

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.12.006

竹纤维的表面能分析及其增强 PP 复合材料的力学性能^{*}

王春红,刘胜凯,叶张龙

(天津工业大学纺织学院,天津 300387)

摘要:通过先碱处理再偶联剂处理的方法对竹纤维进行表面改性,采用非织造-模压工艺制备了竹纤维增强聚丙烯(PP)复合材料。根据 Owens-Wendt 法分别计算了碱处理和在此基础上偶联剂处理的竹纤维的表面能以及极性分量和非极性分量,研究了碱处理中 NaOH 溶液浓度及偶联剂处理中硅烷偶联剂溶液浓度对竹纤维表面能的影响,并探索了竹纤维的表面能与复合材料力学性能的关系。结果表明,随着 NaOH 溶液浓度增大,竹纤维表面能呈增大趋势,拉伸强度呈降低趋势;碱处理的竹纤维增强 PP 复合材料的力学性能受竹纤维表面能和本身强度的综合影响,当 NaOH 溶液浓度为 5% 时,复合材料的综合力学性能最优。在 NaOH 溶液浓度为 5% 的碱处理基础上进行偶联剂处理可大幅提高竹纤维的非极性分量,随着硅烷偶联剂溶液浓度的增加,竹纤维的表面能降低;复合材料的力学性能与偶联剂处理后竹纤维表面能的变化没有对应关系,当偶联剂溶液浓度为 3% 时,复合材料的力学性能最优。

关键词:竹纤维;复合材料;表面改性;表面能;力学性能

中图分类号:TQ321 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2014)12-0023-06

Bamboo Fiber Surface Energy Analysis and Its Influence on Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Polypropylene Composite

Wang Chunhong, Liu Shengkai, Ye Zhanglong

(School of Textile, Tianjin Polytechnic University, Tianjin China, 300387)

Abstract : Surface modification of bamboo fiber was done by using alkali treatment firstly and coupling agent treatment lastly, bamboo fiber reinforced polypropylene (PP) composites were prepared by means of non-woven and compression molding technology. The surface energy, polar and dispersion components of the bamboo fiber modified by alkali treatment and coupling agent treatment on the basis of alkali treatment were calculated separately through Owens-Wendt method, the effects of NaOH solution concentration in the alkali treatment and silane coupling agent solution concentration in the coupling agent treatment on the surface energy of the bamboo fiber were studied and the relationship between the mechanical properties of the composites and surface energy of the bamboo fiber were investigated. The results reveal that with the increase of NaOH solution concentration, the surface energy of the bamboo fiber increases and the tensile strength decreases. The mechanical properties of the composites are affected by the surface energy and strength of the bamboo fiber treated by NaOH, when NaOH solution concentration is 5%, the composite has the best comprehensive mechanical properties. Coupling agent treatment on the basis of alkali treatment with NaOH solution concentration being 5% can increase the dispersion component of the bamboo fiber greatly, and with the increase of silane coupling agent solution concentration, the surface energy of the bamboo fiber decreases. There is not corresponding relationship between the mechanical properties of the composite and the surface energy of the bamboo fiber treated by silane coupling agent, when silane coupling agent solution concentration is 3%, the mechanical properties of the composite are the best.

Keywords : bamboo fiber ; composite ; surface modification ; surface energy ; mechanical property

天然竹纤维具有长径比大、比强度高、比表面积大、密度低、价廉、可再生以及可生物降解等诸多优点,另外其自身具有抗菌、抑菌、抗紫外、透气性好等特性,且竹子生长迅速、成材快、产量高,因而是一种资源丰富、生长周期短、环保功能强的可再生材料,由其增强的聚合物基复合材料具有优异的力学性能、耐水性能、热稳定性及生物降解性等,可以代

替石油基塑料材料应用在高性能户外装饰、建筑结构材料、汽车配件等领域^[1-3]。

竹纤维等植物纤维在与基体树脂复合前,通常

^{*} 国家自然科学基金项目(51303131)

联系人:王春红,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为绿色环保功能型纤维、纺织品及纺织复合材料

收稿日期:2014-10-17

要进行表面改性处理,以降低其吸水性,提高与低极性基体树脂的界面相容性和粘合性^[4-7]。在众多植物纤维表面改性方法中,碱处理和偶联剂处理的应用比较广泛。A. K. Bledzki 等^[8]研究表明碱处理以及偶联剂处理对聚丙烯(PP)/纤维素复合材料性能有很明显的提升作用。O. M. L. Asumani 等^[9]研究发现经过碱-偶联剂复合处理后,洋麻增强 PP 复合材料的拉伸强度相较未处理时提高了 72%,而且碱-偶联剂复合处理效果要优于单独使用偶联剂的效果。

树脂与植物纤维间的浸润性与两者的表面性能密切相关。从热力学角度来看,树脂能自发浸润树脂纤维的前提是其表面张力应小于纤维的表面能。因此,研究植物纤维表面改性后的表面能变化及对其增强树脂基复合材料力学性能的影响规律,对于掌握植物纤维与树脂的界面匹配特性以及发展高性能植物纤维增强树脂基复合材料至关重要。

笔者采用先碱处理再偶联剂处理的方法对竹纤维进行了表面改性,分别研究了碱处理和在此基础上的偶联剂处理对竹纤维表面能、极性分量和非极性分量的影响,并分析了竹纤维表面能的变化对其增强的 PP 复合材料力学性能的影响,以探求竹纤维在碱-偶联剂复合处理过程中的表面能变化与复合材料力学性能的关系。

1 实验部分

1.1 原材料

竹纤维:长度 30~35 mm,直径 98 μm ,福建建州竹业科技开发有限公司;

PP 纤维:长约 38 mm,总表面能为 30.87 mJ/m^2 ,极性分量为 0.97 mJ/m^2 ,非极性分量为 29.90 mJ/m^2 ,山东陵县华龙化纤有限公司;

氢氧化钠(NaOH):分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;

3-氨丙基三乙氧基硅烷偶联剂:安徽硅宝翔飞有机硅新材料有限公司;

去离子水:总表面能为 72.8 mJ/m^2 ,极性分量为 51.0 mJ/m^2 ,非极性分量为 21.8 mJ/m^2 ,市售;

乙二醇:总表面能为 48 mJ/m^2 ,极性分量为 19 mJ/m^2 ,非极性分量为 29 mJ/m^2 ,天津市光复精细化工研究所。

1.2 主要仪器和设备

和毛机:XFH 型,青岛市胶南针织机械厂;

小型数字式梳棉试验机:DSCa-01 型,天津市

嘉诚机电设备有限公司;

热压机:Y/TD71-45A 型,天津液压机厂;

万能强力机:3369 型,美国 Instron 公司;

扫描电子显微镜(SEM):Quanta200 型,捷克 FEI 公司;

表面张力测试仪:K100 型,德国 Kruss 公司。

1.3 试验方法

(1) 竹纤维的表面改性。

先对竹纤维进行碱处理,在常温下用浓度分别为 1%,3%,5% 和 7% 的 NaOH 溶液处理竹纤维 1 h (竹纤维与 NaOH 溶液浴比为 1:20),然后用蒸馏水将竹纤维洗至中性,在 50℃烘箱中烘干。在浓度为 5% 的 NaOH 溶液处理的基础上,用浓度分别为 1%,3% 和 5% 的硅烷偶联剂溶液在常温下处理竹纤维 2 h (竹纤维与偶联剂溶液浴比为 1:20),然后在 50℃烘箱中烘干。

(2) 竹纤维增强 PP 复合材料试样的制备。

先将竹纤维与 PP 纤维分别开松,然后将两者混合在一起再开松两遍后,通过梳理、针刺工艺制成纤维毡。采用平行层铺的方式,在 190℃,15 MPa 压力下热压 20 min 制得密度为 1 g/cm^3 的板材,最后裁切成标准试样。

1.4 性能测试

(1) 竹纤维接触角的测定。

采用表面张力测量仪测定竹纤维的接触角,测试速率为 3 mm/min ,环境温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(60 \pm 5)\%$,每种纤维测量 30 根。

(2) 竹纤维表面能的计算。

根据 Owens-Wendt 法,选用两种探测液体,根据它们在某种固体表面的接触角的数据,可得出该固体表面自由能的非极性值和极性值,两者的加和近似等于该固体表面自由能,具体计算方法如式 (1) 和式 (2) 所示。

$$\gamma_l(1 + \cos \theta) = 2\sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} + 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} \quad (1)$$

式中: γ_l ——液体表面能;

θ ——纤维与液体的动态接触角;

γ_s^p ——纤维表面能的极性分量;

γ_l^p ——液体表面能的极性分量;

γ_s^d ——纤维表面能的非极性分量;

γ_l^d ——液体表面能的非极性分量。

$$\gamma_T = \gamma_s^p + \gamma_s^d \quad (2)$$

式中: γ_T ——纤维的总表面能。

式 (2) 中 γ_s^p 和 γ_s^d 为未知数,故采用乙二醇和去

离子水作为探测液体,测得两种液体在竹纤维上的接触角,将两种液体的极性分量和非极性分量以及总表面能,代入式 (1) 和式 (2) 即测得竹纤维的表面能。

(3) 竹纤维拉伸强度测试。

竹纤维拉伸强度按 GB/T 14337-2008 测试,每组纤维至少测试 20 根,测试速度为 1 mm/min。

(4) 竹纤维增强 PP 复合材料力学性能测试。

拉伸强度按 ASTM D3039 / D3039M-2000 测试;

弯曲强度按 ASTM D790-2003 测试;

层间剪切强度按 JC/T 773-2010, ISO 14130-1997 测试。

2 结果与讨论

2.1 碱处理对竹纤维表面能的影响

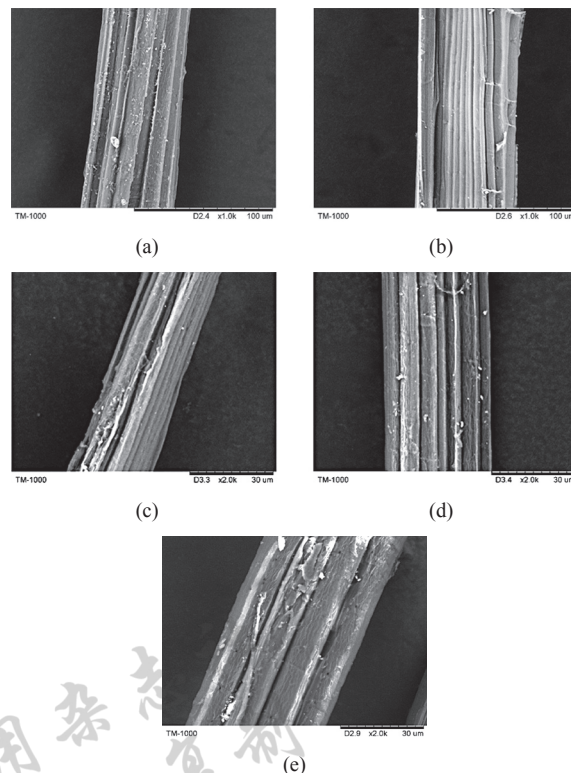
经碱处理后,竹纤维的表面能随 NaOH 溶液浓度的变化如表 1 所示。从表 1 可知,随着 NaOH 溶液浓度的增加,竹纤维的总表面能呈上升趋势。这是因为在竹纤维的表面上,存在着由气体、氧化物和杂质组成的表面层,这些物质组成的表面层降低了纤维的表面自由能^[10]。碱处理可以对这些表面层进行破坏和清洗,因此 NaOH 溶液浓度增大会使竹纤维的表面能增大。

表 1 不同浓度 NaOH 溶液处理的竹纤维的表面能 $\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$

项 目	NaOH 溶液浓度 / %				
	0	1	3	5	7
表面能	38.87	40.38	41.83	43.27	46.02
极性分量	17.06	6.33	25.91	27.98	27.35
非极性分量	21.81	34.05	15.92	15.29	18.66

另外,当 NaOH 溶液浓度为 1% 时,改性后的竹纤维的极性大幅下降;当 NaOH 溶液浓度为 3% 时,改性的竹纤维的极性开始回升并超过未改性的竹纤维;当 NaOH 溶液浓度增加到 5% 时,改性的竹纤维极性得到进一步提高;而当 NaOH 溶液浓度增加到 7% 时,改性的竹纤维极性略有下降。这种变化现象的原因可以通过碱处理后竹纤维表面的 SEM 照片找到。

图 1 为不同浓度 NaOH 溶液处理的竹纤维的表面 SEM 照片。通过图 1a 和图 1b 可以看出,经浓度为 1% 的 NaOH 溶液处理后,竹纤维的表面杂质相比未处理时明显减少,这说明碱处理可以去除部分果胶等物质,但此时竹纤维的极性大幅下降,这可能是因为 NaOH 溶液浓度较低时,其虽能将杂质层去除,但无法将非极性的蜡质完全去除。这样这些



NaOH 溶液浓度: a—0%; b—1%; c—3%; d—5%; e—7%

图 1 不同浓度 NaOH 溶液处理的竹纤维的 SEM 照片

蜡质就会暴露出来,从而使纤维极性出现下降的情况。通过图 1c 和图 1d 可以看出,随着 NaOH 溶液浓度的增大,纤维受到的刻蚀程度逐渐变大,使纤维素更多地露出,而纤维素相比木质素、半纤维素等具有更强的极性,同时竹纤维表面完全非极性的蜡质也会逐渐被去除,所以随着 NaOH 溶液浓度的增大,其表面极性也逐渐增大。通过图 1e 可以看出,竹纤维出现了一定的破损,这可能是因为 NaOH 溶液浓度过高时,竹纤维受到的刻蚀程度过大,使纤维素受到了一定破坏,极性有所下降。

综上所述,适当的碱处理可清理竹纤维表面的杂质层并能减少果胶、半纤维素、木质素、蜡质等物质,使纤维素更多的暴露在外面,导致竹纤维的极性提高。

2.2 碱处理对竹纤维拉伸断裂强度的影响

不同浓度 NaOH 处理的竹纤维的拉伸强度如图 2 所示。通过图 2 可以观察到,随着 NaOH 溶液浓度的提升,竹纤维的拉伸强度逐渐下降。这是因为随着 NaOH 溶液浓度的增大,其会对竹纤维表面造成刻蚀,使竹纤维出现损伤,导致其拉伸强度下降。而且竹纤维结晶区的纤维素会随着 NaOH 溶液浓度增加逐渐转变为无定形区的纤维素,导致竹

纤维因结晶度下降而出现力学性能下降的情况。以上两个因素综合作用导致竹纤维的拉伸强度随着 NaOH 溶液浓度增加而不断下降。

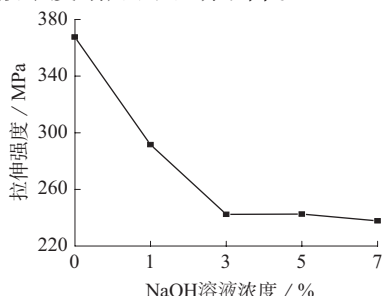
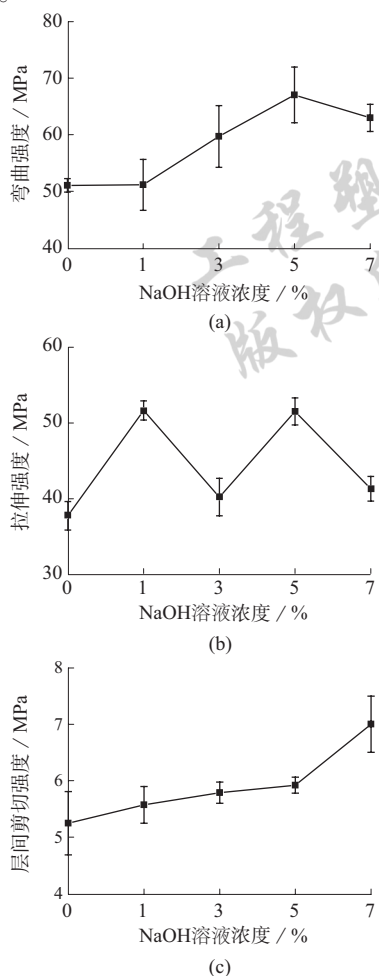


图2 NaOH 溶液浓度对竹纤维拉伸强度影响

2.3 碱处理对竹纤维增强 PP 复合材料力学性能的影响

图3反映了经过不同浓度 NaOH 溶液处理竹纤维后,复合材料弯曲强度、拉伸强度和层间剪切强度的变化。



a—拉伸强度; b—弯曲强度; c—层间剪切强度

图3 NaOH 溶液浓度对复合材料力学性能的影响

由图3可见,复合材料层间剪切强度在 NaOH 溶液浓度为 7% 时达到最大值,弯曲强度在 NaOH

溶液浓度为 5% 时达到最大值,拉伸强度在 NaOH 溶液浓度为 1% 及 5% 时均出现极大值,且两者相差不大。

根据 zisman 临界表面自由能理论可知:当固体(植物纤维)表面与一种流体(热塑性塑料熔体)表面接触形成新的界面时,其达到稳定相互融合的条件是流体表面能等于或低于固体表面能,这种差值越大,塑料熔体越易于润湿植物纤维表面并形成良好的界面融合。如果塑料熔体的表面能大于纤维表面能,它与纤维之间会出现负扩散系数,反而会抑制熔体润湿纤维^[11]。根据表1可知,经过碱处理,竹纤维的表面能呈增大的趋势,并且在 NaOH 溶液浓度 7% 处达到最大值。根据上述理论,此时 PP 熔体应最易于润湿竹纤维表面并与其形成良好的界面,而复合材料层间剪切强度的变化验证了这个推论,因为层间剪切强度大体上反映了竹纤维与 PP 的界面结合情况,故其在 NaOH 溶液浓度 7% 时达到最大值。

对于弯曲强度,当 NaOH 溶液浓度为 7% 时虽然 PP 与竹纤维界面结合最好,但是由图2看出,此时竹纤维因为 NaOH 溶液浓度过高而出现破损,其强度也大幅下降,这会对复合材料的强度产生不利影响,因而 NaOH 溶液浓度为 7% 时复合材料的弯曲强度反而下降。

相对于弯曲强度,复合材料的拉伸强度与纤维的拉伸强度相关性更强,因此当竹纤维由于碱处理使其自身拉伸强度下降后,直接导致复合材料的拉伸强度降低^[12]。当 NaOH 溶液浓度为 1% 时,竹纤维拉伸强度远高于其它浓度下的拉伸强度,因此复合材料拉伸强度较大;当 NaOH 溶液浓度为 7% 时,虽然此时竹纤维与树脂的界面结合最好,但是竹纤维的拉伸强度最低,导致复合材料拉伸强度也相对较低;当 NaOH 溶液浓度为 5% 时,虽然竹纤维拉伸强度较 NaOH 溶液浓度为 1% 时的低,且与 NaOH 溶液浓度为 3% 时的相差不大,但是其与 PP 的界面结合相对要好,两者综合作用下,复合材料的拉伸强度要比 NaOH 溶液浓度为 3% 时的高,且与 NaOH 溶液浓度为 1% 时的相差无几。

综上所述,采用碱处理竹纤维时,竹纤维增强 PP 复合材料的力学性能受竹纤维的表面能及本身强度的综合影响。综合复合材料各项力学性能,当 NaOH 溶液浓度为 5% 时,复合材料的综合力学性能最优。

2.4 偶联剂处理对竹纤维表面能的影响

在 NaOH 溶液浓度为 5% 的碱处理基础上,采用不同浓度的硅烷偶联剂溶液继续对竹纤维进行处理,研究了硅烷偶联剂溶液浓度对竹纤维表面能的影响,如表 2 所示。由表 2 可以看出,经过硅烷偶联剂处理之后,竹纤维的表面能略有提高,而后随着偶联剂溶液浓度的增加呈下降趋势。进一步分析可以发现,经硅烷偶联剂处理后竹纤维的表面能先略有提高是因为其非极性分量大幅提升的缘故。这是因为经过碱处理后竹纤维的表面杂质减少,使硅烷偶联剂中烷氧基团水解后形成的硅醇更易跟植物纤维中的羟基发生化学作用^[9],从而在纤维表面形成有机分子层,在降低竹纤维极性的同时大幅提高了其非极性分量。

表 2 不同浓度硅烷偶联剂溶液处理的竹纤维的表面能 $\text{mJ} \cdot \text{m}^{-2}$

项 目	硅烷偶联剂溶液浓度 / %			
	0	1	3	5
表面能	43.27	45.43	42.47	37.71
极性分量	27.98	14.52	12.11	7.02
非极性分量	15.29	30.91	30.36	30.69

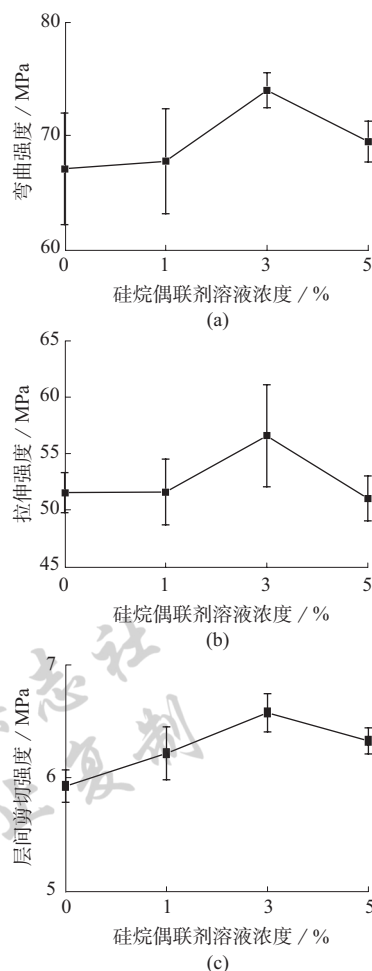
另外,可以看出,随着硅烷偶联剂溶液浓度增加,竹纤维的非极性分量基本没有发生变化,而纤维的极性分量随着偶联剂溶液浓度升高呈明显下降的趋势,在 5% 处达到最低。这说明硅烷偶联剂的作用主要是降低竹纤维的极性,从而使竹纤维的表面能随着硅烷偶联剂溶液浓度的增加而降低。

2.5 偶联剂处理对竹纤维增强 PP 复合材料力学性能的影响

图 4 反映了在 NaOH 溶液浓度为 5% 的碱处理基础上,采用不同浓度的硅烷偶联剂溶液处理竹纤维后,复合材料弯曲强度、拉伸强度和层间剪切强度的变化。

由图 4 可以看出,在偶联剂溶液浓度为 3% 时,复合材料的力学性能最优。这是因为偶联剂处理仅降低竹纤维的极性,而对竹纤维强度几乎无影响,影响复合材料力学性能的主要原因是竹纤维与 PP 之间的界面结合。由图 4c 可以看出当偶联剂溶液浓度为 3% 时,复合材料层间剪切强度最高,说明此时竹纤维与 PP 之间的界面结合也最好,所以在偶联剂溶液浓度为 3% 时,复合材料拉伸及弯曲强度达到最大值,分别为 56.57 MPa 和 73.99 MPa。

另外,从表 2 可以看出,当硅烷偶联剂溶液浓度为 1% 时,竹纤维的表面能最大,但此时复合材料的层间剪切强度并不突出,这表明此时竹纤维与 PP 的



a—拉伸强度; b—弯曲强度; c—层间剪切强度

图 4 硅烷偶联剂溶液浓度对复合材料力学性能的影响

界面结合并不是最好。由此可以看出竹纤维经硅烷偶联剂处理后的表面能与复合材料最终的力学性能并没有对应的关系。目前关于复合材料界面存在多种理论,各种理论都有一些现象作为理论依据,但没有一种理论能够解释所有的界面现象。几种界面理论都有其局限性,现实中复合材料的界面往往是多种界面理论的综合作用的反应^[13]。

3 结论

(1) 随着 NaOH 溶液浓度的增加,碱处理后竹纤维的表面能上升,竹纤维的拉伸强度降低;在碱处理的基础上进行偶联剂处理可大幅提高竹纤维的非极性分量,随着硅烷偶联剂溶液浓度的增加,竹纤维的表面能和极性分量降低,非极性分量基本不变。

(2) 采用碱处理竹纤维时,竹纤维增强 PP 复合材料的力学性能受竹纤维表面能和本身强度的综合影响。当 NaOH 溶液浓度为 5% 时,改性的竹纤维增强 PP 复合材料综合力学性能最优。

(3) 在 NaOH 溶液浓度为 5% 的碱处理基础上

采用偶联剂处理竹纤维时,竹纤维的表面能与复合材料力学性能没有对应关系。当硅烷偶联剂溶液浓度为 3% 时,改性的竹纤维增强 PP 复合材料力学性能最优。

参考文献

- [1] 李新功,郑霞,吴义强. 竹纤维聚乳酸复合材料界面调控[J]. 复合材料学报,2012,29(4):94-98.
Li Xingong, Zheng Xia, Wu Yiqiang. Interface control of bamboo fibers / polylactic acid composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica,2012,29(4):94-98.
- [2] 任兵杰,陈宇翔,方红霞,等. 马来酸酐接枝改性竹纤维及其增强复合材料的性能[J]. 工程塑料应用,2011,39(5):16-19.
Ren Bingjie, Chen Yuxiang, Fang Hongxia, et al. Grafting modification of bamboo cellulose fibre and its composite properties[J]. Engineering Plastics Application,2011,39(5):16-19.
- [3] 张燕,李守海,黄坤,等. 可降解聚乳酸 / 天然植物纤维复合材料的研究进展[J]. 工程塑料应用,2012,40(5):102-106.
Zhang Yan, Li Shouhai, Huang Kun, et al. Research development of polylactic acid / natural vegetable fiber blend composites[J]. Engineering Plastics Application,2012,40(5):102-106.
- [4] Sreekala M S, Thomas S. Effect of fibre surface modification on water-sorption characteristics of oil palm fibres[J]. Composites Science and Technology,2003,63(6):861-869.
- [5] 王娟,李敏,王绍凯,等. 剑麻纤维表面特性及其浸润行为[J]. 复合材料学报,2012,29(4):69-74.
Wang Juan, Li Min, Wang Shaokai, et al. Surface properties and the wetting behavior of sisal fibers[J]. Acta Materiae Compositae Sinica,2012,29(4):69-74.
- [6] Dhakal H N, Zhang Z Y, Bennett N. Influence of fibre treatment and glass fibre hybridisation on thermal degradation and surface energy characteristics of hemp / unsaturated polyester composites[J]. Composites Part B:Engineering,2012,43(7):2757-2761.
- [7] Tran L Q N, Fuentes C A, Dupont-Gillain C, et al. Wetting analysis and surface characterisation of coir fibres used as reinforcement for composites[J]. Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects,2011,377(1-3):251-260.
- [8] Bledzki A K, Mamun A A, Volk J. Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites:The effect of fibre physical, chemical and surface properties[J]. Compos Sci Technol,2010,70(5):840-846.
- [9] Asumani O M L, Reid R G, Paskaramoorthy R. The effects of alkali-silane treatment on the tensile and flexural properties of short fibre non-woven kenaf reinforced polypropylene composites[J]. Composites:Part A,2012,40:1431-1440.
- [10] 刘丽,张翔,黄玉东,等. 超声作用对芳纶纤维表面性质的影响[J]. 复合材料学报,2003,20(2):35-40.
Liu Li, Zhang Xiang, Huang Yudong, et al. Effect of ultrasonic treatment on surface characteristics of aramid[J]. Acta Materiae Compositae Sinica,2003,20(2):35-40.
- [11] Fuentes C A, Tran L Q N, Van Hellefont M, et al. Effect of physical adhesion on mechanical behaviour of bamboo fiber reinforced thermoplastic composites[J]. Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects,2013,418(5):7-15.
- [12] 王晓洁,梁国正,张炜. 湿热老化对高性能复合材料性能的影响[J]. 固体火箭技术,2006,29(3):301-304.
Wang Xiaojie, Liang Guozheng, Zhang Wei. Effects of hydrothermal aging on properties of high-performance composites[J]. Journal of Solid Rocket Technology,2006,29(3):301-304.
- [13] 陶强. 棕榈纤维表面改性及其增强聚丙烯基复合材料的界面性能研究[D]. 上海:东华大学,2013.
Tao Qiang. Modifications on palm fiber and research on interface properties of modified palm fiber reinforced polypropylene composites[D]. Shanghai:Donghua University,2013.

优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000 ~ 2014 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了 15 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2004 ~ 2014 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价 350 元 / 套。

2. 2000 ~ 2014 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价 300 元 / 盘。本光盘除收录 2000 ~ 2014 年 15 本《论文集》的全部内容外,还包括约 2900 人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款单位:山东济南市田庄东路 3 号杂志社

邮 编:250031

电 话:(0531)85878223 85878057 85878278

传 真:(0531)85947355

银行汇款

户 名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐 号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>