

叶片挤出机对 PBS/木质素共混体系加工性及性能影响*

陈福泉 郭锐标 冯彦洪 瞿金平**

(华南理工大学聚合物成型加工工程教育部重点实验室 聚合物新型成型装备国家工程研究中心 广州 510640)

摘要 采用以体积拉伸形变为主导的叶片挤出机制备聚丁二酸丁二醇酯(PBS)/木质素可降解复合材料,考察了叶片挤出机加工温度(130~145℃)、加工转速(10~40 r/min)对复合材料停留时间、表观质量、力学性能以及微观形貌的影响.结果表明,复合材料停留时间随着加工温度的提升而逐渐减小,加工转速具有类似变化趋势;复合材料表观质量随加工温度影响不显著,但随加工转速影响剧烈;复合材料的力学性能随加工温度变化不明显,而随加工转速影响程度不一;复合材料断面微观形貌在不同的加工温度下有细微变化,而在不同的加工转速下变化明显.以上结果与叶片挤出机的结构和固体输送有关,物料在拉伸流场作用下发生正位移输送和塑性能量耗散,提高了传质效率,在适当加工条件下引起组分间相互作用机制加强.综合考虑产品性能与经济成本,确定叶片挤出机制备 PBS/木质素复合材料各段加工温度为 115、125、135、125℃,加工转速为 20 r/min.

关键词 叶片挤出机,聚丁二酸丁二醇酯,木质素,加工性,力学性能

随着石化资源日益匮乏,环境问题日益严重,以可再生的生物质原料替代石化原料合成新型高分子材料越来越受到关注^[1~3].在自然界中,木质素与纤维素及半纤维素是构成植物体的主要成分,就总量而言,地球上的木质素数量仅次于纤维素,全球每年可产生约 6×10^{14} 吨,但到目前为止,超过 95% 的分离木质素的回收是经浓缩后被烧掉,造成极大的资源浪费^[4,5].塑料工业每年需使用几亿吨填充物和增强剂,考虑到木质素物理、化学性质、工业产量和塑料的商业应用价值,将木质素应用于塑料的研究具有重要的意义.

聚丁二酸丁二醇酯(PBS)作为具有生物降解性能的热塑性脂肪族塑料,是丁二酸和丁二醇通过缩聚制得的. PBS 具有良好的力学性能、热稳定、化学稳定性以及生物可降解性,是目前最有应用前景的可生物降解高分子材料之一^[6].但 PBS 价格较高,限制了其在工业上的广泛应用.为了保持其生物可降解性,可通过与其他生物可降解、可再生、来源丰富的生物质材料共混制备复合材料来降低其价格. Lee 等^[7]研究由双螺杆制备洋麻纤维共混 PBS 复合材料性能; Nam 等^[8]研究经

热压制备黄麻纤维增强 PBS 复合材料性能; Li 等^[9]研究由双螺杆挤出机制备热塑性蜡质玉米与热塑性普通淀粉共混 PBS,复合材料可达到良好的性能效果; Zeng 等^[10]研究由双螺杆挤出机制备热塑性玉米淀粉共混 PBS 复合材料性能. Saswata 等^[11]研究经微型螺杆挤出机制备木质素共混 PBS 复合材料性能.有关生物质复合 PBS 材料制备方法采用螺杆挤出较为普遍,但采用叶片挤出机制备木质素/PBS 的复合材料尚鲜见报道.

本文将基于体积拉伸流变具有低能耗挤出特性的叶片挤出机^[12]应用于木质素/聚合物复合材料的加工,探讨加工温度以及加工转速对 PBS 复合材料性能的影响.

1 实验部分

1.1 主要原料与设备

BS, 1020MD, 白色粒料, 密度 1.26 g/cm^3 , 熔融指数 25 g/10min (190℃, 2.16 kg), 分子量 6×10^5 , 日本昭和 和高分子株式会社; PBS 经热重分析得知, 当温度达到在 100~150℃ 温度范围内, 其热重分析曲线为直线, 说明纯 PBS 在加工温度范

* 2013-09-01 收稿, 2013-11-04 修稿; 国家自然科学基金-广东联合基金(基金号 U1201242)、国家自然科学基金(基金号 51373058)、国家科技支撑计划(项目号 2011BAE15B02)、新世纪优秀人才支持计划(项目号 NCET-11-0152)和广州市珠江科技新星专项(项目号 2011J2200058)资助.

** 通讯联系人, E-mail: jpqu@scut.edu.cn

doi:10.3724/SP.J.1105.2014.13317

围内未发生降解作用。

碱木质素,工业级,广州市创盛化工有限公司,微观下观察其颗粒形貌,发现其颗粒较为松散,易于被破坏。

叶片挤出机,自行设计;平板硫化机,QLB-25D/Q,无锡市第一橡胶机械设备厂;台式电子万能材料实验机,5566 型,美国 INSTRON 公司;摆锤式冲击试验机,501B-2 型,深圳万测试验设备有限公司;真空干燥箱,D6050,上海齐欣科学仪器有限公司;扫描电子显微镜,S-3700N 型,日本 Hitachi 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 叶片挤出机原理与特点

高分子材料加工成型的力场分为剪切力场和拉伸力场,其中在剪切力场作用下,物料在输运过程中速度梯度与输运方向垂直,如图 1(A)所示,物料流道中层与层之间物质传质不明显;在拉伸力场作用下,物料在输运过程中速度梯度与输运方向平行,如图 1(B)和 1(C)所示,物料流道中层与层之间物质发生质量交换,提高传质效率。理论研究表明,拉伸力场具有更高的分散效率和分散效果^[12,13]。国内外许多研究工作主要是通过改变

螺杆机械的结构增加拉伸形变作用分量来提高物料的塑化混合效果,如图 1(B)所示。但是由于局部收敛流道产生的收敛拉伸流场是局部的,而且拉伸形变分量很小,对物料塑化输运过程影响不大,如何产生大的拉伸流场是研究的一大难题。如图 1(C)所示,如果在收敛拉伸流动中增加一个与运动板垂直并与运动板以相同速度 V 移动的滑动板,其中滑动板由于固定板倾斜而产生与运动板垂直的滑动速度 v 。由于滑动板的强制挤压作用,收敛流场的容积不断变小,产生体积拉伸流场。在这种体积拉伸流场中速度梯度的拉伸分量大于剪切分量,拉伸形变在流场中起了支配作用。在体积拉伸流场中,由于收敛槽的存在,其物料流道变窄,其层与层之间的物质会产生相互挤压作用,从而产生质量交换,提高传质效率。如图 1(C)所示,物料在体积拉伸流场中由于流道收敛,其必须向斜下方运动,分布在(a)和(b)区域的物料发生强质量交换,提高了其传质传热效率。本实验室自行设计制造的新型叶片挤出机,即基于体积拉伸形变支配原理的新型挤出加工设备;图 1(C)可以近似地描述我们提出的体积拉伸形变支配的叶片挤出机原理。

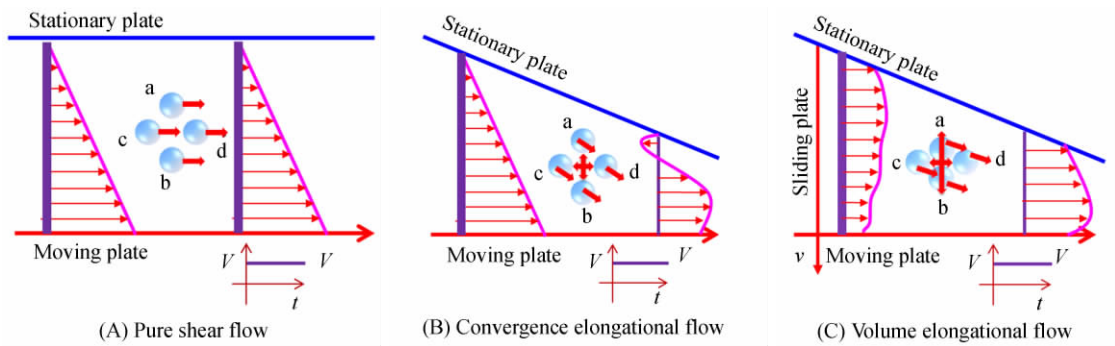


Fig. 1 Schematic diagrams of (A) pure shear flow, (B) convergence elongational flow and (C) volume elongational flow

实现拉伸形变支配的叶片挤出机由叶片塑化输运单元 (vane plasticating and conveying unit, VPCU) 构成,与螺杆挤压系统 (screw extrusion system, SES) 相对应,被称为叶片挤压系统 (vane extrusion system, VES),如图 2 所示。其主要核心单元是由转子 (直径 40 mm,轴长径比 10)、偏心定子 (直径为 48 mm,偏心距 4 mm)、4 个叶片及 2 个挡板组成的塑化叶片单元 (共 19 组)。这些构件将叶片单元分为 4 个型腔,4 个型腔的运动情况一致。每个型腔的容积随转子轴的转动实现由小变大,再由大变小的周期性变化。在每个型腔的

容积最大处纳入物料,容积最小处排出物料并进入下一个单元,一直到最后一个单元后完成物料的塑化,最后经模头挤出成型。

研究表明^[14-17],VES 塑化输运过程固体输送具有正位移输送特性;固体物料的压实和固体压力的建立不强制依赖于物料的特性,与固体物料的摩擦系数无关;在第一组 VPCU 中当转子转一周,固体物料便可以建立较高的压力压实物料,缩短 VES 塑化输运过程的热机械历程。

与螺杆 (SES) 相比,叶片挤压系统 (VES) 具有短停留时间,短热机械历程和低能耗挤出特

性^[18]. 叶片挤压系统加工不相容 PP/PS 体系,其分散相颗粒尺寸大约仅为螺杆挤压系统的 1/4 倍^[19]. 研究表明,叶片塑化输运技术与螺杆塑化输运技术相比较,物料热机械历程缩短 50% 以上、能耗降低 30% 左右,特别是混合混炼效果好,

适用于不相容塑料^[19]、生物质复合材料^[20] 等物料的共混加工. 基于此,本文采用叶片挤出机加工制备木质素复合材料,以期加工出优良的生物质复合材料.

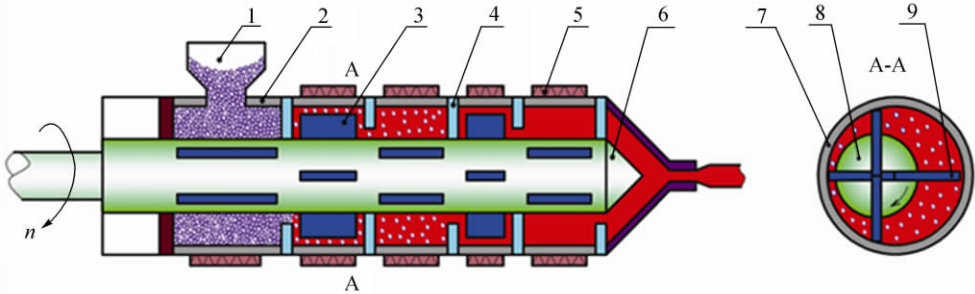


Fig. 2 Fig. 2 Schematic diagram of the vane extruder:(1) hopper, (2) stator, (3) vane, (4) baffle, (5) heater, (6) rotor, (7) stator, (8) rotor and (9) vane

1. 2. 2 复合材料制备

PBS 和木质素分别在真空干燥箱中 80 ℃ 干燥 6 h,按质量比为 1:1 的预混好.

对物料加工过程设置了 4 组加工温度,具体如表 1. 实验转速为 20 r/min.

Table 1 Processing temperatures of vane extruder

No.	First barrel temperature (℃)	Second barrel temperature (℃)	Third barrel temperature (℃)	Fourth barrel temperature (℃)
1	115	120	130	120
2	115	125	135	125
3	120	130	140	130
4	120	135	145	135

对物料加工过程设置了 4 组加工转速,分别为 10、20、30、40 r/min. 叶片挤出机的 4 段温度设置为 115、125、135、125 ℃.

以上过程中分别切取部分挤出样品进行拍摄观察,其余造粒,然后在平板硫化机上模压成型,制成标准测试样条.

1. 2. 3 力学性能测试

根据 GB/T1040. 2-2006(拉伸)、GB1449-2005(弯曲)、GB1449-2005(冲击)标准裁制测试样条,在万能材料试验机和摆锤式冲击测试机上进行实验测试. 其中,拉伸测试速率为 1 mm/min,弯曲测试速率 1 mm/min,弯曲最大饶度为 6 mm,测试均在室温下进行,每组试样取 5 个样条进行测试,求得平均值.

1. 2. 4 物料停留时间测试

本实验测定的物料停留时间为记录物料在挤出机内部的平均停留时间,在加料口(第一组叶片进料口)加入一滴红色油墨,同时计时开始,到

物料挤出口模处白色布接触染到红色时作为计时终止.

1. 2. 5 微观形貌观察

选取木质素/PBS 复合材料的冲击断面进行扫描电镜分析,观察复合材料的断裂面形貌和各相成分的分布分散及界面结合的情况. 观察前,在真空条件下对断面进行喷金 2 次,然后将喷金处理后的样品至于低倍扫描电子显微镜下观察,以适当的放大倍数拍照,选取具有代表性的断面形态.

2 结果与讨论

2. 1 加工温度的影响

经 DSC 测试 PBS 熔融温度为 106 ~ 120 ℃ 之间,因此 1020MD 型号的 PBS 塑料熔融对热相当敏感;木质素作为一种有机颗粒粉末,添加到 PBS 基体中后,复合材料加工温度要大于基体熔融温度;实际塑料挤出加工过程中,普遍将塑料的加工

温度为熔融温度 + 30 ℃ 左右为宜,因此,本实验设定复合材料的加工温度为 130、135、140、145 ℃.

2. 1. 1 停留时间与表观质量

表 2 列举了不同加工温度的情况下,物料在叶片挤出机加工的停留时间. 一如所料,物料的停留时间随着加工温度的提升而逐渐减小,且下降幅度逐渐增大. 主要因为随着温度的提高,分子热运动能量增加,有利于 PBS 和木质素分子链的活动,分子链的柔性得到提升,复合材料的流动的黏性阻力下降. 通过叶片挤出机的正位移输送,物料能更快完成熔融,更有效地往前输送^[12],从而降低了复合材料的停留时间.

Table 2 Processing time under different processing temperatures				
Third barrel temperature (℃)	130	135	140	145
Residence time (s)	97	94	88	77

从图 3 中观察到,复合材料挤出棒条的表观质量区别不明显,挤出时熔体流动稳定. 这主要由于木质素的添加提升了 PBS 的熔体强度,提高了其热稳定性^[21],故在此变化范围中,复合材料表观质量对加工温度的变化不敏感.

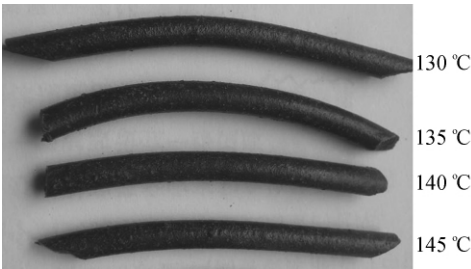


Fig. 3 Apparent mass under different processing temperatures

2. 1. 2 力学性能

图 4 和 5 分别展示了叶片挤出加工温度对 PBS/木质素复合材料的拉伸性能的影响. 从图中可知,随着加工温度的上升,复合材料的拉伸强度和拉伸模量先增加后减小,分别在 140 ℃ 和 135 ℃ 处出现最大值 21. 51 MPa 和 858. 66 MPa,而复合材料的断裂伸长率则呈现波动,在 135 ℃ 处取得最大值 8. 82%. 需要注意的是,拉伸强度、拉伸模量和断裂伸长率的最大值比最小值仅分别提升 15. 09%、3. 30%、9. 98%,故在这个温度范围内,温度的作用效果并不明显.

图 6 显示了加工温度对复合材料弯曲性能的

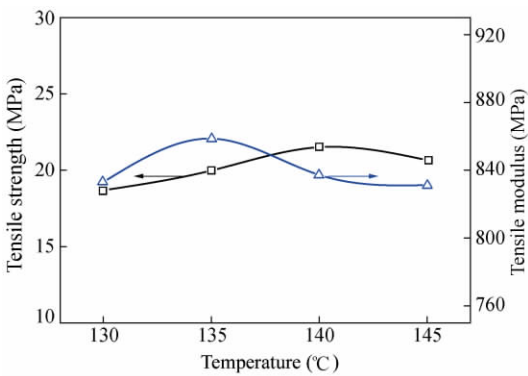


Fig. 4 Effect of processing temperature on tensile properties of composites

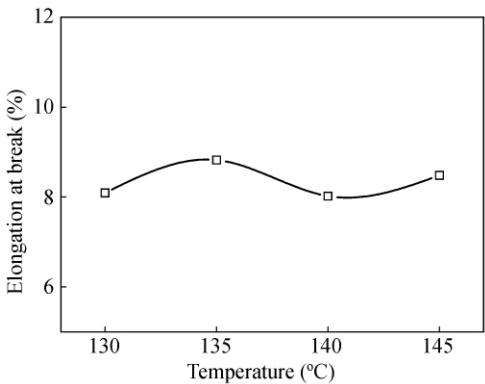


Fig. 5 Effect of processing temperature on elongation at break of composites

影响. 从图 6 中可知弯曲强度和弯曲模量的变化趋势相似,随着加工温度的上升而先升后降,弯曲强度在 140 ℃ 处达到最大值 36. 21 MPa,弯曲模量在 135 ℃ 和 140 ℃ 处测得数值相近,最大值为 1831. 44 MPa. 同样的,我们发现弯曲强度与弯曲模量的最大值仅比最小值提升 5. 51% 和 7. 28%,作用效果同样不明显. 加工温度对复合材料冲击强度的影响如图 7 所示. 从图 7 中发现,复合材料的冲击强度随着加工温度增加而有所波动,最大值与最小值只差 0. 16,仅提升 7. 02%.

综合加工温度对复合材料力学性能的影响,我们发现,在预设的温度范围里,复合材料对温度的响应并不明显,具体性能的变化率除了拉伸强度外均在 10% 内,在误差允许的范围内. 这与叶片挤出的加工特性有密切联系,物料的熔融通过热传导与塑性能量耗散的相互转换,即加工温度较高时,热传导熔融的效果明显,温度适当降低时,可通过物料的塑性耗散补偿熔融所需的热量^[18],致使复合材料的整体力学性能对温度的敏感性和所表现出来的差异性减弱. 而细分析复合

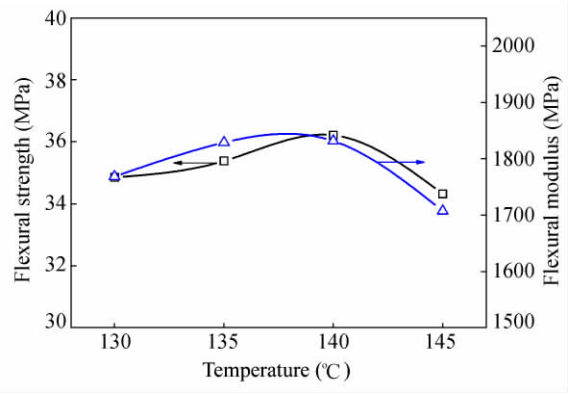


Fig. 6 Effect of processing temperature on flexural properties of composites

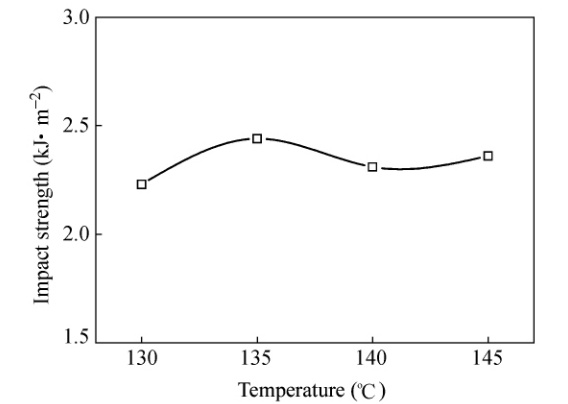


Fig. 7 Effect of processing temperature on impact strength of composites

材料的各项力学性能,发现最大值均出现在 135 ℃ 和 140 ℃ 两者之中.

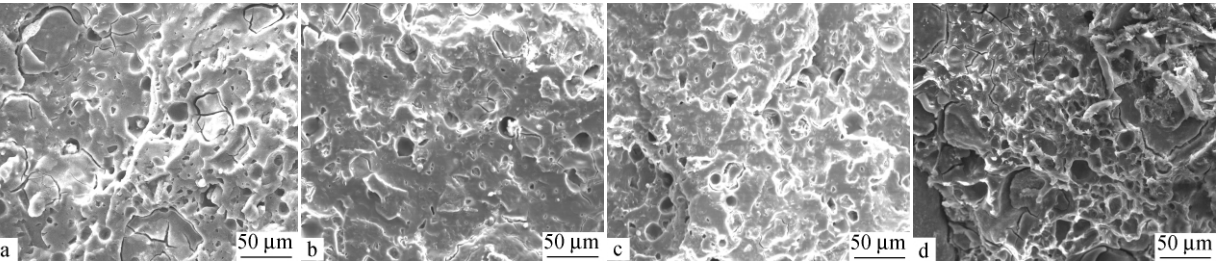


Fig. 8 Effect of processing temperature on SEM images of composites: (a) 130 ℃ , (b) 135 ℃ ; (c) 140 ℃ and (d) 145 ℃

熔体黏度降低,木质素颗粒相撞时,基体的拖移效果差致使木质素不易被分离,发生团聚.

2.2 加工转速的影响

2.2.1 停留时间与表观质量

在不同的挤出加工转速下,复合材料在叶片挤出机的停留时间如表 3 所示.从表 3 可知,随着叶片挤出机转速的增加,复合材料的停留时间逐步减少,转速超过 30 r/min 后,减少趋势有所

2.1.3 微观形貌

虽然木质素/PBS 复合材料的各项力学性能在不同加工温度下差异小,但仍具有一定的差值.为了分析复合材料的力学性能变化差异,有必要对复合材料的断面进行观察和分析,见图 8.从图 8 中可知,加工温度为 130 ℃ 时,木质素颗粒与 PBS 基体间有明显的裂缝,断面上,分布大量的孔洞且木质素颗粒粒径较大,因此其力学性能相对较差;当加工温度为 135 ℃ 复合材料中,两相间的裂缝不明显,孔洞相对较少且木质素颗粒粒径均匀适中,说明木质素在体积拉伸流场下发生了破碎,传质过程中木质素颗粒间以相撞的形式发生了破碎,致使力学性能相对较好;当加工温度升高到 140 ℃ 时,两相间的裂缝仍不明显,但孔洞数量开始渐多,因此,其多项力学性能与 135 ℃ 时基本持平,个别项略小;当加工温度为 145 ℃ 时,明显发现有部分木质素团聚严重,“沟槽”明显,部分木质素颗粒较大,因此其各项力学性能相对较差.

从上述复合材料的断面,可分析出,在低温下,虽然叶片挤出机迫使基体发生塑性耗散促进基体熔融,但热量仍不充足,使得基体熔融不完全,致使其未能完全渗透到木质素表面上,造成木质素与基体间裂缝大,即缺陷多,使物料在流道中传质不完全,木质素颗粒间碰撞较少,颗粒较大;适当的加工温度下,基体熔融完全,能完全渗透到木质素表面上,使得两组分间界面裂缝不明显,木质素颗粒碰撞几率增加,颗粒较小;较高温度时,

减弱.

Table 3 Processing time at different rotating speeds				
Rotating speed (r/min)	10	20	30	40
Residence time (s)	108	94	78	67

利用叶片挤出机加工共混复合材料,物料停留时间和叶片挤出机转速间有较为规律的反作用,主要因为叶片挤出机的正位移输送特性所致.

当转速提高时,叶片提供的正应力作用增强,容腔容积变化速率加快,所形成的拉伸流场在一定范围内得到增强,固然加快了物料的输送速率,从而体现于停留时间的下降. 值得注意的是,由于叶片结构设计中,叶片端面与定子内表面预设了缝隙,同时叶片上开设了用于稳流的小孔,所以在塑化输运过程中必然会引发漏流现象^[13]. 故单调的增大转速并不能等比地降低物料停留时间,相反,物料停留时间的下降趋势将会趋于平缓.

图 9 所展示的是在不同加工转速下挤出的复合材料棒. 从图 9 中可看出复合材料外观形貌的明显变化:转速较低时(小于 20 r/min),复合材料的挤出平稳顺畅,出料平均,材料的表面局部有木质素的脱落或突出,整体较为光滑,直径均匀,颜色黑中带褐,质量较好;细微处对比可知转速为 10 r/min 时,表面木质素的脱落情况较多. 当转速较高时(大于 20 r/min),复合材料的挤出逐渐变得不稳定,进料口架桥现象逐渐明显,从而影响到出料的均匀性;复合材料的不稳定流动直接影响到表面质量,逐渐形成“鲨鱼皮”外观,当转速到达 40 r/min 时尤为严重;同时物料颜色转深,变得黝黑,质量较差.

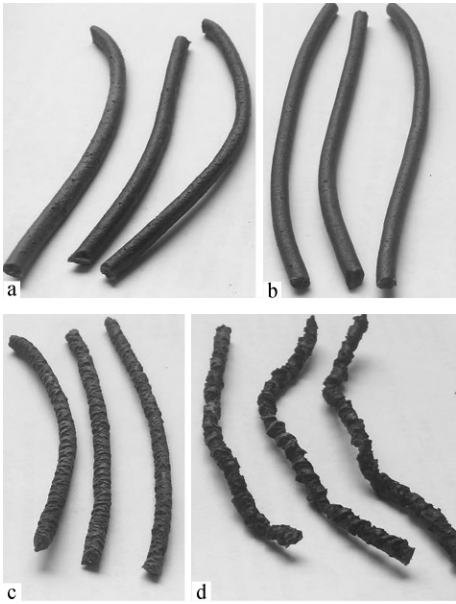


Fig. 9 Apparent mass at different roating speeds: (a) 10 r/min, (b) 20 r/mim, (c) 30 r/mim and (d) 40 r/mim

聚合物熔体挤出时所产生的不稳定流动主要诱因是聚合物的弹性效应. 一般情况下,当聚合物通体的黏度较高时,所产生的黏滞阻力较大,挤出所需应力增大,从而导致物料的弹性形变增大.

1020MD 型号的 PBS 的熔融指数如前所述相对较高,但木质素的黏度较高,主链由苯丙烷组成^[22],加工较为困难. 随着叶片挤出机加工转速的上升,由于正位移输送原理,熔体流动速率随之上升,停留时间降低,物料在各个叶片单元中经受的容腔体积变化作用所产生的拉伸流场作用随之增强,物料的弹性模量的储能将会越来越大. 当弹性形变的储能达到或者超越了克服黏滞阻力的流动能量,物料在挤出模头、压力释放的时候,不稳定流动现象就会随之出现,从而导致图中复合材料表面的“鲨鱼皮”现象的出现.

2. 2. 2 力学性能

叶片挤出加工转速对 PBS/木质素复合材料的力学性能的影响如图 10 ~ 13 所示. 由图 10 可知,复合材料的拉伸强度、拉伸模量和断裂伸长率随着转速的增加均呈现先增大后减小的趋势,分别在 20、30 和 20 r/min 处得到最大值,分别是 19.98 MPa、868.65 MPa 和 8.82%,分别在 40、10 和 40 r/min 处得到最小值,分别为 17.13 MPa、779.44 MPa 和 7.53%. 计算可知,拉伸强度、拉伸模量与断裂伸长率的最大值比最小值仅分别提高 16.64%、11.45% 和 17.13%,转速对拉伸性能的整体作用效果并不显著.

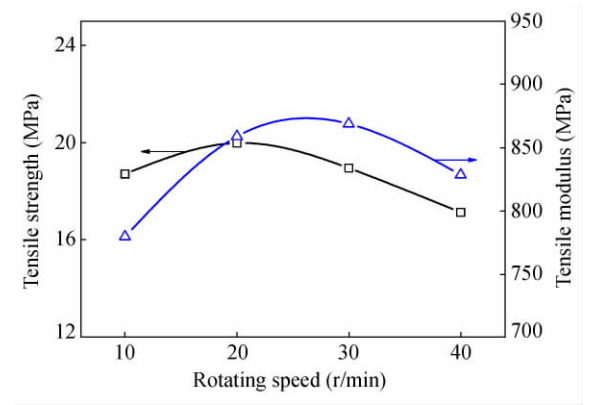


Fig. 10 Effect of rotating speed on tensile properties of composites

图 12 的结果表明,复合材料的弯曲强度与弯曲模量同样随着转速的增加呈现先增大后减小的趋势,弯曲强度在 20 r/min 处达到最大值 35.38MPa,弯曲模量在 20 和 30 r/min 处测量值持平,最大值为 1830.91MPa. 而弯曲性能的最小值在 10 r/min 和 40 r/min 间取得,两处的性能相差甚小. 弯曲强度与弯曲模量的最大值比最小值分别提高了 18.88% 和 4.1%,转速对弯曲强度的

影响较为明显. 从图 13 中可见, 复合材料的冲击强度随着转速的不断增大而先增大后减小, 在 20 r/min 和 40 r/min 处分别出现最大值(2.44 kJ/m²)和最小值(2.00 kJ/m²), 绝对值的变化并不大, 最大值比最小值提高了 22%.

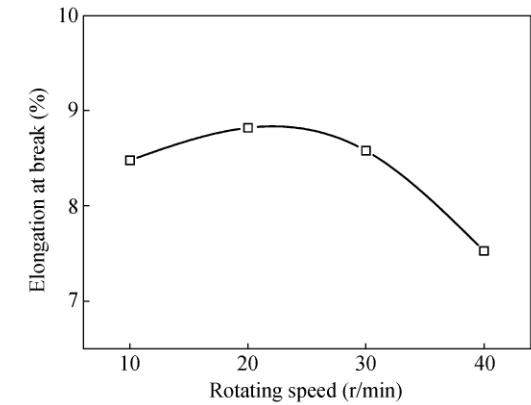


Fig. 11 Effect of rotating speed on elongation at brak of composites

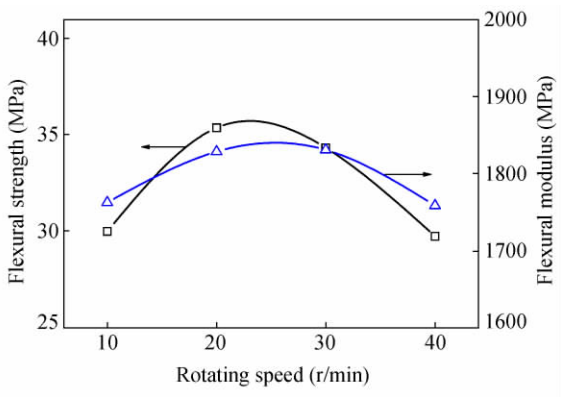


Fig. 12 Effect of rotating speed on flexural properties of composites

综上可发现, 叶片挤出的加工转速对 PBS/木质素复合材料的综合力学性能的影响并不显著, 但作用效果较为一致. 首先, 在转速较高(40 r/min)或较低(10 r/min)的情况下, 复合材料的力学性能往往偏低; 转速适中(20 r/min 或 30

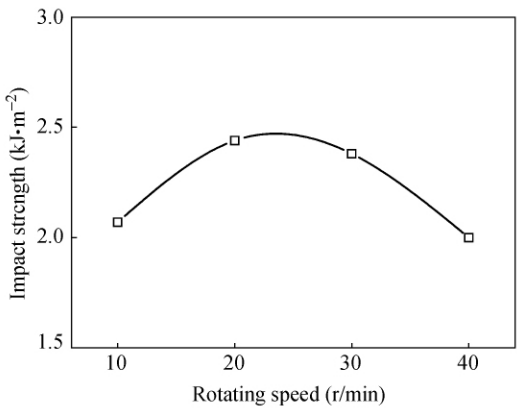


Fig. 13 Effect of rotating speed on impact strength of composites

r/min) 时, 复合材料的力学性能较好, 且整体看来, 转速在 20 r/min 作用效果最优.

2. 2. 3 微观形貌

图 14 为木质素/PBS 复合材料在叶片挤出机不同转速下形成的断面形貌. 从图 14 中易发现, 随着加工转速增加, 复合材料断面形成的缺陷逐渐增多; 当加工转速为 10 r/min 时, 木质素与 PBS 间裂缝不明显, 断平面平坦; 20 r/min 时, 有轻微的裂缝出现, 断平面相对低转速时粗糙; 30 min 时, 出现大裂缝, 填料颗粒较大, 出现“沟槽”; 40 min 时, 出现尺寸极大的“孔洞”, 填料分布不均匀且出现脱落的现象. 从复合材料的断面缺陷上分析, 40 min 时力学性能最差, 其次是 30 min. 从填料与基体间的裂缝分析, 10 r/min 时力学性能应该比 20 r/min 优, 但实际结果却相反, 说明低转速时, 基体强度下降, 发生热降解所致.

综合叶片挤出机不同加工转速对复合材料性能影响及其断面形貌观察, 分析得出叶片挤出机的转速直接影响木质素/PBS 复合材料在叶片型腔的流动速率和拉伸流场的作用效果. 加工转速较慢时, 所产生的拉伸流场效果较弱, 物料流动速率较慢, 物料混炼作用的时间较长, 一方面物料得

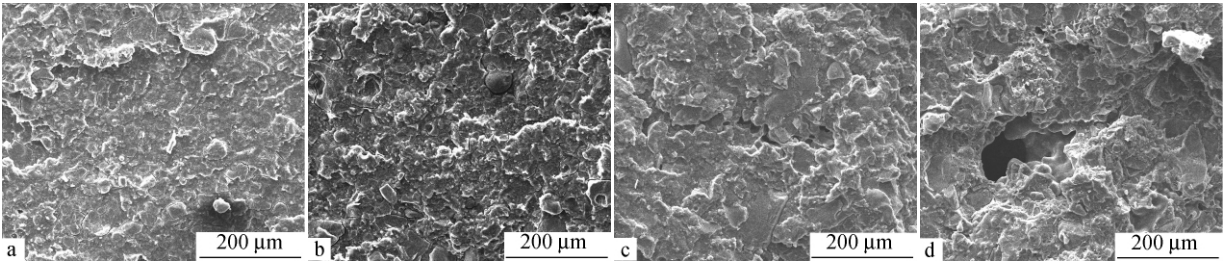


Fig. 14 Effect of rotating speed on SEM images of composites: (a) 10 r/min, (b) 20 r/min, (c) 30 r/min and (d) 40 r/min

到充足的时间进行共混互炼,使得木质素在基体中分布均匀,另一方面亦可能因热历程较长而导致基体产生热降解,基体强度降低.同时物料通过吸收外热而熔融的效果增强,受挤压摩擦的作用减少,对木质素自身结构的破坏亦相对较小;反之,当加工转速较快时,所产生的拉伸流场作用较强,物料流动速率变快,外热对物料熔融的作用减弱,固体输送段边长,物料在没熔融的情况下快速地反复经受体积变化的挤压作用,一方面强拉伸作用有利于填料的分散,另一方面亦导致物料混炼时间不充分,表现为物料内部出现大裂缝.在更高转速时,因热历程短,物料内部的空气来不及有效地被排出,与物料一同被挤出,导致此其材料内部有大“孔洞”出现^[14].因此选择加工速率是一个权衡过程,需针对加工的复合材料的具体性质,选择合适的加工工艺.

3 结论

基于体积拉伸流变原理的叶片挤出机,在适当的加工温度和加工转速制备出综合性能较好的木质素/PBS 复合材料,并通过材料的表观质量、

停留时间、力学性能以及微观形貌等性质测量和分析,结合体积拉伸流变原理,研究不同加工条件下对产品品质的影响,得出最佳加工条件.

(1)PBS/木质素复合材料停留时间随着加工温度的提升而逐渐减小,且下降幅度逐渐增大,复合材料的力学性能对挤出加工温度(预设范围内)变化并不敏感,温度适中时(最高温度为 135 ℃和 140 ℃)相对较优,而表观质量相当.同时,温度的提升能有效增强复合材料的流动性能,但也降低了基体黏度导致填料团聚.综合考虑能耗与性能的平衡,确定各区加工温度为 115、125、135、125 ℃,保证低含量填充时物料挤出稳定.

(2)PBS/木质素复合材料停留时间随着加工转速的增加而逐步减少,减少趋势有所减弱;低转速(10 r/min)和高转速(40 r/min)时,复合材料的力学性能分别由于热降解增加和混炼不均匀与空气排出不完全的原因而相对较差.转速(20 r/min)时材料表观质量较佳;各加工转速条件下,复合材料的力学性能具有不同程度变化;综合考虑能耗与性能的平衡,选择 20 r/min 的作为加工转速最为合适.

REFERENCES

- 1 Faruk O, Bledzki A K, Fink H P, Sain M. Prog Polym Sci, 2012, 37(11): 1552 ~ 1596
- 2 Peltola H. Developments in Advanced Biocomposites, 2010, 49 ~ 54
- 3 Mohanty A K, Misra M, Hinrichsen G. Biofibres Macromo Mater Eng, 2000, 276(1): 1 ~ 24
- 4 Guo Wenyuan(郭闻源), Yang Dongjie(杨东杰), Li Rong(李荣), Qiu Xueqing(邱学青). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2012(9): 988 ~ 996
- 5 Luo F, Ning N Y, Chen L, Su R, Cao J, Zhang Q, Fu Q, Zhao S G. Chinese J Polym Sci, 2009, 27(6): 833 ~ 842
- 6 Zhan M Q, Chen G Y, Shi Y M, Zhang W X. Chinese J Polym Sci, 2013, 31(1): 187 ~ 200
- 7 Lee J M, Ishak Z M, Taib R M, Law T T, Thirmizir M A. J Polym Environ, 2013, 21(1): 293 ~ 302
- 8 Nam T H, Ogihara S, Nakatani H, Kobayashi S, Song J I. Adv Compos Mater, 2012, 21(3): 241 ~ 258
- 9 Li J W, Luo X G, Lin X Y, Zhou Y. Starch, 2013, 00: 1 ~ 9
- 10 Zeng J B, Jiao L, Li Y D. Carbohydr Polym, 2011, 83(2): 762 ~ 768
- 11 Sahoo S, Misra M, Mohanty A K. Composites: Part A, 2011, 42: 1710 ~ 1718
- 12 Qu Jinping(瞿金平), Yin Xiaochun(殷小春), Zou Xinliang(邹新良). China patent, ZL, 200920004829. 7. 2009-01-21
- 13 Yang Zhitao(杨智韬). Study on Melt Positive Displacement Conveying and Mixing Characteristics of Polymer Vane Extruder(聚合物叶片挤出机熔体正位移输送与混合特性研究). Doctoral Dissertation of South China University of Technology(华南理工大学博士学位论文), 2009
- 14 Qu Jinping(瞿金平). China Engineering Science(中国工程科学), 2011, 13(10): 58 ~ 68
- 15 Qu J P, Zhao X Q, Li J B, Cai S Q. J Appl Polym Sci, 2013, 127(5): 3923 ~ 3932
- 16 Qu J P, Zhang G Z, Chen H Z, Yin X C, He H Z. Polym Eng Sci, 2012, 52(10): 2147 ~ 2156
- 17 Qu J P, Yang Z T, Yin X C, He, H Z, Feng, Y H. Polymer-Plastics Technol Eng, 2009, 48(12): 1269 ~ 1274
- 18 Qu J P, Zhang N, Yu, X P, Zhang G Z, Liu S R, Tan B, Liu L M. Adv Polym Technol, 2013, 2(32): 1 ~ 12
- 19 Qu J P, Chen H Z, Liu S R, Tan, B, Liu, L M, Yin, X C, Liu Q J, Guo R B. J Appl Polym Sci, 2013, 6(128): 3576 ~ 3585
- 20 Qu J P, Liu L M, Tan B, Liu S R, Chen H X, Feng Y H. Polym Compos, 2012, 33(2): 185 ~ 191
- 21 Sahoo S, Misra M, Mohanty A K. J Appl Polym Sci, 2013, 127(5): 4110 ~ 4121
- 22 Reza Barzegari M, Alemdar A, Zhang, Y, Rodrigue D. Polym Compos, 2012, 33(3): 353 ~ 361

Effect of Vane Extruder on Processability and Mechanical
Properties of PBS/Lignin Biocomposites

Fu-quan Chen, Rui-biao Guo, Yan-hong Feng, Jin-ping Qu *

(Key Laboratory of Polymer Processing Engineering of Ministry of Education, National Engineering Research Center of Novel
Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

Abstract With a vane extruder, poly(butylenes succinate) (PBS)/lignin biocomposites were prepared. The effects of vane extruder processing temperature (130,135,140,145 ℃) and rotating speed (10,20,30,40 r/min) on residence time, apparent quality and mechanical properties of composites were investigated, as well as the morphology properties with scanning electron microscope (SEM). The results showed that the residence time of materials gradually decreased with the rising of rotating speed, as well as the rising of processing temperature; the apparent quality of composites slightly changed with the rising of processing temperature, but dramatically changed with the rising of rotating speed; the mechanical properties of composites also slightly changed with the rising of processing temperature, but each mechanical property of composites had a different effect of the rising of rotating speed. In addition, the morphology of composites fracture sections slightly changed with different processing temperatures, but significantly changed with processing rotating speed. These results were related to the structural and conveying characteristics of the vane extruder, positive displacement conveying and plastic energy dissipation of materials are generated in elongational flow, which improve the efficiency of mass transfer and strengthen the mechanism of interaction between components of composites. For the performance and economic costs of the PBS/lignin composites, the suggested processing conditions of vane extruder are as follows, the segments temperatures of vane extruder are 115,125,135,125 ℃ and the rotating speed is 20 r/min.

Keywords Vane Extruder, PBS, Lignin, Processability, Mechanical performance

* Corresponding author: Jin-ping Qu, E-mail: jpqu@scut.edu.cn