

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.11.026

共挤出成型核壳结构木塑复合材料研究进展

于旻¹, 于而立², 黄润州³, 葛正浩¹

(1. 陕西科技大学机电工程学院, 西安 710021; 2. 南京市农业装备推广中心, 南京 210001;

3. 南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037)

摘要: 共挤出成型核壳结构木塑复合材料 (WPCs) 是一种能将多种聚合物的特性集成一体以实现结构化设计的多层结构复合材料。主要介绍了共挤出技术及其在 WPCs 中的应用现状, 通过与传统 WPCs 比较, 总结了核壳结构 WPCs 在复合化、多功能化、绿色节能化方面的优越性, 概述了近年来核壳结构 WPCs 的改性方法, 目前的研究主要集中在对壳层和芯层材料的改性, 而对核壳界面的改性还需进一步研究, 随后还介绍了新型核壳结构 WPCs 的研究, 最后分析了核壳结构 WPCs 面临的问题并对其发展前景进行了展望。

关键词: 共挤出成型; 核壳结构; 木塑复合材料

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)11-0144-05

Research Progress of Coextrusion Core-shell Structure Wood Plastic Composites

Yu Min¹, Yu Erli², Huang Runzhou³, Ge Zhenghao¹

(1. College of Mechanical & Electrical Engineering, Shanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

2. Nanjing Agricultural Equipment Promotion Center, Nanjing 210001, China;

3. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Coextrusion core-shell structure wood-plastic composites (WPCs) is a kind of multilayer composite material which can integrate the characteristics of various polymers. The co-extrusion technology and its application in WPCs were summarized. Compared with the traditional WPCs, the core shell structure WPCs have the advantages of compound, multi-function and green energy saving. In recent years, the modification methods of core shell structure WPCs were mainly focused on the modification of shell and core materials, while the modification methods of shell interface need further study. The research progress of core shell structure WPCs was also introduced. Finally, the problems faced by core-shell structure WPCs were analyzed and its development prospect was prospected.

Keywords: coextrusion; core-shell structure; wood plastic composite

木塑复合材料 (WPCs) 是以热塑性塑料为基体, 天然纤维 (如木竹纤维、农作物秸秆等) 增强的环境友好型生物质复合材料。与传统木质复合材料相比, WPCs 具有易加工、强度高、可生物降解等特点, 是高效利用农林剩余物资源的一种重要途径。近十多年来, WPCs 在建筑、装饰和家装等领域已发展成为一种新型的功能性材料。但是, 随着新型聚合物材料的不断出现和市场上对木塑制品性能要求的不断提高, 传统 WPCs 已经不能满足木塑制品的使用性能及某些功能性、外观上的特殊要求。现代 WPCs 制品生产已从单一材

料逐步向多层结构复合材料方向发展, 以共挤出为代表的复合成型技术, 以其特有的优异性能成为当代最先进的聚合物成型方法之一。因此, 研究核壳结构 WPCs 对拓展 WPCs 在工程材料领域的推广和应用具有重要意义。笔者从多层复合材料共挤出技术、核壳结构与传统 WPCs 的比较、核壳结构 WPCs 的改性方法、新型核壳结构复合材料 4 个方面, 对核壳结构 WPCs 的研究现状和发展趋势进行了概述。

1 共挤出技术及其在 WPCs 中的应用现状

多层结构复合材料是近年来复合材料研究的重要内容

基金项目: 中国博士后科学基金面上项目 (2017M623096), 陕西省教育厅专项科研计划项目 (17JK0092), 陕西科技大学博士科研启动基金项目 (BJ16-01)

通讯作者: 葛正浩, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为材料成型及控制工程 E-mail: gezha@sust.edu.cn

收稿日期: 2019-09-02

引用格式: 于旻, 于而立, 黄润州, 等. 共挤出成型核壳结构木塑复合材料研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(11): 144-148, 161.

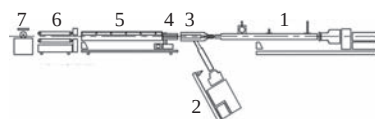
Yu Min, Yu Erli, Huang Runzhou, et al. Research progress of coextrusion core-shell structure wood plastic composites[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(11): 144-148, 161.

之一,主要通过共挤出法、层压法和涂布法来实现。相比层压法和涂布法,共挤出法是制备多层结构复合材料最有效的方法。共挤出法,又称共挤出技术,最早出现于20世纪60年代,由美国人G. Carozzo研发出了一种能成型多色、多组份的汽车尾灯罩技术。共挤出技术的核心思想是使用数台挤出机将已经塑化完全的多种熔融物料,通过各自的分流道,在压力作用下同时被送入一个共用机头内汇合,经过机头内各个功能区域,最后从机头出来,再经冷却和成型,得到多层复合共挤出制品。

近年来,共挤出技术已被用于复合薄膜、板材、管材、异型材和电线电缆的生产,在建筑、航空航天、光学、农学和医药等领域具有极其广泛的应用价值。20世纪70年代末,美国陶氏化学公司最早利用共挤出技术制备出了微纳叠层复合薄膜材料。国内北京化工大学、四川大学等高校先后研发出微纳层叠共挤出装置并制备出了几十层乃至上百层的层状复合材料,并对材料特性进行了深入研究。殷敏等^[1]制备并研究了不同层数的聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)/阻燃剂填充的PBT交替层状复合材料,结果表明,随着层数的增加,体系的阻燃和力学性能均显著提高。张婷婷等^[2]利用微纳层叠共挤出装置成功制得乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)/聚丙烯(PP)原位微纤复合材料(MFCs),研究发现,PP在EVAC中能够形成微纤,且随着PP含量的增加,直径较大的微纤数量显著增多,MFCs的储能模量和损耗模量都相应增大。由此可见,通过共挤出技术,使材料从微观到宏观结构的变化重组,能够在不改变材料主要成分的基础上,提高了复合材料的性能。因此,也可以将多层复合理论应用到木塑复合材料中。

2007年,N. M. Stark等^[3]通过共挤出技术首次制备出一种新型核壳结构WPCs,经过多年来的稳步发展,目前核壳结构WPCs不仅在木塑产业成为翘楚,更是近十年来国内外科研领域的研究热点,其研究热度正逐年上升。核壳结构WPCs是采用共挤出技术,将皮层和芯层材料不同的性能优势相互结合,使整体性能在核壳结构WPCs中最优化,从而设计和制备高附加值、功能性强的WPCs。共挤出制备核壳结构WPCs工艺流程图如图1所示,核壳结构WPCs采用两台双螺杆挤出机,分别供给芯层和皮层的熔融料流,在一个复合机头内汇合挤出并通过减压真空器定型,最后由水雾冷淋槽冷却,牵引机牵引,切割锯切割型材。目前全球WPCs市场需求平缓上升,其中传统WPCs的销售出现放缓甚至下降的势头,而共挤类WPCs产品发展迅速,其产品价格高于传统WPCs 30%~35%。在2016年的上海国际博览会上,我国剑源公司自主研发的丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯塑料(ASA)/聚氯乙烯(PVC)共挤WPCs系列产品因其

特有的高耐候性、色彩丰富、木质纹理感强等特性大放异彩。据美国市场调查公司对建材超市、分销商和建筑承包商的调查显示,与传统WPCs相比,95%的用户更愿意用共挤类WPCs。近五年来,共挤类WPCs产品从高端WPCs围栏、扶手、门窗,到中低端的地板、栅栏、装饰板,有越来越多的应用,在国内和欧美市场上所占份额逐年上升,核壳结构WPCs制品的总量已经超过50%,并将在几年内其市场占有率有望增加至90%,可见核壳结构WPCs是WPCs产业的主流趋势。



1—芯层挤出机;2—皮层挤出机;3—共挤机头;4—减压真空器;
5—水雾冷淋槽;6—牵引机;7—切割锯

图1 共挤出制备核壳结构WPCs工艺流程图

2 核壳结构与传统WPCs相比的优越性

2.1 复合化

目前的传统WPCs已形成设计制造产业化、工艺技术专业化、产品类型多元化的成熟型产业,经历了从高速增长到平稳增长的时期,市场竞争空前激烈。相比传统WPCs,核壳结构WPCs可将多种不同特性的聚合物集成到一种制品上,实现特性、功能、结构等方面的复合化,是未来WPCs产业发展的趋势,也是市场角逐的关键。

自WPCs诞生以来,高木粉填充量所带来的环境友好性和低成本优势,一直是生产者所努力的方向。但由于植物纤维存在高吸水性的缺点,传统WPCs很难克服高吸水率导致的材料变形和力学性能下降的问题。Jin Shan等^[4-5]分别以高密度聚乙烯(PE-HD),PP,PVC等为皮层包覆传统WPCs,将塑料的憎水特性与木塑制品硬度高、刚性好的特性复合得到核壳结构WPCs。Yao Fei等^[5]研究发现,经过1368 h的吸水实验,传统结构WPCs的吸水率是纯PE-HD核壳结构WPCs的2.6倍多,厚度膨胀率大于5%,而核壳结构WPCs的厚度膨胀率全部小于1%,且防水性随着皮层厚度的增加而提高。

相比传统单一性能的WPCs,核壳结构WPCs的皮层和芯层的不同性能对复合材料的整体性能具有综合效应。研究发现^[6-9],在皮层中加入碳纳米管、微纳米SiO₂粒子、滑石粉、玻璃纤维等无机填料,不仅能够降低吸水率,提高尺寸稳定性,还能进一步提高复合材料的弯曲强度和冲击强度,如壳层添加纳米SiO₂能够使核壳结构WPCs比壳层不添加纳米SiO₂的WPCs的弯曲强度和冲击强度分别提高29%和57%^[7];壳层添加滑石粉能够使核壳结构WPCs的弯曲强度和弯曲弹性模量达到21.84 MPa和5.19 GPa,相比核层材

料的弯曲强度和弯曲弹性模量分别提高了 43% 和 9.5%^[9]。

2.2 多功能化

多功能化是 WPCs 新产品研究开发的决定性因素,在当前复合材料制备工艺不断创新和产品种类不断更新的高速发展时期,传统单一功能性产品已经跟不上时代的发展。核壳结构 WPCs 通过在皮层、芯层添加不同的抗氧剂、阻燃剂等功能性助剂,以及有机或无机填料,将对氧和湿气的阻隔能力、着色性、保温性、热膨胀性能等与强度、刚度、硬度等物理力学性能良好结合,获得多功能性产品。

(1) 耐老化性。

在多功能化中,核壳结构 WPCs 表现最突出的是耐久性的提高。由于植物填料吸水性强、易发生光降解,传统 WPCs 塑料基体与植物填料的界面粘合一旦被破坏, WPCs 会迅速老化分解。核壳结构 WPCs 利用多层结构的特点,解决了 WPCs 产品在防老化方面的难题,为 WPCs 防老化研究开辟了新途径。徐兵等^[10]研究发现,在传统 WPCs 外包覆纯 PE-HD 壳层,经过 2500 h 的紫外光照射后,核壳结构 WPCs 的表面颜色色差值 (ΔE) 的增加量比传统 WPCs 的低 47%,具有较好的抗紫外色变能力,核壳结构 WPCs 的弯曲强度保留率和弯曲弹性模量保留率比传统结构 WPCs 分别提高 17% 和 14%。Wang Xiaoyu 等^[11]制备了以传统 WPCs 为壳层、单板层积材为芯层的核壳结构 WPCs 窗框,通过在壳层添加具有协同作用的无机颜料炭黑和 TiO_2 ,有效地降低了加速老化后 WPCs 的变色现象,并且明显减少了表面裂纹的发生。此外, Liu Chaozheng 等^[12-13]的研究也证明,在壳层加入光稳定剂、紫外线吸收剂或无机颜料均能够延缓核壳结构 WPCs 的光降解过程,提高耐老化性能。目前,国际上把传统 WPCs 分类为“低维护”产品,把共挤 WPCs 产品分类为“超低维护”产品。北美很多公司开发的核壳结构 WPCs 地板的保修期,已从传统 WPCs 的 20 a,轻松提高到 25 a。

(2) 阻燃性。

传统 WPCs 制品易燃烧且着火后不能自熄,属于易燃材料。传统的阻燃方法是把阻燃剂均匀分布在聚合物基体中,利用阻燃剂和聚合物基体复合体系在燃烧时的气相或(和)凝聚相阻燃作用实现阻燃。但是该方法的阻燃剂利用效率较低,还会影响制品的力学强度和加工性能。核壳结构 WPCs 无需对材料整体添加阻燃剂,仅对皮层进行阻燃改性,便可达到良好的阻燃效果。如蔡晨阳等^[14]在壳层添加有机改性蒙脱土与聚磷酸铵,降低了核壳结构 WPCs 的热释放总量以及热释放速率,残炭率达到 55.2%,起到了良好的阻燃效果。I. Turku 等^[15]以炭黑和碳纳米管改性壳层,核壳结构 WPCs 的峰值热释放速率分别减少了 16% 和 17%。M.

Nikolaeva 等^[16-17]研究认为,以共挤出技术对 WPCs 进行结构改性是提高 WPCs 阻燃性能最有潜力的途径,在皮层引入三聚氰胺、硼酸锌降低了 WPCs 的热释放速率、总热释放量等,将天然石墨和三聚氰胺复合改性皮层的阻燃效果好;研究还发现,滑石粉能够明显改善核壳结构 WPCs 的点火时间、峰值放热速率和质量损失率。

(3) 线性热膨胀性。

热膨胀性能是工程材料设计的一个重要指标,特别在工程材料组装时显得尤为重要。传统 WPCs 一般通过加入填料来抑制热膨胀现象的发生,而核壳结构 WPCs 不仅能够通过少量填料实现对皮层改性,还能通过调节皮层厚度来改善 WPCs 的整体性能。李影等^[18]研究发现,采用共挤技术挤出的玻璃纤维增强多层复合 WPCs 地板,在不同高温下的长度收缩率最大为 0.4‰,当温度处于 $-20 \sim 80^\circ\text{C}$ 范围内循环波动时,地板收缩率仅为 0.7‰。Wu Qinglin 等^[19]研究发现,由于增加了更灵活的保护壳层,提高了核壳结构 WPCs 的弯曲强度和冲击强度。当壳层的玄武岩纤维含量为 20% 时,核壳结构 WPCs 的力学性能和热膨胀性能可达到良好平衡。黄润州等^[20]以短玻璃纤维增强壳层,分析了不同皮层厚度 (1.0, 1.2 mm 及 1.6 mm) 和皮层填料含量 (0%, 10%, 20%, 30% 和 40%) 对核壳结构 WPCs 弯曲性能和热膨胀性能的影响。结果表明,当壳层的热膨胀系数值比芯层大时,壳层厚度的减少可降低共挤出 WPCs 的热膨胀系数;当皮层的热膨胀系数小于芯层时,共挤出 WPCs 的热膨胀系数随皮层厚度的增加而减少。可见,除了添加玻璃纤维、玄武岩纤维等无机填料外,还可以通过改变壳层和芯层的物性参数,以及调节壳层厚度的方法调控核壳结构 WPCs 的热膨胀系数,这为研究 WPCs 的热膨胀性能提供了新的方法和思路。

(4) 耐磨性、抗静电性。

近年来,研究人员对核壳结构 WPCs 的多功能性不断进行研发。方晓钟等^[21]研究发现,将改性后的石墨烯添加到三层共挤出 WPCs 型材的壳层,能显著地增加型材表层的耐磨性,考虑到生产成本因素,其最佳添加量为 0.04 份时,型材的磨损量可降低至 31.27 mg;将改性后的玻璃纤维加入到芯层中,可使三层共挤型材的力学性能显著增强,玻璃纤维的适宜用量为 12 份,该三层共挤 WPCs 型材具有高强度、耐磨、抗撕裂的优异性能。

王珂等^[22]以十二烷基苯磺酸钠 (SDBS) 为抗静电剂,将其加入到具有核壳结构的 WPCs 中,实验表明,添加 18% 的 SDBS 后核壳结构 WPCs 的表面电阻率降至 $10^8 \Omega$,比未添加时降低了 46.7%,显著降低了复合材料的静电效应。Liu Chaozheng 等^[23]采用炭黑填充 WPCs (PE-HD/木材复合材料) 的壳体,电导率分析表明,核壳结构 WPCs 中炭黑的渗

透阈值在 15%~20% 之间,含 20% 炭黑 (CW-20) 试样的表面电阻率达到 GB/T 50174-2017 规定的电子信息系统机房及其支撑面积的地面抗静电要求。此外,要达到相同的抗静电性能和力学性能,传统 WPCs 中炭黑的用量是核壳结构 WPCs 的 6.71 倍。该研究表明,利用壳层填充炭黑不仅能够大幅降低材料表面电阻率,更能够节省原料,降低成本,扩大了核壳结构 WPCs 在易燃易爆领域的应用。功能性核壳结构 WPCs 的发展潜力巨大,有待进一步研发。

2.3 绿色节能化

随着人们对环境和资源重视程度的逐渐提高,以废旧物资回收和资源综合利用为核心的循环经济发展模式已成为世界经济的主流。如何物尽其用、变废为宝是可持续发展的首要难题。使用废旧塑料是传统 WPCs 在环境保护和降低成本方面最突出的优势,但如果完全以废旧塑料为基体,产品性能无法满足使用要求;为了提高性能,厂家往往需要在废旧塑料内加入大量新料才能很好地提高产品的整体性能,这大大增加了成本,并且对产品性能的改善也非常有限。对此,通过共挤出技术制备核壳结构 WPCs,从结构上对传统 WPCs 进行革新,是最新且最有潜力的解决方案。Mei Changtong 等^[24]将性能较弱的回收聚合物 [R-PE-HD, R-PP/聚乙烯 (PE)] 基 WPCs 与性能优异的新料聚合物 (V-PE-HD) 基 WPCs 相复合,制备出“强皮-弱芯”结构的 WPCs,结果表明,共挤出 WPCs 的弯曲强度和冲击强度显著提高,以 V-PE-HD, R-PE-HD 和 R-PP/PE 为皮层基体的共挤出 WPCs 的吸湿率分别降低了 76.85%,82.96% 和 89.83%,说明“强皮-弱芯”体系不仅可提高 WPCs 性能,还能够有效降低成本,为保护环境和产品增值提供了一条有效的技术途径。

在材料改性方面,由于皮层将芯层封闭起来,因而核壳结构 WPCs 的芯层可以少添加或不添加抗紫外线、防霉、颜料等助剂,而只在壳层添加,而壳层厚度一般仅为 0.3~0.5 mm,因此大幅减少了助剂用量,使成本降低超过 65%^[25]。Jin Shan 等^[26]研究认为,要达到同样的防老化效果,在壳层添加紫外线吸收剂与受阻胺光稳定剂共混物的含量,仅为在芯层添加含量的五十分之一。

在制备工艺上,相比其它多层结构复合材料,核壳结构 WPCs 通过共挤出技术省去了复杂的成型工艺和涂层工艺,层间粘结性好,不需要使用粘结剂,效率高,成本低,减少了设备投资,整个过程不产生三废物质,环保,有利于可持续发展。

3 核壳结构 WPCs 的改性方法

由于皮层和芯层的不同特性,核壳结构 WPCs 与传统 WPCs 在性能上有较大改变,目前报道较多的是通过填料增

强皮层性能、改变皮层厚度来提高核壳结构 WPCs 整体的物理力学性能及热性能的研究,上述关于功能化的研究,也大多是通过改性壳层性能,从而达到改善核壳结构 WPCs 性能的目的。

核壳结构 WPCs 的各项性能是皮层和芯层性能共同作用的结果,对于核壳结构 WPCs 的改性,还可以从芯层入手。Xiong Wen 等^[27]设计了在芯层材料平行挤出方向,均布埋入 14 根连续纤维的核壳结构 WPCs,如图 2 所示,并采用有限元模型模拟和分析芯层与纤维之间接触和滑动行为,研究表明,芯层埋入连续纤维能够大大增强核壳结构 WPCs 的力学性能,且芯层中纤维数目越多,对核壳结构 WPCs 刚度和强度的提高越显著,但该设计会提高成本,并大大增加制备难度,故这种方法目前还处于实验研究阶段。

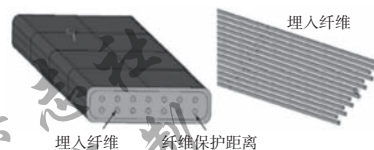


图2 芯层连续纤维增强的核壳结构 WPCs

值得注意的是,核壳结构 WPCs 的皮-芯界面性能对 WPCs 整体性能有较大的影响。研究发现,皮层、芯层性能与 WPCs 整体性能的提高有着协同效应,但核壳结构 WPCs 的性能往往不如相同组分的均相材料,其原因是皮层与芯层的界面效应。B. J. Kim 等^[28]研究发现,当核壳结构 WPCs 受到冲击力时,前端皮层首先吸收一部分冲击能量,然后通过皮-芯界面将应力传递给芯层,最后由后端皮层吸收冲击能量。比较强芯 (以新料为基体)、弱芯 (以回收料为基体) 的核壳结构 WPCs 的冲击性能,发现当皮层为组分相同的 WPCs (PE-HD/木粉复合材料) 时,相比只有弱芯的传统结构 WPCs,皮-弱芯体系的冲击强度提高了 150%,而皮-强芯体系的冲击强度仅有小幅提高。这是由于皮-弱芯体系中,皮层和芯层之间相对较差的相容性,导致皮-芯层间不稳定的界面粘接性,使得冲击力分散,致使冲击强度得到提高。可见皮层与芯层的界面性能对复合材料的冲击性能有重要影响。但文献 [28] 只报道了这一现象,并未对皮-芯界面性能与冲击性能的相关性作进一步研究,对于皮-芯层间的界面性能有待深入研究。

4 新型核壳结构 WPCs 的研究

4.1 木塑-杨木单板层积材 (WPCs-LVL) 共挤出复合材料

王清文^[29]发明了一种木塑实木复合材料共挤出装置,制备出核层为实木,壳层为木塑的共挤出复合材料。在此基础上,傅海涛等^[30-31]研究了壳层为 PE-HD/木粉基的 WPCs,核层为 LVL 的共挤出复合材料的低速冲击性能,结果表明,与 LVL 相比,在 50 J 和 75 J 能量冲击过程中,核

壳结构 WPCs 的吸收能量和损伤深度都显著降低,由于壳层 WPCs 阻止了核层破坏时裂纹的产生和发展,使核壳结构 WPCs 的失效时间延长了 44.1%;经水煮-冰冻-干燥环境处理后,由于壳层 WPCs 的保护作用,核壳结构 WPCs 的弯曲性能下降幅度明显小于 LVL。证明了通过共挤出技术, WPCs 和 LVL 达到了很好的组合效应,核壳结构 WPCs 不仅保持了良好的耐冲击性能,还表现出了优异的耐环境性能。

4.2 核壳微孔结构复合材料

中国科学院化学研究所^[32]公开了一种具有核壳结构的微孔复合材料及制备方法,这种复合材料的芯层为带有微孔的聚苯乙烯,壳层为含取向微纤的热致液晶聚合物,其芯层聚苯乙烯微孔的孔径为 0.1~50 μm ,泡孔密度为 $10^9\sim 10^{15}$ 个/ cm^3 ,壳层厚度为 0.1~10 mm。这种具有核壳结构的微孔复合材料中,高强度的热致液晶聚合物取向并富集在壳层,使材料保持液晶本身的高强度,而具有微米级孔径的聚苯乙烯富集在芯层,能够提高材料的韧性、耐冲击性、隔热保温性能。这种核壳微孔结构复合材料综合了热致液晶聚合物材料和微孔聚苯乙烯材料的优点。Wang Jun 等^[33]制备了壳层为玻璃纤维增强复合材料,核层为泡沫塑料的核壳微孔结构复合材料,研究了沿轴向压缩时的能量吸收和压缩强度,结果表明,只有芯层泡沫塑料的试样表现为剪切脆性破坏,而核壳微孔结构复合材料试样表现为渐进式破坏;增加壳层玻璃纤维的层数或增加芯层泡沫塑料的密度,都能够显著提高材料的峰值破碎载荷、轴向刚度和能量吸收。证明核壳微孔结构复合材料具有极大的增强结构性能和能量吸收的潜力。目前,对于核壳微孔结构应用于 WPCs 的研究还不成熟,若能将核壳结构和微孔结构在力学性能、理化性能等方面的优势有机结合,并应用于制备核壳微孔结构 WPCs,将为提高 WPCs 的综合性能、拓展应用领域发挥重要作用。

5 结语

核壳结构 WPCs 作为一种能将多种聚合物特性集成一体实现结构化设计的多层结构复合材料,受到人们广泛关注,已开发出许多将耐老化、防潮、阻燃等特性与强度高、韧性好等力学性能良好结合的功能性产品。共挤出技术已成为 WPCs 制品行业中最先进的成型技术之一,共挤出技术和核壳结构 WPCs 必将成为行业发展的趋势。在诸多的研究与应用中,在改善核壳结构 WPCs 力学性能和热性能以及发挥产品功能特性上做了大量有意义的工作,但尚有广泛的研究和应用空间有待开发。

(1) 核壳结构 WPCs 的芯层往往采用回收料为原料,虽然发挥了回收料降低成本的特点,但尚未能将芯层材料对 WPCs 整体性能的积极影响用在核壳结构 WPCs 结构设计中,如果能赋予芯层以特殊的功能性,对回收资源高价值的

综合利用以及功能复合材料的研发将具有及其重要的意义和潜在的经济效益。

(2) 核壳结构 WPCs 的开发将是今后十年乃至几十年的发展方向,同时多层共挤出设备的配套发展刻不容缓,目前国内正在研发适用于 WPCs 制品的共挤出设备,但还没有研制出适于 WPCs 共挤出专用设备,完善共挤出成型技术,以更大限度地开发核壳结构 WPCs 的应用领域。

(3) 研究人员往往把研究重点放在如何改善壳层或芯层性能从而提高 WPCs 的整体性能,但尚未对核-壳层间界面性能对 WPCs 整体性能的影响进行深入研究,核-壳界面学性能对核壳结构 WPCs 性能影响的机理研究也是该领域未来的研究方向之一。随着对核壳结构 WPCs 研究的不断深入,具有独特性能的多层结构 WPCs 将在 WPCs 及功能材料领域具有更加广阔的应用空间。

参考文献

- [1] 殷敏,等. 高分子材料科学与工程,2018,34(4):32-36.
Yin Min, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2018, 34(4):32-36.
- [2] 张婷婷,等. 材料导报,2018,32(12):2 032-2 037.
Zhang Tingting, et al. Materials Review, 2018, 32(12):2 032-2 037.
- [3] Stark N M, et al. Polymer Degradation and Stability, 2007, 92(10): 1 883-1 890.
- [4] Jin Shan, et al. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2008, 14(14):197-203.
- [5] Yao Fei, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 118(6): 3 594-3 601.
- [6] Jin Shan, et al. Polymer International, 2010, 59(5):648-657.
- [7] Hao Xiaoling, et al. Polymer composites, 2019, 40(4):1 576-1 584.
- [8] Kim B, et al. Polymer Composites, 2016, 37(3):824-834.
- [9] Huang Runzhou, et al. Materials, 2015, 8(12):18-24.
- [10] 徐兵,等. 林业工程学报,2017(2):33-38.
Xu Bing, et al. China Forestry Science and Technology, 2017(2):33-38.
- [11] Wang Xiaoyu, et al. Bioresources, 2017, 12:6 173-6 186.
- [12] Liu Chaozheng, et al. R Soc Open Sci, 2018, 5(5):doi:10.1098/rsos.180074.
- [13] Butylina S, et al. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2016, 31(1):doi:10.1177/0892705716646416.
- [14] 蔡晨阳,等. 塑料工业,2017(1):120-124.
Cai Chenyang, et al. China Plastics Industry, 2017(1):120-124.
- [15] Turku I, et al. Fire & Materials, 2015, 40(3):498-506.
- [16] Nikolaeva M, et al. Fire & Materials, 2016, 40(4):535-543.
- [17] Nikolaeva M, et al. Advanced Materials Research, 2015, 1 120-1 121:535-544.
- [18] 李影,等. 合成材料老化与应用,2018,47(4):29-32.
Li Ying, et al. Synthetic Materials Aging and Application, 2018,

(下转第 161 页)

- 大学, 2017.
- Wang Yatao. Study on the modification, processing and application of polyoxymethylene[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2017.
- [36] Zhang Lin, et al. *Nanoscale*, 2019, 11:8 237–8 246.
- [37] Miller D, et al. *Mechanism and Machine Theory*, 2019, 138:205–222.
- [38] Chai Hao, et al. *Materials Science Forum*, 2019, 951:97–100.
- [39] 万媛媛, 等. *材料导报*, 2010, 24(17):75–78.
- Wan Yuanyuan, et al. *Materials Reports*, 2010, 24(17):75–78.
- [40] Singh J S K, et al. *Materials*, 2018, 11(11):doi:10.3390/ma 11112164.
- [41] 杨军忠, 等. *塑料*, 2018, 47(5):45–49.
- Yang Junzhong, et al. *Plastics*, 2018, 47(5):45–49.
- [42] 莫双云, 等. *润滑与密封*, 2018, 43(10):116–120.
- Mo Shuangyun, et al. *Lubrication Engineering*, 2018, 43(10):116–120.
- [43] 董振强, 等. *高分子材料科学与工程*, 2018, 34(6):156–160.
- Dong Zhenqiang, et al. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2018, 34(6):156–160.
- [44] Fakhari A, et al. *Iranian Polymer Journal*, 2013, 22(1):53–59.
- [45] 董佩冉, 等. *表面技术*, 2018, 47(10):116–122.
- Dong Peiran, et al. *Surface Technology*, 2018, 47(10):116–122.
- [46] Jiao Qi, et al. *Polymer*, 2019, 167:40–47.
- [47] 高亮. 改善聚甲醛结晶性能的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- Gao Liang. Study on improving crystallization property of polyoxymethylene[D]. Changchun:Jilin University, 2017.
- [48] Liu Pengju, et al. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 2018, 24(2):147–153.
- [49] Santis F D, et al. *Polymer Testing*, 2017, 57:203–208.
- [50] Yang Sen, et al. *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, 134(12):doi:10.1002/app.44625.
- [51] Jiao Qi, et al. *Nanomaterials*, 2019, 9(2):doi:10.3390/nano 9020206.
- [52] 孙建丽, 等. *塑料工业*, 2006, 34(7):19–21.
- Sun Jianli, et al. *China Plastics Industry*, 2006, 34(7):19–21.
- [53] 刘港, 等. *高分子通报*, 2018, 9:61–67.
- Liu Gang, et al. *Polymer Bulletin*, 2018(9):61–67.
- [54] 杨玮婧, 等. *合成材料老化与应用*, 2016, 45(6):29–32.
- Yang Weijing, et al. *Ageing and Application of Synthetic Materials*, 2016, 45(6):29–32.
- [55] 冯清正, 等. *塑料工业*, 2014, 42(5):105–108.
- Feng Qingzheng, et al. *China Plastics Industry*, 2014, 42(5):105–108.
-
- (上接第 148 页)
- 47(4):29–32.
- [19] Wu Qinglin, et al. *Materials & Design*, 2014, 60:334–342.
- [20] 黄润州, 等. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2017, 41(5):135–140.
- Huang Runzhou, et al. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2017, 41(5):135–140.
- [21] 方晓钟, 等. *广东化工*, 2018, 45(10):119–120, 125.
- Fang Xiaozhong, et al. *Guangdong Chemical Industry*, 2018, 45(10):119–120, 125.
- [22] 王珂, 等. *塑料科技*, 2017, 45(8):95–99.
- Wang Ke, et al. *Plastics Science and Technology*, 2017, 45(8):95–99.
- [23] Liu Chaozheng, et al. *Bioresources*, 2018, 13(3):6 356–6 369.
- [24] Mei Changtong, et al. *Waste & Biomass Valorization*, 2018, 9: 2 237–2 244.
- [25] 刘彬, 等. *工程塑料应用*, 2017, 45(1):137–141.
- Liu Bin, et al. *Engineering Plastics Application*, 2017, 45(1):137–141.
- [26] Jin Shan, et al. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 2013, 19(4):239–249.
- [27] Xiong Wen, et al. *Advances in Structural Engineering*, 2013, 16(5): 909–930.
- [28] Kim B J, et al. *Composites Part B:Engineering*, 2013, 45(1):1 040–1 048.
- [29] 王清文. CN201410465665[P]. 2014-12-17.
- Wang Qingwen. CN201410465665[P]. 2014-12-17.
- [30] 傅海涛, 等. *复合材料学报*, 2018, 35(1):200–207.
- Fu Haitao, et al. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2018, 35(1): 200–207.
- [31] 王海刚, 等. *建筑材料学报*, 2018, 21(4):695–700.
- Wang Haigang, et al. *Journal of Building Materials*, 2018, 21(4): 695–700.
- [32] 中国科学院化学研究所. CN00109480.7[P], 2002-01-09.
- Institute of chemistry, Chinese Academy of Sciences. CN00109480.7[P]. 2002-01-09.
- [33] Wang Jun, et al. *Journal of Composites for Construction*, 2019, 23(2):doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000926.
-

全球最大乙烯一体化项目总承包合同在成都签署

中国化学工程集团有限公司与俄罗斯天然气开采股份有限公司在四川成都签署俄罗斯波罗的海化工综合体 (BCC) 项目 FEED+EPC 总承包合同。该项目是全球最大的乙烯一体化项目, 同时也是目前全球石化领域单个合同额最大的项目, 合同金额约 120 亿欧元。

乙烯是世界上产量最大的化学产品之一, 乙烯工业是石

油化工产业的核心, 乙烯产品占石化产品的 75% 以上。世界上已将乙烯产量作为衡量一个国家石油化工发展水平的重要标志之一。该项目规模为年产 280 万 t 乙烯、288 万 t 聚乙烯等石化联合装置, 采用世界上最先进的工艺技术。该石化联合装置将以其庞大的规模和工艺处理深度, 成为公司全产业链发展战略中最为重要的一环, 将大大促进当地经济社会发展和增进民生福祉。 (证券时报)