

<http://pmse.scu.edu.cn>

聚丙烯单聚合物复合材料的制备方法及应用研究现状

何跃龙¹, 王建², 何其超²

(1.国家知识产权局专利局 机械发明审查部,北京 100088; 2.北京化工大学 机电工程学院,北京 100029)

摘要:单聚合物复合材料(SPC)是基体和增强体来自同种聚合物的复合材料,特别在资源循环再生和节能减排方面具有极大优势。不同于常规纤维增强聚合物复合材料的制备工艺,由于基体和增强体的同质特性,特别是相近的熔融温度,使扩展加工温度窗口成为SPC制备的关键技术问题。聚丙烯(PP)SPC具有质量轻、成本低、易回收、界面黏结性好和优良的抗冲击性能等优点。目前所开发的PP SPC制备技术主要有纤维/纤维布直接热压法、膜层热压法、共挤热压法、挤出辊压法、注射成型法等,在汽车护板、防弹、箱包、体育、医用护具和建筑等制品方面得到了广泛应用。

关键词:聚丙烯;单聚合物复合材料;制备方法;力学性能;回收

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号: 1000-7555(2022)11-000

纤维增强聚合物复合材料是目前市场上增长较快的纤维增强聚合物基复合材料品种之一,其基体是聚合物,增强体主要有玻璃纤维、碳纤维等,具有设计灵活性高、易加工、可着色、强度高、弹性优良、耐化学腐蚀和耐候性好等特点。然而,由于基体与纤维增强体材料的不同,使其分离回收困难,处理成本过高,被废弃后造成很大的污染和浪费。随着自然资源的日益枯竭和环境的严重污染,材料设计必须考虑回收再利用的问题。此外,基体与增强体的界面粘接性直接影响复合材料的宏观力学性质,由于基体与增强体是不同的材料,如何获得坚固、稳定的界面也是纤维增强聚合物复合材料的经典问题。1975年,Capiati和Porte^[1]首次提出了单聚合物复合材料(Single-polymer composite, SPC)的概念,即基体和纤维增强体为同种聚合物的复合材料。与传统纤维增强聚合物复合材料相比,SPC具有产品密度小、回收利用率高和界面结合强度高的优点,成为纤维增强聚合物复合材料的发展方向^[2-4]。已研究出的SPC涉及到聚烯烃类、聚酯类等多种聚合物材料,包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)、聚酰胺(PA)、聚乳酸

(PLA)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚四氟乙烯(PTFE)等。因为PP在塑料产品市场中的重要地位,特别是具有成本低的优势,PP SPC及其制品成为SPC研究领域的主要材料。PP SPC可取代部分木材金属合金及纤维增强PP复合材料,在航空航天、船舶、汽车、通信电子、建材、医疗器械和健身器材等领域得到了应用。由于基体和增强体属于同一种聚合物材料,熔融温度相同,在常规的聚合物加工条件下,SPC的增强体会熔融而失去原来的形态,制品达不到复合材料的力学性能。因此,如何扩大基体与增强体之间的熔融温度差从而扩大基体与增强体之间的加工温度窗口是SPC制备的核心问题^[2,3,5,6]。

1 聚丙烯单聚合物复合材料的制备方法

1.1 纤维/纤维布直接热压法

纤维/纤维布直接热压法如Fig.1^[2]所示,热压温度在接近但低于纤维熔点的温度,使热压板上的纤维表面熔融而中心部分不熔融,再加压冷却制备成型SPC,冷却时纤维熔融部分重结晶作为纤维与纤维之间的黏结剂。熔融的纤维外表面形成基体,未熔融的纤维芯作为增强相。纤维/纤维布热压法是

doi:10.16865/j.cnki.1000-7555.2022.0259

收稿日期:2022-04-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51873021);中央高校基本科研业务费(buctrc202005)

通讯联系人:王建,主要从事聚合物及其复合材料先进成形技术研究,E-mail:wjj0107@163.com

由 Ward 和 Hine 等^[7,8]发明的。Abo El-Maaty 等^[9]首次用该方法制备了 PP SPC, 研究发现了热压温度的重要性; 但得到的制品力学性能不高, 且未能掌握最优的工艺参数。Hine 等^[10]直接热压 PP 纤维布制备了 PP SPC, 研究了热压温度对制品弯曲性能的影响, 获得了 182 °C 的最优热压温度。Hine 等^[11]用不同结构的 PP 纤维布热压制备了 PP SPC, 研究了不同纤维取向对制品力学性能的影响, 其拉伸强度可达 133 MPa。这种方法工艺较为简单, 浸润性好, 界面性能优异。但温度梯度极易影响纤维增强体的受热, 加工温度范围极窄, 通常在 10 °C 甚至更小; 温度控制不好容易使纤维熔融失去增强作用。另外, 由于存在温度梯度, 产生的界面黏结性能也存在梯度, 外部黏结良好, 而内部存在未黏结的情况, 甚至存在空隙。

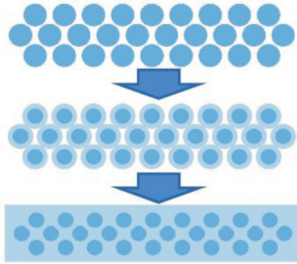


Fig.1 Schematic of hot compaction of fibers/fabrics

为了减少空隙率, Hine 等^[12]结合纤维/纤维布热压法, 开发了新的热压方法。在纤维布层之间嵌入 15 μm 厚的 PP 薄膜, 薄膜和纤维采用同种 PP, 控制热压温度使薄膜熔融的同时纤维表层也发生熔融, 再加压冷却成型 PP SPC, 研究了热压温度对制品性能的影响。发现此方法比纤维/纤维布热压法的最优加工温度低 2 °C。与纤维/纤维布热压法相比, 改进的热压法可得到更好的界面黏结性, 空隙率低, 加工温度窗口更宽。聚合物纤维在牵引条件下增加了分子链的取向性, 可实现“过热”即熔点提高 (Fig.2)。研究发现, 通过预拉伸和改变拉伸比可提高纤维熔点^[13], 从而扩大加工温度范围。Izer 和 Bárány^[14]利用“过热”原理, 将不同取向度的纤维编织成布进行热压, 高取向的 PP 纤维具有较高的熔点, 其作为增强体, 在热压过程中不会熔融; 低取向的 PP 纤维在热压过程中熔融形成基体。其研究获得了 170 °C 的最佳热压温度, 得到的 PP SPC 制品 (纤维含量 38.2%) 的拉伸强度和模量分别达到了 139.7 MPa 和 2.5 GPa。Foster 等^[15]进一步研究了不同牵伸比得到的纤维增强体对热压制备的 PP SPC 力学性能的影响。

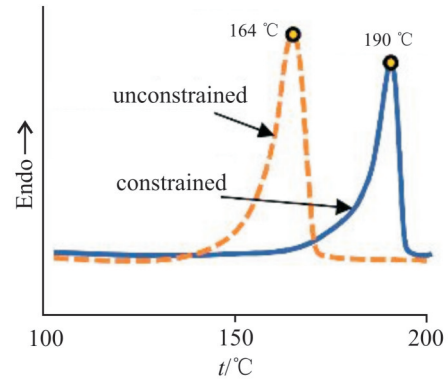


Fig.2 DSC curves showing the effect of constraining on the melting point of iPP fiber^[13]

1.2 膜层热压法

基于 PP 的共聚物和均聚物的熔点差别很大^[16], 利用此原理可加工 PP SPC, 且具有较大的加工温度窗口 (Fig.3)。膜层热压法如 Fig.4 所示, 以 PP 共聚物作为基体制成薄膜, 以 PP 均聚物作为增强体制成纤维/纤维布, 将薄膜夹在纤维/纤维布之间, 设定热压温度在 PP 共聚物熔点以上 PP 均聚物熔点以下, 使薄膜熔融而纤维/纤维布不熔融, 在此情况下加压冷却制备成型 PP SPC。Kitayama 等^[16]用此方法研究了不同加工温度条件下纤维增强体在基体中的形态, 发现较高的温度有利于增强体与基体界面的黏结, 但温度过高容易破坏纤维形态而减弱其力学性能。Bárány 等^[17]研究了加工温度对制品拉伸性能的影响, 获取了最优加工温度 165 °C。制备得到的 PP SPC 的拉伸强度及模量分别可达 125 MPa 和 1.86 GPa。Hwang 等^[18]采用商用均聚 PP 纤维和共聚 PP 薄膜热压制备了 PP SPC, 研究了固化温度对力学性能的影响, 得到了相似的结论。Varga 等^[19]以 4 种无定形聚 α -烯烃 (APAO) 为基体薄膜和 2 种 PP 编织布为增强体, 膜层热压制备了 PP SPC, 主要研究了低熔点基体对拓宽加工温度窗口的作用。

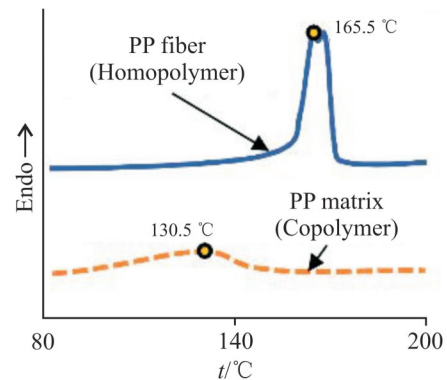


Fig.3 DSC melting endotherms of PP homopolymer and PP copolymers^[16]

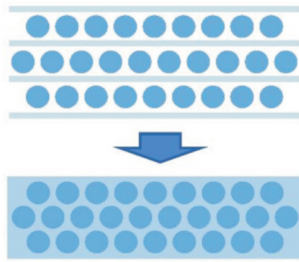


Fig.4 Schematic of film stacking process

等规立构PP具有4种不同的晶型结构,不同晶型的PP具有不同的熔点。 β 晶型的PP可以通过添加适当的成核剂得到,其熔点比 α 晶型PP低25℃以上,因此,利用此性质可进一步扩大制备PP SPC的加工温度范围。Bárány等^[20]利用此原理,首先制备了 β 晶型PP薄膜,用 α 晶型PP纤维布作为增强体,膜层热压制备了PP SPC。得到的PP SPC的拉伸强度和模量分别可达99.7 MPa和2.57 GPa。

将过热、共聚和同质多晶的原理结合起来,可进一步扩大加工温度窗口。Abraham等^[21]利用牵引拉伸的PP纤维带作为增强体,用 β 晶型的PP共聚物作为基体,以膜层热压的形式制备了PP SPC。其最大弯曲强度和模量分别为74.2 MPa和2.93 GPa。

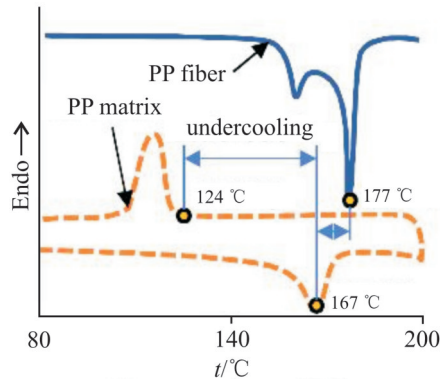


Fig.5 DSC curves of PP fiber and PP matrix for under-cooling melt film stacking^[22]

在熔点以下没有结晶且仍保持流动的状态称为“过冷”。基于这种性质,在PP处于过冷状态时,可将同种类的PP纤维增强体添加进去,因为温度低于熔点,所以纤维增强体不会熔融,从而可制得PP SPC。为此,Dai等开发了过冷膜层热压法制备了PP SPC^[22,23]。先预制PP薄膜,在一个热压机上使薄膜熔融,再快速移动至另一个热压机上使其快速冷却至过冷状态,此时将纤维/纤维布压入,冷却成型PP SPC。此方法建立的加工温度窗口主要取决于聚合物过冷度的大小。研究表明,PP可获得40℃以上的过冷度(Fig.5)。取PP纤维开始熔融的温度与PP薄膜开始结晶的温度之差,可得到25℃以上

的温度窗口。制备的PP SPC的拉伸强度比纯PP提高了约6倍。Zhang等^[24]研究了过冷基体与PP纤维黏结过程的界面结晶与力学行为,着重分析了温度的影响。

1.3 共挤热压法

Alcock等^[25]结合膜层热压法和牵引纤维原理开发了共挤热压法。以共聚PP作基体,均聚PP作增强体,采用共挤出使基体包覆在增强体外表面成型纤维带,给定预拉伸及温度后缠绕成型,再放在热压机上给定热压温度使基体熔融而增强体不熔融,加压冷却成型,制备了纤维含量高于90%的PP SPC制品。由于结合了膜层热压法和牵引纤维的优势,此方法可获得大于30℃的温度窗口,且共挤出提高了界面黏结性能,纤维预牵引同时提高了力学性能。通过深入研究^[26-28],其得到的PP SPC的拉伸强度可达232 MPa,虽然与350 MPa(60%编织玻纤增强PP)相比还有点差距,但是与145 MPa(50%玻纤增强PP)和55 MPa(40%亚麻纤维增强PP)相比,此强度具有相当大的优势。

1.4 挤出辊压法

Wang等^[29]结合过冷膜层热压法和牵引纤维原理开发了挤出辊压法,实现了PP SPC预浸带的连续制备。以PP粒料加入单螺杆挤出机中塑化挤出片材,在PP基体片进入辊压机位置引入PP连续纤维,使纤维增强体和基体复合在辊压机的牵引力作用下形成带材的连续制备。相关实验引入了质量分数5%的PP纤维,带材的拉伸强度与纯PP相比提高了2倍。Vazquez等^[30]将商用PP薄膜和无纺布层叠放入热的辊压机中实现了PP SPC带材的连续制备,研究了辊子温度、转速和辊间距的影响。Kim等^[31]通过挤出多次高倍牵引PP纤维带再与共聚PP膜通过连续双皮带压制方法实现了PP SPC带材的连续制备。

1.5 注射成型法

1.5.1 注射压缩成型: Khondker等^[32]首次尝试了利用注射压缩成型制备PP SPC。此方法虽然不是常规的注射成型,最后仍需要采用压缩工艺,但其可实现较短成型周期的多批次成型。先将编织好的纤维布铺入模具型腔中,再将熔融的基体注入型腔中,然后驱动合模系统热压。但论文中的纤维含量仅为2.3%和6.9%,力学强度提高的不多。但其对推进PP SPC的快速批量制备有一定意义。

1.5.2 嵌件式注射成型: Wang等^[33-36]利用嵌件式注

射成型的方法实现了 PP SPC 的快速批量制备。为了不使纤维熔融而失去增强效果,预先将纤维布铺设在模腔中,再将熔融的基体注入型腔实现包覆渗透增强体的作用。研究发现,即使注入的基体具有很高的温度,但由于进入模腔中的高温熔体在 2 s 时间内就快速降温到了纤维增强体的熔点以下,其热量也不足以引起纤维布的熔融,因此最终得到的制品均比纯 PP 材料的力学强度高很多。其最高拉伸强度可达 70 MPa,是纯 PP 的 2.3 倍。但是,这种成型方法仍然受限于简单形状的制品,且为了保证制品的表面质量,基体含量较多,使得力学强度仍不能与玻纤增强 PP 材料相当。为此, Wang 等^[37]采用商用 PP 纤维布为增强体,高熔融指数 PP 为基体,在提高加工温度窗口的同时,通过双面嵌件的方法提高纤维增强体的含量,制备的 PP SPC 拉伸强度提高到了 120 MPa,是纯 PP 拉伸强度的 3.9 倍。

1.5.3 基于 TPE 的注射成型:为了实现复杂制品形状的 PP SPC 制品的快速批量成型, Kmetty 等^[38]找到一种基于 PP 的热塑性弹性体(TPE),其熔点仅为 79 °C,与具有 172 °C 熔点的 PP 纤维相比,可以建立 90 °C 的温度窗口。他们首先将 TPE 吹膜,然后利用膜层热压再造粒的方式与 PP 纤维布制备共混粒料,最后通过注射成型的方式成功实现了 PP SPC 的制备。但是这种方法得到的拉伸强度仅为 35.6 MPa,这是因为 TPE 的物理特性与 PP 相差较大。

1.5.4 共挤出-注射成型: Andrzejewski 等^[39]利用共聚 PP 与均聚 PP 之间较大的熔点差,首先设计了一个特殊的模具,将熔点高的 PP 均聚物制备的纤维丝穿过模具与后面螺压过来的 PP 共聚基体共挤出后造粒,然后用于注射成型。此方法也可以实现复杂形状 PP SPC 制品的制备,其最高纤维含量可达 40%,但是由于纤维丝强度较低,最高拉伸强度仅为 30 MPa。

2 聚丙烯单聚合物复合材料的应用

在欧盟 ELV (End-of-life vehicle) 政策的要求和支持下,以 PP SPC 代替玻纤增强材料的汽车制品得到了开发和实现,以 PP SPC 制备得到的汽车底板比原玻纤增强的底板质量减轻了 50%,而抗冲击性能则高出 5 倍以上。相应的已注册形成多家生产 SPC 制品的公司企业,如 CURV, PURE, Armordon, Para-Lite, Compomeer, Kaypla 和 Comfil 等。除了 Kaypla 以 PE 为主, Comfil 以 PET SPC 粒料为主,其余品牌皆以 PP SPC 为主。其生产制备工艺主要以热压法、

膜层热压法和共挤热压法为主^[40],注射成型和挤出成型相关的方法至今仍未见商用。PP SPC 产品包括汽车底板、汽车内饰件、坦克内衬层、爆炸防护板、直升机整流罩盖、运动护具、头盔、医用固定支具、冲浪板、旱冰鞋、行李箱、扬声器锥壳、建筑用复合板、集装箱、帆船布、广告布等等。

3 结语

PP 复合材料制品种类繁多,以玻纤增强 PP 复合材料居多。随着纤维增强 PP 复合材料的不断消耗和回收再利用问题的日益严重,通过好回收的 PP SPC 可替代部分现有 PP 复合材料,是 PP 复合材料及其制品的发展趋势之一。现有 PP SPC 制备方法包括纤维/纤维布直接热压法、膜层热压法、共挤热压法、挤出辊压法、注射成型法等,目前已市场化应用的制备技术仍局限于热压方法,制备过程要求严格控制加工温度,制品尺寸小且形状简单,成型周期长,影响了连续化批量生产。得到开发的挤出辊压法可实现 PP SPC 带材的连续成型,但力学性能尚有较大差距。注射成型方法得到的 PP SPC 制品力学强度也较低,为适用注射成型,PP SPC 的造粒成型技术仍在开发改进中,但在力学性能方面不会有显著优势。复合式成型方法将是 PP SPC 制备成型的未来发展趋势,将集成增强体纤维纺丝、编织、基体浸渍、热压/辊压、嵌件注射等先进成型技术手段,联系原材料、半成品与最终制品为一体,形成从原料到制品的整体系列化技术解决方案。这有待原料供应商、机械设备商、模具制造商、产品用户的多层面的产学研结合实现。

参考文献:

- [1] Capiati N J, Porter R S. The concept of one polymer composites modelled with high density polyethylene[J]. *Journal of Materials Science*, 1975, 10: 1671-1677.
- [2] Kmetty Á, Bárány T, Karger-Kocsis J. Self-reinforced polymeric materials: a review[J]. *Progress in Polymer Science*, 2010, 35: 1288-1310.
- [3] Karger-Kocsis J, Bárány T. Single-polymer composites (SPCs): status and future trends[J]. *Composites Science and Technology*, 2014, 92: 77-94.
- [4] Visakh P M, Poletto M. Polypropylene-based biocomposites and bionanocomposites[M]. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2017.
- [5] Lee H, Kim Y S, Choi W H, *et al.* Processing temperature window design via controlling matrix composition for

- polypropylene-based self-reinforced composites[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2021, 143: 106301.
- [6] Ries A. Structural description of self-reinforced polypropylene composites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2021, 138: 51215.
- [7] Ward I M, Hine P J. The science and technology of hot compaction[J]. *Polymer*, 2004, 45: 1413-1427.
- [8] Ward I M, Hine P J. Novel composites by hot compaction of fibers[J]. *Polymer Engineering and Science*, 1997, 37: 1809-1814.
- [9] Abo El-Maaty M I, Bassett D C, Olley R H, *et al.* The hot compaction of polypropylene fibres[J]. *Journal of Materials Science*, 1996, 31: 1157-1163.
- [10] Hine P J, Ward M, Teckoe J. The hot compaction of woven polypropylene tapes[J]. *Journal of Materials Science*, 1998, 33: 2725-2733.
- [11] Hine P J, Ward I M, Jordan N D, *et al.* The hot compaction behaviour of woven oriented polypropylene fibres and tapes. I. mechanical properties[J]. *Polymer*, 2003, 44: 1117-1131..
- [12] Hine P J, Olley R H, Ward I M. The use of interleaved films for optimising the production and properties of hot compacted, self reinforced polymer composites[J]. *Composites Science and Technology*, 2008, 68: 1413-1421.
- [13] Barkoula N M, Peijs T, Schimanski T, *et al.* Processing of single polymer composites using the concept of constrained fibers[J]. *Polymer Composites*, 2005, 26: 114-120.
- [14] Izer A, Bárány T. Hot consolidated all-PP composites from textile fabrics composed of isotactic PP filaments with different degrees of orientation[J]. *Express Polymer Letters*, 2007, 12: 790-796.
- [15] Foster R J, Hine P J, Ward I M. The effect of draw ratio on the mechanical properties and crystalline structure of single polymer polypropylene composites[J]. *Polymer*, 2016, 91: 156-161.
- [16] Kitayama T, Utsumi S, Hamada H, *et al.* Interfacial properties of PP/PP composites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, 88: 2875-2883.
- [17] Bárány T, Izer A, Czigány T. On consolidation of self-reinforced polypropylene composites[J]. *Plastics, Rubber and Composites*, 2006, 35: 375-379.
- [18] Hwang Y T, Kang S Y, Kim D H, *et al.* The influence of consolidation temperature on in-plane and interlaminar mechanical properties of self-reinforced polypropylene composite[J]. *Composite Structures*, 2019, 210: 767-777.
- [19] Varga L J, Barany T. Development of recyclable, lightweight polypropylene-based single polymer composites with amorphous poly-alpha-olefin matrices[J]. *Composites Science and Technology*, 2021, 201: 108535.
- [20] Bárány T, Karger - Kocsis J, Czigány T. Development and characterization of self-reinforced poly (propylene) composites: carded mat reinforcement[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2006, 17: 818-824.
- [21] Abraham T N, Wanjale S D, Bárány T, *et al.* Tensile mechanical and perforation impact behavior of all-PP composites containing random PP copolymer as matrix and stretched PP homopolymer as reinforcement: effect of β nucleation of the matrix[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2009, 40: 662-668.
- [22] Dai P, Zhang W, Pan Y, *et al.* Processing of single polymer composites with undercooled polymer melt[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2011, 42: 1144-1150.
- [23] Wang J, Chen J, Dai P, *et al.* Properties of polypropylene single-polymer composites produced by the undercooling melt film stacking method[J]. *Composites Science and Technology*, 2015, 107: 82-88.
- [24] Zhang L, Qin Y, Zheng G, *et al.* Interfacial crystallization and mechanical property of isotactic polypropylene based single-polymer composites[J]. *Polymer*, 2016, 90: 18-25.
- [25] Alcock B, Cabrera N O, Barkoula N M, *et al.* The mechanical properties of unidirectional all-polypropylene composites[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2006, 37: 716-726.
- [26] Alcock B, Cabrera N O, Barkoula N M, *et al.* Low velocity impact performance of recyclable all-polypropylene composites [J]. *Composites Science and Technology*, 2006, 66: 1724-1737.
- [27] Alcock B, Cabrera N O, Barkoula N M, *et al.* The mechanical properties of woven tape all-polypropylene composites[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2007, 38: 147-161.
- [28] Alcock B, Cabrera N O, Barkoula N M, *et al.* The effect of temperature and strain rate on the impact performance of recyclable all-polypropylene composites[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2008, 39: 537-547.
- [29] Wang J, Song F, Yu M. Unidirectional continuous fiber-reinforced polypropylene single-polymer composites prepared by extrusion-calendering process[J]. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2022, 35: 303-319.
- [30] Vazquez Y V, Castillo L A, Barbosa S E. Single polymer composite sheets from polypropylene nonwoven fabric and films. Influence of processing conditions on final properties[J]. *Polymer Composites*, 2020, 41: 1962-1971.
- [31] Kim D W, Kim Y S, Jung Y C, *et al.* Development of a

- continuous manufacturing process for self-reinforced composites using multi-step highly drawn polypropylene tapes [J]. *Polymer*, 2020, 191: 122267.
- [32] Khondker O A, Yang X, Usui N, *et al.* Mechanical properties of textile-inserted PP/PP knitted composites using injection - compression molding[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2006, 37: 2285-2299.
- [33] Mao Q, Hong Y, Wyatt T P, *et al.* Insert injection molding of polypropylene single-polymer composites[J]. *Composites Science and Technology*, 2015, 106: 47-54.
- [34] Wang J, Mao Q, Chen J. Preparation of polypropylene single-polymer composites by injection molding[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 130: 2176-2183.
- [35] Wang J, Wang S, Chen D. Development and characterization of insert injection moulded polypropylene single-polymer composites with sandwiched woven fabric[J]. *Composites Science and Technology*, 2015, 117: 18-25.
- [36] Wang J, Chen D, Wang S, *et al.* Properties of insert injection molded polypropylene single-polymer composites with uniaxial fibers [J]. *Macromolecular Symposia*, 2018, 378: 1600154.
- [37] Wang J, Mao Q, Jiang N, *et al.* Effects of injection molding parameters on properties of insert-injection molded polypropylene single-polymer composites[J]. *Polymers*, 2021, 14: 23.
- [38] Kmetty Á, Bárány T, Karger-Kocsis J. Injection moulded all-polypropylene composites composed of polypropylene fibre and polypropylene based thermoplastic elastomer[J]. *Composites Science and Technology*, 2012, 73: 72-80.
- [39] Andrzejewski J, Szostak M, Barczewski M, *et al.* Fabrication of the self-reinforced composites using co-extrusion technique[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 131: 41180.
- [40] Santos R A M, Gorbatikh L, Swolfs Y. Commercial self-reinforced composites: a comparative study[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2021, 223: 109108.

Preparation Methods and Application of Polypropylene Single-Polymer Composites

Yuelong He¹, Jian Wang², Qichao He²

(1. Mechanical Invention Examination Department of Patent Office, China National Intellectual Property Administration, Beijing 100088, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT: Single-polymer composites (SPCs), of which matrix and reinforcement are from the same polymer, are necessary for terms of resource recycling, energy conservation, and emissions reduction. In comparison with the traditional preparation process of fiber-reinforced polymer composites, the processing temperature window is the key technique to prepare SPCs due to the similar melting temperature of the matrix and reinforcement. Polypropylene (PP) SPCs have lightweight, low cost, easy recyclability, good interfacial adhesion, and better impact resistance. The preparation methods of PP SPCs included the hot compaction of fibers/fabrics, film stacking, co-extrusion compression, extrusion-calendering, injection molding, etc. The PP SPCs have been applied in automobile protective plates, bulletproof, luggage, sports, medical protective equipment, construction, etc.

Keywords: polypropylene; single-polymer composites; preparation method; mechanical properties; recycle