

塑料复合薄膜超声波焊接工艺研究

高 阳 赵云峰

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 对聚对苯二甲酸乙二醇酯(12 μm PET)/流延聚乙烯(30 μm PE)和聚酯(12 μm PET)/聚丙烯(30 μm CPP)两种复合薄膜进行超声波焊接工艺研究,发现焊接振幅、焊接时间、焊接压力都影响焊接接头的热合强度。结果表明,聚乙烯基复合薄膜焊接接头的热合强度明显高于聚丙烯基复合薄膜;采用大焊接振幅和短焊接时间的焊接方式或采用小焊接振幅和长焊接时间的焊接方式,能够得到相似的焊接质量;PET/PP复合薄膜在适宜的焊接振幅范围内(5~7 μm)的焊接接头热合强度高,PET/PE复合薄膜的焊接接头热合强度受焊接振幅的影响较小;随着焊接时间的延长,两种复合薄膜焊接接头的热合强度呈现先增加后减小的变化趋势;当焊接压力约为150 N时,两种复合薄膜的焊接接头热合强度均达到最大值。

关键词 超声波焊接,PET/PP复合薄膜,PET/PE复合薄膜,焊接时间,焊接压力,焊接振幅

Processing of Ultrasonically Welded Laminated Films

Gao Yang Zhao Yunfeng

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The paper reviews ultrasonically welding process of 12 μm PET/30 μm PE and 12 μm PET/30 μm CPP laminated films. Welding time, welding pressure and amplitude affect welding quality of the films. The experimental data indicate that joint strength of PET/PE films is higher than that of PET/PP films. The similar welding quality can be achieved in the welding process either by bigger welding amplitude and shorter welding time or by lower welding amplitude and longer welding time. When welding amplitude is from 5 μm to 7 μm , PET/PP films can reach high joint strength. Joint strength of PET/PE films is not influenced by welding amplitude. The longer lasting time of welding time, the higher joint strength of both laminated films. In addition, when welding pressure achieves 150 N, both laminated films between PET/PP and PET/PE attain the highest joint strength.

Key words Ultrasonic welding, PET/PP laminated films, PET/PE laminated films, Welding time, Welding pressure, Welding amplitude

1 前言

塑料超声波焊接技术是新近发展起来的塑料二次加工方法之一,它是借助超声波使塑料件接触面的分子快速融合在一起的一种加热连接方法,具有时间短、表面无损坏、非焊接区域不发热、无需前处理、操作简单等优点,已经广泛地应用于航空航天、仪器仪表、食品包装、电子工业等领域。

塑料超声波焊接工艺参数与焊接设备的频率和焊接材料的形状有关,且对焊接质量有显著的影响^[1]。大多数文献报道的研究工作都是基于20 kHz的超声波焊接设备和塑料及其复合材料的片材、板材

而完成的,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^[1~4]。但针对塑料薄膜超声波焊接研究的报道很少,吴德光^[5]对包装塑料聚酯(12 μm PETP)/低密度聚乙烯(100 μm LDPE)膜、PETP(12 μm)/Al(12 μm)/LDPE(75 μm)膜,Alejandro等^[6]对厚度为0.254~1.016 mm热塑性聚氨酯(TPU)薄膜等进行了超声波焊接的探索性研究,其薄膜厚度在100 μm 以上,焊接设备频率为20 kHz,且未对塑料薄膜的焊接质量与工艺参数的关系进行系统研究。

本文利用40 kHz超声波设备对总厚度小于50

收稿日期:2008-08-12;修回日期:2008-10-06

作者简介:高阳,1980年出生,硕士,主要从事工程塑料及制品成型工艺的研究。E-mail:gaoyang_1980@163.com

μm 的聚酯(12 μm PET)/聚丙烯(30 μm CPP)和聚酯(12 μm PET)/聚乙烯(30 μm PE)复合薄膜进行了焊接工艺研究,得到了焊接振幅、焊接时间、焊接压力等工艺参数对焊接接头热合强度的影响规律。

2 实验

2.1 材料

PET:12 μm 厚薄膜,佛山杜邦鸿基塑料包装有限公司;CPP:30 μm 厚薄膜,天津津泽有限公司;PE:30 μm 厚薄膜,北京金信恒泰包装有限公司;YH2000S/YH10:胶黏剂,北京高盟化工有限公司。

2.2 试样准备

复合薄膜试样:采用干式复合方法将 PET 和 CPP 通过 YH2000S/YH10 粘接在一起,制备成 PET/CPP。采用干式复合方法将 PET 和 PE 通过 YH2000S/YH10 粘接在一起,制备成 PET/PE。

超声波焊接试样:沿复合薄膜的纵向取样,上下两片试样采取平面搭接形式。图 1 为复合薄膜焊接试样,使用胶带将上下两试样固定在一起,避免试样在焊接过程中产生滑动,焊接线保证上、下焊接试样与焊缝完全平行。

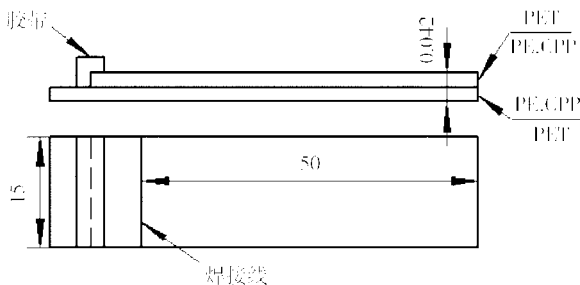


图 1 复合薄膜超声波焊接试样

Fig.1 Sketch map of ultrasonically welded laminated films

2.3 设备

干式复合设备:GF-750A 型,北京富昌铝塑彩印厂;超声波焊接设备:2000f 型,美国必能信公司;超声波工作频率为 40 kHz,焊接时间为 0.001~10 s,焊接压力为 63~600 N,焊接振幅为 0~10 μm。电子万能试验机:WD-40025 型,中国科学院长春科新实验仪器研究所。

2.4 性能测试

焊接接头热合强度测试参考塑料薄膜包装袋热合强度试验方法(QB/T2358—98),在 WD-40025 型电子万能试验机上进行。

3 结果与讨论

3.1 焊接振幅对接头热合强度的影响

振幅是塑料超声波焊接中首要选择的工艺参数,如果振幅太小,焊接界面产生的能量不够,界面温度

达不到材料的熔点,不能扩散形成稳定的焊接接头;如果振幅太大,超声波对材料冲击较大,使焊接区域的熔融挤出增多,焊接接头热合强度降低。PET/CPP、PET/PE 复合薄膜超声波焊接其焊接振幅对接头热合强度的影响规律如图 2 所示。

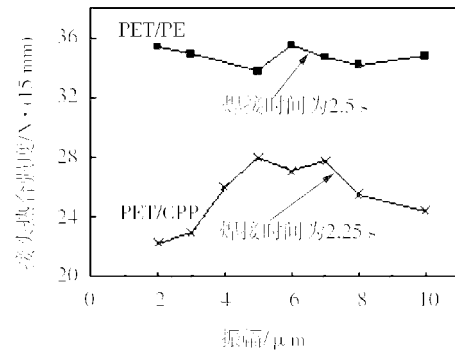


图 2 接头热合强度与振幅的关系

Fig.2 Relation between joint strength and amplitude

从图 2 中可以看出:(1)PET/CPP 复合薄膜焊接接头的热合强度开始随着焊接振幅增加而增加,当焊接振幅达到 5 μm 后,接头的热合强度基本保持不变,直到焊接振幅超过 7 μm 后,接头的热合强度迅速下降;(2)PET/PE 复合薄膜焊接接头的热合强度在 2~10 μm 振幅范围内基本不变,振幅变化对接头热合强度的影响不明显。

超声波焊接过程中,由摩擦振动机理和应力应变的储能及转换机理可知:部分机械能要转化成使塑料熔融的热能,如公式(1)^[3]:

$$Q = \frac{\omega \varepsilon_0^2 E''}{2} \quad (1)$$

式中, Q 为单位时间内平均消耗能量; ω 为频率; ε_0 为应变振幅; E'' 为塑料损耗模量。

从公式(1)可知,单位时间内平均消耗的能量与振幅的平方成正比,转化能量的多少直接影响塑料焊接界面温度的高低,因此振幅增加有利于能量扩散,当振幅达到一定值后提供的热能才能使高分子熔融,振幅就存在一个下限值;当振幅超过某一上限值,转化的热能就增多,过多的热能可能使高分子分解氧化,产生飞边气泡等,降低了焊接接头质量。因此对于 CPP 基复合薄膜而言,焊接振幅存在下限值和上限值。

超声波焊接中能量的扩散不仅与振幅有关,还与材料的损耗模量有很大关系。不同材料的损耗模量也不相同。由于 PE 的损耗模量远远大于 CPP 的损耗模量,在 40 kHz 超声波工作频率下 PE 的损耗模量比 CPP 损耗模量大 0.2 GPa^[7],焊接中 PE 基复合薄

膜机械能的转化能力远远大于 CPP, 由于设备振幅的变化范围较小(0 ~ 10 μm), 因此振幅变化对 PE 基复合薄膜的影响作用相对较弱。

3.2 焊接时间对接头热合强度的影响

焊接时间的长短决定超声波焊接设备提供能量的多少。在实际焊接过程中, 过短的焊接时间会造成塑料不能熔化或熔化量过少, 不能使工件可靠焊接; 过长的焊接时间会造成工件表面温度过高, 产生过焊、飞边, 破坏焊接件的表面, 使远离焊接区的非焊接表面产生“粘连”。PET/PE、PET/PE 复合薄膜超声波焊接其焊接时间对接头热合强度的影响规律如图 3 所示。

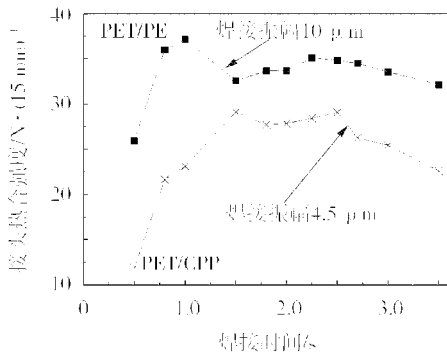


图3 接头热合强度与焊接时间的关系

Fig. 3 Relation between joint strength and welding time

从图 3 可以看出:(1)两种复合薄膜焊接接头热合强度随时间的变化规律是相同的,随着焊接时间的增加,焊接接头的热合强度呈现先增大后减小的趋势;(2)PET/PE 复合薄膜先于 PET/PP 复合薄膜达到最大焊接接头热合强度值。因为在超声波焊接过程中,焊接界面产生的温度与焊接时间成正比,焊接时间增加,在复合薄膜内层两接触界面产生的温度就升高,温度越高,界面熔化的塑料就越多,上下表面在压力作用下的相互结合就越充分,熔融区域分子链之间的缠结就更加充分,宏观表现为焊接接头的热合强度升高;但是太长的焊接时间会降低焊接接头的热合强度。一方面,过度的热量使得焊接热影响区的面积变大和边缘热应力集中更加明显,焊接边缘容易断裂;另一方面,由于薄膜的厚度仅为几十微米,过度的热量在纵向传递过程中,容易影响复合薄膜本身的性质,使原本取向的外层薄膜材料变得无序。复合薄膜中 PE 比 CPP 的熔点低,损耗模量大,在较短时间内能够在焊接界面产生使其熔化所需的能量,所需焊接时间较短。

3.3 焊接压力对接头热合强度的影响

PET/PP、PET/PE 复合薄膜超声波焊接其焊接

压力对接头热合强度的影响规律如图 4 所示。从图 4 可以看出:对于两种复合薄膜,都存在一个最佳的焊接压力值。接头的热合强度开始随着焊接压力的增大而迅速增加,当超过 150 N 后,接头的热合强度随着焊接压力的增大而迅速降低。因为较低的焊接压力不能使接触面紧密结合,存在大面积的空气区域,在一定时间的超声波作用下,大部分超声波振动损失在空气中,界面摩擦升温很不充分,形成的熔合区域很不均匀,接头的热合强度不高。当焊接压力达到一定值后,可以认为界面结合很紧密,界面温度迅速升高。压力有利于高分子链的扩散,接头区域形成致密结构,在一定范围内热合强度也升高。但是焊接压力过高,熔融高分子挤出流动加快,高分子链沿焊接表面横向排列,边缘热应力集中加剧,引起焊接边缘脆性断裂。此外,焊接压力增加,金属焊头边缘容易对薄膜造成损伤,导致热合强度突然降低。

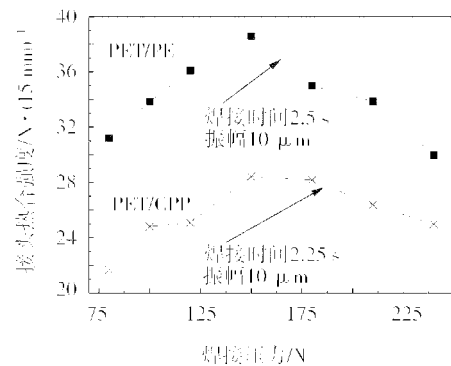


图4 接头热合强度与焊接压力的关系

Fig. 4 Relation between joint strength and welding pressure

3.4 工艺参数的共同作用对焊接质量的影响

在超声波焊接过程中,不仅单个工艺参数对接头的热合强度有影响,而且焊接振幅和焊接时间的交互作用对接头热合强度也有影响。PET/PP 复合薄膜在焊接时间和焊接振幅交互作用下接头热合强度的变化规律如图 5 所示。

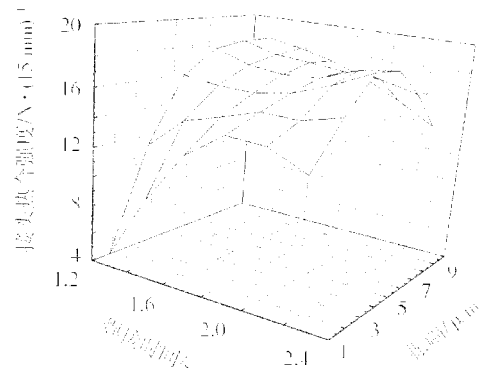


图5 接头时间与振幅交互作用对接头热合强度的影响

Fig. 5 Effect of welding time and amplitude on joint strength

从图5中可以看出:

(1)短的焊接时间、大的焊接振幅和长的焊接时间、小的焊接振幅能够得到相同的接头热合强度;

(2)采用短的焊接时间和小的焊接振幅得到接头的热合强度很低,长的焊接时间和大的焊接振幅得到接头的热合强度也不大;

(3)在一定范围内随着焊接振幅和焊接时间的增加,接头的热合强度升高,但是超过一定上限值后,接头的热合强度反而降低。

在塑料超声波焊接过程中要考虑二者之间的交互作用,延长焊接时间就要适当减小焊接振幅,缩短焊接时间就要适当增加焊接振幅。对同种材料进行超声波焊接时,存在两种可供选择的工艺参数。

(1)大焊接振幅和短焊接时间。在大焊接振幅的作用下,结合界面的能流密度增加,界面升温速度加快,界面试样在短的焊接时间内迅速融化,而且形成的融化层厚度较薄,接头区域的过热组织少,表观质量好,生产效率高。但是焊接试样容易滑移错位,对焊接试样的夹持和变幅杆的设计提出更高的要求。

(2)小焊接振幅和长焊接时间。在小焊接振幅的作用下,结合界面的能流密度小,单位时间内焊接界面的发热量少,焊接区域的温度上升缓慢,延长焊接时间来提高焊接界面的热量,使焊接区域的试样融化,温度在厚度方向上分布平缓,塑性区域较宽,试样不会滑移和错位,对焊接试样的夹持和焊接设备的部件要求低。但是接头在压力作用下更容易变形,使熔融区的厚度变大,热影响区的晶粒长大明显,表观质量变差,接头的热合强度下降。

4 结论

(1)在适宜的焊接振幅范围内(5~7 μm),PET/

CPP复合薄膜的接头热合强度高,当复合薄膜选用损耗模量较大的PE作为内层材料时,焊接振幅对接头热合强度的影响作用减小;

(2)随着焊接时间的延长,两种复合薄膜接头的热合强度呈现先增加后减小的趋势,当复合薄膜达到最大的接头热合强度时,PE基复合薄膜所需时间比CPP基复合薄膜短;

(3)当焊接压力约为150 N时,两种复合薄膜的接头热合强度均达到最大值;

(4)采用大焊接振幅和短焊接时间的焊接方式和采用小焊接振幅和长焊接时间的焊接方式,能够得到相似的焊接质量;

(5)PET/PE复合薄膜接头的热合强度明显高于PET/ CPP复合薄膜。

参考文献

- 1 高阳,陈风波,赵云峰.塑料超声波焊接质量影响因素的研究进展.宇航材料工艺,2006;36(6):9~13
- 2 高阳,赵云峰.塑料超声波焊接工艺研究进展.中国行业资讯大全,塑料行业卷,2007;(3):120~123
- 3 Avraham B et al. Ultrasonic welding of thermoplastics in the far-field. Poly. Eng. Sci.,1989;29(23):1 689~1 704
- 4 Erol Sancaktar, Eric Waleker. Effects of calcium carbonate, talc, mica and glass-fiber fillers on the ultrasonic weld strength of polypropylene. Journal of Applied Polymer Science, 2004; 94(4):1 986~1 998
- 5 吴德光.论包装塑料膜的焊合与质量.云南农业大学学报,1996;11(1):39~44
- 6 Alejandro A et al. An optimization study of the ultrasonic welding of thin film polymers. In: Proceeding of ASME design engineering technical conference, 2004:75~84

(编辑 李洪泉)