

# 原料结构对 BOPP 薄膜拉伸工艺及性能的影响

朱 林 (佛山佛塑科技集团股份有限公司东方电工膜分公司, 广东 佛山 528000)

**摘要:** 在本文中为了有效分析双向拉伸聚丙烯薄膜拉伸工艺力学性能。针对代号为 A-E, 5 种不同典型结构的 BOPP 薄膜专用料进行针对性研究。最终得出研究结果, 不同原料所富含的共聚单体含量以及原料分子链规度会直接影响薄膜的性能。在 5 种原料中, D 原料含有较高的共聚组分, 同时还具备较宽的拉伸工具窗口, 但是力学性能较差。

**关键词:** 双向拉伸聚丙烯薄膜; 分子结构; 拉伸工艺; 薄膜性能

## 0 引言

BOPP 薄膜所使用的拉伸工艺为平膜法双向拉伸工艺。该种工艺技术可以满足 BOPP 薄膜所需要的高强度、挺度高透明性的要求。同时生产出的 BOPP 薄膜厚度均衡, 在胶带、包装等领域中得以普遍使用。目前 BOPP 薄膜在我国的产量与日俱增, 但是还需要加深对 BOPP 专用料以及薄膜加工技术的研发, 从而使水晶膜、高光泽烟膜等贴上国产化标签。在本文当中为研究 BOPP 薄膜拉伸工艺以及性能, 分析五种不同的 BOPP 专用料分子结构性能, 在优化薄膜拉伸工艺窗口范围的基础之上, 展开对其性能和拉伸工艺的概述。

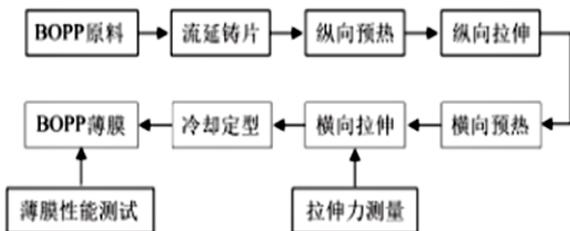
## 1 实验部分

### 1.1 BOPP 原料、设备仪器

在本文中选用 A-E, 5 种原料, 所使用的设备仪器分别为德国公司生产的 Karo IV 型号薄膜拉伸试验机, 还包括偏光应力仪以及 LCR400 多层共挤出流延机等<sup>[1]</sup>。

### 1.2 试样制备

下图便是制备 BOPP 薄膜的工艺流程, 大概流程当中所使用的设备为多层共挤, 挤出流延机, 并借助分步法双向拉伸工艺。从而使薄膜成型, 依次来测试和分析成型薄膜的各项性能。



BOPP 薄膜双向拉伸工艺流程

### 1.3 性能测试

测试所成型薄膜性能需要进行拉伸实验, 测定内容主要包含三点: 第一测定薄膜力学性能, 可以参考 GB/T1040.3-2006 标准; 第二, 在偏光应力仪的帮助下, 测定薄膜当中所含有的残余应力。

## 2 结果与讨论

### 2.1 BOPP 专用料的性能

下图中的表一是针对 5 种不同的 BOPP 专用料, 从上到下运用代号 A-E 代替, 并从共聚单体含量、熔融温度、结晶温度等角度入手, 分析其热性能、力学性能及

分子结构。根据表中的数据可以看出, D 专用料具有较高的共聚单体含量, 但是结晶温度 ( $T_m$ )、熔融温度 ( $T_m$ )、力学性能呈现出降低的趋势。

表 1 BOPP 专用料的力学性能

| BOPP 专用料牌号 | 弯曲强度 /MPa | 弯曲模量 /GPa | 拉伸强度 /MPa | 缺口冲击强 (kJ.m <sup>-2</sup> ) |      |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|------|
|            |           |           |           | 23℃                         | -20℃ |
| A          | 34.4      | 1.52      | 34.3      | 4.3                         | 1.8  |
| B          | 37.3      | 1.67      | 35.6      | 4.2                         | 1.5  |
| C          | 36.1      | 1.60      | 35.5      | 4.3                         | 1.6  |
| D          | 32.2      | 1.32      | 33.4      | 4.2                         | 1.5  |
| E          | 33.9      | 1.44      | 33.7      | 4.1                         | 1.6  |

### 2.2 BOPP 薄膜拉伸工艺分析

在本文当中主要选取了从 a-h, 8 种不同的拉伸工艺, 旨在挑选出最适合专用料的最佳拉伸工艺。拉伸工艺的好坏会直接影响薄膜的成膜性和性能。因此需要针对不同的专用料, 匹配最适宜的拉伸工艺, 才能在实际生产当中发挥最大效用。

### 2.3 力学性能分析

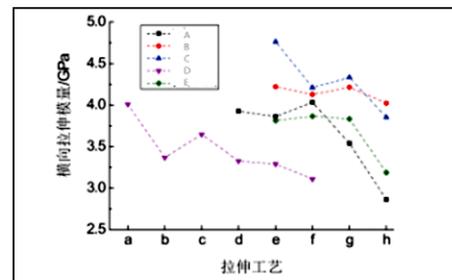


图 1 BOPP 横向拉伸模量随拉伸工艺的变化

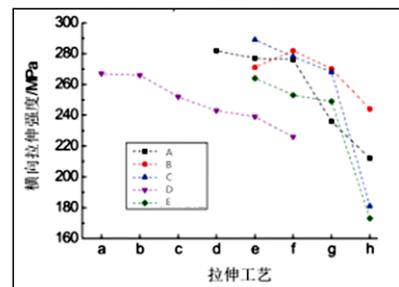


图 2 BOPP 薄膜横向拉伸强度随拉伸工艺的变化  
为了测定 BOPP 薄膜的力学性能, 针对 8 种不同的

拉伸工艺。测定其横向拉伸模量以及横向拉伸强度。图1、图2表明尽管拉伸温度一直在持续上升,但是拉伸强度和拉伸模量却一直呈现下降的趋势,产生此种现象的原因是受到随着温度的不断升高增强了材料分子链的活动性,取向结构受到性取向影响,取向度降低进而影响力学性能。但是在下图当中拉伸模量以及拉伸强度,其力学性能最低的为D薄膜,其次为E薄膜,前者呈现最低的原因是由于本身含有大量的共聚单体,结晶度降低;而后者则是具有较低的等规度。因此,分析影响薄膜力学性能的因素,可以从共聚单体含量以及大分子链等规度方面入手<sup>[2]</sup>。

### 2.4 拉伸均匀性

薄膜的拉伸均匀性以及厚度偏差,会直接受到拉伸工艺的影响。因此在本文当中,通过采用正交偏振光视场方式以及标准对比值法测算,观察在不同拉伸工艺中,A原料所制作成型的薄膜拉伸均匀性,并计算薄膜中心应力值。

公式如下:

$$S = \frac{R}{t \cdot CB}$$

其中,S为应力;R为光程差;CB指的是 Brewster 常数;薄膜厚度用t表示。

根据下图随着不同的拉伸工艺薄膜应力以及均匀性所发生的变化,从整体上来看应力会随着温度的提升而降低,其降低幅度约为50%左右。但是根据图5当中的4种工艺上的应力变化,可以发现在d工艺中,应力存在集中区,薄膜呈现不均匀的分布状态;而f工艺,薄膜颜色均衡,应力呈现平均分布的状态;而剩下的两种工艺,存在较大的应力差值以及明显的黑色低应力区,无法达到稳定的平衡均匀分布<sup>[3]</sup>。

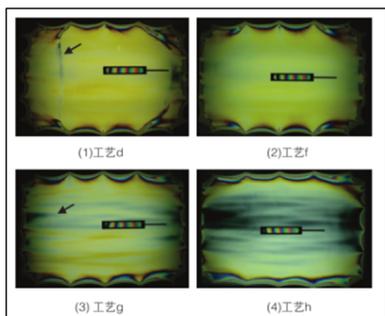


图3

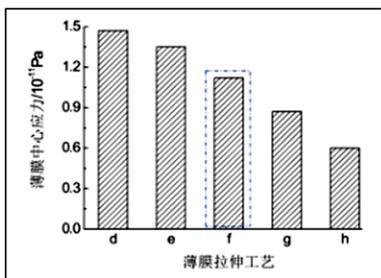


图4 薄膜应力及其均匀性随拉伸工艺的变化

### 2.5 拉伸工艺温度、拉伸工艺窗口

结合上述所有图力学性能等在内的实验数据信息,

可以对专用料的拉伸工艺窗口以及拉伸工艺温度进行优选和判断。例如,A、B、C和E专用料所适用的最优拉伸工艺为f-g-g-f,而另外一种专用料,则可以选择c拉伸工艺<sup>[5]</sup>。

下图指的是不同的专用料所表现出的优先横向拉伸温度示意图。根据图中的数据,拉伸温度最低可达157℃,最高为168℃左右。专用料的拉伸温度由低到高排列分别为D、A、E、B与C等同温度。之所以D原料具有较低的拉伸温度,是由于其为丁烯共聚的PP原料,BOPP薄膜的双向拉伸范围位于玻璃化转变温度以上,PP熔点以下范围内。PP原料的拉伸需要经过一定的加热。同时该原料当中还有大量的共聚单体含量,大分子链以及链接活动频繁,从而降低结晶度以及熔融温度、热变形温度,进而导致薄膜的拉伸温度以及铸片的融化温度降低。最终可以拉伸成膜,并形成较宽的拉伸工艺窗口范围。因此总的来说,原料的热变形温度、分子结构等在内的因素都会影响薄膜拉伸工艺以及性能<sup>[4]</sup>。

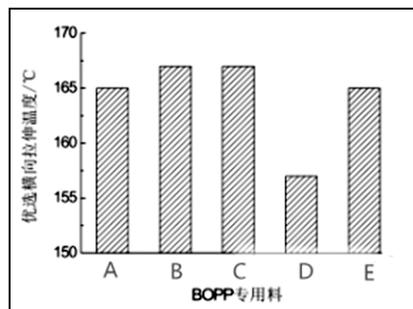


图5 各BOPP专用料在优选拉伸工艺下的拉伸温度

### 3 结论

综上所述,通过对不同的原料进行双向拉伸实验,在分析其力学性能、拉伸均匀性与拉伸工艺和性能直接关联的基础之上,可以判断出原料当中的共聚单体含量、分子链等规度会直接影响薄膜的性能。此外,拉伸温度的不断上升,会降低薄膜的力学性能。但是较低的拉伸温度会导致薄膜表面拉伸分布不均匀;其次,D原料还有较高的共聚单体含量、较低的熔温以及结晶温度,再加之具有较宽的拉伸工艺窗口,因此具备较低的力学性能。

#### 参考文献:

- [1] 高达利,张师军,邹浩等.BOPP薄膜双向拉伸工艺的探讨[J].塑料科技,2015,43(9):42-45.
- [2] 高达利张师军,郭梅芳,等.丙烯-1-丁烯共聚BOPP结构及其薄膜拉伸工艺[J].合成树脂及塑料,2015,32(6):17-20.
- [3] 高达利,张师军,邹浩等.BOPP薄膜双向拉伸过程中拉伸力的探讨[J].塑料工业,2011,39(8):114-117.
- [4] 赵燕,周先进,吴增青.热处理对BOPP薄膜性能的影响研究[J].中国塑料,2006,20(1):71-73.
- [5] 邱丽萍.BOPP薄膜专用料结构与性能研究[J].石油化工,2005,34(z1):553-555.