

包装材料 EPE 热封工艺的实验研究与分析

刘庆伦, 冯嫦

(中山火炬职业技术学院, 中山 528436)

摘要: **目的** 研究 EPE 包装袋的热封质量与热封参数(电热丝直径、热封时间、热封压力)的关系, 分析弹性包装材料热封过程的特性。**方法** 通过观察显微封口形貌, 比较不同参数下的热封强度, 研究热封参数对珍珠棉热封强度的影响, 并分析其原因。**结果** 在热封 1.0 mm 珍珠棉过程中使用直径为 0.8 mm 电热丝, 热封压力为 0.2 MPa, 热封时间为 2 s 时, 热封质量最好、效率较高。**结论** 弹性材料的可压缩性导致封切压力对热封强度的影响随电热丝直径的增加而明显增加, 弹性材料的回弹特性使电热丝直径以及热封时间对其热封缺陷产生更加显著的直接影响。

关键词: EPE; 弹性; 热封工艺; 参数优化

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0111-05

Experimental Study and Analysis of Heat Sealing Technology for Packaging Material EPE

LIU Qing-lun, FENG Chang

(Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan 528436, China)

ABSTRACT: The work aims to study the relationship between the heat sealing quality of EPE packaging bag and heat sealing parameters (electric wire diameter, heat sealing time, heat sealing pressure), and analyze the characteristics of elastic packaging materials heat sealing process. The influence of heat sealing parameters on the heat sealing strength of pearl wool was studied by observing the morphology of micro sealing and comparing the heat sealing strength with different parameters, and its cause was analyzed. In the process of heat sealing the 1.0 mm pearl wool with the 0.8 mm electric wire when the heat sealing was 0.2 MPa and heat sealing time was 2 s, the heat sealing quality was the best and the efficiency was the highest. The compressibility of elastic material causes the influence of sealing pressure on the heat sealing strength to increase significantly with the increase of the electric wire diameter. With the springback characteristics of the elastic material, the electric wire diameter and the heat sealing time have more significantly direct influence on the heat sealing defects.

KEY WORDS: EPE; elastic; heat sealing technology; parameter optimization

珍珠棉(EPE, 发泡聚乙烯棉)由低密度聚乙烯经物理发泡产生无数的独立气泡构成, 是一种具有高强缓冲吸振、抗震能力和绝热能力的新型环保包装材料。该材料柔韧、质轻、富有弹性, 能通过弯曲来吸收和分散外来的撞击力, 达到缓冲的效果^[1]。

Mueller 等通过剥离强度测试的方法, 研究热封参数中热压温度和热封时间对线性低密度聚乙烯(LLDPE)密封强度的影响。实验表明, 温度为 115 ℃ 以上时能形成一个良好的密封^[2]。Meka 等针对聚乙烯薄膜的热封工艺参数(热封温度、热封时间和压力)

对聚乙烯薄膜密封性能的影响进行了定量测定, 发现密封性能主要取决于在热封过程中的界面处达到的最大温度, 热封压力对热封效果影响较小^[3]。江南大学赵漫漫等设计了多种试验工况研究热封工艺参数(热封温度、热封时间、热封压力)对 PET/AL/PE 热封强度的影响, 确定了 PET/AL/PE 复合薄膜的有效热封温度范围^[4]。王东升等探索了 PET/PE 复合薄膜热封质量的影响因素, 比较分析了热封方向、热封温度、热封速度对热封质量的影响, 总结得出了 PET/PE 复合薄膜的最佳热封工艺参数^[5]。金莎莎等

收稿日期: 2017-06-14

作者简介: 刘庆伦(1982—), 男, 中山火炬职业技术学院讲师, 主要研究方向为高速与精密制造技术。

通过实验研究得出真空绝热板阻隔膜的热封温度为 160~170 °C, 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^[6]。Tai 等研究了可生物降解的包装材料——大豆蛋白/聚乙烯醇 (SPI/PVA) 复合膜的热封影响因素, 得到了 SPI/PVA 的最佳热封温度^[7]。软包装材料热封性能检测方法一般分为两大类, 即有损检测法与无损检测法。这里利用宏观观察的方法进行实验研究, 不考虑微观材料的相互扩散, 通过机械拉伸及材料热性能分析材料热封效果的优劣^[8-11]。

文中的研究对象为发泡聚乙烯材料, 该材料的多孔结构导致材料分布不均匀, 影响热封过程中的传热效果, 对电热丝的热封温度有更高要求, 且 EPE 的弹性导致其在热封过程中具有一定的回弹现象, 封口质量的可靠性下降。区别于其他均匀材质的单层材料或者多层复合材料的热封过程, EPE 包装袋的热封工艺参数中电热丝的形状尺寸、热封压力对热封质量有更加重要的影响。文中拟通过实验, 研究电热丝直径、热封压力、热封加热时间这 3 个影响因素对 EPE 包装袋的封口热封质量的影响, 以提升热封质量和热封效率为目标, 优化设计 1.0 mm EPE 包装袋的热封参数^[2, 12-13]。

1 实验

采用牌号为 Cr20Ni80, 直径为 0.6, 0.8, 1.0 mm 的电热丝, 在加热时间不同的情况下对 1.0 mm 珍珠棉进行热封加工。封切工作时, 垂直工作面压力为 0.1 和 0.2 MPa, 封切完成后, 使用二次元显微镜对熔缝进行显微观察与测量。通过对 15 mm 宽度样品进行热封强度测试, 对比实验结果综合评定封口质量优劣。实验材料的宽度为 15 mm, 长度为 150 mm, 热封强度测试设备采用 XLW(PC)智能电子拉力测试机, 测温装置采用 Omega 公司提供的 100 Hz 快速响应热电偶丝, 测得数据输入 DEWESoft 软件得到温度值^[11]。

2 实验现象

2.1 热封加热时间与热封温度的关系

电热丝热封工艺过程中电热丝的温度-时间变化规律满足经典热科学工程领域内导热、对流和辐射的基本定律^[14]。电热丝材料为 Cr20Ni80, 密度为 8.4 g/cm³, 比热容为 0.46 J/(g·K), 长度为 300 mm, 直径为 0.6, 0.8, 1.0 mm 的电热丝对应的电阻分别为 3.5, 2.5, 1.5 Ω, 预压力为 0.1 和 0.2 MPa, 电功率为 300 W, 环境温度为 25 °C, 厚度为 1.0 mm。测得电热丝热封珍珠棉瞬态温度的测量值拟合曲线见图 1。

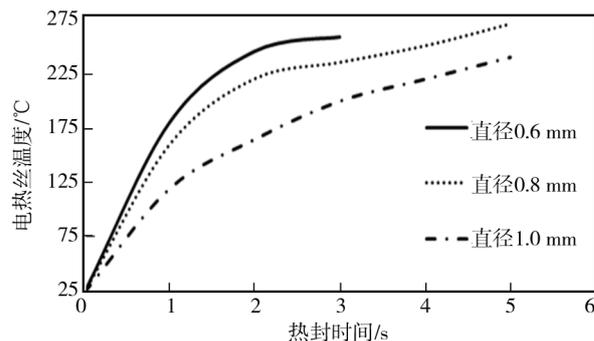


图1 热封时间与热封温度的关系

Fig.1 Relationship between heat sealing time and heat sealing temperature

2.2 热封参数对热封强度的影响

在 0.1 MPa 热封压力作用下使用直径为 0.6, 0.8, 1.0 mm 的电热丝对厚度为 1.0 mm 的珍珠棉进行热封实验, 所得结果见图 2a。直径为 0.6 和 0.8 mm 的电热丝热封珍珠棉热封的最低加热时间为 1.5 s, 1.0 mm 电热丝形成有效熔缝的最低加热时间为 2.5 s。0.6 mm 电热丝热封强度随热封时间从 1.5 s 增加至 3 s, 热封温度由 200 °C 增至 249 °C, 热封强度从 1.2 N/(15 mm) 增至 2.03 N/(15 mm)。0.8 mm 电热丝热封强度随热封时间的增加先升后降, 热封时间的增加导致电热丝的温度升高, 珍珠棉的热封强度增加。0.8 mm 电热丝的热封时间过长时, 在熔缝处容易产生过热分离的缺陷, 导致热封强度的下降, 超过 4 s 后会出现严重的电热丝断裂现象。1.0 mm 电热丝热封的最少时间为 2.5 s, 高于 0.6 和 0.8 mm 电热丝。

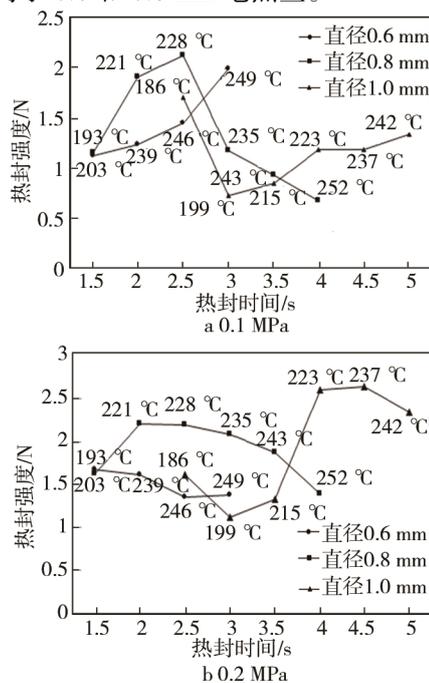
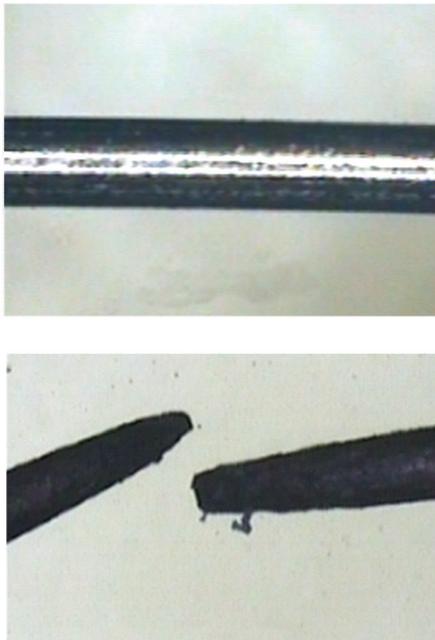


图2 不同压力下加热时间-热封强度的关系

Fig.2 Relationship between heating time and heat sealing strength under different pressures

在 0.2 MPa 热封压力作用下,不同直径的热封强度曲线呈现与 0.1 MPa 下相似的趋势,见图 2b。在 0.2 MPa 热封压力下,0.8, 1.0 mm 电热丝的热封强度提升更加明显,两者在 0.2 MPa 热封压力下的热封强度要明显优于 0.1 MPa。热封压力对热封强度的影响效果随着电热丝直径的增加而明显提升,在使用较大直径电热丝热封珍珠棉的过程中,必须考虑热封压力对热封强度的显著影响。

热封时间-热封强度曲线表明,热封温度高于 180 °C 时可以有效热封 EPE 材料,当热封温度达到 220 °C 时,3 种直径的电热丝的热封强度接近 2 N/(15 mm),热封强度较好。直径较大的电热丝需要的加热时间更长,热封时间过长会出现电热丝过热氧化断裂的现象,见图 3,因此必须合理选择电热丝直径来保障热封效率。



b 断裂时效

图 3 电热丝熔断前后对比

Fig.3 Comparison before and after electric wire fuse failure

3 数据分析

弹性 EPE 热封过程见图 4。电热丝热封珍珠棉过程中具有 3 个不同的接触状态:初始接触;压缩接触,电热丝在热封压力作用下挤压珍珠棉,该过程中产生的主要变形为压缩变形;切断接触,该过程中电热丝温度升高至工作温度,珍珠棉在高温作用下熔化形成熔缝区,其外部温度较低,上下两层珍珠棉形成加热粘结区。熔缝区 L 以及加热粘结区 M 的大小主要受到电热丝直径 D 和压缩接触过程中压缩后 EPE 厚度 d 的直接影响。弹性 EPE 材料区别于非弹性包装材料,其热封压力对热封强度有重要影响。

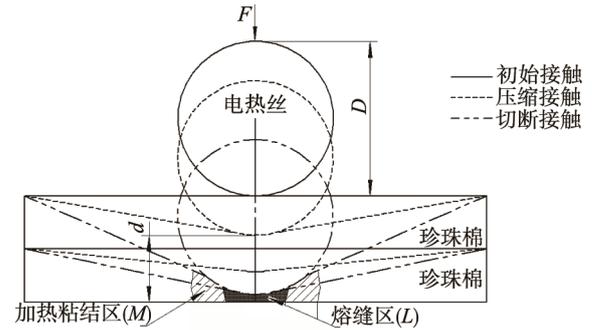


图 4 弹性 EPE 热封过程

Fig.4 Elastic EPE heat sealing process

显微镜下 EPE 封口质量见图 5,放大倍数为 17。图 5a 为质量良好的熔缝展开区域的显微照片,熔缝与周边 EPE 材料结合紧密,形成良好的封口质量,热封强度高。图 5b 显示双层 EPE 未完成热封切断的区域微观结构,该现象产生的原因是在热封压力小的情况下,压缩后 EPE 厚度 d 较大,加热时间低导致热量不能在短时间内传递至底层,因此不能正常热封切断并形成熔缝。图 5c 为熔缝展开区域中部分粘连失效的显微图片,弹性 EPE 材料在压合热封过程中存在变形不均匀的情况,在热封完成后材料的回弹量不均匀,导致部分区域出现熔缝无法压合的现象,影响整体的热封强度。图 5d 为过热失效时熔缝的展开图,当电热丝对 EPE 材料热封时间过长时,熔缝区 L 增大,与加热粘结区 M 重合,高温导致 EPE 粘性下降,弹性 EPE 回弹现象导致上下两层珍珠棉无法粘结,导致熔缝无法形成。

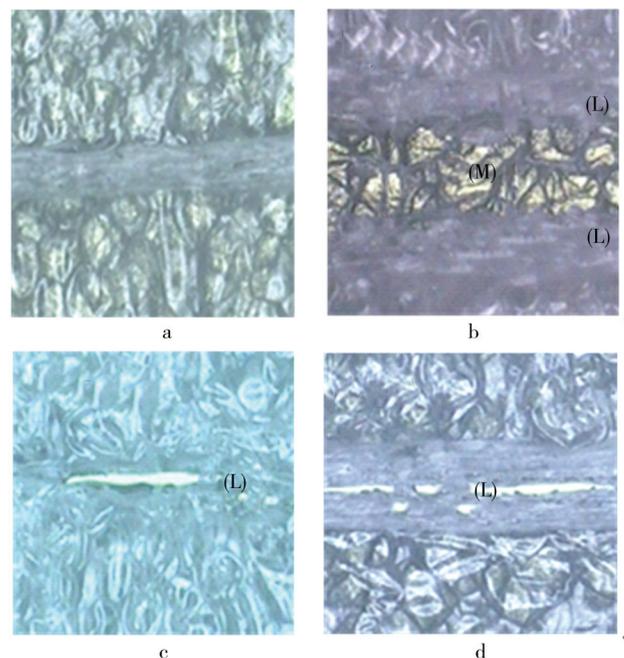


图 5 显微镜下 EPE 封口质量

Fig.5 EPE sealing quality under microscope

对比 0.1 和 0.2 MPa 这 2 种不同预压力下的热封强度曲线, 较高的热封压力使电热丝与 EPE 间形成更好的挤压效果, d 减小, L 和 M 区域增加, 有利于两层材料的粘连。在 0.2 MPa 热封压力下, 3 种直径电热丝的热封强度比 0.1 MPa 下的热封强度都得到提升。直径为 0.6 mm 的电热丝较小, 在 0.1 MPa 热封压力下, EPE 挤压变形小, 回弹现象不明显, 热封过程中的相对运动主要是电热丝的向下进给运动。在 0.2 MPa 热封压力下, EPE 挤压变形大, 回弹效果明显, 热封过程的相对运动主要是电热丝的向下进给运动和 EPE 回弹变形运动。由此, 在低热封压力下, 0.6 mm 电热丝热封运动速度慢, 与 EPE 的接触时间更长, 更利于热传导, 其热封强度随热封时间的增加而增加。在高热封压力下, 其热封强度随热封时间的增加变化不大。在 0.8 和 1.0 mm 电热丝热封过程中, 热封压力对热封强度的影响更加明显。0.8 mm 电热丝在 0.1 MPa 热封压力下, 热封时间为 2.5 s 时, 热封强度达到最大值 2.15 N/(15 mm), 在 0.2 MPa 热封压力下, 热封时间为 2.0 s 时, 热封强度达到最大值 2.2 N/(15 mm)。0.8 mm 电热丝在较大的热封压力下压缩 EPE, 增大了压缩接触的 M 和 L 区域, 增大了传热接触面积, 使热封时间有效降低了 0.5 s。1.0 mm 电热丝相对于 0.8 mm 电热丝, 其形成切断接触的 M 和 L 区域更大, 但其电阻小、电热丝温度上升速率较低。实验表明, 当热封时间为 2.5 s、电热丝温度为 185 °C 时, 1.0 mm 电热丝能完成对 EPE 的热封切加工; 当热封加热时间达到 4.0 s、温度达到 220 °C 时, 1.0 mm 电热丝能得到更好的热封质量。

4 结语

1) 对比试验表明, 在加工过程中热封压力的大小直接影响电热丝与珍珠棉之间的相对位置关系, 较大的热封压力有利于珍珠棉热封强度的提升。封口粘连失效的产生主要受电热丝直径及热封压力的影响, 直径相对较大的电热丝产生的横向挤压长度更大, 更容易形成有效熔缝。

2) 热封压力对直径为 0.6 mm 的电热丝热封加工质量影响相对较小, 而在直径为 0.8 和 1.0 mm 的电热丝加工过程中, 增大热封压力能有效提升热封强度, 其影响程度随直径增大而显著增加。

3) 通过直径为 0.6, 0.8, 1.0 mm 的电热丝热封 1.0 mm 珍珠棉的热封强度曲线可以看出, 随着直径的增加, 所需的热封时间急剧增加, 0.8 及 1.0 mm 的电热丝热封强度较高。在功率为 300 W, 热封 1.0 mm 珍珠棉时, 最佳参数中电热丝直径为 0.8 mm, 热封压力为 0.2 MPa, 加热时间为 2 s。

参考文献:

- [1] 刘晨霞, 马承伟, 王平智, 等. 日光温室保温被传热的理论解析及验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 170—176.
LIU Chen-xia, MA Cheng-wei, WANG Ping-zhi, et al. Theoretical Analysis and Experimental Verification of Heat Transfer through Thick Covering Materials of Solar Greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(2): 170—176.
- [2] MUELLER C, CAPACCIO G, HILTNER A, et al. Heat Sealing of LLDPE: Relationships to Melting and Interdiffusion[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1998, 70(10): 2021—2030.
- [3] MEKA P, STEHLING F C. Heat Sealing of Semicrystalline Polymer Films. Calculation and Measurement of Interfacial Temperatures: Effect of Process Variables on Seal Properties[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1994, 51(1): 89—103.
- [4] 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, 37(2): 87—91.
ZHAO Man-man, LU Li-xin. Heat Seal Processing Parameters of Packaging Laminated Film PET/AL/PE[J]. Plastics, 2008, 37(2): 87—91.
- [5] 王东升, 郭永健, 母军. PET/PE 复合材料最佳热封工艺参数研究[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 72—74.
WANG Dong-sheng, GUO Yong-jian, MU Jun. Research on Optimal Heat-seal Processing Parameters of PET/PE Composite Material[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 72—74.
- [6] 金莎莎, 陈照峰, 徐滕州, 等. 真空绝热板阻隔膜 PA/VMPAET/Al/PE 热封工艺[J]. 宇航材料工艺, 2014(4): 60—63.
JIN Sha-sha, CHEN Zhao-feng, XU Teng-zhou, et al. Heat-sealing Process of PA/VMPAET/Al/PE Film of Vacuum Insulation Panel[J]. Aerospace Materials & Technology, 2014(4): 60—63.
- [7] TAI J, CHEN K, YANG F, et al. Heat-sealing Properties of Soy Protein Isolate/polyvinyl Alcohol Film Made Compatible by Glycerol[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2014, 131(11): 169—172.
- [8] 侯红红, 杨传民, 汪浩, 等. 茴香及芹菜基可食性包装纸热封性能的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 23—27.
HOU Hong-hong, YANG Chuan-min, WANG Hao, et al. Heat Sealing Performance of Fennel and Celery Based Edible Wrapping Paper[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 23—27.
- [9] ZAHRA N, ABDELLAH A. A Novel Approach toward the Effect of Seal Process Parameters on Final Seal

- Strength and Microstructure of LLDPE[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2014, 28(16): 1592—1609.
- [10] DOWLING D P, TYNAN J, WARD P, et al. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Amorphous Polyethylene Terephthalate for Enhanced Heatsealing Properties[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2016, 35: 1—8.
- [11] 何存富, 袁红梅, 吴斌. 软包装热封缺陷的超声无损检测[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(4): 750—755.
HE Cun-fu, YUAN Hong-mei, WU Bin. Defect Detection in Seal Region of Flexible Packages Using Ultrasonic Non-destructive Testing Technique[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(4): 750—755.
- [12] 孙明达, 张希栋, 高雪. 食品包装袋封口热封合密封性测试实验研究与实现[J]. 森林工程, 2014, 30(1): 100—103.
SUN Ming-da, ZHANG Xi-dong, GAO Xue. Research and Implementation of Heat Sealing Testing Experiment of Food Packaging Bags[J]. Forest Engineering, 2014, 30(1): 100—103.
- [13] 徐克非, 孙智慧, 李萌萌. 塑料包装薄膜热封参数的仿真[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 194—196
XU Ke-fei, SUN Zhi-hun, LI Meng-meng. Simulation Research on Plastic Packaging Film Heat-seal Parameters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 194—196.
- [14] PITTS D, SISSOM L. Heat Transfer[M]. Beijing: Science Press, 2002.

《纳米材料》特色栏目征稿函

纳米技术作为一种最具有市场应用潜力的新兴科学技术,其潜在的重要性毋庸置疑,纳米技术正成为各国科技界所关注的焦点。在国内,许多科研院所、高等院校也组织科研力量,开展纳米技术的研究工作,并取得了一定的研究成果,纳米技术基础理论研究和新材料开发等应用研究都得到了快速的发展,并且在各领域均得到了广泛的应用。在包装领域,纳米材料也得到了诸多应用。

鉴于此,本刊拟围绕“纳米材料”这一主线,作系列的专项报道。本刊编辑部特邀请纳米材料领域的专家为本栏目撰写稿件,以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主,也可为综述性研究,请通过网站投稿,编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话: 023-68792294 网址: www.packjour.com

《包装工程》编辑部