

烟用 BOPP 包装膜透油墨问题的相关检测指标研究

吕萱¹, 林洁², 赵海洋¹, 王云霞¹, 李洁¹, 李自娟^{1*}, 杨蕾玉³, 王美怡³

(1. 张家口卷烟厂有限责任公司, 河北 张家口 075000; 2. 河北中烟工业有限责任公司, 石家庄 050000; 3. 天津科技大学 化工与材料学院, 天津 300457)

摘要: **目的** 针对卷烟企业生产过程中出现的烟用双向拉伸聚丙烯 (Biaxially Oriented Polypropylene, BOPP) 包装膜因喷码油墨易发生迁移而污染内侧纸盒的问题, 明确问题成因, 找到控制薄膜质量的关键检测指标。 **方法** 对影响烟用 BOPP 包装膜透墨性能的相关质量指标如薄膜的化学组成、厚度、水蒸气透过量、氧气透过量、薄膜接触角、表面微观形貌特征等进行系统研究, 对比透墨烟膜与正常烟膜相同检测指标的差异。 **结果** 薄膜的厚度、接触角、水蒸气透过量、氧气透过量等指标对于烟用 BOPP 包装膜的抗油墨透过性能具有重要影响, 薄膜上的微小孔洞是油墨发生透膜迁移从而污染纸盒的主要原因。 **结论** 可以将烟用 BOPP 包装膜的接触角、水蒸气透过量及氧气透过量作为薄膜生产厂家出厂检验或卷烟企业入库的质量控制指标。

关键词: 双向拉伸聚丙烯; 油墨; 阻隔性能; 检测指标

中图分类号: TB484

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)05-0064-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.05.008

Related Detection Indicators of Ink Penetration Problem of BOPP Cigarette Packaging Film

LYU Xuan¹, LIN Jie², ZHAO Haiyang¹, WANG Yunxia¹, LI Jie¹, LI Zijuan^{1*}, YANG Leiyu³, WANG Meiyi³

(1. Zhangjiakou Cigarette Factory Co., Ltd., Hebei Zhangjiakou 075000, China; 2. China Tobacco Hebei Industry Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China; 3. College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that the inner carton is likely to be contaminated by the migration of ink and clarify the key detection indicators for controlling the quality of (Biaxially Oriented Polypropylene) BOPP cigarette packaging films. The related quality indicators affecting the ink permeability of BOPP cigarette packaging films such as chemical composition, thickness, water vapor permeability, oxygen permeability, contact angle of films and surface microstructure characteristics were systematically studied. The difference of the same detection indicators between ink-permeable BOPP cigarette packaging films and normal films was compared and analyzed. The results showed that the thickness, contact angle, water vapor permeability, oxygen permeability and other indicators had an important effect on the ink penetration resistance of BOPP cigarette packaging films, and the tiny holes in the films were the main reason for the ink to migrate through the films and contaminate the cartons. The contact angle, water vapor permeability and oxygen permeability of BOPP cigarette packaging films can be used as quality control indicators for the inspection of film manufacturers or the cigarette enterprises.

KEY WORDS: biaxially oriented polypropylene (BOPP); ink; barrier property; detection indicators

收稿日期: 2024-07-22

基金项目: 张家口卷烟厂有限责任公司科技项目 (ZY012023B001); 河北中烟工业有限责任公司科技项目 (HBZY2024A058)

*通信作者

双向拉伸聚丙烯 (Biaxially Oriented Polypropylene, BOPP) 薄膜因具有良好的阻隔性能、光学性能、力学性能及热封性能而成为烟草、食品、药品、化妆品和电子元器件等领域重要的包装材料,享有“包装皇后”及烟草行业中“保香公主”的美誉^[1-3]。近年来,国内外对烟用 BOPP 包装膜的研究集中在高性能化、高功能化和差异化发展方向^[4-6],主要表现在降低薄膜的摩擦因数,特别是高温摩擦因数,以适应高速卷烟包装机,保证输送的顺畅性^[7-8];同时优化薄膜母料的配方及薄膜的生产工艺条件^[9-10],以生产出具有高阻隔性^[11]、优良耐磨性^[12]的烟用包装膜(以下简称烟膜)。

在卷烟企业的实际生产中,影响包装效果、产品质量及生产效率的因素除常见的上述性能外,还存在飞包、异味、褶皱及喷码透墨等问题。本研究基于卷烟企业在生产实际中遇到的 BOPP 烟膜因喷码油墨易发生迁移而污染内侧纸盒的问题进行系统研究,指出问题成因,将上机使用过程中发现问题的过程前置到到货检测阶段,找出易于操作、方便检测的关键指标,以期为薄膜生产企业的出厂检验和卷烟企业入库检验的质量控制提供理论依据。

1 实验

1.1 材料和仪器

主要材料:A、B、C 3 家烟膜供应商提供相同规格型号的 21 μm ×117 mm 烟用 BOPP 热收缩膜,其中 A1 为卷烟厂在生产过程中发现的易发生喷码透墨污染包装膜内侧纸盒的烟膜;A2 为同厂家同型号使用过程中反馈无问题的烟膜;B 和 C 分别为另外 2 个烟膜企业生产的相同规格型号的正常使用的烟膜。A 厂家生产的相同规格型号的 BOPP 烟膜对小盒卷烟包装后进行喷码后的对比照片如图 1 所示,可见烟膜 A1 经喷码后,其上油墨透过烟膜污染了内侧包装的纸盒。

仪器:千分台式薄膜测厚仪(CH-1-ST),上海六菱仪器厂;水蒸气透过率测定仪(WB-121F),上海西唐科技有限公司;压差法气体渗透仪(Basic 201),济南兰光机电技术有限公司;光学接触角测量仪(JC2000D1M),上海中晨数字技术设备有限公司;傅里叶红外光谱仪(Nicolet 6700),美国赛默飞世尔科技公司;扫描电子显微镜(SU1510),日立科学仪器有限公司。

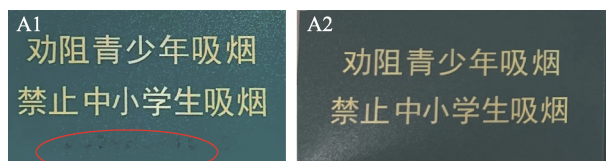


图 1 A1 与 A2 烟膜包装并喷墨打印后内侧纸盒的效果
Fig.1 Effect of inner carton after A1 and A2 cigarette film packaging and ink-jet printing

1.2 方法

1.2.1 红外光谱测定

待测试样使用傅里叶变换衰减全反射红外光谱(Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy, ATR-FTIR)进行定性分析,扫描次数为 32,分辨率为 4.0 cm^{-1} ,扫描数据点间隔为 1.928 cm^{-1} 。

1.2.2 厚度测定

按照 GB/T 6672—2001《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》的规定,测量 BOPP 烟膜的横向厚度、横向厚度极差和横向厚度平均偏差。保持薄膜样品完好整洁无褶皱,在距离样品纵向端部约 1 m 处,沿横向整个宽度截取试样。试样宽度为 100 mm,取样层数为 5 层,分别沿试样长度按等分法测量 10 个不同位置的厚度,测试的起点和终点均距离边缘 5 mm,每点实测厚度除以层数即为对应位置的薄膜厚度。厚度平均偏差及厚度极差见式(1)~(2)。

$$\Delta d = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \dots + |x_n - \bar{x}|}{n} \quad (1)$$

式中: $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为横向厚度测量值, μm ; $\bar{x}$ 为平均厚度, μm 。

$$\Delta d_m = x_{\max} - x_{\min} \quad (2)$$

式中: $x_{\max}$ 为最大厚度, μm ; $x_{\min}$ 为最小厚度, μm 。

1.2.3 透湿性能测定

烟膜的透湿性主要用水蒸气透过量表示,按照 GB/T 1037—2021《塑料薄膜与薄片水蒸气透过性能测定 杯式增重与减重法》的规定,测定 BOPP 烟膜的水蒸气透过量与水蒸气透过系数。选取表面平整,无折痕、划伤、褶皱等缺陷的烟膜,根据夹具尺寸裁切成试样,其面积大于透湿杯的透过面积,裁切时确保试样无毛边。采用杯式增重法,在温度为 $(23 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(50 \pm 1)\%$ 的条件下(试样两侧保持一定的水蒸气压差)测试 72 h 内透过试样的水蒸气质量,以此计算水蒸气透过量。每个试样平行测定 5 组并取平均值,测试值与平均值的偏差应 $<10\%$,否则重新测量。

1.2.4 氧气透过量测定

按照 GB/T 1038.1—2022《塑料制品 薄膜和薄片 气体透过性试验方法 第 1 部分:差压法》的规定,测定 BOPP 烟膜的氧气透过量。准备干净且无折痕、褶皱、划伤等缺陷的 BOPP 烟膜,裁制成直径符合仪器大小的圆形将低压室和高压室分开。试样密封后用真空泵将低压室内空气抽到接近 0,高压室充入 $1.0 \sim 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的氧气。用测压计测量低压室内的压强增量,可确定氧气由高压室透过烟膜到低压室的以

时间为函数的气体量,经仪器自带计算机的测量、计算及校正,输出 BOPP 烟膜氧气透过量的数值。每个试样平行测定 5 组并取平均值,如果测试值与平均值的偏差 $>10\%$,则重新测量。

1.2.5 接触角测定

参照 GB/T 30693—2014《塑料薄膜与水接触角的测量》的规定,测定 4 种 BOPP 烟膜的水接触角和油墨接触角。将准备好的试样置于高度可调的载物台,调节焦距及试样位置使成像清晰,蒸馏水或油墨的进样量为 $2\ \mu\text{L}$,使用悬滴法将液体滴落在试样位置,待接触角图像稳定后拍照,移动试样部位继续测试。每个试样测量 5 次,取平均值。

1.2.6 扫描电镜分析

由于 BOPP 烟膜导电性能较差,在扫描电镜分析前需要进行喷金预处理,喷金电流为 $20\ \text{mA}$,喷金时间为 $60\ \text{s}$ 。

2 结果与分析

2.1 红外谱图分析

4 个样品薄膜的傅里叶红外表征结果如图 2 所示。 2950 和 $2873\ \text{cm}^{-1}$ 处分别为聚丙烯分子链中甲基($-\text{CH}_3$)的不对称和对称伸缩振动吸收峰, 2915 和 $2836\ \text{cm}^{-1}$ 处分别为亚甲基($-\text{CH}_2-$)的不对称和对称伸缩振动吸收峰, 1450 和 $1372\ \text{cm}^{-1}$ 处分别为亚甲基($-\text{CH}_2-$)和甲基($-\text{CH}_3$)的弯曲振动吸收峰^[13]。4 个样品红外谱图的官能团区和指纹区几乎完全相同,说明样品的化学组成并无差异。

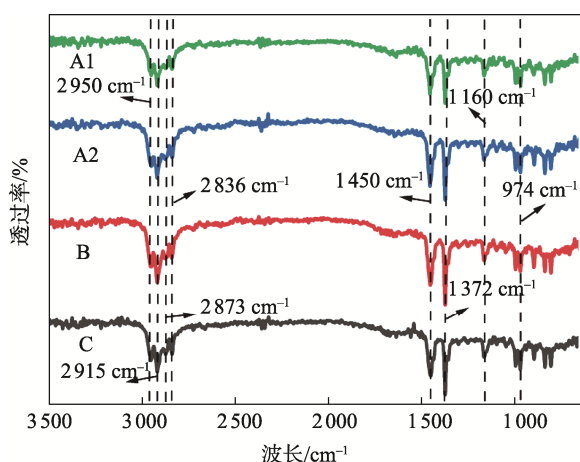


图 2 4 种 BOPP 烟膜的傅里叶红外表征
Fig.2 Fourier transform infrared characterization of four BOPP cigarette packaging films

2.2 厚度分析

烟膜厚度的均匀一致性是影响其光学、力学、阻

隔、热封等关键性能的重要指标。4 种 BOPP 烟膜的横向厚度均值、横向厚度极差和横向厚度平均偏差的测量结果如表 1 所示。由测试结果可知,易透过油墨的烟膜 A1 的横向厚度均值与其余 3 种正常烟膜差别不大,但其横向厚度极差、横向厚度偏差均显著大于其余 3 种。说明烟膜 A1 的厚度均匀性较差,必然会导致各种性能差异。烟膜厚度较小的区域属于薄弱部位,在拉伸定型过程中该部位分子链取向程度更高,出现孔隙的概率更大。

烟膜厚度不均的原因可以从“人、机、料、法”4 个维度分析。生产操作人员由于技术水平、操作习惯以及操作细节上的差异,在拉伸不同批次烟膜时因技术水平不一致而导致厚度不均;拉伸过程中拉力机夹块的磨损、切条机刀片的磨损或拉伸辊速比异常等均会导致烟膜厚度不均;结晶度分布不均、分子链分布不均、熔融指数超标等聚丙烯母料的性能差异是导致烟膜厚度不均的内因;拉伸工艺中,拉伸比或预热及拉伸温度设置不合理也会导致烟膜厚度不均。

表 1 4 种 BOPP 烟膜厚度测试结果
Tab.1 Thickness test results of four BOPP cigarette packaging films μm

烟膜名称	横向厚度 均值	横向厚度 极差	厚度平均 偏差
A1	21.67	1.7	0.578
A2	21.63	0.6	0.212
B	21.64	0.8	0.236
C	21.54	0.8	0.274

2.3 阻隔性能分析

卷烟企业喷码的油墨为有机溶剂,在包装喷码后能够透过烟膜污染内侧纸盒,说明烟膜对于油墨的阻隔性能较差。目前,烟草行业关于烟膜阻隔性能的研究主要以水蒸气透过量和氧气透过量为考察指标^[14-15]。由于 BOPP 烟膜主要成分为疏水的聚丙烯,水蒸气难以润湿,导致无法进一步浸润、渗透、扩散等,因此 BOPP 烟膜的水蒸气透过量一般较低,可以满足对香烟的保湿、防潮等存储需求。烟草香气的主要成分为各种有机酸、醇、酯、醛、酮及芳香性的杂环化合物的混合物,尽管评价烟膜的保香性能应以有机气体透过量为考察指标,但是在世界范围内对材料有机气体透过率检测的研究至今仍处于初级阶段,缺少可用的检测方法和设备。目前,行业内普遍采用的方法为综合测定材料的水蒸气透过量和氧气透过量,并从材料的整体阻隔性能方面评价烟膜。

本研究重点考察了 4 种样品的水蒸气透过量 and 氧气透过量, 测试结果分别见图 3 和图 4。由图 3 和图 4 可以看出, 上机正常使用烟膜的水蒸气透过量均 $\leq 0.31 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 氧气透过量均 $< 650 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ 。YC/T 266—2008《烟用包装膜》中明确规定, 水蒸气透过量应 $\leq 2.0 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0.1 \text{ mm})$, 按此标准计算可得, 膜厚为 $21 \mu\text{m}$ 的烟膜水蒸气透过量应 $\leq 0.42 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。由实验结果可知, 易透过油墨的烟膜 A1 的水蒸气透过量为 $0.55 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 不仅比正常烟膜的水蒸气透过量大很多, 而且远超烟草行业标准的规定。

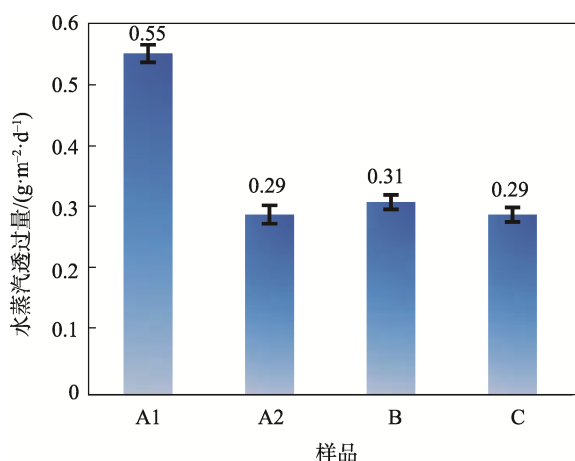


图 3 4 种 BOPP 烟膜的水蒸气透过量测试结果

Fig.3 Test results of water vapor permeability of four BOPP cigarette packaging films

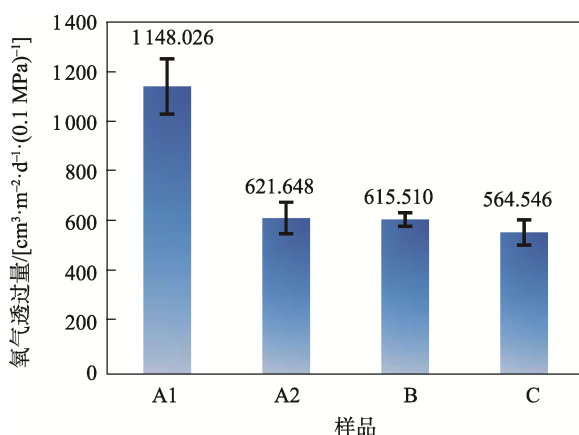


图 4 4 种 BOPP 烟膜的氧气透过量测试结果

Fig.4 Test results of oxygen permeability of four BOPP cigarette packaging films

水蒸气透过量 and 氧气透过量较大, 说明样品 A1 中膜的孔隙和通道数量较多。气体在烟膜中的渗透过程可分为吸附、扩散、脱附 3 个阶段, 影响整个渗透过程的因素包括气体分子大小、极性以及烟膜

的分子链结构、分子量大小和分布、结晶度等。气体渗透越快, 相同时间内透过材料的气体量越多, 反映材料对气体的阻隔性能较差。烟膜表面喷码未干油墨中的有机溶剂对其具有渗透溶胀作用, 从而可促进内部高分子链运动及油墨扩散, 因此在阻隔性能较差的烟膜中, 油墨扩散速度更快, 易污染内侧包装纸盒。

2.4 接触角分析

接触角为表征烟膜表面与液体介质之间润湿性能的重要参数, 接触角越小, 表明液体在烟膜表面的润湿性和铺展性越好。4 种 BOPP 烟膜的接触角测试结果如图 5 所示, 可以看出样品 A1 对水和油墨的接触角均明显低于正常烟膜, 尤其是其油墨接触角只有 13.6° , 远低于 A2 的 21.7° , 说明油墨易于浸润 A1, 进而发生溶解、扩散, 最终透过烟膜表层到达底层。样品 A1 的水接触角为 97.0° , 超过通常情况下划分亲疏水的 90° 临界值, 低于样品 A2 (102.7°)、B (101.4°) 和 C (102.5°) 的接触角, 表明水分子在 A1 烟膜表面仍表现为疏水特性, 但其疏水性能与其余 3 种正常烟膜相比有所下降。此结果也与水蒸气透过量的测试结果一致, 即样品 A1 的亲水性有所提高, 其透湿性相较于其他 3 种烟膜显著增大。

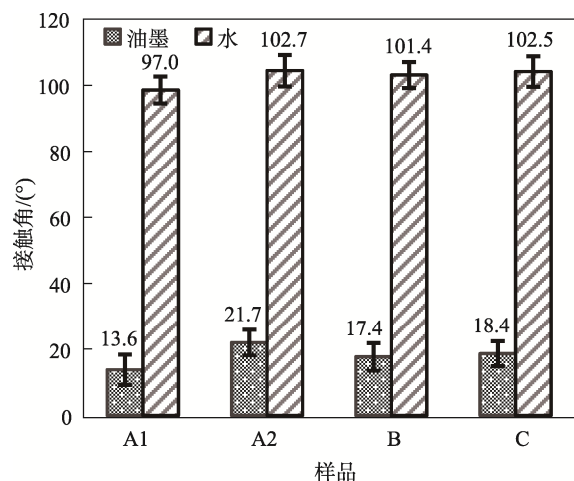


图 5 4 种 BOPP 烟膜的接触角测试结果

Fig.5 Test results of contact angle of four BOPP cigarette packaging films

2.5 扫描电镜分析

4 种 BOPP 烟膜的扫描电镜如图 6 所示。从放大 5 000 倍的图像中可以明显看出烟膜 A1 表面光滑且分布着许多孔洞, 其余 3 种烟膜表面除了表现出不同程度的粗糙度和颗粒感, 并无孔洞。这些孔洞应该是烟膜产生透墨问题的主要原因。

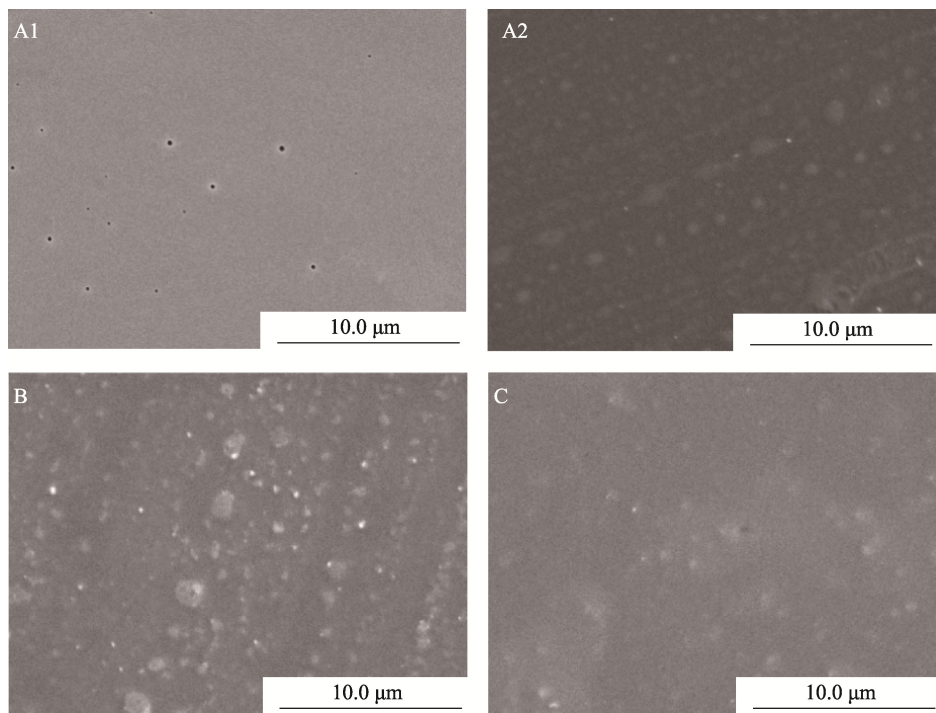


图 6 4 种 BOPP 烟膜的扫描电镜
Fig.6 SEM image of four BOPP cigarette packaging films

3 结语

围绕卷烟企业实际生产中遇到的 BOPP 烟膜出现的喷码透墨问题,选取不同厂家相同规格型号的样品作为测试材料,从材料的化学成分、厚度、阻隔性能、润湿性能及表面形貌等方面进行测试分析。

研究结果表明,BOPP 烟膜产生喷码透墨问题的主要原因为膜表面出现许多孔洞,这些孔洞使得油墨随着溶剂挥发很容易穿过薄膜而污染内层包装的纸盒。对于烟膜生产厂家和卷烟企业,研究薄膜表面微观结构的扫描电镜并不是标配,从方便检测的角度考虑,可以采用接触角测量法结合水蒸气透过量 and 氧气透过量的检测来控制烟膜的品质。如果烟膜的水接触角 $<101^\circ$,则表明其被水润湿的可能性较大,需要重点关注其透湿、透氧的阻隔性能。结合本研究的测试结果及相关烟草行业、企业标准可以得出,若烟膜的水蒸气透过量 $>1.67 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0.1 \text{ mm})$,氧气透过量 $>650 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0.1 \text{ MPa})$,则极有可能出现喷码透墨问题。此外,烟膜的厚度均匀性也是需要考察的检测指标,当横向厚度极差 $>0.8 \mu\text{m}$ 、厚度平均偏差 $>0.3 \mu\text{m}$ 时,会因膜的厚度不均产生上机问题。

参考文献:

[1] 卢洪超,徐萌,权慧,等.双向拉伸过程中聚丙烯薄膜结构与性能的演变[J].塑料工业,2023,51(9):

82-87.

LU H C, XU M, QUAN H, et al. Evolution of Polypropylene Film Structure and Properties During Biaxial Stretching[J]. China Plastics Industry, 2023, 51(9): 82-87.

[2] 齐先锋,王兆中,张庆,等. BOPP 薄膜的生产工艺和原料介绍[J]. 中国包装,2023,43(11): 27-34.

QI X F, WANG Z Z, ZHANG Q, et al. The Production Process and Raw Materials of BOPP Film[J]. China Packaging, 2023, 43(11): 27-34.

[3] GHAANI M, SOLTANZADEH M, CARULLO D, et al. Development of a Biopolymer-Based Anti-Fog Coating with Sealing Properties for Applications in the Food Packaging Sector[J]. Polymers, 2024, 16(12): 1745.

[4] 宋寿亮,陈兴锋,黄昌敏,等.耐刮擦高挺度 BOPP 专用料 L5D98N 开发及运用[J]. 炼油与化工,2024,35(1): 69-72.

SONG S L, CHEN X F, HUANG C M, et al. Development and Application of Anti-Scratch High Stiffness BOPP Special Material L5D98N[J]. Refining and Chemical Industry, 2024, 35(1): 69-72.

[5] LIM W S, OCK S Y, PARK G D, et al. Heat-Sealing Property of Cassava Starch Film Plasticized with Glycerol and Sorbitol[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 26: 100556.

[6] LIU J, XIA F, LI X, et al. Polyacrylate Latexes with Alkali-Soluble Resin as Surfactant: Effect of Functional

- Monomers, Detection and Control of Residual Monomers[C]// China Academic Conference on Printing and Packaging, 2023: 486-493.
- [7] 谢波, 涂志刚, 周先进, 等. 低摩擦因数热收缩 BOPP 包装薄膜的开发[J]. 中国塑料, 2024, 38(6): 78-81.
XIE B, TU Z G, ZHOU X J, et al. Development of Heat Shrinkable BOPP Packaging Film with Low Friction Coefficient[J]. China Plastics, 2024, 38(6): 78-81.
- [8] 樊华, 周先进, 王凯, 等. BOPP 烟膜最佳摩擦系数控制范围研究[J]. 塑料包装, 2024, 34(2): 22-24.
FAN H, ZHOU X J, WANG K, et al. Study on the Optimal Friction Coefficient Control Range of BOPP Cigarette Film[J]. Plastics Packaging, 2024, 34(2): 22-24.
- [9] 李新芳, 李育雄, 涂志刚, 等. 爽滑母料对双向拉伸聚丙烯烟包装膜性能的影响[J]. 化工新型材料, 2022, 50(2): 274-277.
LI X F, LI Y X, TU Z G, et al. Influence of Smooth Masterbatch on Property of BOPP Film for Cigarette Package[J]. New Chemical Materials, 2022, 50(2): 274-277.
- [10] 王红兵, 张涛, 张少伟, 等. 双向拉伸聚丙烯防雾滴薄膜的制备及性能研究[J]. 安徽化工, 2020, 46(6): 64-66.
WANG H B, ZHANG T, ZHANG S W, et al. Preparation and Properties of Biaxially Oriented Polypropylene Antifogging Film[J]. Anhui Chemical Industry, 2020, 46(6): 64-66.
- [11] 陈泳, 林慕珊, 刘奇琛, 等. 具高阻隔性能的耐磨预涂膜新材料的制备新工艺[J]. 轻工科技, 2023, 39(6): 140-143.
CHEN Y, LIN M S, LIU Q C, et al. New Preparation Process of Wear Resistant Pre-Coating New Material with High Barrier Property[J]. Light Industry Science and Technology, 2023, 39(6): 140-143.
- [12] 周先进, 杨建武, 赵燕. BOPP 烟膜的耐磨性能研究[J]. 塑料包装, 2022, 32(2): 39-42.
ZHOU X J, YANG J W, ZHAO Y. Study on the Wearing Resistance of BOPP Cigarette Film[J]. Plastics Packaging, 2022, 32(2): 39-42.
- [13] 贺韧, 闫爱华, 方鑫, 等. BOPP 薄膜热封温度对其包装成型光学性能的影响[J]. 现代化工, 2023, 43(增刊 2): 225-227.
HE R, YAN A H, FANG X, et al. Effects of Heat-Sealing Temperature for BOPP Film on Its Package Molding and Optical Properties[J]. Modern Chemical Industry, 2023, 43(Sup.2): 225-227.
- [14] 谭国静, 杨凯, 褚学军. 探究温度对复合膜阻隔性和力学性能的影响[J]. 包装工程, 2023, 44(13): 49-54.
TAN G J, YANG K, CHU X J. Effect of Temperature on the Barrier and Mechanical Properties of Composite Films[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(13): 49-54.
- [15] 周先进, 赵燕, 季云飞, 等. BOPP 烟膜的透湿量研究[J]. 塑料包装, 2021, 31(3): 9-11.
ZHOU X J, ZHAO Y, JI Y F, et al. Study on the Moisture Permeability of BOPP Cigarette Film[J]. Plastics Packaging, 2021, 31(3): 9-11.