

塑料薄膜超声波焊接研究

成全, 刘猛, 祝锡晶

(中北大学 山西省先进制造技术重点实验室, 太原 030051)

摘要: 利用 4 种不同厚度的 PP 薄膜进行超声热合实验, 分别得到热合强度最高时相应的超声时间。对封合处的剖面进行显微观测, 并对纸板进行同样的超声封合, 发现在超声波作用时, 材料间摩擦产生的热量是熔融材料实现焊接的主要原因。

关键词: 超声波焊接; 塑料薄膜; 热合强度

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)07-0055-03

Study on Ultrasonic Welding of Thin Plastic Films

CHENG Quan, LIU Meng, ZHU Xi-jing

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: PP films of 4 different thicknesses were welded with ultrasonic welding. The ultrasonic welding time corresponds to the peaks of joint strength was obtained. Profile of seal place was observed with microscope. The same ultrasonic welding method was applied to paperboard. It was founded that material friction heat is the main cause of fusion welding.

Key words: ultrasonic welding; thin plastic films; joint strength

在包装领域,塑料薄膜因其质轻、美观、柔韧、无毒无味、化学稳定性好以及低廉的价格而得到了广泛应用。随着科技的发展,塑料食品包装材料步入新的开发阶段,发展速度远远超过传统的纸、金属、玻璃等包装材料^[1]。塑料在包装领域应用大都要经过焊接,才能对各种物品进行包装。传统的焊接工艺为热封,现在越来越多地被超声波焊接所代替。超声波焊接塑料的历史虽然不长,但是具有焊接时间短、表面无损坏、非焊接区域不发热等优点,已被广泛用于同种材料或不同材料(例如金属/玻璃/塑料/陶瓷等)之间的连接^[2]。

对于热塑性塑料薄膜,目前主要的焊接技术有:外部加热焊接、内部热焊接、电磁致热焊接 3 类。其中超声波焊接属于内部热焊接,且具有不需要焊剂、焊接时间短、残余应变应力小、焊接强度高优点,在包装领域的应用越来越多。

对于塑料薄膜超声波焊接研究的报道相对较少,1996 年吴德光^[3]对包装塑料聚酯膜、低密度聚乙烯膜、PETP/Al/LDPE 膜进行了焊合与质量的研究,并

对多种封口方法进行了比较,对焊缝强度也进行了研究。Alejandro 等对热塑性聚氨酯(TPU)薄膜等进行了超声波焊接的探索性研究。刘国东等对塑料薄膜超声波热封工艺进行了实验研究,表明其焊接质量与焊接振幅、焊接时间、焊接压力等工艺参数有关^[4-5]。

1 塑料超声波焊接机理

在对塑料薄膜焊合的机理研究方面,现在大都沿用塑料超声波焊接机理。早期的理论普遍认为,塑料超声波焊接是靠焊件接触表面间摩擦产生热量实现的,当塑料工件表面产生超声波振动时,塑料质点快速振动,接触表面因摩擦而温度升高实现焊接,非焊接面没有摩擦,温度也不会升高。后来这一理论遭到质疑,Aliosio 通过试验指出,焊接过程中材料的温度在极短的时间内上升到熔化温度,与摩擦产热机理产生的温度场不符^[6]。Ng 通过试验与计算,指出粘弹性热在超声焊接过程中起重要的作用^[7]。在整个焊

收稿日期: 2011-01-12

基金项目: 教育部重点实验室研究基金资助项目(JMTZ200701);中北大学科学基金资助项目

作者简介: 成全(1969-),男,山西人,硕士,中北大学讲师,主要从事包装机械与超声波加工研究。

接过程中,焊区一般是封闭的,使得监测非常困难,这也使得他们得出的结论说服力不强。现在,虽然学者们对超声焊接机理做了大量的研究工作,但迄今为止还没有完全清楚其焊接的机理,该技术的应用还带有一定的随意性和盲目性,这便阻碍了它进一步的应用与发展。

对不同的塑料膜进行焊合试验,用超声波以一定振动方式施加到塑料薄膜表面,并在一定的压力下作用不同的超声时间,对热合强度与热合处的微观形貌进行研究,以揭示塑料薄膜的超声波焊接机理。

2 实验

2.1 材料与设备

材料:PP 薄膜,厚度分别为 12, 30, 100, 500 μm (乔鑫科技有限责任公司);普通纸板,厚度 0.5 mm (山西臣功包装有限公司)

设备:XLW(L) PC 智能电子拉力试验机(济南兰光机电技术发展中心);QDFM2125 型超声波软管封尾机(济南迅捷机械设备有限公司);V-0.08/8 空压机(天津市金晶气体压缩机制造有限公司);数码显微镜(基恩士国际贸易有限公司);YP0612B 超声振幅测量仪(杭州成功超声设备有限公司)。

2.2 条件

参考 QB/T 2358-98 试验方法进行。试验样品尺寸为:100 mm \times 15 mm。超声仪器输出功率 1 200 W,实验工具头振幅为 8 μm ,保压时间为 3 s,封合压力为 0.25 MPa。

2.3 原理

实验原理见图 1。

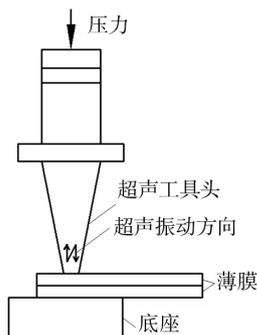


图 1 超声焊接工作原理

Fig. 1 Basic principle of ultrasonic welding

3 结果与讨论

3.1 超声时间对薄膜热合强度的影响

在不同的超声时间之下,4 种不同厚度塑料膜的热合强度实验结果见图 2。

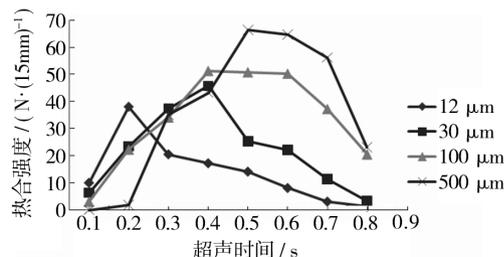


图 2 超声时间对热合强度的影响

Fig. 2 Influence of ultrasonic welding time on joint strength

从图中可以看出,开始时热合强度随超声时间增加而增加,热合强度增大后,随超声时间的增长强度很快减小;不同厚度的 PP 膜达到最大热合强度的超声时间不同,分别为 0.2, 0.4, 0.4, 0.5 s,随薄膜厚度的增加而增加;热合强度达到最大值后又都随超声时间的增加迅速减小,说明多余的超声能量损害了热合面,强度降低最快的为厚度 500 μm 的薄膜,这是因为超声时间过长在焊区会产生过熔现象,见图 3。熔化

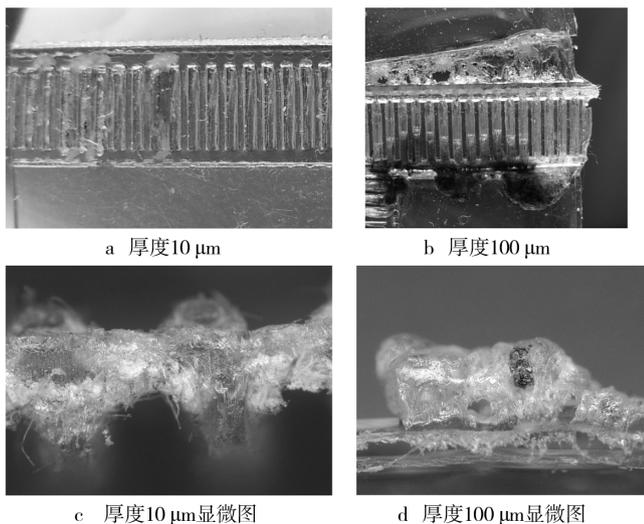


图 3 超声时间过长的实验结果

Fig. 3 Photograph of too long ultrasonic welding time

的热塑层范围扩大且会发生塑料变性分解,致使焊接边缘变脆,容易断裂;另一方面,在工具头压力的作用下熔化的热塑层会被挤出一部分,使得焊接区厚度减

小,以至于强度变小。不同厚度的 PP 薄膜具有一个特定的最佳超声热合时间,并不是超声时间越长越好,应尽量采用低的加热温度。

3.2 热合处的材料

塑料热合处的显微图见图 4。可以看出,热合区

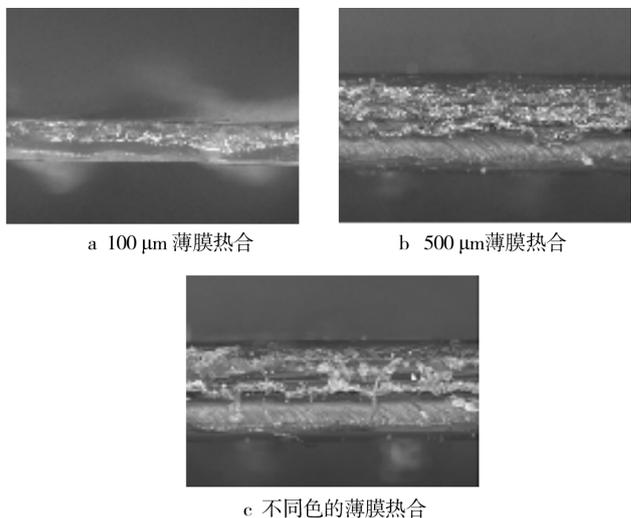


图 4 热合层显微照片

Fig. 4 Microscopic image of heat sealing layer

组织有明显的熔化组织流动痕迹,这是焊接过程中,熔化组织在工具头压力的作用下以很大的速度向外挤出的原因,这时熔体组织被挤出的速度在厚度方向上是不相同的,其剪切速率约在 $1000 \text{ L/s}^{[8]}$ 以上,因此塑料分子在高剪切作用下会在流动方向上发生变形和取向,超声振动停止时,塑料组织温度迅速下降到玻璃化温度而凝固,发生的变形和取向被保留下来。这时保留下来的塑料热合层次显得较为紊乱,2层塑料熔化后经过相互的运动充分融合,说明塑料分子在熔化状态下具有很强的扩散能力,这种能力来源于工具头超过每秒 2 万次的超声振动能量。这种情况的发生有助于热合强度的提高,同时也说明超声波焊接是通过工件接触面的温度升高进而熔化了本料进行粘合的,这一点在厚度为 $100, 500 \mu\text{m}$ 的薄膜上比较清晰(见图 4a, b),不同颜色的同一厚度的材料更为清楚(见图 4c)。

3.3 焊接机理

虽然在以上的分析中,能够得出塑料分子的变形和取向受熔体剪切速率的影响,但超声波焊接过程短暂而复杂,焊接区一般封闭,使得对焊接过程的参数监测变得非常困难,探索超声焊接的机理同样较为困难。可以换一种方法来进行,用薄纸板来代替塑料薄

膜进行焊接实验,见图 1,结果显示:随超声时间的增加两纸板间相接触的表面逐渐表现出明显的烧灼痕迹,见图 5,超声时间为 0.8 s 时还有明显的粘连现象

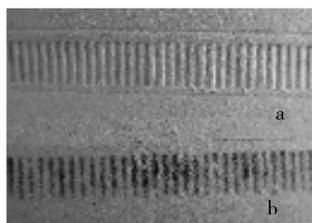


图 5 纸板正面 a 与结合面 b

Fig. 5 Positive surface a and joint surface b of cardboard

发生,见图 6,而纸板与工具头相接触的一侧和另一

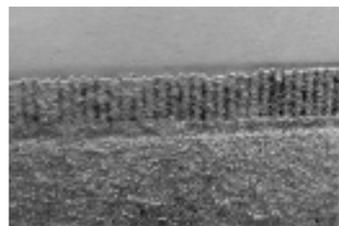


图 6 纸板结合面的粘连

Fig. 6 Jointed cardboard by ultrasonic welding

纸板与底座相接触的一侧并没有这些现象的发生(见图 5a),这说明只在两纸板接触面之间产生了大量的热,这种热足以使纸板烧焦(见图 5b)。这时纸板间不存在其它形式的运动,只有工具头传到纸板纤维的高频振动,纸板间的纤维只能发生摩擦以产生大量的热,这是超声焊接的主要原因。至于图 6 中纸板间发生的粘连现象,可能为纸板的分子获得高频振动带来高的动能,以进行分子扩散的原因。那么塑料超声焊接中,同样会在塑料薄膜相互接触的表面因振动而产生大量摩擦热,另塑料的热传导率较低,这都使该区域的塑料组织温度迅速升高超过玻璃化温度,最终塑料组织熔化实现熔融连接。另外塑料摩擦生热后具有粘弹性,当施加交变应力时,引起分子间连续交替的受压和解压,提高了分子间的势能,这种能量也会以热能的形式表现出来使塑料组织熔化,这与纸板焊接不一样。但这部分材料在工具头压力作用会被挤走,材料摩擦生热继续进行,可见摩擦生热是超声波焊接的主要原因。因纸板不具有粘弹性,这几个图都清楚地说明超声波封合主要是通过工件表面摩擦生热,使温度升高而实现的。

系统以提高军队军品包装效能为主要目的,为军品包装的信息化和标准化提供规范的环境。该系统的逻辑结构分为资源层、功能层和应用层。

1) 资源层是整个军品包装并行全生命周期管理的基础,它将军品包装资源如粘合剂、隐身材料、缓冲材料、木材、塑料、防电磁材料等材料,以及桶、盒、袋、包、套、盘等容器,和供应商、军用包装设计知识等进行统一描述,并建立军品包装标准化工作流程。

2) 功能层是整个军品包装并行全生命周期管理的核心,构建各种功能服务,可支持分布异地的军品包装并行全生命周期管理工作。

3) 应用层是整个军品包装并行全生命周期管理的最上层,在此基础上,满足各种用户对军品包装并行全生命周期管理的需求,如科研机构可以实时调用包装知识库进行运输包装件试验,辅助设计人员完成军品包装设计和工艺决策。

4 结语

现代战争环境的诸多因素对军用装备的生产、运输、使用、储存和作战效能都产生了重要的影响。作

(上接第 57 页)

4 结论

只对 PP 薄膜材料焊接中超声超声时间进行了研究,并没有在不同的振幅、工作压力、工作频率、保压时间以及功率之下进行全面探讨,旨在更好揭示超声焊接的机理。通过研究得到,在某种条件下,不同厚度的 PP 薄膜具有一个特定的最佳超声热合时间,可使其热合强度最高,超声时间或长或短,热合强度都会减小;材料在超声振动的作用下,表面摩擦产生大量的热是实现焊接最主要的原因。塑料超声波焊接机理复杂,焊接质量受众多因素影响,如材料种类、工具头的状况以及超声波频率的稳定性等方面,还需作进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 薛艳丽. 塑料食品包装材料的新进展[J]. 塑料制造, 2010(8): 71-73.
- [2] BRODYANSKI A, BORN C, KOPNARKI M. Nm-scale

为军事保障的重要组成部分,基于系统论思想,采用并行工程和产品全生命周期的方法指导军品包装工作,实施军品包装并行全生命周期管理,可以达到军品包装的整体最优化。

参考文献:

- [1] 颜汝明, 杨宝忠. 军品包装系统工程——军品包装持续发展的必由之路[J]. 中国包装工业, 2005(4): 11-13.
- [2] 谢关友, 李良春. 基于通用弹药包装现状的集装必要性分析[J]. 武器装备自动化, 2008, 27(2): 22-24.
- [3] 李荣强, 黄晓霞. 新世纪武器装备包装的研究与发展方向[J]. 包装工程, 2004, 25(6): 161-163.
- [4] 黄晓霞, 李荣强. 军用保障与快速反应的包装技术[J]. 包装工程, 2008, 29(5): 146-147.
- [5] 董治光, 杨久成. 自动识别技术在军品包装中的运用策略[J]. 物流工程与管理, 2008, 30(10): 96-97.
- [6] 吴石, 黎明, 赵耀辉. 我国武器装备产品包装标准体系的构建[J]. 包装工程, 2007, 28(10): 149-150.

Resolution Studies of the Bond Interface between Ultrasonically Welded Al-alloys by an Analytical TEM: a path to Comp Rehead Bonding Phenomena[J]. Applied Surface Science, 2005, 252(1): 94-97.

- [3] 吴德光. 论包装塑料膜的焊合与质量[J]. 云南农业大学学报, 1996, 11(1): 39-44.
- [4] ALEJANDRO A. An Optimization Study of the Ultrasonic Welding of thin Film Polymers[C]. Proceeding of ASME Design Engineering Technical Conference, 2004: 75-84.
- [5] 刘国东. 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.
- [6] ALIOSIO C J, WAHL D G, WHETSEL E E, et al. Thermoviscoelastic Analysis of Ultrasonic Bonding[C]. Annual Technical Conference. Santa Clara, CA, USA, 1972: 26-32.
- [7] NGW C. Study of Vibration and Viscoelastic Heating of Thermoplastic Parts Subjected to Ultrasonic Excitation [D]. Columbus: Ohio State University, 1996.
- [8] 闫久春. 塑料超声焊接头熔化状态与强度[J]. 声学学报, 2001, 26(2): 104-108.