

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.01.028

PP/PET 复合材料改性研究进展

杨吉祥¹, 张福华¹, 张顶顶¹, 曾骥¹, 李彦希²

(1. 上海海事大学海洋科学与工程学院, 上海 201306; 2. 浙江四兄弟绳业有限公司, 浙江台州 318000)

摘要: 对近几年改性聚丙烯(PP)基和PP/聚对苯二甲酸乙二酯(PET)复合材料中使用改性剂的改性方法及改性剂在复合材料中的应用研究进行了综述,按改性剂结构将改性剂改性的方法分为非纤维化改性、纤维化改性和成核剂改性三大类。其中非纤维化改性包括单体改性和共单体改性;纤维化改性包括PET短纤维改性、碳纤维改性和玻璃纤维改性;其它改性包括激光焊接改性。比较了各种改性方法的优缺点,并对PP/PET复合材料中改性剂改性方法的发展进行了展望。

关键词: 改性剂;聚丙烯/聚对苯二甲酸乙二酯;复合材料;纤维化改性

中图分类号: TQ342 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)01-0136-06

Research Progress on Modification of PP/PET Composites

Yang Jixiang¹, Zhang Fuhua¹, Zhang Dingding¹, Zeng Ji¹, Li Yanxi²

(1. College of Ocean Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. Zhejiang Four Brothers Rope Co., Ltd. (FBR), Taizhou 318000, China)

Abstract: The modification methods of modifiers used in polypropylene (PP) and PP/polyethylene terephthalate (PET) composites in recent years and the application of modifiers in composites were reviewed. According to the structure of modifiers, the modification methods of modifiers were divided into three categories: non-fibrotic modification, fibrotic modification and nucleating agent modification. Non-fibrosis modification includes monomer modification and co-monomer modification. Fibrosis modification includes PET staple fiber modification, carbon fiber modification and glass fiber modification. Other modifications include laser welding modification. The advantages and disadvantages of various modification methods were compared, and the development of modification methods of modifiers in PP/PET composites was prospected.

Keywords: modifier; polypropylene/polyethylene terephthalate; composite; fibrotic modification

作为四大通用热塑性树脂之一,聚丙烯(PP)具有耐化学性、电绝缘性、无毒及良好的加工性能等优异性能,已广泛应用于机械、汽车、电子电器、建筑、纺织、包装、农林渔业和食品工业等众多领域。然而,由于PP制品成型收缩率大,低温抗冲击性、耐候性及力学强度与实际需要存在一定差距,限制了其在某些方面的应用。为提高其综合性能,扩大应用领域,PP高性能化改性技术成为当前研究的热点,特别是PP复合材料化(合金化)可通过组分、结构设计,实现材料高性能化。

其中,PP与聚对苯二甲酸乙二酯(PET)复合材料化是近年来国内外研究的热点之一,PET具有良好耐蠕变、耐疲

劳性、耐磨擦、耐热性及尺寸稳定性,与PP复合制备的PP/PET复合材料在较宽的温度范围内具有良好的物理力学性能以及良好的耐弯曲疲劳性,同时电绝缘性优良,具有耐磨擦性、耐疲劳性和尺寸稳定性等优点。但PP为非极性材料,PET为极性材料,二者相容性较差,复合过程中需要性能优异的改性剂及适当的改性方法才能发挥出两种材料的优点。

笔者回顾了近几年改性PP/PET复合材料的改性方法,重点介绍了成核剂改性方法对PP/PET复合材料界面的力学性能影响,阐述了成核剂改性机理,对比了几种不同改性剂改性方法的优缺点,并对PP/PET复合材料中改性剂改性方法的发展进行了展望。

基金项目: 上海市自然科学基金项目(15ZR1420500)

通讯作者: 张福华,博士,副教授,主要从事研究方向为高分子及复合材料在海洋工程中的应用 E-mail: fhzhang@shmtu.edu.cn

收稿日期: 2019-11-07

引用格式: 杨吉祥,张福华,张顶顶,等. PP/PET 复合材料改性研究进展[J]. 工程塑料应用,2020,48(1):136-141.

Yang Jixiang, Zhang Fuhua, Zhang Dingding, et al. Research progress on modification of PP/PET composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1): 136-141.

目前,基于 PP/PET 复合材料的改性剂可分为以下三大类:非纤维化改性剂、纤维化改性剂和成核改性剂。非纤维化改性剂包括单体改性剂、共单体改性剂和界面活化剂;纤维化改性剂包括 PET 短纤维改性剂、碳纤维改性剂和玻璃纤维改性剂;其它改性剂主要包括聚磷酸酯阻燃剂等阻燃改性剂等。

1 非纤维化改性

1.1 单体改性

单体改性是指将单一的一种化合物接枝到另一种化合物上形成共聚物,比如将马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH)形成共聚物,根据接枝物和被接枝物的不同可以形成不同的改性剂,除常见的 PP-g-MAH 外,还有马来酸酐接枝聚乙烯/辛烯共聚物(POE-g-MAH)等。

周红军等^[1-2]用熔融共混法制备了 PP/PET 共混物,然后分别用 PP-g-MAH 和 POE-g-MAH 作为改性剂对共混物进行改性,研究了改性剂对共混物力学性能和结晶行为产生的影响,结果表明 PP-g-MAH 和 POE-g-MAH 分别使得共混体系的拉伸强度和断裂伸长率提高,同时使得 PP 的结晶峰温降低,半结晶时间延长。

使用回收聚对苯二甲酸乙二醇酯(r-PET)既能缓解环境问题,又可以促进资源的回收利用,目前已有较多研究。除了应用于 PP/PET 复合材料外,改性剂也可用于 PP/r-PET 共混物,李树材等^[3]采用熔融共混的方法,使用甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝聚丙烯(PP-g-GMA)改性 PP/r-PET 共混物,研究了改性剂对共混物力学性能和热稳定性的影响,结果表明改性剂提高了共混物的拉伸强度和拉伸弹性模量,降低了 r-PET 的熔点。

杨亮等^[4]对 r-PET 进行扩链改性得到的最佳温度是 250℃、扩链剂亚磷酸三苯酯(TPP)添加量为 3%。红外分析显示在 960 cm⁻¹ 处出现 P—O—C 吸收峰,说明扩链成功。特性黏度、黏均分子量分别由 0.3876 dL/g, 15 662 g/mol 提高到 0.9464 dL/g, 41 060 g/mol,扩链效果明显。

1.2 共单体改性

共单体改性是指利用一种化合物作为共单体,将一种化合物接枝到另一种化合物上形成共聚物。因具有更高的接枝率,此技术可以使 PP/PET 复合材料共混体系更加充分地熔融。

董银春等^[5-6]利用邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)作为共聚单体,将甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)和马来酸酐(MAH)分别接枝到 PP 上,制备了 PP-g-(DAP-co-GMA) 和 PP-g-(DAP-co-MAH),发现在 GMA 和 MAH 接枝 PP 的过程中假如 DAP 作为共聚单体,可以减少 PP 在接枝过程中的降解,提高 GMA 和 MAH 的接枝率,将两种改性剂加入到

PP/PET 共混物中,共混体系的共混扭矩和拉伸强度提高, PET 分布更加均匀,熔点和玻璃化转变温度降低,在 PP/PET 复合材料中起到了增容作用。

刘娜^[7]采用乙烯-丙烯酸丁酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯的三元共聚物(PTW)改性 PP/PET 共混合金,制备了 PP/PET/PTW 形状记忆功能高分子材料。PTW 改性剂使得 PP 和 PET 之间的相容性大大提高, PET 分散相的粒子尺寸得以细化并降低了界面张力,提高了 PP 与 PET 的粘结。PTW 分子链的环氧基团与 PET 端基发生了开环反应,同时 PTW 的乙烯链段和基体 PP 具有相互作用,所以 PTW 的加入提高了共混合金的相容性。PTW 的加入提高了 PET 对 PP 的异相成核作用,提高了 PP 的结晶能力,同时对 PP 的晶体结构没有产生影响。对 PP/PET/PTW 共混合金形状记忆能力的分析表明,添加 1 份 PTW,设定拉伸温度为 165℃,拉伸比为 80%,回复温度为 170℃,回复时间为 120 s 时,共混合金的性能达到最优,形状回复率为 97.5%,形状固定率为 98.85%。对 PP/PET/PTW 共混合金物理性能的分析表明,PTW 的引入提高了 PP/PET 共混体系的断裂伸长率和缺口冲击强度,缩短了塑化时间,提高了加工性能。

曾以仁^[8]对 r-PET 和 PP 进行共混,首先探讨扩链剂均苯四甲酸酐(PMDA)和抗氧剂 1010 分别对 r-PET/PP 共混物力学性能的影响,由此来确定两者的最佳添加量,之后再和增容剂 PP-g-MAH 一起添加到配比不同的 r-PET/PP 共混物中,以测试共混体系的力学性能,并进一步从差示扫描量热曲线和共混体系的微观形态来分析其相容性和性能的关系。对以上实验方案的测试结果表明:抗氧剂 1010 的添加使 r-PET/PP 共混体系力学性能均有所提高,且最佳的添加量为 0.2 份;添加扩链剂 PMDA 之后,共混体系的拉伸强度、断裂伸长率和弯曲强度均有了不同程度的提高,最佳的添加量为 0.1 份,但是扩链剂会使得共混物的冲击强度降低,并且扩链剂剂量越多,冲击强度降低的也越多。在扩链剂、增容剂、抗氧剂三者共同作用下的共混体系,在添加增容剂之后,共混体系的力学性能在不同程度上均得到了改善。

2 纤维化改性

2.1 PET 短纤维

PET 短纤维改性是通过向复合材料中填充 PET 纤维进行增强,与碳纤维和玻璃纤维相比, PET 纤维具有价格低、可回收、对加工设备损耗小等优点。刘柏林等^[9-10]通过对不同种类 PET 短纤维研究的结果表明:洛阳石化样品结晶能力强,结晶度比仪征化纤样品聚合物的结晶度大;两者纤维热稳定性差别不大。油剂对纤维结晶能力有影响,对纤维的热分解温度变化不大,对纤维的强度和伸长衰减影响明显。

周麒麟等^[11]对 r-PET 短纤维增强 PP 复合材料进行了

研究,对材料的力学性能、热力学性能、加工性能和相结构进行了测试,使用甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝乙烯-辛烯共聚物(POE-g-GMA)作为体系的增容剂。结果显示,添加增容剂 POE-g-GMA 后,纤维和基体两者的界面之间的粘结力得到了显著增强,纤维的分散性得到了改善,材料的流动性得到了提高,同时也提高了 PP 的结晶性能。当添加质量分数为 8%~12% 的 r-PET 短纤维时,与纯 PP 相比,增容后的材料具有更好的综合力学性能。王春广等^[12-13]以 β 成核 PP 为基体,然后分别加入 PET 纤维和 PP 接枝马来酸酐(PP-g-MAH),分别对复合材料的力学性能、结晶性能和熔融性能进行了表征。结果表明:PET 纤维的加入对 β 成核 PP 的结晶性能影响很小, β 晶的含量有所下降,但是仍维持在 85% 以上;PET 纤维的加入,使材料的冲击强度下降,但是拉伸弹性模量和拉伸强度均有显著提高。PP-g-MAH 增容剂减少了 PET 纤维对 PP 结晶行为的影响,使 β 晶的含量上升到 90% 以上。同时复合材料的冲击强度、拉伸强度和弹性模量均获得了显著提高。

为了环境保护和可持续发展,除了使用初次生产的 PET 短纤维外,也可以采用 r-PET 短纤维。石素宇等^[14]利用废弃无纺布制得 r-PET 纤维,通过热压成型技术制备不同纤维含量的 r-PET/PP 复合材料,结果表明:当较少的 r-PET 纤维分布在 PP 基体中时,与基体的结合紧密;PP 分子链的结晶性能在 r-PET 纤维的异相成核作用下得到了提高,晶粒更加细化;这种微观相结构提高了 r-PET/PP 复合膜的力学性能,当 r-PET 纤维的含量为 0.1 时,r-PET/PP 复合膜的拉伸强度提高了 25.99%,断裂伸长率提高了 61.96%。杨华军等^[15]用 PP-g-MAH,甲基丙烯酸甲酯和苯乙烯混合物(St/MMA)两种增容剂对 PP 和 r-PET 复合材料的界面进行改性,研究了力学性能、热性能和微观形态。结果表明:r-PET 的加入降低了 PP 的拉伸强度,改善了弯曲强度和弯曲弹性模量,使冲击强度极大提高。当填充较多 r-PET 时,PP-g-MAH 改性有助于改善弯曲性能和韧性,St/MMA 混合物改性则更加有利于拉伸性能和弯曲性能。在挤出共混时可将 r-PET 在 PP 中实现单纤维分散,PP-g-MAH 和 St/MMA 改性改善了 PP 和 r-PET 的界面粘结,并且 St/MMA 更优。以上 3 类 PP/r-PET 复合材料的热稳定性都有所提高。王志钢等^[16]将废弃的 PET 纺织品进行打浆,获得 r-PET 短纤维作为增强材料,马来酸酐接枝聚乙烯(PE-g-MAH)作为增容剂,采用熔融共混和注塑成型的方法,制备了纤维增强型高密度聚乙烯(PE-HD)复合材料。复合材料中的 PET 纤维均匀地分散,并且拉伸性能、冲击性能、弯曲性能均随着基体中纤维含量的增加而不断增强,结晶速度也相应升高,而热稳定性基本保持不变。

在使用 PET 短纤维改性复合材料性能的过程中,为了提高其改善性能,PET 短纤维本身的性能也不断得到改善。叶海华^[17]采用熔融密炼反应法,选用环氧官能化助剂 HY-3255G 作为 r-PET 的亲水改性剂制备 r-PET/HY-3255G 共混物,提高了 PET 短纤维亲水性。

宋宝玉等^[18]研究了 PET 聚合物在溶剂中溶解的过程以及其在反溶剂诱导的情况下,形成纤维的过程。并在此基础上分别考察了 PET 溶液浓度、搅拌速率、反溶剂的配比等影响因素对纤维形貌、尺寸分布、结晶性能的影响。研究表明,减小 PET 溶液的浓度、提高流体的剪切速率以及增加反溶剂丙三醇的含量,均有利于获得尺寸更为细小均匀的纤维;而增加搅拌的速率、降低反溶剂丙三醇的含量则可以得到结晶性能较高的微细纤维。张素凤等^[19]提出了一种快速、高效的方法(沉析法)将 r-PET 切片制成原纤化的纤维,首先将 r-PET 在溶剂体系(苯酚/四氯乙烷)中溶解;其次在黏性剪切介质,即高速搅拌的凝固剂(甘油/无水乙醇)中诱导其沉淀。制备的纤维外形似飘带状,形态柔顺;纤维长度在 0.20~0.80 mm,宽度 0.5~4 μm 左右,均匀分散于水介质中。剪切力的大小可以调控纤维表面原纤化的程度,随着剪切力的增大,纤维的表面接触角可达 61.7°,结晶度达到 39.9%,熔融温度为 250.8℃,性能优异的原纤化纤维可用于复合增强材料领域。

2.2 碳纤维(CF)

使用 CF 改性是另一种重要的纤维化改性方法。在 CF 改性复合材料中,常常使用短切碳纤维(SCF)或 CF 粉末对复合材料进行改性。

陶振刚等^[20]总结考察了注射压力、熔融温度、恒压力、注射速率四个因素分别对 6 种配方的 PP/CF 复合材料的熔融流动性的影响,对四个因素的影响程度的大小做了对比,同时优化工艺条件获得了流动性最好的工艺参数组合,并通过实验得到验证。结果表明,注射压力和温度对熔体流动性能影响最大,PP/CF 复合材料的熔体流动速率和螺线长度随着 CF 含量的增加而降低,降低的速度先快后慢。

石品品^[21]使用 PET 作为基体,将长度为 2 mm 的 SCF 作为增强材料,并采用熔融共混方法来制备 PET/SCF 复合材料,研究了 SCF 的含量以及 SCF 的表面处理对 PET/SCF 复合材料性能的影响及其处理机理。结果显示,当添加未经表面处理的 SCF 时,随着其含量的增加,复合材料的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量均有不同程度的增加,热稳定性提高,结晶性能提高。当添加经过浓硝酸加硅烷偶联剂复合处理方法的 SCF 时,与未经表面处理相比,弯曲强度提高了 23%,弯曲弹性模量也提高了 16%,SCF 表面处理后对复合材料的热稳定性影响不大。

CF 的优异的性能促使其作为 PET 改性剂,但 CF 的表面惰性成为 PET/CF 复合材料性能表现的短板。

林国良^[22] 选用了偶联包覆法和化学接枝两种方法分别对 CF 进行表面处理。第一种方法是利用 SF570 进行偶联包覆 CF,研究了偶联处理 CF 对 PET 复合材料性能的改善效果。第二种方法是将与 PET 相容性较好的官能团在 CF 表面进行化学接枝,并在接枝之前先使用混酸对 CF 进行预处理,目的是为了取得更好的接枝效果。结果表明,与偶联包覆的 CF 相比,未经处理的 CF 在 PET 结晶性能上改善效果更佳。通过接枝之后,复合材料的热变形温度、冲击强度和拉伸强度方面与未经处理 CF 相比,均有了进一步的提高。

冉红孟等^[23] 分别使用 CF 粉末和 SCF 作为增强相,比较了二者对 PP 的增强效果和加工难易度,通过对拉伸性能和冲击性能的测定,考察了 CF 粉末的含量和 SCF 的含量分别对复合材料力学性能的影响。结果表明:随着 CF 含量增加,复合材料的拉伸性能和冲击性能都出现了先增加后减小的趋势,并且 SCF 的增强效果更显著,CF 粉末的适应性、稳定性更强,该研究对 CF 制品的生产具有十分重要的意义。

徐才华等^[24] 研究了 CF 表面处理对复合材料拉伸强度和拉伸弹性模量的影响,发现经过强酸处理之后,CF 和 PP 结合处的缝隙消失,两者的结合界面处发生断裂,说明两者之间的界面相互作用明显,因为在强酸的作用下,CF 的表面结构发生了变化,粗糙程度增加,同时具有活性的官能团在 CF 表面形成,使 CF 和 PP 之间的相互作用力增强,使 CF 表面 PP 结晶成核,从而使得复合材料的拉伸弹性模量以及拉伸强度均有了显著的提高。

2.3 玻璃纤维

玻璃纤维改性可以显著提高复合体系的冲击强度和弯曲强度。目前使用玻璃纤维改性 PP/PET 复合材料的研究比较少,不过在 PP 基方面有一些研究,通过对这些 PP 基方面的概述,可以启发 PET 复合材料中的应用。

程国君等^[25] 采用熔体挤出浸渍工艺制备连续合股无捻粗玻璃纤维(CUGF)增强 PP 复合材料。研究了以硅烷偶联剂 γ -氨丙基三乙氧基硅烷(SA550)和 PP-g-MAH 作为界面改性剂时二者对 CUGF 填充 PP 复合材料的界面相容性和 PP 力学性能的影响。结果表明,PP/PP-g-MAH/CUGF 复合材料的力学性能明显优于 PP/SA550/CUGF 复合材料。在 CUGF 的质量分数为 32% 时,PP/PP-g-MAH/CUGF 复合体系的拉伸强度比 PP/KH550/CUGF 复合体系的拉伸强度提高了 54%,弯曲强度提高了 69%,冲击强度提高了 40%。

周满等^[26] 将 β 成核剂和改性玻璃纤维添加到 PP 中,制备增韧 PP 复合材料,对材料的力学性能进行了测试,并使

用偏光显微镜,扫描电镜和差示扫描量热仪研究了复合材料的晶体结构与冲击性能之间的关系。结果表面:经过硅烷偶联剂进行表面改性后的玻璃纤维,其与基体之间的相互作用力得到了增强, β 成核剂使芯层之间产生了 β 晶体,复合材料表现了优异的韧性,冲击强度达到了 14 kJ/m。

傅继春等^[27] 使用 PP-g-MAH 改性后的 PP 树脂对玻璃纤维进行浸渍,进行改性,通过直接浸渍,增强体浸渍,累加浸渍等不同工艺进行制备玻纤增强 PP 复合材料(GMT)。使用扫描电子显微镜对使用不同工艺制备的 GMT 界面形态进行扫描,测定浸渍处理后玻纤的疏水性,研究了浸渍工艺中 PP-g-MAH 的用量对 GMT 弯曲,拉伸,冲击等性能的影响。结果表明:采用 PP-g-MAH 改性后的 PP 树脂进行浸渍改性的方法,使得玻纤的包覆效果良好,经过浸渍处理后的玻纤,疏水性增强;并可以得到与 PP/PP-g-MAH 改性树脂浸渍玻纤时相似的改性效果和相近的力学性能。

3 成核剂改性

PP 的结晶度较高,是一种具有同质多晶现象的高分子材料,在不同的条件下可形成不同的晶形,如 α 、 β 等晶型,在一般加工条件下,PP 结晶时的主要晶型为 α 形,在特定结晶条件下或添加 β 成核剂时可以形成 β 晶型。成核剂改性复合材料是一种有效的改性方法,可以使改性后的晶型晶粒形成独特的结构,明显改善材料的力学性能,改善韧性和热变形温度。成核剂改性复合材料主要有两种方法。一种方法是通过简单地向复合材料中添加 β 成核剂,将成核剂均匀地分散于复合材料中,促使晶型改变,增加韧性;另一种方法是通过协同增韧的方法,在晶型结构改变的同时,PET 以岛状结构分散在 PP 中,当加入 β 成核剂后,一部分分散在 PP 基体中,另一部分进入 PET 颗粒中,导致复合材料的结晶温度和结晶度下降,使得韧性得以提高。

陈雷等^[28] 分别以 β 成核剂二苯基己二酞二胺(NT-C)和芳酰胺类化合物(TMB-5)增韧 PP/EPDM 复合材料,制备了 PP/EPDM/NT-C 复合材料与 PP/EPDM/TMB-5 复合材料。研究了 β 成核剂与 EPDM 的协同增韧效应,以及两种 β 成核剂对 PP/EPDM 复合材料固化行为及结晶行为的影响。结果表明,在 TMB-5 含量相同时,PP/EPDM/TMB-5 的结晶速率随着 EPDM 含量的增加,先增大后减小,在 EPDM 质量分数为 12% 时达到最佳。在 EPDM 含量相同时,PP/EPDM/NT-C 复合材料的结晶速率随着 NT-C 含量的增加,逐渐提高。

陈永东等^[29] 将 β 成核剂加入到 PP/POE(聚丙烯/聚烯烃弹性体)体系中,进行熔融共混,经成型加工制备标准样条,测试样条的拉伸性能、冲击性能、结晶性能以及热力学性能。研究结果表明: β 成核剂的加入可有效改善 PP/

POE体系的韧性,当 $w(\beta\text{成核剂})=0.3\%$, $w(\text{POE})=80\%$ (相对于PP/POE总质量而言)时,复合材料的力学性能最佳; β 成核剂的加入可有效改善PP/POE体系的结晶情况,随着POE在体系中含量的增加,结晶度呈现逐渐减小的趋势。

成核剂改性除了用于改善复合材料力学性能,也常被用作添加剂来改善复合材料的热性能。PP在温度升高的过程中还会发生 $\beta \rightarrow \alpha$ -等规聚丙烯(iPP)的转变^[30-33]。 β -iPP属于亚稳态晶型,通常等规聚丙烯在制备时会形成稳定程度最高的 α 晶型^[34],呈现出 α 、 β 两种晶型的原因,可能是因为经过了拉伸处理或者是剪切作用,成核剂的加入也有可能造成此现象^[35]。 α -iPP的结构导致在施加外力时内部运动较难,整体具有更高的刚度和拉伸强度^[36]。而 β -iPP因为结构更松散,所以能承受更大的冲击作用,并且韧性也比较好^[37-40]。 β -PP对紫外线的抵抗能力也要强于 α -iPP,而且 β -iPP产生变形时的温度较 α -iPP更高^[41-44]。具有 α 、 β 两种晶型结构有利于提高PP的力学性能及热稳定性。

4 其它改性方法

改性PP/PET复合材料方法还有很多,如刘敏秋^[45]利用激光将透明PET或纯白PP焊接在一起,透明和纯白热塑性塑料是焊接中最难焊接的两类塑料品种,为利用这两种塑料在 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 波段具有适度透过率和吸收率的光学特性,使用自主研发的 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 光纤激光器在不添加任何吸收剂的情况下,分别对这两种塑料进行搭接焊,并将其与 $0.818\text{ }\mu\text{m}$ 激光,采用添加吸收剂方法的焊接效果进行对比,表明在无吸收剂的条件下, $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 激光可成功焊接透明PET和纯白PP,其样品的破坏拉伸力分别达到母材的56.8%和94.3%,且相对于 $0.818\text{ }\mu\text{m}$ 激光的焊接效果, $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 激光焊接得到的样品的力学性能更佳,外观较清洁、美观。

5 结语

目前,改性剂改性的研究重点主要集中在对改性剂性能的提高。通过提高改性剂本身的性能以及对复合材料晶型转变的程度,进而使PP/PET复合材料整体得到改善。

笔者所述的改性方法虽然可以有效提高复合材料的韧性和强度,但每种方法都存在不足之处。如加入玻璃纤维虽然使得韧性和冲击性能提高,但有可能会造成复合材料热性能的下降,所以需要控制玻璃纤维的添加量。此外,影响PP/PET复合材料性能的因素还有很多,如改性剂单体的种类等。在实际的工业化生产中,PP/PET复合材料的制备更会受到生产成本、经济效益的制约。总之,作为重要的工程材料,还需要继续探索出更加高效简便的改性方法,比如使用新型有机及无机纳米材料作为改性剂等。

参考文献

[1] 周红军,等.塑料科技,2012,40(9):90-94.

- Zhou Hongjun, et al. *Plastics Science and Technology*, 2012, 40(9):90-94.
- [2] 周红军,等.合成纤维工业,2014,37(5):11-14+18.
- Zhou Hongjun, et al. *China Synthetic Fiber Industry*, 2014, 37(5):11-14+18.
- [3] 李树材,等.塑料科技,2011,39(11):55-58.
- Li Shucai, et al. *Plastics Science and Technology*, 2011, 39(11):55-58.
- [4] 杨亮.PP/r-PET复合材料结构与性能研究[D].大连:大连工业大学,2016.
- Yang Liang. *Study on Structure and Properties of PP / r-PET Composites*[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.
- [5] 董银春,等.合成树脂及塑料,2017,34(2):7-11.
- Dong Yinchun, et al. *China Synthetic Resin and Plastic*, 2017, 34(2):7-11.
- [6] 董银春,等.现代塑料加工应用,2017,29(5):9-12.
- Dong Yinchun, et al. *Modern Plastic Processing Applications*, 2017, 29(5):9-12.
- [7] 刘娜.PTW反应性增容PP/PET共混合金的制备与性能研究[D].天津:天津科技大学,2015.
- Liu Na. *Preparation and properties of PTW reactive compatibilized PP / PET blend gold*[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015.
- [8] 曾以仁.回收PET瓶片扩链及分别与PP和PC共混改性研究[D].上海:华东交通大学,2017.
- Zeng Yiren. *Study on chain extension of recycled PET bottle flakes and blending modification with PP and PC respectively*[D]. Shanghai: East China Jiaotong University, 2017.
- [9] 刘伯林,等.纺织科学研究,2019(4):76-77.
- Liu Bolin, et al. *Textile Science Research*, 2019(4):76-77.
- [10] 刘伯林,等.纺织科学研究,2019(7):76-77.
- Liu Bolin, et al. *Textile Science Research*, 2019(7):76-77.
- [11] 周麒麟,等.高分子材料科学与工程,2011,27(5):43-46.
- Zhou Qilin, et al. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2011, 27(5):43-46.
- [12] 王春广,等.塑料科技,2018,46(6):30-36.
- Wang Chunguang, et al. *Plastics Science and Technology*, 2018, 46(6):30-36.
- [13] 王春广,等.塑料,2017,46(2):80-82+109.
- Wang Chunguang, et al. *Plastics*, 2017, 46(2):80-82+109.
- [14] 石素宇,等.复合材料学报,2017,34(7):1511-1516.

- Shi Suyu, et al. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2017, 34(7):1 511–1 516.
- [15] 杨华军,等. 塑料, 2011, 40(3):48–50+100.
Yang Huajun, et al. *Plastics*, 2011, 40(3):48–50+100.
- [16] 王志钢,等. 塑料工业, 2015, 43(10):35–39.
Wang Zhigang, et al. *China Plastic Industry*, 2015, 43(10):35–39.
- [17] 叶海华. R-PET 纤维亲水改性和 R-PET/PBT 增韧合金的制备及性能研究 [D]. 福州: 福建师范大学, 2016.
Ye Haihua. Preparation and properties of R-PET fiber hydrophilic modification and R-PET/PBT toughened alloy[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2016.
- [18] 宋宝玉. 基于反溶剂诱导的 PET 微细纤维的制备及性能研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2019.
Song Baoyu. Preparation and properties of PET microfibers based on antisolvent[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2019.
- [19] Wan Jing. Preparation and papermaking properties of PET precipitation fibers[D]. Xi'an: Shanxi University of Science And Technology.
- [20] 陶振刚,等. 工程塑料应用, 2015, 43(1):6–10.
Tao Zhengang, et al. *Engineering Plastics Application*, 2015, 43(1):6–10.
- [21] 石品品. 碳纤维增强聚对苯二甲酸乙二醇酯复合材料的制备和性能研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2012.
Shi Pinpin. Preparation and properties of carbon fiber reinforced polyethylene terephthalate composites[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012.
- [22] 林国良. 纳米 Al_2O_3 和碳纤维增强 PET 复合材料性能研究 [D]. 福州: 福州大学, 2015.
Lin Guoliang. Study on properties of nano- Al_2O_3 and carbon fiber reinforced PET composites[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2015.
- [23] 冉红孟,等. 工程塑料应用, 2015, 43(2):47–50.
Ran Hongmeng, et al. *Engineering Plastics Application*, 2015, 43(2):47–50.
- [24] 徐才华,等. 纤维复合材料, 2017, 34(2):8–11.
Xu Caihua, et al. *Fiber Composites*, 2017, 34(02):8–11.
- [25] 程国君,等. 塑料工业, 2017, 45(12):107–111.
Cheng Guojun, et al. *China Plastic Industry*, 2017, 45(12):107–111.
- [26] 周满,等. 现代塑料加工应用, 2016, 28(3):8–11.
Zhou Man, et al. *Modern Plastic Processing Applications*, 2016, 28(3):8–11.
- [27] 傅继春,等. 工程塑料应用, 2016, 44(9):1–6+17.
Fu Jichun, et al. *Engineering Plastics Application*, 2016, 44(9):1–6+17.
- [28] 陈雷,等. 工程塑料应用, 2015, 43(1):16–19.
Chen Lei, et al. *Engineering Plastics Application*, 2015, 43(1):16–19.
- [29] 陈永东,等. 中国胶粘剂, 2019, 28(3):39–41.
Chen Yongdong, et al. *China Adhesives*, 2019, 28(3):39–41.
- [30] 甄薇薇,等. 高分子学报, 2017(4):580–586.
Zhen Weiwei, et al. *Acta Polymerica Sinica*, 2017(4):580–586.
- [31] 王吉英. 等规聚丙烯 β 晶型向 α 晶型的相转变行为研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
Wang Jiying. Phase transformation behavior of β -form to α -form of isotactic polypropylene[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2012.
- [32] 牛慧. 石油化工, 2016, 45(4):377–386.
Niu Hui. *Petrochemical Technology*, 2016, 45(4):377–386.
- [33] Yoshimoto S, et al. *Polymer*, 2001, 42(23):9 627–9 631.
- [34] Cho K, et al. *Polymer*, 2003, 44(14):4 053–4 059.
- [35] Liu Shixiang, et al. *Chemical Engineering Journal*, 2019, 36(3):1–12.
- [36] Papageorgiou D G, et al. *Polymer Reviews*, 2015, 55(4):1–34.
- [37] Wu Gaogao, et al. *Polymer*, 2018, 151:136–144.
- [38] Chen Yanhui, et al. *Chinese Journal of Polymer Science*, 2017, 35(12):1 540–1 551.
- [39] 李小喜. β 晶型聚丙烯相转变、结构调控及力学行为相关性研究 [D]. 重庆: 西南交通大学, 2012.
Li Xiaoxi. Study on phase transformation, structural regulation and mechanical behavior of β crystal polypropylene[D]. Chongqing: Southwest Transportation University, 2012.
- [40] 刘琪. 聚丙烯取向结晶行为及其微孔膜制备的研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2013.
Liu Qi. Study on oriented crystallization behavior of polypropylene and preparation of microporous film[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2013.
- [41] 郭敏怡,等. 高分子材料科学与工程, 2006(1): 80–83.
Guo Minyi, et al. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2006(1): 80–83.
- [42] Zhang Xiaoli, et al. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2018, 133: 383–392.
- [43] Wang Long, et al. *Polymer*, 2017, 128: 119–127.
- [44] Zhu Keming, et al. *Thermochimica Acta*, 2019, 675: 63–68.
- [45] Liu Minqiu. *Applied Laser*, 2018, 38(4):610–617.