

竹纤维/聚丙烯复合材料界面相容性研究进展

施江扬^{1*}, 张 林¹, 杭祖圣^{2, 3}

(1. 扬州市产品质量监督检验所, 扬州 225111; 2. 南京工程学院 江苏省先进结构材料与应用技术重点实验室, 南京 211167; 3. 南京工程学院 材料工程学院, 南京 211167)

摘要:竹纤维具有密度低、强度高、价格低和可再生等优点,是工程结构材料中的理想增强材料。以竹纤维增强聚丙烯是目前制备高性能聚丙烯复合材料的研究热点,也是可持续发展的重要方向之一。为得到高性能的复合材料,需要对竹纤维和聚丙烯基体界面进行处理。本文综述了改善竹纤维与聚丙烯基体界面相容性的三种方法,包括竹纤维的表面改性、聚丙烯基体的改性和添加第三组分,指出了三种方法的优缺点,并展望了提高竹纤维/聚丙烯复合材料界面相容性的研究方向。

关键词:竹纤维; 聚丙烯; 相容性; 复合材料

引言

玻璃纤维和碳纤维是复合材料中的重要增强体,被大量地应用在聚合物复合材料中,给人类生活带来巨大便利。但是,随着石化资源的日趋短缺,来源于石化资源的增强体也面临着资源短缺的困境,另外,环境污染、回收利用等新的问题也限制聚合物复合材料的进一步发展。利用生物质可再生资源,开发环境友好绿色聚合物复合材料,是当前世界各国关注和研究的热点之一^[1~3]。

我国竹类资源丰富,约有竹类植物 48 属,500 多种,共有竹林面积 540 万 hm²,居世界第一,占全国森林资源的 2.8%,占世界竹类总资源的 1/3^[4]。经一定工艺处理后得到的天然竹纤维(BF, Bamboo Fiber),其长径比高、比表面积大、密度低(0.8g/cm³)、强度高(杨氏模量高达 359GPa,拉伸强度为 441MPa^[5]),被喻为“天然玻璃纤维”^[6],并且产量高、价格低廉、可再生以及可生物降解等优点,是工程结构材料中的理想增强材料,受到广泛的关注^[7, 8]。

聚丙烯是一种应用广泛的大品种通用塑料,传统聚丙烯复合材料通常以无机粉体、碳纤维和玻璃纤维等为增强体,而竹纤维增强聚丙烯复合材料以竹纤维为增强体,为聚丙烯复合材料的应用开辟了新的途径,对促进可持续绿色高新技术产业及新材料科学的发展有着极其重要意义。

但是,竹纤维是由纤维素、半纤维素、木质素及各种抽提物组成,是一种不均匀的各向异性材料,其表面含有大量极性羟基和酚羟基官能团,使得其表现出很强的化学极性,而聚丙烯则是非极性材料,两者的相容性极差,两相存在十分清晰的界面;同时竹纤维较强的纤维分子内氧键使得其在与聚丙烯基体共混时易聚集成团,造成分散性不佳^[9],这使得应力在界面间不能有效地传递,导致复合材料性能下降,限制了竹纤维在聚丙烯中的应用。

因此,在制备竹纤维/聚丙烯复合材料的过程中,需要解决的最大问题是如何使极性竹纤维与聚丙烯基体界面之间产生良好的相容性。目前,国内外在提高竹纤维与聚丙烯界面相容性的研究主要集中在以下三个方面:(1)对竹纤维进行改性处理,以降低其表面极性或使其由极性变为非极性;(2)对聚丙烯基体进行改性处理;(3)添加第三组分来改善两相界面相容性。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2016.012.002
收稿:2016-05-15;**修回:**2016-09-20;
基金项目:宜兴市重大产学研合作专项资金项目(20140413112816),江苏省先进结构材料与应用技术重点实验室开放基金(ASMA201505);
*** 通讯联系人:**施江扬(1966—),女,高级工程师,主要从事塑料制品的分析检测方面的研究。E-mail:shijyf@sina.com.

1 竹纤维的表面改性

通过对竹纤维的表面进行改性,改变竹纤维的结构和表面性能,能有效改善竹纤维与聚丙烯基体的界面相容性,从而提高竹纤维/聚丙烯复合材料的综合性能^[10, 11]。表面改性的方法包括物理改性和化学改性。

1.1 物理改性

物理改性方法对竹纤维的化学组成没有改变,主要是通过改变竹纤维的一些主要参数,如表面张力、膨胀性和吸附性等,来达到改善竹纤维与聚丙烯间相容性的目的。常见的方法有拉伸压延法、加热处理、蒸汽爆破处理、放电处理和碳酸钙表面沉积法等。

1.1.1 拉伸压延法 拉伸压延法是通过机械外力对天然竹纤维进行反复的拉伸或延压,改变竹纤维的结构和表面性能,以利于与聚合物复合过程中竹纤维的机械交联^[12]。虽然在机械力作用下,单根竹纤维的力学性能有一定下降,但是却能够改善复合材料的力学强度。不过,该方法对复合材料力学性能的改善有限,因此很少被采用。

1.1.2 加热处理 竹纤维中含有游离水和结合水,在制备聚丙烯复合材料的过程中,因为温度较高,竹纤维会失去部分结合水或游离水,不可避免在聚丙烯复合材料中产生空隙和内部应力缺陷,从而降低了复合材料的性能。因此,加热处理竹纤维是改善竹纤维/聚丙烯复合材料性能的有效手段。闫红芹等^[13]对竹纤维进行热处理试验,研究热处理对竹纤维力学性能的影响。结果表明,热处理温度不超过 120℃ 时,竹纤维的力学性能前后变化不大,能够有效保证竹纤维在聚合物中的增强性能;但是在高温下较长时间处理后,竹纤维的各项力学性能,包括拉伸强度、断裂伸长率和模量,都有显著下降,对增强聚合物不利。张亚梅等通过进一步实验^[14],证明了对竹纤维进行热处理能有效提高竹纤维/聚合物复合材料的尺寸稳定性;实验还发现,热处理时间过长,竹纤维/聚合物复合材料的静曲强度和水平剪切强度明显降低。

因此,适当温度下的热处理,能有效去除竹纤维中的游离水,降低结合水含量,提高竹纤维的结晶度,从而在保持增强体竹纤维力学性能的前提下,避免竹纤维/聚丙烯复合材料生产过程中因水分的存在而产生气泡等缺陷导致的复合材料性能下降,提高竹纤维/聚丙烯复合材料的力学性能。

1.1.3 蒸汽爆破 蒸汽爆破法主要是利用高温高压水蒸气,通过竹纤维表面微孔进入纤维内部,降至常压,竹纤维内部水蒸气产生巨大的爆破力、机械摩擦力和碰撞力,从而实现纤维原料的结构重排、热降解、氢键破坏、类酸性水解和机械断裂等综合作用。

蒋建新等^[15]采用蒸汽爆破的方式处理了毛竹,发现经过爆破后,竹纤维原料中,半纤维素和木素会产生一些酸性物质,促进了半纤维素降解成可溶性糖,从而提高了纤维素的含量。不仅如此,爆破处理会使得竹纤维外观呈絮状形貌,变得更加粗糙,有明显的细小沟壑,比表面积增大^[16],有利于提高其与聚合物基体的物理互锁作用。

Okubo 等^[6]采用蒸汽爆破技术来提取竹纤维,并用其制备热塑性复合材料,发现竹纤维能显著提高复合材料的力学性能。Rennekar 等^[17]指出,在蒸汽爆破后,纤维原料中原有纤维素的排列结构能够暂时被改变,为进一步与聚合物复合提供了便利;而在后期加热的过程下,纤维素又可以回复到原态,恢复原有的强度,从而显著提高复合材料的力学强度。

曹素娇等^[18]研究了蒸汽爆破条件对纤维素/聚丙烯复合材料综合性能的影响,结果表明当纤维含水量为 40%、爆破次数 2 次时,获得的复合材料综合力学性能最佳。

1.1.4 放电处理 放电处理包括电晕处理、低温等离子体处理。电晕处理可以激活纤维素表面的醛基,提高纤维表面活性,改变其表面能,从而增强了纤维与聚合物之间的作用力。低温等离子体则是通过选择合适的气体,形成等离子体对纤维表面进行处理,在纤维表面引入活泼自由基或含有自由基的基团,甚至在纤维表面形成交联等效果,从而提高纤维与聚合物之间的相容性。

1.1.5 碳酸钙表面沉积 纳米碳酸钙(CaCO_3)是一种常见的无机填料,价格低廉,强度高,具有比表面积大,及沿裂隙或孔隙生长的特点。竹纤维本身就有纹孔等孔隙,并且在预处理过程中,木质素和半纤维素被除去,竹纤维细胞壁表面会产生很多微孔^[19, 20],能为纳米 CaCO_3 的吸附生长提供位置。因此可以通过在竹纤维表面沉积碳酸钙,增加竹纤维的表面粗糙度,形成具有界面机械锁扣作用的铆钉点。不仅如此, CaCO_3 还可取代竹纤维中的自由水^[21],能解决热压过程中水分逸出、复合材料鼓包等问题。此外, Lee 等^[22]指出纳米 CaCO_3 粒子对聚合物有强烈的静电引力,能改善复合材料的界面结合性能,提高复合材料的力学性能。

李文燕等^[23]通过直接浸渍和原位沉积两种手段,将纳米 CaCO_3 附着在竹纤维表面,研究了竹纤维/聚丙烯复合材料拉伸性能的影响。结果表明,两种沉积方法均可改善竹纤维与聚丙烯的界面结合性能,复合材料拉伸性能相应提高,其中,浸渍改性使复合材料拉伸强度和弹性模量分别提高了 6.95% 和 15.80%,原位沉积改性分别提高 18.68% 和 25.41%。

1.2 化学改性

化学改性是通过化学试剂的处理,使竹纤维表面羟基数目降低,促进竹纤维与聚丙烯之间形成更多的物理和化学键,从而提高复合材料的综合性能。化学改性主要包括碱处理和偶联剂改性等。

1.2.1 碱处理 碱处理是一种古老而又实用的方法,竹纤维中半纤维和果胶在碱溶液中易溶解。因此经过碱处理后,竹纤维中纤维素的含量增加,表面变粗糙,纤维素与聚合物基体的有效接触面积增大,提高了竹纤维与聚合物基体之间黏合能力,有利于聚合物在竹纤维表面铺展、浸润。

曹勇等^[24]用 1% 碱液处理纤维,得到的复合材料的力学性能得到了明显提高。实验表明,碱处理后,纤维分解细化,改善了基材/纤维的黏结性能,从而使材料力学性能得到提高。童晓梅等^[25]研究了不同碱浓度处理下,竹纤维/聚丙烯复合材料的力学性能的变化,结果表明,随着碱浓度增加,复合材料的断裂伸长率、拉伸强度和冲击强度均呈现先增大后降低的趋势。这是因为碱液浓度过大会破坏纤维素的结构,使得纤维受到一定损伤,影响了竹纤维的强度性能和伸长率^[26]。

王春红等^[27]通过表征碱处理前后竹纤维的接触角,用以计算表面能的变化。结果表明,碱处理会增大竹纤维的表面能;SEM 照片显示,碱处理后竹纤维表面杂质明显减少,暴露出内部的纤维素。王春红等^[28]进一步研究了不同浓度碱处理对竹纤维/聚丙烯复合材料力学性能的影响。当碱处理浓度为 20% (wt) 时,制备得到的竹纤维/聚丙烯复合材料的剪切强度与未处理相比,提高了 67.18%。

叶张龙等^[29]研究了竹纤维增强聚丙烯复合材料的吸湿性能,结果表明,碱处理改善了竹纤维/聚丙烯界面结合效果,降低了其表观水扩散系数,提高了复合材料的饱和吸湿量。

1.2.2 偶联剂改性 偶联剂是指能改善竹纤维和聚合物之间界面特性的一类物质,其分子结构中一般存在两个或两个以上的官能团,一个官能团可与竹纤维形成共价键,另一个官能团能够与聚合物发生化学反应或者具有良好的相容性,这样通过化学键将竹纤维与聚合物连接起来,从而提高了竹纤维与聚合物之间的相容性。常见的偶联剂有硅烷、钛酸酯、铝酸酯、异氰酸酯和酸酐类等化合物。

周吓星等^[30]选用硅烷偶联剂 KH570 改性竹纤维,制备了竹纤维/聚丙烯发泡复合材料,研究了复合材料的流变及力学性能,结果表明,随着 KH570 用量的增加,力学性能呈现先增大后减小的趋势。当添加 2% KH570 时,复合材料的力学性能最佳,当用量继续增加到 3% 时,复合材料的力学性能反而下降。这是因为偶联剂用量太少时,不能完全包裹在竹粉表面,不能在材料表面形成单分子层,起不到有效改性作用;其用量太多时,过量的偶联剂在界面区域聚集,形成弱界面层,导致复合体系中界面结构不均匀,界面的结合程度下降,从而导致材料力学性能下降。

童晓梅等^[25]研究不同种类的偶联剂及其含量对竹纤维/聚丙烯复合材料力学性能和热稳定性的影响,研究表明硅烷偶联剂 KH-550、KH-560 和铝酸酯偶联剂都能有效改善竹纤维与聚丙烯之间的界面相互作用,提高复合材料的力学性能。KH-550 的效果最佳,KH-560 和铝酸酯的效果相近。当 KH-550 含量为 2% (wt) 时,复合材料具有最佳的力学性能,拉伸强度达到 30.48 MPa;但是对复合材料热稳定性影

响不明显。

陈钦慧等^[31]采用铝酸酯对竹纤维进行表面改性,研究表明添加 1.6% 的铝酸酯偶联剂会使得竹纤维中木质素和纤维素的有序结构遭到一定程度的破坏,提高竹纤维与聚合物之间的界面相容性。万正龙等^[323]用钛酸酯偶联剂对竹纤维进行改性,提高了复合材料的拉伸强度和冲击强度。

李嘉俊等^[33]研究了钛酸酯和异氰酸酯对竹纤维/聚丙烯复合材料力学性能的影响,结果表明,两种偶联剂对拉伸强度、弯曲强度和冲击性能影响差别较大,钛酸酯改性竹纤维/聚丙烯复合材料的冲击性能提高最大。

孙丰文等^[34]采用氯化苄、邻苯二甲酸酐和马来酸酐对纤维进行改性,探讨了改性后纤维的微观结构、表面基团和热塑性,结果表明,3 种改性剂都会破坏了纤维素的结晶结构,减少了纤维素表面的羟基,增加了纤维的热塑性,其中氯化苄改性的纤维热塑性最好,可在一定温度、压力下实现自身的黏合,使其呈塑料特性。

任兵杰等^[35]采用马来酸酐对竹纤维进行表面处理,研究了处理温度和时间对酯化度的影响及其与聚合物界面相容性的关系。结果表明,在二甲苯回流温度 140℃ 下,时间为 4h 的条件下,获得了高酯化度(16.2%)的改性竹纤维。与未处理的竹纤维相比,改性竹纤维表面粗糙,有利于提高与聚合物之间的界面相容性。

2 聚丙烯基体的改性

聚丙烯塑料基体改性主要是对塑料表面进行接枝改性,在其表面引入极性基团,极性的支链和反应性的支链,提高聚合物与竹纤维之间的界面相容性。

Bengtsson 等^[36]使用过氧化二异丙苯作为自由基引发剂,通过自由基反应、缩合反应,将乙烯基三甲氧基硅烷接枝到聚合物上,使其能够与纤维表面的羟基结合,在纤维和聚合物之间形成交联网络。

王清文等^[37]采用马来酸酐对聚合物进行改性处理,将马来酸上的极性基团引入到非极性的聚合物分子上,形成共聚物,使得其与植物纤维的相容性增强,提高复合材料的综合性能。

化学接枝过程,一般是由自由基引发共聚,其反应条件或工艺比较苛刻,例如采用大量溶剂或反应温度高,易引入溶剂等杂质或者导致聚合物的分子链的断裂,使得聚合物物理机械性能下降,因此一般较少将接枝改性聚合物单独用作复合材料的基体。

3 添加第三组分

直接添加第三组分相容剂,改善竹纤维与聚合物的界面相容性,是一种比较简单有效的方法,也是目前制备竹纤维/聚丙烯复合材料采用最多的途径之一。

近年来,相容剂中采用最多的是相容性接枝聚合物,主要有马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH)、马来酸酐接枝聚烯烃(POE-g-MAH)和丙烯酸接枝聚丙烯等。相容性接枝聚合物中的极性基团可以和竹纤维表面的游离羟基发生反应,降低纤维中羟基的数量;非极性基团则与聚合物通过分子链间的相互缠绕,在聚合物基体和竹纤维之间起到一个桥梁的作用,提高复合材料的综合力学性能^[38, 39]。

Sombatsompop 等^[38]在纤维质量分数为 30% 的聚丙烯/纤维复合材料中加入质量分数为 2.0%~11.7% 的 PP-g-MAH。研究表明,PP-g-MAH 促使纤维与聚丙烯之间形成较强的界面结合,提高复合材料的拉伸性能和弯曲性能。Chattopadhyay 等^[40]在竹纤维体积分数为 50% 的聚丙烯/竹纤维共混体系中,加入 5% 的 PP-g-MAH,制备得到复合材料的冲击强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、拉伸强度、拉伸弹性模量和热变形温度较未添加的复合材料分别提高了 37%、81%、150%、105%、191% 和 5℃。

周松等^[41]将 PP-g-MAH 添加到含有 30% 竹纤维的聚丙烯复合材料中,研究了复合材料的流动性能和力学性能。结果表明,当 PP-g-MAH 含量为 7.5% 时,复合材料具有较高的力学性能和良好的加工性

能。Faruk 等^[42]对聚丙烯/HDPE/纤维素三元复合材料进行了研究,研究发现,在材料中,PP-g-MAH 能够有效提高纤维素和聚合物之间的界面相容性,有利于传递载荷,提高复合材料力学性能。Dányádi 等^[43]通过实验证明,PP-g-MAH 的种类对纤维/聚丙烯复合材料的拉伸强度影响很大,高相对分子质量和低接枝率的 PP-g-MAH 对于提高复合材料的拉伸性能和冲击性能更为有效。陈国昌等^[44]进一步指出 PP-g-MAH 用量在 10 份左右复合材料的综合性能最佳。

周松等^[45]选用 POE-g-MAH 为相容剂,制备了竹纤维/聚丙烯复合材料,研究表明,加入 POE-g-MAH 后,竹纤维在聚丙烯中的分散程度得到提高,复合材料的冲击强度提高显著。宋永明等^[46]研究了马来酸酐改性的三元乙丙橡胶(EPDM-g-MAH)对纤维/聚丙烯复合材料性能的影响,结果表明:EPDM-g-MAH 的添加提高了纤维和聚丙烯的界面结合,提高复合材料的冲击性能,降低了复合材料的吸水性。

4 结束语

我国竹林资源丰富,竹纤维获取容易、制备方法简单、成本低,用丰富的竹纤维来填料聚丙烯,开发具有高附加价值的竹纤维/聚丙烯复合材料,对拓宽竹纤维的应用具有重要意义,也是当前和今后发展的迫切需求。制备高性能竹纤维/聚丙烯复合材料的关键因素是提高竹纤维与聚丙烯界面相容性。尽管国内外学者对此进行了大量的研究,但仍没有完全发挥竹纤维的潜在优势,主要是因为二者界面改性机制比较复杂,纤维尺寸、用量、偶联剂种类及用量、相容剂的结构和用量等都会对界面相容性以及复合材料最后的性能造成显著影响。因此,从开发应用角度上看,仍需进一步深入研究天然竹纤维的结构、物理化学性质,在掌握竹纤维的特性的基础上最大可能的利用物理化学方法,改善竹纤维和聚丙烯的界面相容性;此外,采取多种方法相结合,开发高效、无污染且成本低的改性手段,也是今后的重要发展趋势之一。

参考文献:

- [1] Yang T H, Yang T H, Chao W C, Leu S Y. Constr Build Mater, 2015, 88: 159~168.
- [2] Gurunathan T, Mohanty S, Nayak S K. Compos Part A-Appl S, 2015, 77: 1~25.
- [3] Iyer K A, Schueneman G T, Torkelson J M. Polym, 2015, 56: 464~475.
- [4] 窦营, 余学军. 中国农业资源与区划, 2011, 32(5): 65~70.
- [5] Jayaraman K, Bhattacharyya D. Resour Conserv Recy, 2004; 41: 307~319.
- [6] Okubo K, Fujii T, Yamamoto Y. Compos Part A-Appl S, 2004; 35: 377~383.
- [7] Li X, Lei B, Lin Z, Huang L, Tan S, Cai X. Mater Design, 2014, 53: 419~424.
- [8] Ghanbari A, Madhoushi M, Ashori A. J Polym Environ, 2014, 22(2): 260~266.
- [9] Canche-Escamilla G, Rodriguez-Laviada J, Cauich-Cupul J I, Mendizabal E, Puig J E, Herrera-Franco P J. Compos Part A-Appl S, 2002, 33(4): 539~549.
- [10] Abdelmouleh M, Boufi S, Belgacem M N, Dufresne, A. Compos Sci Technol, 2007, 67(7): 1627~1639.
- [11] Okubo K, Fujii T, Yamamoto Y. Compos Part A-Appl S, 2004, 35(3): 377~383.
- [12] Nishino T, Hirao K, Kotera M, Nakamae K, Inagaki H. Compos Sci Technol, 2003, 63(9): 1281~1286.
- [13] 闫红芹, 李龙. 现代纺织技术, 2005, 13(1): 1~3.
- [14] 张亚梅, 于文吉. 林业科学, 2013, 49(5): 160~168.
- [15] 蒋建新, 杨中开, 朱莉伟, 史丽敏, 闫立杰. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 128~132.
- [16] 何福善, 高诚辉, 郑开魁, 林有希, 杨发伟. 材料热处理学报, 2014, 10: 002.
- [17] Renneckar S, Zink-Sharp A, Glasser W G. IAWA J, 2007, 28(1): 13.
- [18] 曹素娇, 谭斌, 刘树荣, 冯彦洪, 瞿金平. 塑料工业, 2011, 39(7): 60~63.
- [19] Burgert I, Gierlinger N, Zimmermann T. Holzforschung, 2005, 59(2): 240~246.
- [20] Shi J, Shi S Q, Barnes H M, Horstemeyer M, Wang J, Hassan E B M. Int J Polym Sci, 2011, (212047): 1~8.
- [21] Shi J, Shi S Q, Barnes H M, Horstemeyer M, Wang J, Hassan E B M. Int J Polym Sci, 2011, (736474): 1~7.
- [22] Lee S, Shi S Q, Barnes H M. Multifunctional Nanoparticles at the Hydrophilic and Hydrophobic Interface. Proceedings of Advanced Biomass Science and Technology for Bio-based Products. Beijing, 2007, 173~181.

[23] 李文燕, 张双保, 任文涵, 王戈, 程海涛. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(3): 115~119.

[24] 曹勇. 复合材料学报, 2006, 23(3): 60~66.

[25] 童晓梅, 杨俊娜, 强琪, 张涛. 塑料科技, 2013, 3: 007.

[26] 杨波, 奚柏君, 沈兰萍, 李艳芳. 西安工程大学学报, 2014, 28(2): 164~168.

[27] 王春红, 刘胜凯, 叶张龙. 工程塑料应用, 2014, 42(12): 23~28.

[28] 王春红, 刘胜凯. 复合材料学报, 2015, 03: 683~690.

[29] 叶张龙, 王春红, 王瑞, 王红菊, 王航. 天津工业大学学报, 2014, 33(4): 20~22.

[30] 周吓星, 陈礼辉, 林巧佳. 福建林学院学报, 2012, 32(2): 183~187.

[31] 陈钦慧, 李雪芳, 林金火. 林产化学与工业, 2009, 29(1): 83~86.

[32] 万正龙, 熊舟翼, 熊汉国. 现代塑料加工应用, 2010 (3): 25~27.

[33] 李嘉俊, 汪济奎. 塑料工业, 2008, 36(11): 17~19.

[34] 孙丰文, 张茜, 姜志宏, 沈建. 林业科技开发, 2010, 24(5): 14~18.

[35] 任兵杰, 陈宇翔, 方红霞, 孙金余, 史建俊, 吴强林. 工程塑料应用, 2011, 39(5): 16~19.

[36] Bengtsson M, Oksman K. Compos Part A-Appl S, 2006, 37(5): 752~765.

[37] 王清文, 王伟宏. 木塑复合材料与制品. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[38] Sombatsompop N, Yotinwattanakumtorn C, Thongpin C. J Appl Polym Sci, 2005, 97(2): 475~484.

[39] Mishra S, Verma J. Polym-Plast Technol Eng, 2006, 45(11): 1199~1205.

[40] Chattopadhyay S K, Khandal R K, Uppaluri R, Ghoshal A K. J Appl Polym Sci, 2011, 119(3): 1619~1626.

[41] 周松, 陈浩, 王刚毅, 梁斌, 夏世福, 王春华. 塑料工业, 2013, 41(11): 57~61.

[42] Faruk O, Matuana L M. Compos Sci Technol, 2008, 68(9): 2073~2077.

[43] Dányádi L, Renner K, Szabo Z, Nagy G, Moczo J, Pukanszky, B. Polym Adv Technol, 2006, 17(11/12): 967~974.

[44] 陈国昌, 李超勤, 刘莉, 李荣勋, 黄兆阁, 刘光烨. 塑料, 2005, 34(2): 67~69.

[45] 周松, 朱小龙, 王刚毅, 梁斌, 夏世福, 蒋辰杰. 工程塑料应用, 2013, 41(8): 30~34.

[46] 宋永明, 王清文, 郭垂根, 沈长生. 林业科学, 2005, 41(6): 138~143.

Research Progress in Interfacial Compatibility of Bamboo Fibers/Polypropylene Composites

SHI Jiang-yang^{1*}, ZHANG Lin¹, HANG Zu-sheng^{2, 3}

(1. Yangzhou product quality supervision and Inspection Institute, Yangzhou 225111, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Structural Materials and Application Technology, Nanjing 211167, China;

3. College of Material Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: With low density, high strength, low cost and recyclable, bamboo fibers is ideal reinforce filler in structural materials in engineering. Production of high performance polypropylene composites reinforced by bamboo fibers has been a pop research field. In order to obtain high performance composites, the interfacial interface between bamboo fibers and polypropylene matrix should be added. The three methods for improvement of compatibility between bamboo fibers and polypropylene matrix were summarized, including surface treatment of bamboo fibers, modification of polypropylene matrix, and loading other polymer matrixs. In addition, the trend of the future research was prospected.

Key words: Bamboo fibers; Polypropylene; Compatibility; Composites