

http://pmse.scu.edu.cn

基于双转子连续混炼挤出机的聚乳酸/淀粉共混物的制备及性能

万舟, 黄倩琦, 倪辉, 朱惠豪, 马玉录, 谢林生

(华东理工大学绿色高效过程装备与节能教育部工程研究中心, 上海 200237)

摘要:以淀粉和聚乳酸(PLA)为原料、甘油为增塑剂,采用双转子连续混炼挤出机通过熔融共混法制备了PLA/淀粉共混物,研究不同转子转速和甘油含量下,共混物的微观结构、流变性能、结晶性能和力学性能,得到剪切作用及增塑剂含量对共混物两相相容性的影响。对共混物的扫描电镜照片、红外光谱图以及动态频率扫描曲线进行分析。结果表明,适当提高转子转速及甘油含量有利于提高淀粉的塑化程度,改善淀粉与PLA之间的相容性。差示扫描量热分析曲线表明,共混物的结晶度随着甘油含量的提高而降低。当甘油质量分数为20%、转速为300 r/min时,淀粉分散相与PLA基体的相容性最好,共混物具有良好的力学性能,拉伸强度达到25.1 MPa、弯曲强度达到33.1 MPa。

关键词:聚乳酸;淀粉;甘油;双转子连续混炼挤出机;相容性

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7555(2023)02-000

聚乳酸(PLA)是一种人工合成的可降解聚酯,具有较高的强度和优异的生物降解性能,可作为石油基塑料替代品^[1],然而高昂的生产成本限制了该材料的应用范围^[2]。淀粉作为一种来源丰富、价格低廉、可再生且可完全降解的天然高分子材料,被认为是最有潜力的可降解材料之一^[3]。但淀粉的可加工性能差,且有着亲水性强、力学性能低等缺点^[4]。将淀粉与PLA进行共混,可以在保留PLA良好的力学性能和生物降解特性的基础上降低制品成本^[5,6]。然而,淀粉的强亲水性与PLA的强疏水性使得两相的共混物相容性较差,力学性能不佳^[7]。使用增塑剂对淀粉进行增塑处理,可以改善淀粉与PLA的相容性,提高共混物的性能^[8]。研究表明,增塑剂、温度和剪切作用都会影响淀粉的增塑改性效果^[9,10],进而影响淀粉/PLA共混体系的相容性。

目前相关的研究都依托于双螺杆挤出机,而双转子连续混炼机所具有优异拉伸混合特性赋予其优异的高填充混合能力,在填充改性材料、功能材料的制备中已经得到了广泛的应用。因此,开展PLA/淀粉共混物新的制备方法的研究对于PLA/淀粉可降解材料的推广应用具有重要的意义。本文

利用实验室自行开发的双转子连续混炼挤出机制备PLA/淀粉共混物,研究了混炼机的剪切作用和甘油含量对共混物的微观结构、流变性能、结晶性能和力学性能的影响,从而得出剪切力大小及增塑剂含量对共混物两相相容性的影响。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

PLA: 4032D, 美国NatureWorks公司; 玉米淀粉: 食品级, 玉峰实业集团有限公司; 甘油: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

双转子连续混炼挤出机: ECM30, 实验室自行研制; 真空干燥箱: DXF-6050, 上海新苗医疗器械制造有限公司; 平板硫化机: YT-LH102A, 东莞市仪器检测设备有限公司。

1.2 样品制备

将淀粉与PLA粒料在真空烘箱中干燥12 h, 温度为80 °C。在淀粉中加入一定量的甘油, 用高速混合机在120 °C搅拌20 min后取出, 在密封袋中静置18 h得到预塑化淀粉。将PLA和淀粉以质量比7:3的比例在振动混合器中预混后加入双转子连续混

炼机中混炼造粒,机筒各段的温度为进料区 40 °C、混炼一区 100 °C、二区 145 °C、三区 150 °C、四区 150 °C、五区 150 °C、六区 160 °C、七区 160 °C、机头 160 °C,加料量为 5.8 kg/h。实验分为 2 个部分:(1) 转子转速分别为 100 r/min, 200 r/min, 300 r/min, 400 r/min 和 500 r/min, 此时甘油的质量分数固定为 20%;(2) 共混物中甘油的质量分数(淀粉和 PLA 的总质量分数为 100%)分别为 8%, 12%, 16%, 20% 和 24%, 此时转子转速固定为 300 r/min。所得到的共混物颗粒经烘干后采用平板硫化机模压成型, 制得所需的样条。

1.3 测试与表征

1.3.1 扫描电镜分析:将样条置于液氮中脆断,对断面进行喷金处理,利用德国蔡司公司 Sigma 300 型扫描电子显微镜(SEM)观察断面形貌,加速电压为 3 kV,放大倍数为 500 倍。

1.3.2 红外光谱分析:利用美国赛默飞世尔科技公司 Nicolet iS5 型傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)对样条进行红外光谱分析,采用衰减全反射模式,扫描波数范围为 600~4000 cm^{-1} ,扫描次数 32,分辨率为 4 cm^{-1} 。

1.3.3 动态流变性能测试:利用英国马尔文仪器有限公司 Bohlin Gemini 2 型平板流变仪对样品进行动态流变性能测试,使用直径为 25 mm 的平行平板夹具,两板间隙为 1 mm,动态频率扫描温度为 170 °C,振幅为 1%,扫描频率范围为 0.1~100 rad/s。

1.3.4 差示扫描量热分析:利用德国耐驰公司

200F3 型差示扫描量热仪(DSC)在 N_2 氛围中对样品进行测试,以 10 °C/min 的升温速率从 30 °C 升温至 200 °C, 200 °C 恒温 5 min, 之后以 10 °C/min 的降温速率从 200 °C 降温至 30 °C, 30 °C 恒温 3 min, 最后以 10 °C/min 的升温速率从 30 °C 升温至 200 °C。

1.3.5 力学性能测试:利用深圳新三思材料检测有限公司 CMT4204 型万能试验机对样条进行力学性能测试,分别按 ASTM D638 和 ASTM D790 测试共混物样条的拉伸性能以及弯曲性能,拉伸速率为 10 mm/min, 每组样条测试 5 次取平均值。

2 结果与讨论

2.1 转子转速对 PLA/淀粉共混物性能的影响

2.1.1 转子转速对 PLA/淀粉共混物微观形貌的影响:Fig.1 为不同转子转速时 PLA/淀粉共混物断面的 SEM 照片。当转速为 100 r/min 时,共混物的断面可以观察到大块淀粉团聚体,随着转速的增加,淀粉团聚体的尺寸逐渐减小,淀粉在 PLA 基体中分布越来越均匀,当转速为 300 r/min 时达到最佳,如 Fig.1(c) 所示。而转子转速进一步提高时,淀粉团聚体再次出现,尺寸随着转速的提高而增大,且出现了小区域的甘油富集相,如 Fig.1(e) 所示。

2.1.2 转子转速对 PLA/淀粉共混物结构的影响:如 Fig.2 所示为不同转速下 PLA/淀粉共混物的红外光谱图。3313 cm^{-1} 附近对应淀粉羟基的伸缩振动峰; 1747 cm^{-1} 左右的峰对应 PLA 羧基的伸缩振动。随着转速的不断提高,淀粉的羟基吸收峰对应的波数先

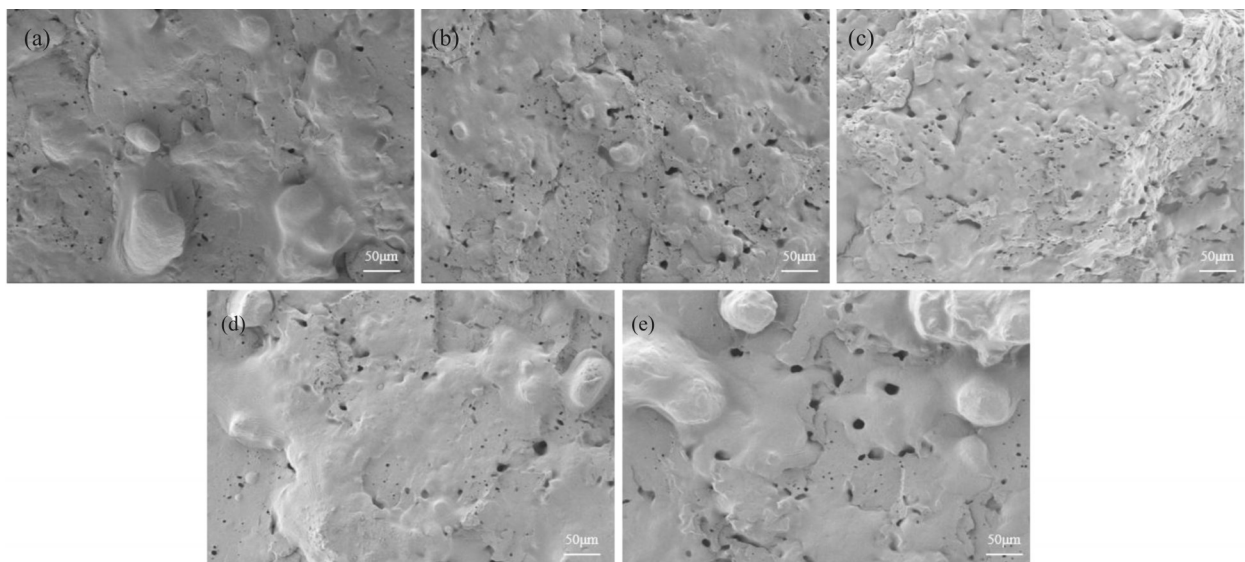


Fig.1 SEM of sections of PLA/starch blends at different rotor speeds of (a)100 r/min, (b)200 r/min, (c)300 r/min, (d)400 r/min and (e)500 r/min

从 3331 cm^{-1} 降低至 3301 cm^{-1} , 后又升高至 3341 cm^{-1} , 而 PLA 的羰基吸收峰位置保持在 1746 cm^{-1} 基本不变, 其中当转速为 300 r/min 时, 淀粉的羟基吸收峰波数最低。根据红外光谱图可以分析出, 转速主要通过影响淀粉的塑化效果从而影响共混物整体的结构与性能。

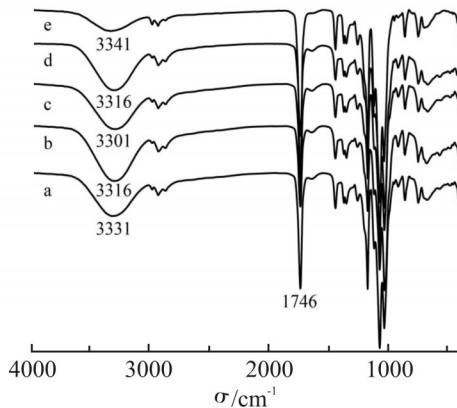


Fig.2 FT-IR spectra of PLA/starch blends at different rotor speeds (a): 100 r/min ; (b): 200 r/min ; (c): 300 r/min ; (d): 400 r/min ; (e): 500 r/min

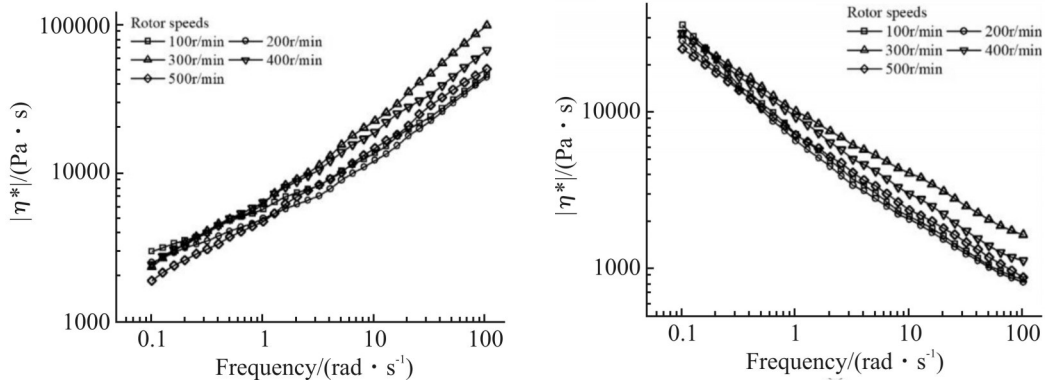


Fig.3 Dynamic frequency sweeps of PLA/ starch blends at different rotor speeds (a): storage modulus; (b): complex viscosity

到 500 r/min , 共混物的储能模量和复数黏度先降低后升高再降低, 在 300 r/min 时达到最大值。

当转子转速过低时, 由 SEM 照片可知共混物中存在大量的淀粉团聚体, 随着转速从 100 r/min 提高到 200 r/min , 淀粉团聚体的尺寸减小, 对流动的阻碍减小, 因此储能模量和复数黏度略有降低。随着转速进一步提高, 淀粉团聚体消失, 塑化后的淀粉被完全包覆在 PLA 基体中且均匀分布, 淀粉与甘油的氢键作用增强且淀粉与 PLA 的界面结合力提高, 分子间作用力的增强导致分子链运动困难, 共混物的储能模量和复数黏度有所提高。当转速从 300 r/min 提高到 500 r/min 时, 淀粉出现团聚现象, 与 PLA

结合 SEM 图可知, 随着转速从 100 r/min 提高至 300 r/min , 淀粉团聚体尺寸减小, 且在 PLA 基体中的分布更均匀, 强表面交换作用使得甘油与淀粉之间形成的氢键数量增多, 因此淀粉羟基吸收峰对应的波数向低波数方向移动。当转速为 300 r/min 时, 共混物中淀粉的塑化效果最好, 此时淀粉与 PLA 基体的界面结合作用也最强。随着转速继续提高至 500 r/min , 淀粉的塑化程度下降, 因此淀粉的羟基吸收峰向高波数方向移动。

2.1.3 转子转速对 PLA/淀粉共混物流变特性的影响: 如图 3 所示为不同转子转速时 PLA/淀粉共混物的动态流变性能随频率变化的曲线。Fig.3(a) 和 Fig.3(b) 分别表示共混物的储能模量 (G') 和复数黏度 ($|\eta^*|$) 与频率的关系。可以看出, PLA/淀粉共混物的储能模量随着频率的增加而增大, 且在低频区对频率的响应远大于高频区, 表现出典型的黏弹性行为。其复数黏度随着频率的升高而降低, 表现出剪贴变稀的特性。随着转子转速从 100 r/min 提高

基体的界面结合力减弱, 因此储能模量和复数黏度再次降低。

2.1.4 转子转速对 PLA/淀粉共混物力学性能的影响: Fig.4 所示为不同转子转速时 PLA/淀粉共混物的拉伸强度和弯曲强度。共混物的拉伸强度和弯曲强度均随着转子转速的提高先升高后降低。通过 SEM 照片可知, 转子转速对淀粉在 PLA 基体中的分散效果影响很大, 当转子转速过低或过高时, 共混物中的淀粉均表现出大尺寸的团聚体, 降低了分散相与基体的界面结合力, 削弱了应力在界面间的传递效果, 从而导致了共混物的低强度^[9]。当转子转速为 300 r/min 时, 淀粉的分散分布效果最好, 此时

两相结合力最强,因此材料的抗拉强度和弯曲强度达到最大值,分别为 25.1 MPa 和 34.5 MPa。

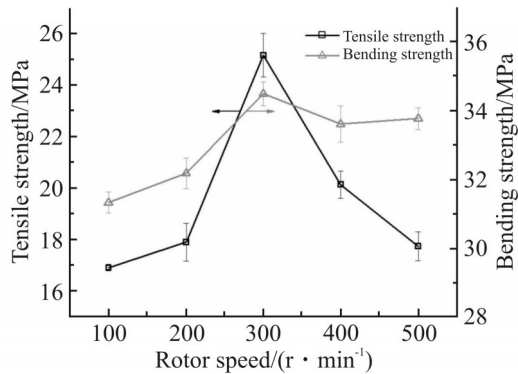


Fig.4 Mechanical properties of PLA/ starch blends at different rotor speeds

2.1.5 机理分析: 利用 Polyflow 软件模拟得出,随着转子转速的提高,PLA/淀粉共混物所经历的累积解聚功和修正 Lyapunov 指数均逐渐增大,表明其所受的剪切分散作用及拉伸作用增强^[11]。当转子转速适当增加时,淀粉团聚体受到高解聚作用而破碎,分散相的分散及分布效果提高,同时物料间的体积交换作用增强使得淀粉与甘油的表面交换速率提升,塑化程度随之提高,此时淀粉分散相与 PLA 基体的界面结合力最强,储能模量和复数黏度最高,力学性能最好。但在过高的转速下,作用于共混物的强

剪切作用会破坏淀粉与 PLA 的界面结合,使得淀粉从 PLA 基体上剥落,同时摩擦生热产生的高温会破坏淀粉与甘油之间氢键作用的稳定性^[12],导致淀粉的塑化程度下降,因此在转速为 500 r/min 时,共混物断面再次出现淀粉团聚体,其力学性能下降。

2.2 甘油含量对 PLA/淀粉共混物性能的影响

2.2.1 甘油含量对 PLA/淀粉共混物微观形貌的影响: Fig.5 所示为不同甘油含量时 PLA/淀粉共混物断面的 SEM 照片。由 Fig.5(a-d)可知,随着甘油含量升高,淀粉的颗粒数量逐渐减少,淀粉的塑化程度不断提高,两相的相分离现象逐渐消失,PLA 基体将淀粉分散相很好的包裹了起来,在甘油质量分数达到 20% 时,断面的阶梯层状现象消失,此时淀粉与 PLA 有着较强的界面结合力。当甘油质量分数达到 24% 时,如图 5(e)所示,过量的甘油会发生团聚,在共混物断面中可以观察到明显的甘油富集相,此时又能观察到少量淀粉团聚体以及淀粉与 PLA 的相界面。

2.2.2 甘油含量对 PLA/淀粉共混物结构的影响: Fig.6 所示为不同甘油含量时 PLA/淀粉共混物的红外光谱图。可以看出随着甘油含量的不断提高,淀粉的羟基吸收峰和 PLA 的羰基吸收峰对应的波数均先向低波数方向移动,后又向高波数移动。当甘油质量分数为 20% 时,淀粉的羟基吸收峰和 PLA 的羰基

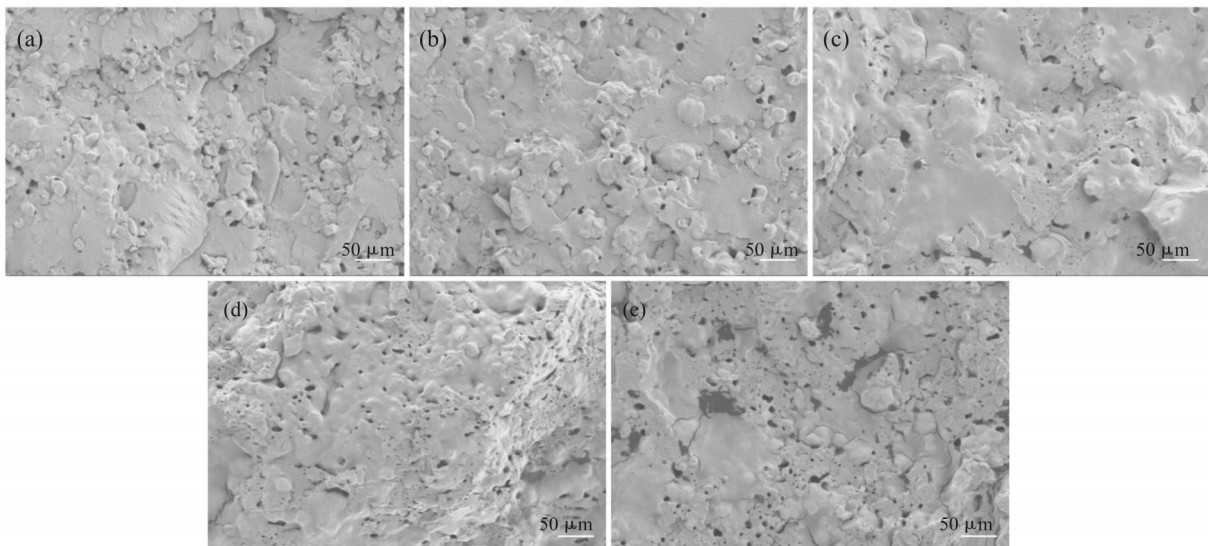


Fig.5 SEM of sections of PLA/starch blends with different glycerol mass fractions of (a)8%, (b)12%, (c)16%, (d)20% and (e)24%

基吸收峰波数均最低,分别为 3301 cm^{-1} 和 1746 cm^{-1} 。

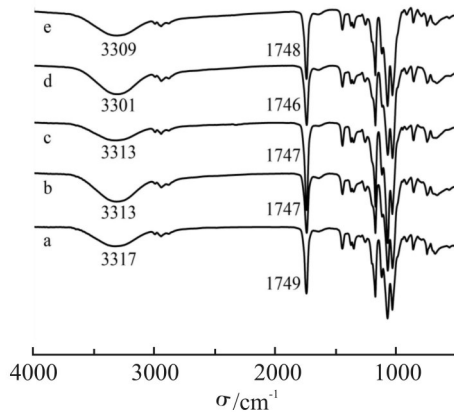


Fig.6 FT-IR spectra of PLA/starch blends with different glycerol mass fractions of (a)8%, (b) 12%, (c)16%, (d)20% and (e)24%

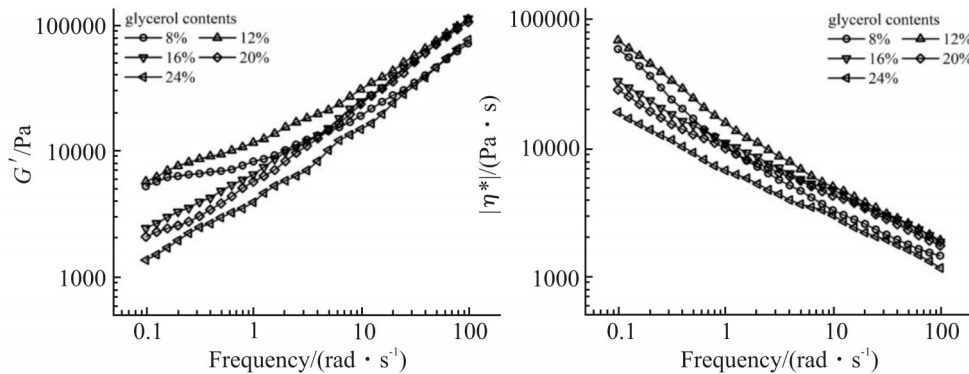


Fig.7 Dynamic frequency sweeps of PLA/starch blends with different glycerol mass fractions (a): storage modulus; (b): complex viscosity

频率下,随着甘油含量的提高,共混物的储能模量和复数黏度总体表现出先升高后降低的趋势。同时由 SEM 和 FT-IR 结果可知,甘油含量提高使得淀粉与甘油间的氢键作用增强,淀粉的塑化程度提高,与 PLA 基体的界面结合力增强,阻碍共混物流动,因此储能模量和复数黏度均略有提高。当甘油质量分数从 12% 提高到 16% 时,共混物的储能模量和复数黏度大幅下降,这是因为此时足量的甘油使得淀粉的塑化程度达到最高,共混物中基本不存在淀粉颗粒,尽管此时淀粉与 PLA 基体的界面结合力增强,但物理缠结点减少对共混物流变性能的影响远大于分子间作用力的影响,因此储能模量和复数黏度明显降低。当甘油质量分数增加到 24% 时,过量甘油形成的富集区破坏了淀粉与 PLA 基体的界面结合力,因此共混物的储能模量和复数黏度进一步降低。

结合 SEM 照片可知,当甘油质量分数为 8% 时,小部分淀粉分子间的氢键被甘油破坏,共混物中的大量淀粉仍以颗粒形式存在。随着甘油质量分数由 8% 提高至 20%,淀粉的塑化程度逐渐提高,甘油与淀粉之间形成的大量氢键使得淀粉的羟基吸收峰向低波数方向移动,此时淀粉的颗粒结构被完全破坏,淀粉与 PLA 基体间的界面结合力也略有增强。而当甘油质量分数达到 24% 时,过量的甘油会产生甘油富集相,削弱淀粉与 PLA 基体之间的界面黏结力,淀粉的羟基吸收峰和 PLA 的羰基吸收峰又向高波数方向移动。

2.2.3 甘油含量对 PLA/淀粉共混物流变特性的影响: Fig.7 所示为不同甘油含量时 PLA/淀粉共混物的储能模量和复数黏度随频率变化的曲线。在相同

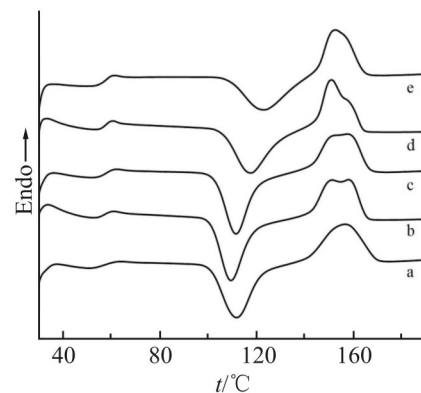


Fig.8 DSC curves of PLA/starch blends with different glycerol mass fractions of (a)8%, (b) 12%, (c) 16%, (d) 20% and (e) 24%

2.2.4 甘油含量对 PLA/淀粉共混物结晶性能的影响: Fig.8 所示为不同甘油含量时 PLA/淀粉共混物的 DSC 曲线, Tab.1 所示为不同甘油含量下 PLA/淀粉共混物的结晶参数。随着甘油含量的提高, PLA/淀

Tab.1 DSC crystallization parameters of PLA/starch blends with different glycerol mass fractions

Samples	$T_g/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$X_c/\%$
a	56.86	110.95	159.42	25.28	27.2
b	57.15	109.14	158.46	25.18	27.1
c	58.07	111.15	158.01	24.14	26.0
d	57.98	117.16	156.86	22.04	23.7
e	57.73	123.33	152.42	19.45	20.9

粉共混物的玻璃化转变温度(T_g)呈现出先增大后减小的趋势,PLA的冷结晶温度与甘油含量成正相关,共混物的熔融温度和结晶度则与甘油含量成负相关。当甘油质量分数从8%增加到16%时, T_g 的升高是由于淀粉塑化程度的逐渐提高使得其与PLA基体的相容性改善,分子链间的相互作用力增强;而当甘油含量继续升高,甘油富集相破坏了淀粉与PLA的界面结合力,导致分子链段的活动性增强, T_g 降低。

当甘油含量较低时,共混物中以颗粒形式存在的淀粉会对PLA起异相成核的作用,促使PLA结晶,因此PLA的冷结晶温度较低,共混物的 T_m 和结晶度较高;随着甘油含量的提高,淀粉塑化完全,颗粒破裂,且淀粉与PLA基体间的界面黏结性逐渐提高,阻碍了PLA的结晶,因此 T_c 逐渐升高, T_m 和结晶度逐渐降低。共混物的熔融峰还可以观察到部分重叠的双峰,这可能是PLA在结晶过程中形成了2种不同稳态的晶体所致^[13]。

2.2.5 甘油含量对PLA/淀粉共混物力学性能的影响:Fig.9所示为不同甘油含量时的PLA/淀粉共混物的拉伸强度和弯曲强度。随着甘油含量的提高,共混物的拉伸强度呈现出先上升后下降的趋势,且在甘油质量分数为20%时达到最大值25.1 MPa;弯曲强度则随着甘油含量的提高从44.5 MPa逐渐降低到33.1 MPa。

共混物的相界面结合力对其力学性能影响很大。由SEM照片可知,随着甘油含量不断增加,淀粉与PLA基体间的界面结合力提升,因此共混物的拉伸强度增大。但是当甘油含量过量时,会在PLA基体中形成富集相,削弱淀粉与PLA的相互作用,从而导致拉伸强度的降低。当甘油含量较低时,大部分淀粉以颗粒形式分散在硬且脆的PLA基体上,因此此时的共混物的弯曲强度高。随着甘油含量的增加,淀粉的塑化程度提高,在PLA基体中起到

了增韧的效果,同时共混物的结晶度降低,因此其弯曲强度降低。

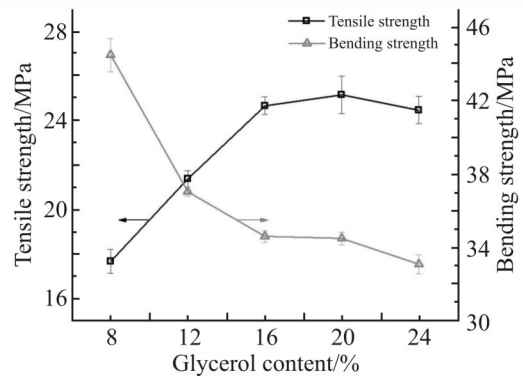


Fig.9 Mechanical properties of PLA/ starch blends with different glycerol contents

2.2.6 机理分析:利用Polyflow软件模拟得出,共混物在挤出机中所经历的累积解聚功随着甘油含量的增加先增大后减小^[11],在甘油质量分数为20%时达到最大值,此时流场对淀粉团聚体解聚作用最强,淀粉的分散效果最好,同时足量的甘油使得淀粉塑化完全,淀粉分散相与PLA基体的相容性最好,共混物的拉伸强度最高。当甘油质量分数达到24%时,过量甘油产生的甘油富集相削弱了淀粉与PLA基体之间的界面黏结力,甘油的润滑效果也会降低共混物对剪切作用的敏感性,不利于淀粉塑化^[14]的同时起到柔顺的作用,导致共混物的力学性能略有下降。

3 结论

(1)适当增加转子转速可以提高淀粉在PLA基体中的分散分布效果,但转速过大产生的强剪切作用会破坏淀粉与PLA基体间的界面结合力,同时摩擦生热会影响淀粉与甘油间氢键的稳定性,降低淀粉的塑化程度。

(2)PLA/淀粉共混物的相容性随着甘油含量的

增加先提高后降低。当甘油质量分数在8%~20%时,增加甘油含量可以提高PLA/淀粉共混物中淀粉的塑化程度,提高淀粉与PLA的相容性;当甘油质量分数增加至24%时,过量的甘油一方面起润滑作用,降低共混物对剪切作用的敏感性,不利于淀粉的塑化,另一方面会形成甘油富集相,破坏淀粉与PLA的界面结合力。

(3)当甘油质量分数为20%、转速为300 r/min时,利用双转子连续混炼机制备的PLA/淀粉共混物具有良好的综合力学性能,拉伸强度达到25.1 MPa、弯曲强度达到33.1MPa。本研究为PLA基可降解材料的制备提供了新思路。

参考文献:

- [1] Sui G P, Jing M F, Zhao J, *et al.* A comparison study of high shear force and compatibilizer on the phase morphologies and properties of polypropylene/poly lactide (PP/PLA) blends[J]. *Polymer*, 2018, 154: 119-127.
- [2] Villadiego K M, Tapia M J A, Useche J, *et al.* Thermoplastic starch (TPS)/poly lactic acid (PLA) blending methodologies: a review[J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2022, 30: 75-91.
- [3] Zhang Y C, Yuan X, Liu Q, *et al.* The effect of polymeric chain extenders on physical properties of thermoplastic starch and poly lactic acid blends[J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2012, 20: 315-325.
- [4] Ghari H S, Nazockdast H. Morphology development and mechanical properties of PLA/differently plasticized starch (TPS) binary blends in comparison with PLA/dynamically crosslinked "TPS + EVA" ternary blends[J]. *Polymer*, 2022: 124729.
- [5] Shirai M A, Grossmann M V E, Mali S, *et al.* Development of biodegradable flexible films of starch and poly(lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 92: 19-22.
- [6] 左迎峰, 顾继友, 乔治邦, 等. 干法酯化淀粉/聚乳酸复合材料——混合比例对性能的影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 2015, 31(1): 72-77.
- Zuo Y F, Gu J Y, Qiao Z B, *et al.* Dry method esterified starch/poly lactic acid composites—effect of mixing ratio on the properties[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2015, 31(1): 72-77.
- [7] Müller P, Bere J, Fekete E, *et al.* Interactions, structure and properties in PLA/plasticized starch blends[J]. *Polymer*, 2016, 103: 9-18.
- [8] Park J W, Im S S, Kim S H, *et al.* Biodegradable polymer blends of poly(L-lactic acid) and gelatinized starch[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2000, 40: 2539-2550.
- [9] Decaen P, Rolland-Sabaté A, Colomines G, *et al.* Influence of ionic plasticizers on the processing and viscosity of starch melts [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 230: 115591.
- [10] Willett J L, Jasberg B K, Swanson C L. Rheology of thermoplastic starch: Effects of temperature, moisture content, and additives on melt viscosity[J]. *Polymer Engineering and Science*, 1995, 35: 202-210.
- [11] 黄倩珂. 基于双转子连续混炼机的PLA/淀粉可降解塑料的制备及其性能研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2022.
Huang Q Y. Preparation of poly lactic acid/starch degradable plastics based on the two-rotor continuous mixer and the property study[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2022.
- [12] Liang J, Ludescher R D. Effects of glycerol on the molecular mobility and hydrogen bond network in starch matrix[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 115: 401-407.
- [13] 邹国享, 张鑫, 李炳健, 等. 聚乳酸/矿物填料复合材料的示差扫描量热研究[J]. *高分子学报*, 2012(9): 952-957.
Zou G X, Zhang X, Li B J, *et al.* Effect of mineral fillers on crystallization and melting behavior of poly(lactic acid)/mineral filler composites[J]. *Acta Polymerica Sinica*, 2012(9): 952-957.
- [14] 李丹, 刘鹏, 蒲华寅, 等. 甘油增塑热塑性淀粉的流变相变性质[J]. *高分子材料科学与工程*, 2009, 25(12): 34-37.
Li D, Liu P, Pu H Y, *et al.* Rheological and phase transition properties of thermoplastic starch under the plasticization of glycerol[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2009, 25(12): 34-37.

Preparation and Compatibility of Polylactic acid/Starch Blends Based on Twin-Rotor Continuous Mixing Extruder

Zhou Wan, Qianyu Huang, Hui Ni, Huihao Zhu, Yulu Ma, Linsheng Xie

(Engineering Center of Efficient Green Process Equipment and Energy Conservation of Ministry of Education, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT: Polylactic acid (PLA)/starch blends were prepared by melting blending using twin-rotor continuous mixing extruder, with starch and PLA as raw materials and glycerin as plasticizer. The microstructure, rheological properties, crystallinity and mechanical properties of the blends under different rotor speeds and glycerol contents were studied. The effects of shear force and plasticizer content on the two-phase compatibility of the blends were obtained. SEM, FT-IR and dynamic frequency scanning results of the blends were analyzed. The results show that the appropriate increase of rotor speed and glycerol content could improve the plasticization degree of starch and compatibility between starch and PLA. DSC curves show that the crystallinity of the blends decreases with the increase of glycerol content. When the glycerol mass fraction is 20% and rotation speed is 300 r/min, the compatibility between starch dispersed phase and PLA matrix is the best. The blend has good mechanical properties, with the tensile strength of 25.1 MPa and bending strength of 33.1 MPa.

Keywords: polylactic acid; starch; glycerin; twin-rotor continuous mixing extruder; compatibility