

基于生物降解材料的塑料薄膜制造工艺优化研究

单正军¹ 黄建平¹ 汪学良¹ 汪振球² 杨彤红²

1. 贵州省烟草公司毕节市公司 贵州毕节 551700

2. 南雄市金叶包装材料有限公司 广东南雄 512400

摘要: 在全球环境问题日趋严重的背景下,传统塑料制品由于难以降解和严重污染环境而受到社会各界关注。尤其是一次性塑料制品用量大,致使塑料垃圾越来越突出。为了解决这一难题,开发环保友好、可生物降解材料已成为世界各国科研机构与企业的共同目标。生物降解材料由于能在一定条件下能自然地分解成无害物质而逐步成为取代传统塑料的一个重要发展方向。塑料薄膜作为一种被广泛用于包装,农业以及日常生活等领域的物质,环保性显得尤为迫切。所以以生物降解材料为原料对塑料薄膜的制造工艺进行优化具有很大的研究价值与实际意义。文章系统的分析影响生物降解塑料薄膜性能的关键工艺因素,探索优化的制造工艺方案,以期为该领域提供新的理论依据和技术支持。

关键词: 生物降解材料; 塑料薄膜制造; 工艺优化

引言

塑料薄膜因具有优越的物理性能,方便的加工工艺和广阔的应用领域而成为世界上不可缺少的物质。但是传统塑料薄膜以石油基高分子材料为主要原料,这类材料既来自不可再生石油资源又很难自然降解而被废弃,对生态环境造成了很大的负担。在这一背景下,生物降解材料研究和应用就成了促进塑料产业绿色转型中至关重要的环节。生物降解材料主要来源于可再生资源,如淀粉、聚乳酸(PLA)、聚羟基脂肪酸酯(PHA)等。这类材料不但具有良好的生物相容性及可降解性,还能在一定条件下降解成二氧化碳,水及少量无机物而不产生二次污染。所以人们普遍认为生物降解材料是治理“白色污染”的最理想的选择之一。

一、生物降解塑料薄膜的材料基础

1. 生物降解塑料的分类及特点

生物降解塑料是一种能在自然环境中通过微生物作用分解成二氧化碳、水和有机物的塑料,具有降低环境污染的潜力。生物降解塑料的主要种类有聚乳酸(PLA)、聚羟基脂肪酸酯(PHA)以及淀粉基塑料。聚乳酸(PLA)是由如玉米和甘蔗这样的可再生资源制成的,它拥有出色的透明度和机械特性,非常适合用于包装和一次性产品等领域,并且在工业堆肥的环境中可以迅速分解。聚羟基脂肪酸酯(PHA)是由细菌经过发酵过程生成的一种聚合物,它展现出卓越的生物相容性和可降解

性,因此在医疗和农业等高端行业中具有广泛的应用潜力,其机械性能与常规石油基塑料相似,但是生产成本很高。淀粉基塑料是由经过改良的天然淀粉制作而成,经常与其他种类的聚合物混合,它具备出色的降解能力和成本效益,因此在农业薄膜和购物袋等多个领域得到了广泛应用。然而,淀粉基塑料的力学性能和耐水性较差,通常需要通过添加剂或与其他材料复合来提高其性能。

2. 生物降解塑料的降解机制

生物降解塑料的降解机制主要依赖于微生物的作用,以及环境条件的影响。降解过程通常分为两个阶段:第一阶段是物理或化学的预处理,包括塑料在自然条件下的光解、热解或水解反应。在这个阶段,塑料的分子链断裂,使其变得更易于被微生物处理。第二阶段是微生物的生物降解过程,微生物如细菌、真菌和藻类分泌酶类,将已被初步分解的塑料分子进一步分解为低分子量的化合物,如单糖、短链脂肪酸等。这些小分子最终被微生物吸收,转化为二氧化碳、水和有机物等副产物。不同类型的生物降解塑料,其降解速度和机理会有所差异。比如,聚乳酸(PLA)主要通过水解降解,在高温高湿的堆肥环境下降解较快,而聚羟基脂肪酸酯(PHA)更依赖微生物的直接作用,即在土壤或海洋环境中降解性能较好。淀粉基塑料在环境中则较容易被微生物分解,因为淀粉本身是天然的有机物,微生物可直接作用于其分子结构。降解过程的效率还受温度、湿度、氧气和光照等环境因素的显著影响,不同的环境条件下,降解时

间和效果会发生变化。

3. 影响材料性能的因素

影响生物降解塑料材料特性的主要因素有分子量、分子量分布、加工温度、湿度和添加剂。分子量对材料机械性能、降解速度等都有直接影响。高分子量生物降解塑料一般强度较好、韧性较好，但是降解速度比较缓慢，低分子量塑料更易被微生物降解。对于聚乳酸（PLA），其分子量通常在50,000到200,000之间，分子量越大，材料的耐热性和力学强度越高，但在堆肥条件下的降解时间也 longer。湿度和温度对材料性能的影响也是非常关键的。在高湿度环境中，特别是当湿度超过60%时，生物降解塑料容易吸水膨胀，从而导致材料的机械性能降低。加工温度对材料结晶度及熔融行为有显著影响；PLA加工温度通常为160℃~180℃；温度过高会使材料发生分解，过低会影响塑化效果。另外，增塑剂、稳定剂、结晶促进剂等添加剂的应用对生物降解塑料性能也有一定影响。添加增塑剂能改善材料柔韧性，但是过多使用则使其强度下降，阻隔性能变差。

二、生物降解塑料薄膜的制造工艺

1. 常见的薄膜成型工艺

薄膜成型工艺在生物降解塑料的生产中扮演着关键角色，常见的工艺包括吹膜法、流延法和双向拉伸法（BOP）。吹膜法通过挤出机将熔融塑料挤出，形成圆形薄管，然后通过空气吹胀成薄膜，再经过冷却和卷曲。这种工艺适合大规模连续生产，能够制备具有一定强度和韧性的薄膜，常用于包装材料中。典型的吹膜厚度范围在10到200微米之间，温度和压力控制对于薄膜的均匀性和透明度至关重要。

流延法（也称为平膜挤出）是另一种常见的薄膜生产工艺，熔融的塑料通过宽缝模头挤出成片状薄膜，随后经过冷却辊冷却定型。这种工艺能够生产厚度均匀、透明度高的薄膜，适合需要高光泽度和优异平整度的应用，例如食品包装和农业薄膜。流延法的生产速度较快，通常适用于聚乳酸（PLA）等热塑性塑料的加工。

双向拉伸法则是通过机械方式在两个方向上拉伸塑料薄膜，从而提升薄膜的强度、透明度和阻隔性能。该工艺特别适用于需要高强度和高性能的薄膜，如电子产品包装和食品保鲜膜。经过双向拉伸的薄膜在机械性能上表现出优异的延展性和抗撕裂性，拉伸比通常为3:1至5:1。

2. 制造工艺中关键参数对薄膜性能的影响

薄膜制造工艺中的关键参数对最终产品的性能有

重要影响，特别是在温度、压力、拉伸速率和冷却速度等方面。加工温度直接影响塑料的流动性和结晶行为，过高的温度可能导致材料的热降解，尤其是对聚乳酸（PLA）等生物降解塑料来说，其加工温度通常控制在160℃至180℃之间。温度过低会影响熔体流动性，导致薄膜表面粗糙、厚度不均匀。

压力是另一个关键因素，在吹膜工艺中，挤出压力影响熔体的流动状态，较高的压力可以帮助薄膜更均匀地形成，但过高的压力可能导致膜管不稳定或气泡破裂。拉伸速率决定了薄膜的取向性和机械性能，适度的拉伸可以增强薄膜的强度和透明度，拉伸速率过快会导致薄膜变薄甚至撕裂，过慢则可能使薄膜厚度不均匀。

冷却速度对薄膜的结晶度和力学性能影响显著，较快的冷却速度通常会抑制结晶，使薄膜更加透明且柔韧，而较慢的冷却速度则有助于提高结晶度，提升薄膜的强度和热稳定性。在吹膜工艺中，冷却环的温度控制非常重要，通常设定在10℃至30℃，以确保薄膜的均匀冷却。通过精确调控这些关键参数，可以有效优化薄膜的性能，满足不同应用场景的需求。

3. 生物降解塑料与传统塑料加工的差异

生物降解塑料与传统塑料在加工工艺上存在明显差异，这些差异主要体现在材料的热敏感性、加工温度范围、流动性以及结晶行为上。生物降解塑料如聚乳酸（PLA）和聚羟基烷酸酯（PHA）等，通常具有较窄的加工温度窗口。PLA的熔融温度范围在160℃至180℃，而传统的聚乙烯（PE）和聚丙烯（PP）的加工温度往往较高且范围更广，通常在200℃以上。此外，生物降解塑料对温度的波动更加敏感，稍有不慎就可能对材料的热降解或力学性能下降。流动性方面，生物降解塑料的熔体黏度通常较低，这意味着在相同的加工条件下，其流动性较强，需要更加精确地控制压力和剪切速率，以避免薄膜的厚度不均或表面缺陷。与传统塑料相比，生物降解塑料的热稳定性较差，这要求加工设备必须更精确地控制温度和加工时间，以防止材料降解。结晶行为的差异也显著影响了生物降解塑料的加工特性。PLA等生物降解塑料的结晶速率较慢，冷却过程需要适当延长，以便获得理想的结晶度，从而提升薄膜的机械强度和热稳定性。相反，传统塑料的结晶速率较快，加工中对冷却速度的要求较低。

三、工艺优化策略

1. 薄膜厚度均匀性优化

优化膜厚的均匀性需从设备，工艺参数等多方面着

手。首先,挤出机温度的控制是一个关键的因素,在不同地区温度要稳定,避免因温度波动而造成熔体流动不均匀。挤出温度一般要求准确控制在 $160^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$,特别是生物降解塑料加工过程中,温度过高会导致材料降解,过低又会影响到熔体均匀性、流动性等。另外,螺杆转速控制对薄膜厚度有显著影响,转速过高会使熔体出料速度不够平稳,易引起厚度不均,转速偏低则影响生产效率。

模头设计是否准确对薄膜厚度优化也很重要,模头间隙要一致以确保熔融塑料沿宽度分布均匀。采用共挤技术能显著提高膜厚均匀性,采用多层结构共挤使膜各层厚度能够互相弥补,以提高膜厚整体一致性。吹膜过程中冷却环风量大小及温度调控也会显著影响膜厚分布,冷却不均匀会使膜各区域收缩速率不一致,从而产生膜厚差别。

2. 薄膜结晶度优化

薄膜结晶度对薄膜的力学性能,热稳定性以及透光性等都有直接的影响,所以结晶度优化对于增强薄膜性能至关重要。结晶度主要由材料分子结构,加工条件及冷却过程决定。对于如聚乳酸(PLA)这样的生物降解塑料,其结晶过程相对缓慢,因此,恰当地控制冷却的速度成为提升其结晶性的核心策略。冷却过快抑制了结晶并使薄膜呈无定形,虽然这增加了透明度,但却减弱了力学性能及热稳定性。所以,将冷却环或者冷却辊温度控制在一个比较低的范围内,一般为 $10^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$,这样有利于促进结晶的进行,从而提高膜的强度以及耐热性。

加工温度又是决定结晶度高低的一个主要参数。高加工温度能使物料在熔融状态下保持较长时间,有利于分子链排列结晶。对PLA而言,挤出或者吹膜处理温度一般要控制在 $160^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 范围内,过低的温度将制约物料流动性及结晶行为。拉伸工艺也会影响结晶度,合适的拉伸能改善分子链取向性进而促进结晶的发生,特别是双向拉伸作用下分子受到纵、横两个方向的拉伸更趋于有序,有利于整体结晶度的改善。通过加入如滑石粉或纤维素这样的结晶促进剂,可以显著加快结晶的速度,从而使薄膜在相对较短的时间里达到理想的结晶状态。

3. 薄膜透气性与阻隔性优化

薄膜的透气性和阻隔性是薄膜在包装、农业和其他应用方面的关键性能,对这些性能进行优化需从材料结构、配方等方面着手。材料的透气性与其分子结构和结晶度紧密相关,例如,生物降解塑料如聚乳酸(PLA)和聚羟基烷酸酯(PHA)具有较高的分子链排列密度,

这使得它们在自然状态下具有较好的阻隔性,但其透气性相对较差,通过调整物料结晶度可对气、水渗透速率有一定控制。高结晶度使分子链排列更致密,使阻隔性提高,同时透气性下降。所以在运用时需结合具体的需求来兼顾二者。配方调整是薄膜性能优化的又一个重要途径,添加增塑剂或者纳米材料能有效地改变薄膜微观结构和增强阻隔性能,例如,层状纳米黏土的加入可以形成一层紧密的阻隔层阻碍气体分子的透过,显著提高了薄膜对气体的阻隔性,但从透气性角度来看,添加一些孔隙性材料或者调节共混比例均能增大薄膜透气通道并改善透湿性,这些方法对农业用薄膜及食品包装特别重要,前者要求透气性较好,有利于水汽与氧气交换,而后者要求阻隔性较强,才能使食品保鲜期延长。

结束语

通过对生物降解材料塑料薄膜制造工艺的深入研究与优化,可以显著提升其在不同应用场景中的性能和可持续性。本文探讨了薄膜制造过程中关键工艺参数如温度、压力、拉伸速率和冷却速度对薄膜厚度均匀性、结晶度以及透气性和阻隔性的影响。通过精确控制这些参数,并结合材料配方的调整,如添加增塑剂、纳米材料或结晶促进剂,能够实现薄膜性能的显著优化,满足农业、食品包装等领域的多样化需求。此外,针对生物降解塑料相较于传统塑料在加工过程中所表现出的独特热敏感性和流动性挑战,提出的工艺优化策略不仅提高了生产效率,还确保了产品的质量和环保特性。随着技术的不断进步和市场对环保材料需求的增加,生物降解塑料薄膜的工艺优化将为可持续发展作出更大贡献,也为未来进一步的研究和应用奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 李建国. 废弃生物降解塑料处置技术及碳排放研究[D]. 天津商业大学, 2023.
- [2] 张滨. 塑料薄膜生物降解测试技术研究[J]. 绿色科技, 2022(016): 024.
- [3] 殷飞翔, KAPAMBWE Bwalya, 林芷芊, 等. 基于纳米材料改善生物降解薄膜气体阻隔性的研究进展[J]. 复合材料学报, 2024, 41(10): 5137-5149.
- [4] 杜华, 杜建峰, 江晓芬, 等. 生物基降解塑料薄膜的室内自然老化[J]. 杭州化工, 2022, 52(1): 5.
- [5] 王跃平, 郭锐, 王日辉, 等. 生物降解塑料结构与性能研究[J]. 齐鲁石油化工, 2023, 51(4): 249-255.