

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.03.005

# 塑料包装袋热合强度的失效模式分析

张红静, 张国庆, 王翠青

(鲁南煤化工研究院, 山东 济宁 272000)

**摘要:** 热合强度是考核复合塑料包装袋热合面封口牢固度的一个重要指标, 检测标准中并没有说明测量热合强度时的失效模式。根据 QB/T 2358—1998《塑料薄膜包装袋热合强度试验方法》, 对 PET/Al/PA/R CPP 结构、OPP/VMPET/PE 结构、PET/R CPP 结构、PET/Al/PA/R CPP 结构薄膜和阴阳镀铝复合薄膜几种不同材质塑料包装袋进行了热合强度试验, 总结得出了 5 种失效模式, 即热封层剥离、热封边缘断裂、薄膜断裂、薄膜分层、先分离后撕裂, 结合测量曲线图与失效模式图, 分析了各失效模式的形成原因, 以便有效指导与改进塑料包装袋的生产工艺。

**关键词:** 热合强度; 失效模式; 塑料包装袋; 剥离

**中图分类号:** TB487

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2015)03-0027-05

## Failure Mode Analysis of Heat Sealing Strength of Plastic Packaging Bag

Zhang Hongjing, Zhang Guoqing, Wang Cuiqing

(Lunan Research Institute of Coal Chemistry, Jining Shandong 272000, China)

**Abstract:** An important indicator of sealing fastness for composite plastic bags is heat sealing strength. Its failure mode has not been explained in testing standards. According to QB/T 2358—1998 of *Test Method for Heat Sealing Strength of Plastic Film Packaging Bag*, experiments for heat sealing strength were conducted with plastic packaging bags of different materials, such as PET/Al/PA/R CPP film, OPP/VMPET/PE film, PET/R CPP film, PET/Al/PA/R CPP film and aluminum laminated film. Five failure modes were concluded as: heat seal peeling, heat seal edge fracture, film fracture, film layered, separation and tearing. Analysis on the causes of failure combined with the measurement graphs and failure mode patterns could effectively guide and improve the production process of plastic bags.

**Key words:** heat sealing strength; failure mode; plastic film packaging bag; peeling

## 0 引言

热合强度俗称热封强度、封口强度, 是指材料热封性能的优劣, 它是靠外部热量与压力将材料黏合在一起, 再利用拉力机对其热封口处进行检测得到的结果。热封强度是考核复合包装袋热合面封口牢固度的一项重要指标, 它反映了包装袋的综合物理

机械性能<sup>[1]</sup>。热封是热和力共同作用的结果, 即在熔融状态下, 塑料封口表面的高分子链段相互扩散、渗透, 相互缠绕, 使得封口密闭。在实际使用过程中, 塑料包装袋大部分的破损都发生在热封处, 热封性能优劣直接影响包装的质量和效果。因此, 塑料包装袋的热合强度和封口的完整性一直是包装产品生产中的质量控制要素<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2015-04-30

作者简介: 张红静(1981-), 女, 河南安阳人, 鲁南煤化工研究院工程师, 河南工业大学硕士生, 主要研究方向为包装检测, E-mail: zhanghongjing@foxmail.com

塑料包装袋热合强度的检测标准为QB/T 2358—1998《塑料薄膜包装袋热合强度试验方法》<sup>[3]</sup>,该标准阐述了热合强度的测量方法,但是没有说明热合强度的失效模式。因此,本研究通过电子万能试验机,对5种不同结构复合薄膜制备的5种不同材质包装袋进行了热合强度试验,得出常见的塑料包装袋热合强度失效模式,并通过分析测量结果与曲线图,研究了5种失效模式产生的可能原因,以期改进包装袋生产工艺提供一定的理论指导。

## 1 热合强度试验

### 1.1 试验准备

1) 试验原理。目前,国际上普遍认同的热封理论为高分子在温度、压力、时间共同作用下相互扩散融合的扩散理论<sup>[4]</sup>。热合强度的试验原理,是以试样热合部位为中心,沿着试验机主轴方向恒速拉伸,直到试样断裂或撕裂,测量试样在这一过程中所承受的负荷。

2) 试验设备。选用济南思达测试技术有限公司生产的WDW-05型电子万能试验机,其精度为0.001 mm,配备计算机及配套软件,可以显示应力与应变曲线,并能记录试验过程中的检测数据,自动计算相关数据。

整个热合强度测定试验均在恒温恒湿实验室中进行,且测试过程中的环境温度为19~22℃,湿度为49%~52%。

3) 样品的选取与试样的制备。制备复合包装膜常用的材料包括:聚乙烯(poly(ethylene), PE),具耐低温性能;蒸煮级流延聚丙烯薄膜(retort cast polypropylene, RCPP),耐高温;聚酰胺(polyamide, PA),能增加复合膜的物理强度,耐穿刺;铝箔Al,能增加复合膜的阻隔性能,遮光;聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET),能增加复合膜的机械强度、挺性;定向聚丙烯(oriented polypropylene, OPP),能增强复合膜的密封性能,防伪;聚酯镀铝膜(VMPET),具有遮光、防紫外线照射性能,既能延长包装物的保质期,又能提高薄膜的亮度,具有价廉、美观及较好的阻隔性能。常见包装用复合膜种类为PA/PE、PA/RCPP、PET/PE、PET/RCPP等双层复合膜,为了增加材料质地与性能,也有3层、4层复合的包装薄膜,常见的有PET/PA/PE、PET/Al/RCPP、PA/Al/RCPP、PET/PA/Al/RCPP等。为了使研究结论具有普遍适用性,本研究中,样品选取如下几种市面上较为常用的塑料复合膜制备包装袋:PET/Al/PA/RCPP结构薄膜、OPP/VMPET/PE结构

薄膜、PET/RCPP结构薄膜、PET/Al/PA/RCPP结构薄膜、阴阳镀铝复合薄膜,均由泗水宏大伟业印务有限公司生产。

各试样包装袋利用上述5种结构薄膜使用冲切方法制备,试样宽15 mm,长100 mm,裁取侧面热合、背面热合、顶部热合、底部热合4个位置样条各10条,试样保证无扭曲,相邻平面间相互垂直,且表面和边缘无划痕、空洞、凹陷和毛刺<sup>[3]</sup>。

### 1.2 试验过程

1) 打开计算机软件和电子万能试验机,预热0.5 h,然后对试验机进行校准;

2) 调整电子万能试验机初始夹间距为50 mm,将试样以热合部位为中心,打开成180°,把试样两端与电子万能试验机轴线成一条直线装夹在夹具中,试样在未启动试验前处于不受力状态;

3) 设定各试验软件参数,并设定试验速度为300 mm/min<sup>[3]</sup>;

4) 试验开始,观察试验机上试样的变化和软件上的曲线图。

若试样断在夹具内,则此试样作废。试验结果以10个试样的算术平均值为热合强度,单位以N/15 mm表示,取2位有效数字。

## 2 试验结果与分析

对选用的5种不同结构复合薄膜制备的包装袋样条热合强度进行对比试验,得到了5种典型的失效模式,即热封层剥离、热封边缘断裂、薄膜断裂、薄膜分层、先分离后撕裂。

### 2.1 热封层剥离

在测量各种塑料包装袋样条热合强度的过程中,发现样品PET/Al/PA/RCPP结构蒸煮袋样条从封口处的热封层之间慢慢剥离开,此种失效模式称为“热封层剥离”,这是一种典型的塑料包装热合强度的失效模式。图1所示为样品热封层剥离曲线图,图2所示为其失效模式图。

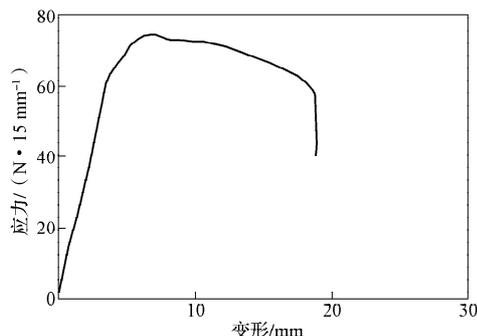


图1 热封层剥离曲线图

Fig. 1 Curve of heat seal peeling

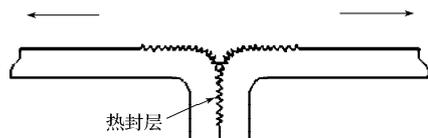


图2 热封层剥离失效模式图

Fig. 2 Failure mode of heat seal peeling

由图1可以得知,该结构样品薄膜的热合强度曲线图呈先升高后降低的变化趋势,其应力的最大值为74.26 N/15 mm。在应力未达到最大值前,封口未被分开,薄膜被拉伸延长了7 mm左右;当应力达到最大值时,封口开始被剥离,应力值下降;当应力值下降至41.35 N/15 mm时,蒸煮袋封口被完全剥离开,总的拉伸过程变形量为17.8 mm。

这种失效模式说明:在制袋过程中,其工艺条件有待改善。通过调节热封温度、热封压力、热封时间,可以提高复合膜的热合强度,而热封温度过高或过低可能引起复合膜热封强度异常,导致热封处剥离。图1显示出样条的热合强度为74.26 N/15 mm,这已经是个不错的结果。

## 2.2 热封边缘断裂

测量 OPP/VMPET/PE 结构复合膜的热合强度时,复合膜在热封内边缘处断裂,此种失效模式称为“热封边缘断裂”。图3所示为样品热封边缘断裂曲线图,图4所示为其失效模式图。

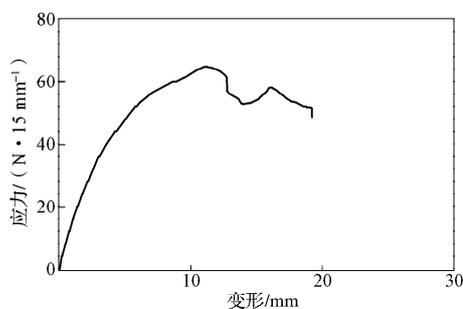


图3 热封边缘断裂曲线图

Fig. 3 Curve of heat seal edge fracture

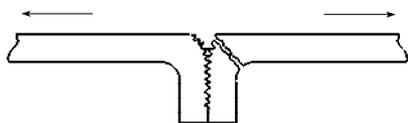


图4 热封边缘断裂模式图

Fig. 4 Failure mode of heat seal edge fracture

由图3可以得知,该塑料包装薄膜封口剥离热合强度的应力值呈现出先升高后降低、再升高后降低的变化趋势。该薄膜的应力值从开始到41.23 N/15 mm范围,是薄膜的弹性变形阶段;此后到63.74 N/15 mm范围是复合膜的塑性变形阶段,此前两个阶段薄膜被拉伸延长了12.35 mm。此后,应力曲线在下降中又出现了一个上升阶段,此时薄膜封口处的内边缘开

始出现撕裂现象,当应力值下降至49.56 N/15 mm时,薄膜完全断裂。

热封边缘断裂是复合膜在热封口的内缘处发生断裂,这说明热封口的内缘是复合薄膜中拉断力的最低点。在热封过程中,由于热封层的熔点较低、温度调节过高、热封压力过大、封口时间过长等原因,使得封口处的热封层薄膜已经完全熔合到一起,很难从热封层之间分离,又极易损伤热封处的材料,使之熔融挤出<sup>[4]</sup>,形成了热封层厚度的薄弱带,使复合膜在该处的拉伸强度降低而断裂,同时复合袋的耐冲击性能降低。

## 2.3 薄膜断裂

在测量各种塑料包装袋热合强度的过程中,发现 PET/RCPPE 结构蒸煮袋试样在远离封口处的地方出现撕裂现象,故将这种失效模式称为“薄膜断裂”。此模式也是较为常见的一种。如图5所示为样品薄膜断裂曲线图,图6所示为其失效模式图。

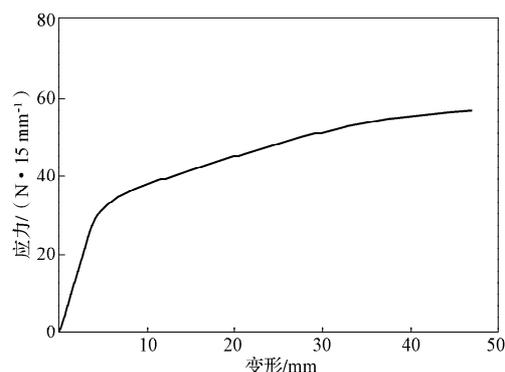


图5 薄膜断裂曲线图

Fig. 5 Curve of film fracture

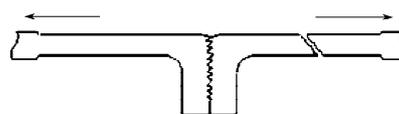


图6 薄膜断裂模式图

Fig. 6 Failure mode of film fracture

由图5所示薄膜断裂曲线可知,该塑料包装薄膜样条的封口剥离热合强度的应力值一直逐渐增大。从0到30.48 N/15 mm,应力值快速增大,这是复合薄膜的弹性变形阶段;此后到56.27 N/15 mm阶段为塑性变形阶段,直至薄膜突然被拉断,薄膜被拉伸延长了47.85 mm。整个测量过程中,塑料袋的热封部分保持完好,而在距离封口30 mm处发生断裂。

造成薄膜断裂现象的原因,可能为薄膜厚度偏差过大、印刷基材的拉断力较低及制样有毛刺等。

## 2.4 薄膜分层

在测量各种塑料包装袋热合强度的过程中,发现样品 PA/RCPPE 结构薄膜在封口处一侧或两侧同时

发生分层,内层薄膜在封口内边缘发生断裂,故将此失效模式称为“薄膜分层”。图7所示为样品薄膜分层曲线图,图8所示为其失效模式图。

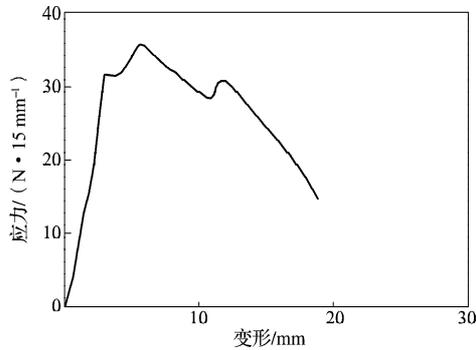


图7 薄膜分层曲线图

Fig. 7 Curve of film layered

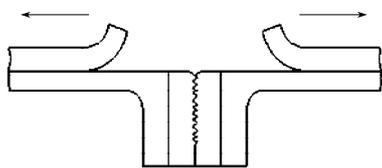


图8 薄膜分层模式图

Fig. 8 Failure mode of film layered

由图7中的曲线可以看出,该样品薄膜封口剥离热合强度的应力值呈现出数次升降波动。应力值首次达到33.54 N/15 mm之前,封口未分开,复合膜被拉伸延长了3.87 mm;随着应力值的逐渐增大,从封口的内缘处,PA与RCP间发生剥离现象,如图8所示;剥离过程中,应力值呈现出先上升后下降的变化趋势,其最大值为36.39 N/15 mm,封口处薄膜被完全分离时,其应力值为28.59 N/15 mm;随后,RCP薄膜单独被拉伸,其应力值再次上升至31.85 N/15 mm后下降,直至RCP膜被拉断。

产生薄膜分层的原因,是由于复合薄膜的拉断力较大,而断裂伸长率较小。在生产中,应该选用断裂伸长率较大的印刷基材或表层基材,这样在拉伸过程中不会因断裂伸长率不同而发生分层现象。

### 2.5 先分离后撕裂

阴阳镀膜结构包装袋在拉伸过程中,先在热封层间发生分离,后在复合薄膜层间发生撕裂现象,故将此种失效模式称为“先分离后撕裂”。图9所示为样品先分离后撕裂曲线图,图10所示为其失效模式图。

由图9可看出,该结构薄膜封口剥离热合强度的应力值总体呈现出先升高后降低的变化趋势。应力值为19.24 N/15 mm之前,是薄膜的弹性变形阶段,变形量为2.42 mm;此后至应力上升到28.69 N/15 mm,

此阶段封口处热封层薄膜间发生分离,热封层薄膜被完整地分离2.75 mm,应力值逐渐上升;其后,封口处中间部位复合薄膜开始撕裂,随着撕裂状态的扩展,应力值下降,直到完全断裂。

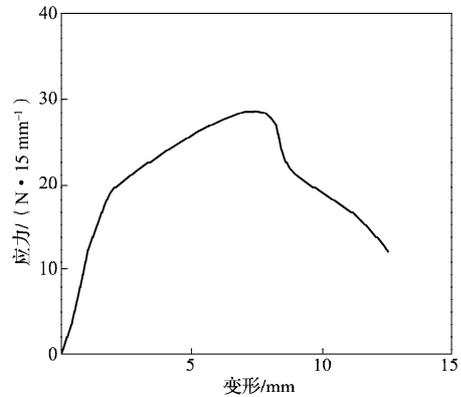


图9 先分离后撕裂曲线图

Fig. 9 Curve of separation and tearing

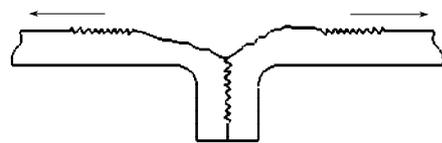


图10 先分离后撕裂模式图

Fig. 10 Failure mode of separation and tearing

造成薄膜先分离后撕裂的原因有:热封层薄膜的拉断力不高,热封层本身的热合强度不高,热封温度或压力不足等。若热封压力不足,两层薄膜间难以达到真正熔合,导致局部热封效果不好,或难以消除夹在热封层之间的气泡,以致部分虚焊<sup>[4]</sup>。

## 3 失效模式成因分析

5种失效模式均以测量最大应力值为塑料薄膜的热合强度。在测量时,热封层剥离的测试值是真正意义上的热合强度值;后4种失效模式测得的应力值并不是真正意义上的热合强度值,因应力值不是对应热合处完全撕裂。

根据QB/T 2358—1998中7.4规定,当热合强度大于塑料薄膜的断裂拉力时,应予以说明。薄膜分层、先分离后撕裂对应的热合强度比较低,同时在拉伸过程中都有分层现象,最大值不能准确指示热合强度值;热封层剥离、薄膜断裂两种模式的热合部位没有剥离,而在根部或远离热合部位断裂,说明热合强度实际值要大于测量所得值。

导致热合强度5种失效模式的因素主要有:

1) 热封材料的影响。热封材料不同,生产工艺不尽相同,材料的厚度和复合膜的复合工艺,均影

响复合膜的热合强度。

2) 薄膜表面电晕处理的影响。已有研究表明,电晕处理过高,将引发共聚物间的交联作用,导致薄膜热封过程中分子间融合不充分,使得材料的热封性能降低或失去热封性能<sup>[5]</sup>。

3) 层间剥离强度的影响。剥离强度低的复合袋,热封处的复合膜容易发生层间剥离,热封层独立承受破坏力,而面层材料失去补强作用,致使热封强度降低。若剥离强度高,不发生剥离现象,则实际热封强度大<sup>[4]</sup>。

4) 温度、压力、时间的影响。在实际生产过程中,热封温度要高于材料的熔融温度,若低于熔融温度则增加压力和延长时间都不能使热封层真正封合;温度过高,又会使得热封材料熔融挤出,降低材料的热合强度。

热封压力随着复合膜厚度的增加而增大,热封压力不足,材料难以熔合;热封压力过大,则会挤走部分热封材料,降低热合强度值。

热封时间是影响热封强度和外观平整度的一个关键因素:热封时间越长,热封层熔合更充分;但若热封时间过长,薄膜容易起皱变形,影响包装袋外观<sup>[4]</sup>。

## 4 结语

复合包装袋的热合强度是基材的选择和加工工艺综合作用的结果。在复合薄膜的热合过程中,热合温度、热合压力、热合时间等任一参数的变化都会导致热合强度的变化,热合强度的上限就是复合膜自身的拉伸强度值。本文通过测量不同材质的塑料包装袋,总结出5种热合强度的失效模式,结合5

幅典型的热封曲线图和失效模式图,能够准确显示复合膜的热合特性,并有效地指导热合加工和改进复合膜的生产工艺。

## 参考文献:

- [1] 王庆国. 塑料软包装热封强度检测[J]. 印刷技术, 2006(1): 39-40.  
Wang Qingguo. Determination on the Heat Seal Strength of Plastics Flexible Package[J]. Printing Technology, 2006(1): 39-40.
- [2] 赵漫漫, 卢立新. 有关PE/AL/PE复合包装薄膜热封工艺参数的研究[J]. 塑料, 2008, 37(2): 87-91.  
Zhao Manman, Lu Lixin. Heat-Seal Processing Parameters of Packaging Laminated Film PET/AL/PE[J]. Plastics, 2008, 37(2): 87-91.
- [3] 中国轻工总会质量标准部. QB/T 2358—1998 塑料薄膜包装袋热合强度试验方法[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 13-16.  
China Quality Standard of Ministry of Light Industry Association. QB/T 2358—1998 Test Method for Heat Sealing Strength Plastic Film Packing Bag[S]. Beijing: China Light Industry Press, 1998: 13-16.
- [4] 陈全东. 复合袋热封强度影响因素探析[J]. 印刷技术, 2003(15): 49-50.  
Chen Quandong. Analysis on Factors of Compound Bag[J]. Printing Technology, 2003(15): 49-50.
- [5] 杜玉宝, 骆光林. 浅谈包装材料热封性能的影响因素[J]. 塑料包装, 2007, 17(4): 29-32.  
Du Yubao, Luo Guanglin. Aspects and Considerations on Heat Sealability Testing of the Factors Affecting[J]. Plastics Packaging, 2007, 17(4): 29-32.

(责任编辑: 廖友媛)