,极差越大,说明该因素的影响越大。

由表3可知,材料A,3个因素都有较程度的影响,按照影响的主次关系可排为超声时间>焊接压力>保压时间;材料B可排为保压时间>超声时间>焊接压力,其中焊接压力和超声时间的影响程度非常接近;材料C可排为焊接压力>保压时间>超声时间,其中超声时间的影响程度较小。由此可见,对于不同的材料,3个因素的影响主次关系和影响程度均不同,这说明铝箔和纸的加入改变了这3个因素在食品砖包中影响主次关系及影响程度。

3.4 最佳参数组合的初步确定

对表2中最大拉断力进行曲线图绘制如图6所示。由图6和表2可以初步确定在现有的试验中,材料A的最佳工艺参数组合为:焊接压力0.15 MPa,超声时间0.4 s,保压时间0.5 s;材料B的最佳工艺参数组合为:焊接压力0.1 MPa,超声时间0.5 s,保压时间0.5 s;材料C的最佳工艺参数组合为:焊接压力0.2 MPa,超声时间0.5 s,保压时间0.4 s。

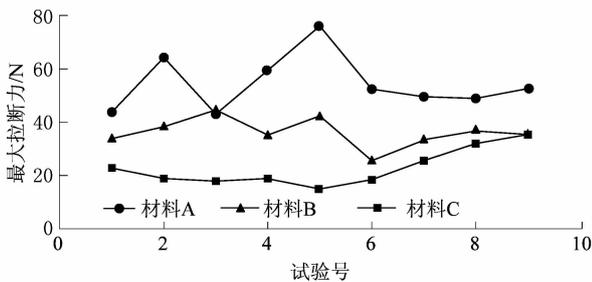


图6 3种封合材料的拉断力曲线图

Figure 6 Tensile force curve of three kinds of sealing materials

4 结语

1) 对比了3种食品砖包材料的超声波热封失效形式和热封强度。结果表明纯塑材料的热封强度最高,铝

塑材料其次,纸铝塑材料最低。热封失效形式有2种:热封边缘处断裂和热封处材料剥离,其中纯塑材料易在热封边缘处发生断裂,故不适用于超声波热封中。

2) 利用极差法分析了3个主要焊接因素对3种食品砖包材料的影响。分析表明,3个焊接因素在不同材料中的影响主次关系和影响程度均有很大影响,铝箔和纸的加入改变了这3个因素在砖包材料中影响主次关系及影响程度。

参考文献:

- [1] 梅瑜,活泼,谢国建. 国内外食品包装材料的研究进展[J]. 浙江农业科学,2013(11):1490-1497.
- [2] 史以君. 砖形无菌包装-未来食品包装的发展趋势[J]. 上海包装,1992(4):26-27.
- [3] 陈全东. 浅谈软包装热封工艺与热封方式[J]. 塑料包装,2006,16(4):29-30.
- [4] 张胜玉. 塑料超声波焊接技术[C]//2014年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集. 广州:广州市特种设备行业协会,2014:301.
- [5] 刘川. 超声波塑料焊接机理和工艺试验研究[D]. 大连:大连理工大学,2003:13-18.
- [6] 芦莉莉. 醚酞酮超声波焊接工艺研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007:19-26.
- [7] 高阳,赵云峰. 塑料复合薄膜超声波焊接工艺研究[J]. 宇航材料工艺,2009,39(2):67-70.
- [8] STOEHR N, BAUDRIT B, HABERSTROH E, et al. Ultrasonic welding of plasticized PLA films [J]. Journal of applied polymer science,2015,132(4):33-41.
- [9] 刘国东,祝锡晶. 塑料薄膜超声波热封工艺实验研究[J]. 包装工程,2009,30(6):27-29.
- [10] 张振强. 塑料微流控芯片超声波键合机理的仿真与实验研究[D]. 大连:大连理工大学,2008:44-51.
- [11] 何军华,马文娟,吕爽爽,等. 超声波焊接技术在工业产品设计中的应用探索[J]. 山东工业技术,2014(13):210.
- [12] 曹凤国. 超声加工[M]. 北京:化学工业出版社,2014:173.
- [13] 张菊珍,顾德焕. 超声波塑料焊接工艺[J]. 电子工艺技术,1990,11(5):37-42.
- [14] 高阳,陈凤波,赵云峰. 塑料超声波焊接质量影响因素的研究进展[J]. 宇航材料工艺,2006,36(6):9-12.
- [15] 赵漫漫. 软塑复合包装材料热封工艺及其机理研究[D]. 无锡:江南大学,2008:17-21.