

# 真空绝热板阻隔膜 PA/VMPET/Al/PE 热封工艺

金莎莎<sup>1</sup> 陈照峰<sup>1</sup> 徐滕州<sup>2</sup> 陈兴开<sup>2</sup> 周介明<sup>2</sup>

(1 南京航空航天大学材料科学与工程学院,南京 210016)

(2 苏州维艾普新材料有限公司,苏州 215000)

**文 摘** 真空绝热板阻隔膜 PA/VMPET/Al/PE 是一种多层复合阻隔膜,是真空绝热板的重要候选膜材。通过实验研究了热封温度、时间、压力对其强度的影响,同时采用 Matlab 软件对热封工艺参数进行优化,得出最佳的热封工艺。利用 DSC 对 PA/VMPET/Al/PE 进行热分析。实验结果表明:热封温度是影响热封强度的最显著因素,当热封温度为 160~170℃,热封时间为 1.0~2.0 s,热封压力为 0.2~0.4 MPa 时,热封边的热封强度良好。Matlab 软件优化最佳热封工艺参数值为:热封温度 167℃,热封时间 1.80 s,热封压力 0.34 MPa,该模拟优化热封工艺参数与实验值一致。

**关键词** 真空绝热板,阻隔膜,热封

中图分类号:TB332

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.04.012

## Heat-Sealing Process of PA/VMPET/Al/PE Film of Vacuum Insulation Panel

JIN Shasha<sup>1</sup> CHEN Zhaofeng<sup>1</sup> XU Tengzhou<sup>2</sup> CHEN Xingkai<sup>2</sup> ZHOU Jieming<sup>2</sup>

(1 Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

(2 Suzhou V. I. P. New Material Co., Ltd, Suzhou 215000)

**Abstract** PA/VMPET/Al/PE film of vacuum insulation panel is a kind of multilayer laminate envelope, which is one of the most candidates envelope materials. In this paper, the effect of heat-sealing temperature, heat-sealing time and heat-sealing pressure on the heat-sealing strength were investigated. Simultaneously, the process parameters of heat-sealing film was optimized using matlab software. Thermal analysis of PA/VMPET/Al/PE was carried out by using differential scanning calorimetry (DSC). The results showed that the effect of heat-sealing temperature on heat-sealing strength was the most significant in the three parameters. The heat-sealing strength presented good at heat sealing temperature, heat sealing time and heat sealing pressure of 160 to 170℃, 1.0 to 2.0 s, 0.2 to 0.4 MPa, respectively. The optimal process parameters were simulated by Matlab software, heat-sealing temperature, heat-sealing time and heat-sealing pressure were 167℃, 1.80 s and 0.34 MPa, respectively. The result shows that the optimal process parameters were consistent with experimental values.

**Key words** Vacuum insulation panel, Film/envelope, Heat-sealing

### 0 引言

真空绝热板具有极低的热导率,在节能减排领域中得到越来越多重视。真空绝热板是由芯材、吸气剂以及阻隔膜组成<sup>[1]</sup>。在真空绝热板实际使用过程中,因漏气导致失效经常发生,漏气点多产生在真空绝热板阻隔膜热封边处,原因是由于封口区域不良引起的。热封强度是表征封口优良的重要性能指标之

一,因此,真空绝热板阻隔膜热封边的热封强度一直是真空绝热板生产中的质量控制要素<sup>[1]</sup>。

真空绝热板阻隔膜是以 PE 为内粘层,与 Al、VMPET、PA 通过干式复合的工艺热贴合而成。国内外学者在热封方面已有一定研究,陆佳平等人<sup>[2]</sup>在大量实验的基础上,分析了各种热封工艺参数对热封效果的影响,认为热封温度、热封时间、热封压力之间

收稿日期:2013-09-23

作者简介:金莎莎,1990 年出生,硕士研究生,主要研究方向为复合膜材的封装焊接及优化。E-mail:jinshashajinxin@163.com

存在着内在的联系,应该根据被热封材料的不同属性,调节适当的温度、时间和压力控制条件;赵漫漫等人<sup>[3]</sup>确定 PET/Al/PE 复合薄膜有效温度范围为 115~160℃;王东升等人<sup>[4]</sup>研究出 PET/PE 复合薄膜的最佳热封范围为 138~160℃,并且随着热封温度的上升(热封时间减少),满足热封强度要求的最低温度值上升;Yuan Stehling 等人<sup>[5]</sup>通过实验分析了热封温度对热封材料机械特性以及结晶度和热力学机械特性的影响,得到 OPP/PP 有效热封温度和热封时间分别为 122~130℃和 0.1~1 s。

目前对于热封工艺参数的研究主要集中在热封温度、热封时间及热封压力区间的确定,未能得出最佳热封工艺参数。本文主要研究热封工艺参数,如热封温度、热封时间、热封压力对 PA/VMPET/Al/PE 热封强度的影响,同时采用 Matlab 软件对其参数进行优化获得最佳的热封工艺参数。

## 1 试验

### 1.1 试验材料

尼龙/聚酯镀铝膜/铝箔/聚乙烯 (PA/VMPET/Al/PE) 复合膜;干式复合,厚度为 PA 15 μm/VMPET 12 μm/Al 7 μm/PE 50 μm;

热封试样尺寸:宽 75 mm,长 90 mm;

热封强度试样尺寸:宽 15 mm,长 90 mm。

### 1.2 试验仪器

热封试验仪:HFT-H3 型,济南百戈实验仪器有限公司;

电子材料拉力试验机:CTM2200 微机控制电子材料试验机,协强仪器制造(上海)有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 热封性能

采用 HFT-H3 型热封试验仪进行热封试验。将试样以内层 PE 层面对面的形式放置在上下钳口之间。热封区域宽 10 mm。每种热封参数试验重复 5 次。热封温度:150~190℃;热封压力:0.1~0.5 MPa;热封时间:0.5~2.5 s。

#### 1.3.2 PE 熔点测定

采用差示扫描量热法(DSC)对真空绝热板阻隔膜进行热分析,取真空绝热板阻隔膜 20 mg,升温速率为 10℃/min,第一次升温后降温消除热历史,第二次升温确定其熔点。

#### 1.3.3 热封强度

依据 QB/T2358—1998《塑料薄膜包装袋热合强度试验方法》,拉伸速率为 300 mm/min。每种工况试验重复 5 次<sup>[6]</sup>,取其平均值。

宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2014 年 第 4 期

## 2 结果与讨论

### 2.1 热封下限和上限温度的确定

真空绝热板阻隔膜的热封过程的实质是阻隔膜内封层 PE 的熔融成黏流状态,上下层融合形成,因此有效的热封温度不能低于内层 PE 的相变温度。图 1 为 PA/VMPET/Al/PE 的 DSC 曲线,可以看出,可得到 PE 熔化温度为 115~125℃,VMPET 熔化温度为 223℃,PA 熔化温度为 254℃。因此,真空绝热板阻隔膜的热封下限温度是 115~125℃。

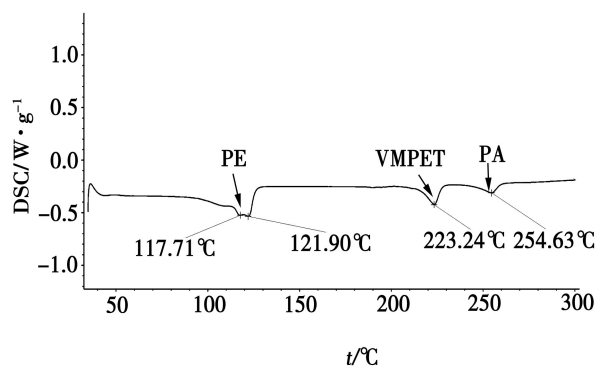


图 1 PA/VMPET/Al/PE 的 DSC 曲线

Fig.1 DSC curve of PA/VMPET/Al/PE film

热封上限温度通过热封试样的外观效果进行判定,实验表明,当大于 190℃后,真空绝热板阻隔膜封边处将出现褶皱、过烧等现象,严重影响了真空绝热板的质量,因而真空绝热板阻隔膜 PA/VMPET/Al/PE 的热封上限温度为 190℃。

### 2.2 热封参数对热封强度的影响

#### 2.2.1 热封时间对热封强度的影响

在热封压力 0.2 MPa 下,选取热封温度为 150、160、170、180 和 190℃,热封时间为 0.5、1.0、1.5、2.0 和 2.5 s,实验得到热封时间与热封强度的对应关系见图 2。

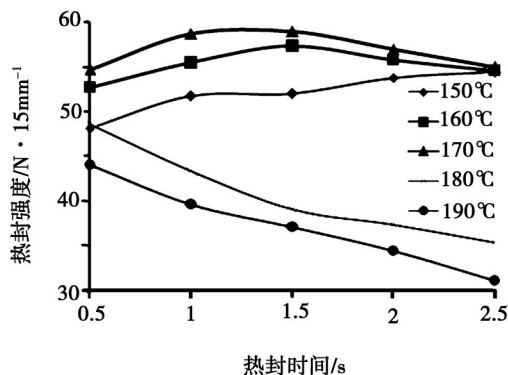


图 2 在  $p=0.2$  MPa 下热封时间与复合膜热封强度的关系  
Fig.2 Curves of heat seal strength and heat sealing time at a heat sealing pressure of 0.2 MPa

当热封温度为 150℃时,热封强度值呈现缓慢增

加趋势。当热封温度在 160 ~ 170℃ 时,随热封时间的增加,热封强度值均呈现先增加后缓慢减小的趋势。热封温度为 180 和 190℃ 时,热封强度值随时间呈单调递减趋势。当热封温度在 150 ~ 170℃ 时,随热封时间的增加,PE 层熔化更为充分,热封完全;当热封温度为 180 和 190℃ 时,随着热封时间的增加,将会引起内粘层 PE 发生显著的热收缩,影响了热封质量,其宏观表现为热封强度值的降低<sup>[7]</sup>。在热封温度为 170℃ 时,热封强度曲线较为稳定,其中,热封温度为 170℃,热封时间为 1.5 s 时,热封强度值最大。

### 2.2.2 热封压力对热封强度的影响

由图 3 可见,在热封压力 0.2 MPa 下,当热封温度为 180 和 190℃ 时,随着热封时间的增加,热封强度值均低于 150 ~ 170℃ 内的任何一个热封强度值,因而实现 PA/VMPET/Al/PE 的热封,热封温度应低于 180℃。

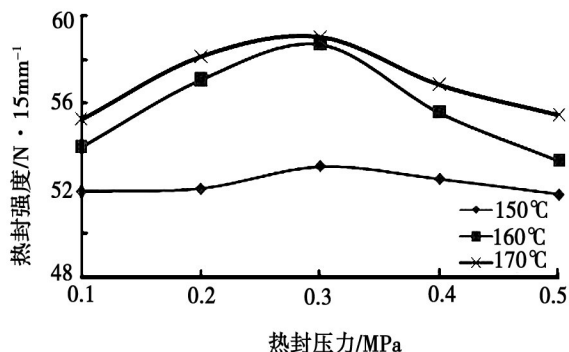


图 3 在  $t=1.5$  s 热封压力与复合膜热封强度的关系

Fig. 3 Curves of relationship between heat sealing pressure and heat seal strength under the  $t = 1.5$  s

同时,由图 3 可知,热封时间在 1.5 s 时,热封强度值达到最大,因而从热传输过程与工艺控制方面考虑,选取最优时间为 1.5 s。在热封时间 1.5 s 下,选取热封温度为 150、160 和 170℃,热封压力为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 MPa,实验得到热封压力与热封强度的对应关系见图 4。由图 4 可见,当热封温度为 150℃ 时;热封强度值较为平稳。当热封温度为 160 和 170℃ 时,随热封压力的增加,热封强度值均呈现先增加后缓慢减小的趋势。这一现象主要是由于当热封温度在 150 ~ 170℃ 时,当压力低于 0.3 MPa 时,PE 粒子互扩散程度增加,热封强度值增加,当热封压力高于 0.3 MPa 时,PE 粒子发生熔融挤出现象,降低了热封厚度,增加了热封边厚度不均匀性,损伤了热封边,引起断根,热封强度值降低<sup>[8]</sup>。从图 4 可见,在

温度为 170℃ 时,热封强度值较为平稳。其中,在温度为 170℃,热封压力为 0.3 MPa 时,热封强度值达到最大。

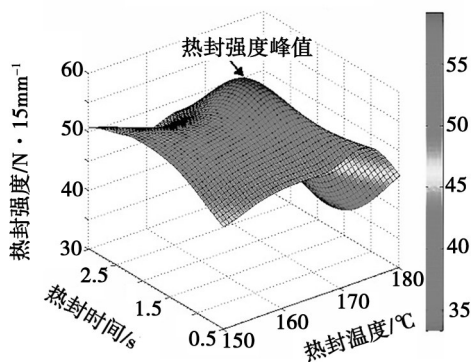


图 4 当热封压力为最佳值 0.34 MPa 时热封温度、热封时间与热封强度的关系图

Fig 4 Relationship about heat sealing temperature, time of heat sealing strength at 0.34 MPa

### 2.2.3 热封温度对热封强度的影响

由图 4 可见,在热封时间 1.5 s 下,热封压力为 0.1 和 0.5 MPa 下热封强度值均低于 0.2、0.3 和 0.4 MPa 任何一个热封强度值,因而实现 PA/VMPET/Al/PE 的热封,热封压力应在 0.2 ~ 0.4 MPa,且当热封温度为 150℃ 时,随着热封压力的增加,热封强度值均低于 160 和 170℃ 内的任何一个热封强度值,因而实现 PA/VMPET/Al/PE 的热封,热封温度应高于 150℃。在热封时间 1.5 s 左右条件下,选取热封温度为 160 和 170℃,热封压力为 0.2、0.3 和 0.4 MPa,实验得到热封温度对热封强度的影响显著,这主要是由于 PE 分子的热运动剧烈程度随着热封边温度的增加而提高,进而使得热封层之间的扩散源区更深,提高了分离封口所需的剥离力,即热封强度值<sup>[9]</sup>。其中,在热封温度为 170℃,压力为 0.3 MPa 时,热封强度值达到最大<sup>[6]</sup>。

## 3 Matlab 优化

### 3.1 热封强度仿真设计

根据上述试验数据,利用 Matlab 神经网络工具箱,建立热封强度关于热封温度、热封时间和热封压力的神经网络模型。该程序中,只要将热封参数(热封温度、热封时间、热封压力)值输入,运行程序,就会自动输出热封强度的数值<sup>[10]</sup>。

由于程序是建立在实验数据的拟合模型基础之上,此模型和实验结果的误差在允许范围内,因此,通过此程序计算出的结果是准确的。

### 3.2 热封参数的优化设计

本文的热封参数优化可描述为

Max  $F(T, t, P)$

$\{190 \geq T \geq 130$

S. t.  $\{3.0 \geq t \geq 0.5$

$\{0.5 \geq p \geq 0.1$

$F(T, t, p)$  为神经网络拟合的数学模型。

采用穷举法求热封强度的极值  $\max F(T, t, p)$ , 取  $T = 130, 131, \dots, 190$ ;  $t = 0.50, 0.51, 0.52, \dots, 3.00$ ;  $p = 0.10, 0.11, \dots, 0.50$ <sup>[11]</sup>。对每种  $T, t, p$  的组合  $(T, t, p)$  进行仿真, 求相应的热封强度, 并通过程序从中找出最大热封强度所对应的热封工艺参数, 即为最佳热封工艺参数(热封温度、热封时间、热封压力)。

将上述程序运行后, 优化得出的最佳热封工艺参数为: 热封温度 167℃、热封时间 1.80 s、热封压力 0.34 MPa, 最大热封强度为 59.13 N/15 mm。

在热封温度 167℃、热封时间 1.80 s 和热封压力 0.34 MPa 条件下, 对 PA/VMPET/Al/PE 进行热封强度实验, 实验所得热封强度值为 59.89 N/15 mm。将实验所得热封强度值与 Matlab 神经网络优化最大热封强度值比较, 结果发现, 实验所得热封强度值接近于软件模拟的最优值。

#### 4 结论

(1) 本文主要研究了热封温度、热封时间、热封压力工艺参数对真空绝热板阻隔膜 PA/VMPET/Al/PE 热封强度的影响。实验表明, 热封温度 160 ~ 170℃, 热封时间 1.0 ~ 2.0 s, 热封压力 0.2 ~ 0.4 MPa 时, 阻隔膜的热封边的热封强度良好, 满足实际生产需要。

(2) 运用 Matlab 软件优化真空绝热板阻隔膜热封工艺参数, 获得最佳热封工艺参数值为: 热封温度 167℃, 热封时间 1.80 s, 热封压力 0.34 MPa, 热封强

度值为 59.13 N/15 mm。

(3) 采用优化所得的最佳热封工艺参数进行实验, 阻隔膜的热封强度值为 59.89 N/15 mm。实验所得热封强度值接近于软件模拟的最优值。

#### 参考文献

- [1] Simmler H, Brunner S. Vacuum insulation panels for building application basic properties, aging mechanisms and service life[J]. Energy Build, 2005, 37(11): 1122 - 31
- [2] 陆佳平, 刘天植. 软包装热封工艺参数的确定[J]. 出口商品包装, 2005(7): 65-67
- [3] 赵漫漫, 卢立新. 有关 PET/Al/PE 复合包装薄膜热封工艺参数的研究[J]. 塑料, 2008(2): 55-58
- [4] 王东升, 郭永健. PET/PE 复合材料最佳热封工艺参数研究[J]. 包装工程, 2012(6): 72-74
- [5] Hashimoto Yasuo, Tetsuya Tsujii, et al. The effect of haet sealing temperature on the properties of OPP or CPP heat seal . I. mechanical properties [J]. Polymer Engineering and Science, 2006(2): 205-214
- [6] QB/T 2358-1998, 塑料薄膜包装袋热合强度试验方法[S]
- [7] 杜玉宝. 牛奶包装用黑白膜热收缩性及对热封性能的影响[J]. 中国乳品工业, 2007(4): 32-37
- [8] Wool R P, Yuan B L, Megarel O J. Welding of polymer[J]. Polym. Eng. Sci., 1989, 29(19): 1340-1367
- [9] DeGennes P G, Leger L. Dynamics of entangled polymer chains[J]. Ann. Reo. Phys. Chem., 1982, 33: 49-61
- [10] 李萌萌. 塑料包装薄膜热封参数的优化与仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2005
- [11] 孙智慧, 张荣. 包装机中常热式薄膜热封过程的仿真研究[J]. 包装工程, 2002, 23, 23(5): 131-136

(编辑 任涛)