

竹材与高密度聚乙烯界面相容性的研究^{*}

龙大军

(广西生态工程职业技术学院, 广西柳州 545004)

摘要:以竹片、竹粉、竹纤维和高密度聚乙烯(PE-HD)为研究对象,采用液体石蜡油、质量分数为5%的H₂O₂、甲基丙烯酸甲酯、质量分数为5%的NaOH水溶液、质量分数为5%的邻苯二甲酸酐乙醇溶液、热处理等方式对其进行预处理,通过对不同处理方法所得试样的平面拉伸强度和胶合强度的考察分析,发现具有合适比表面积的竹纤维与PE-HD具有更好的界面相容性,并且经过预处理后竹纤维与PE-HD的相容性改善效果更加明显。另外,质量分数为5%的H₂O₂和质量分数为5%的邻苯二甲酸酐乙醇溶液,对竹材与PE-HD的界面相容性改善效果更明显。

关键词:竹材;高密度聚乙烯;界面相容性;平面拉伸强度;胶合强度

中图分类号: TB 33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)05-0099-04

Research on Interface Compatibility Between the Bamboo and High Density Polyethylene

Long Dajun

(Guangxi Eco-Engineering Vocational and Technical College, Liuzhou 545004, China)

Abstract : Attaches more importance to the bamboo materials and high density polyethylene (PE-HD), after treated by saxoline, aqueous solution of H₂O₂ (5wt%), methyl methacrylate, aqueous solution of NaOH (5wt%), ethanol solution of phthalic anhydride (5wt%), and heating treatment, the plane tensile strength and bond strength of these obtained composite materials samples of bamboo materials and PE-HD were measured and employed to evaluate the interfacial compatibility between bamboo materials and PE-HD. Bamboo fibers shows best interfacial compatibility and most obvious modification due to their suitable specific surface area. Moreover, the samples contain bamboo materials treated by aqueous solution of H₂O₂ (5wt%) and ethanol solution of phthalic anhydride (5wt%) exhibit more obvious modification effects on the interfacial compatibility.

Keywords : bamboo ; high density polyethylene ; interface compatibility ; plane tensile strength ; bond strength

随着木材供需矛盾的日益突出,寻找新的木材代用资源,研究和推广应用新技术,已是当今木材生产和加工业的重要课题。我国是一个木材资源相对匮乏竹材资源十分丰富的国家^[1-2]。聚乙烯是目前世界通用的聚合物之一,广泛应用于国民经济建设的各个领域,但也因此产生了大量的白色垃圾,给环境保护带来了极大的压力。竹材与聚乙烯复合材料因可充分利用我国相对丰富的竹材资源,解决因聚乙烯塑料制品在国民经济中的广泛使用而产生的环境压力受到广泛关注^[3-5]。

竹材是天然生长的有机体,属于非均质和各向异性材料,主要由纤维素、半纤维素和木素组成,并含有少量的蛋白质、脂肪、果胶、单宁等物质。聚乙烯是由乙烯单体在高、中、低压条件下直接聚合得到的聚合物,分子通式为[CH₂—CH₂],是线形或略带有支链的高分子化合物,分子链柔顺,无极性,分子间作用较小,但它的大分子链上缺乏极性基因,因此它与大多数共混填充材料的界面亲和力弱,相容

性差,致使填充共混体系性能低。竹材与聚乙烯复合材料是由性能差异很大的竹材、聚乙烯的两相体系复合而成,两相体系良好的相容性,是其获得良好性能的一个重要前提^[6-8]。对于两相体系,人们总是希望其共混组分之间具有尽可能好的相容性,然而,在实际应用中,许多聚合物的相容性却并不理想。于是,需要采取一些措施来改善聚合物对之间的相容性。界面胶合强度与相容性有关,相容性越好,界面胶合强度越大^[9-10]。

笔者通过采用液体石蜡油、质量分数为5%的H₂O₂、甲基丙烯酸甲酯、质量分数为5%的NaOH水溶液、质量分数为5%的邻苯二甲酸酐乙醇溶液、热处理等方式对竹片、竹粉和竹纤维进行处理后,再与

^{*} 2015年广西柳州市科学研究与技术开发计划课题项目(2015E010501)

联系人:龙大军,硕士,讲师,研究方向是木材/竹材加工、家具设计与制造

收稿日期:2016-02-29

一定量粉末状的高密度聚乙烯(PE-HD)进行组坯热压制成试件,通过对试件平面拉伸强度和胶合强度等力学性能的检测来分析竹材与PE-HD的界面相容性,并与未经处理的对比试样进行对比分析,探讨提高竹材与PE-HD界面相容性的有效方法。

1 实验部分

1.1 原材料

竹片:尺寸为50 mm×40 mm,含水率为6%的三年生毛竹竹片,自制;

竹粉:灰分为2%,含水率为6%,粒径为74 μm,上海迺晟建筑材料科技有限公司;

竹纤维:含水率为6%,长径比为2000,上海迺晟建筑材料科技有限公司;

PE-HD:5000S,北京燕化石油化工股份有限公司化工一厂;

液体石蜡油:汕头市光华化学厂;

甲基丙烯酸甲酯:五联化工厂;

邻苯二甲酸酐:天津市化学试剂一厂;

95%纯度乙醇试剂:汕头市光华化学厂。

1.2 仪器及设备

单层热压机:QD型,上海人造板机械厂;

电热鼓风干燥箱:CS1013型,重庆试验设备厂;

木材万能试验机:MWD-50型,济南中仪仪器有限公司。

1.3 试样制备

(1) 竹片的预处理。

竹片分别采用以下6种方式进行预处理:将试样放在单层热压机中,利用压机自重(在 $(220 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件,热处理30 min;用毛刷将液体石蜡油涂刷在竹片表面;用毛刷将质量分数为5%的 H_2O_2 水溶液涂刷在竹片表面;用毛刷将甲基丙烯酸甲酯涂刷在竹片表面;用毛刷将质量分数为5%的NaOH水溶液涂刷在竹片表面;用毛刷将质量分数为5%的邻苯二甲酸酐乙醇溶液涂刷在竹片表面。

(2) 竹粉和竹纤维的预处理。

竹粉和竹纤维分别采用以下6种方式进行预处理:将竹粉或竹纤维放在单层热压机,利用热压机自重(在 $(220 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件,热处理30 min;将竹粉或竹纤维浸泡在液体石蜡中30 min,然后粉碎至40 μm;将竹粉或竹纤维浸泡在质量分数为5%的 H_2O_2 水溶液中30 min,然后粉碎至40 μm;将竹粉或竹纤维浸泡在甲基丙烯酸甲酯中30 min,然后粉碎至40 μm;将竹粉或竹纤维浸泡在质量

分数为5%的NaOH水溶液中30 min,然后粉碎至40 μm;将竹粉或竹纤维浸泡在质量分数为5%的邻苯二甲酸酐乙醇溶液中30 min,然后粉碎至40 μm。

(3) 注塑复合材料的制备。

相同方式处理后,利用电热鼓风干燥箱在 $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下干燥6 h,再在 $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下将处理好的竹片、竹粉和竹纤维干燥到含水率为5%~7%。直接按235~250 g/m²的PE-HD加入量对竹片进行组坯,将竹粉或竹纤维与PE-HD粉末以质量比为40/60的比例混合,再进行组坯。按热压温度160~180℃、热压压力3.30~3.50 MPa、热压时间10~13 min的工艺条件用单层热压机采用热进冷出工艺制备试样。待制成的试样含水率等各项指标趋于稳定,符合GB 9846.1-12-18胶合板标准测试要求后再进行试件的检测。

按照竹材处理方式不同将PE-HD/竹片复合材料分别标记为A1~A6列于表1,PE-HD/竹粉复合材料分别标记为B1~B6列于表2,PE-HD/竹纤维复合材料分别标记为C1~C6列于表3。

表1 PE-HD/竹片复合材料试样处理方法

试样编号	处理方法
对比试样	-
A1	热处理
A2	液体石蜡油
A3	甲基丙烯酸甲酯
A4	5%邻苯二甲酸酐乙醇溶液
A5	5%NaOH水溶液
A6	5% H_2O_2 水溶液

表2 PE-HD/竹粉复合材料试样处理方法

试样编号	处理方法
对比试样	-
B1	热处理
B2	液体石蜡油
B3	甲基丙烯酸甲酯
B4	5%邻苯二甲酸酐乙醇溶液
B5	5%NaOH水溶液
B6	5% H_2O_2 水溶液

表3 PE-HD/竹纤维复合材料试样处理方法

试样编号	处理方法
对比试样	-
C1	热处理
C2	液体石蜡油
C3	甲基丙烯酸甲酯
C4	5%邻苯二甲酸酐乙醇溶液
C5	5%NaOH水溶液
C6	5% H_2O_2 水溶液

1.4 性能测试

对各试样的平面拉伸强度按GB/T 4897-1992

测试;

胶合强度按照 GB 9846.12-1988 测试。

2 结果与分析

2.1 PE-HD/竹片复合材料试样的界面相容性

表 4 示出了 PE-HD/竹片复合材料试样平面拉伸强度和胶合强度。参照竹片碎料刨花板及厚度为 15 mm 竹片胶合板的性能特点,从表 4 可以看出,测试的所有试样的平面拉伸强度、胶合强度均符合要求。与对照试样(竹材表面未经处理的)相比,其中竹片经过质量分数为 5% 的 H_2O_2 水溶液和质量分数为 5% 的邻苯二甲酸酐乙醇溶液处理(A6 与 A4)的试样在其拉伸强度和胶合强度方面提高最为明显,拉伸强度分别提高了 40.0% 和 33.8%,胶合强度分别提高了 47.8% 和 54.1%,用质量分数为 5% 的 H_2O_2 水溶液对竹片进行处理可以更大程度上提高试样的拉伸强度,而用质量分数为 5% 的邻苯二甲酸酐乙醇溶液处理则可以在较大程度上提高试样的胶合强度。其它经处理过的 4 组试样与对照试样(竹材表面未经处理的)相比较,除个别特殊情况外在平面拉伸强度及胶合强度等性能上也都有一定幅度的提高,但与 A4 和 A6 试样相比提高幅度相差较为显著。平面拉伸强度的提高幅度为 7.5%~23.8%,而胶合强度则为 0.8%~18.3%。由以上数据可知,竹材表面经液体石蜡油、甲基丙烯酸甲酯、5% 邻苯二甲酸酐乙醇溶液、5%NaOH 水溶液、5% H_2O_2 水溶液及热处理后均有利于竹材与 PE-HD 界面相容性的提高,其中以采用 5% 邻苯二甲酸酐乙醇溶液和 5% H_2O_2 水溶液处理的效果最好。

表 4 PE-HD/竹片复合材料试样平面拉伸强度和胶合强度

试样编号	平面拉伸强度 / MPa	胶合强度 / MPa
对比试样	0.80	3.66
A1	0.79	3.70
A2	0.86	3.75
A3	0.99	4.33
A4	1.07	5.64
A5	0.90	3.85
A6	1.12	5.41

纵观各方面的因素,使得竹材与 PE-HD 界面相容性得以提高的原因主要有:(1)天然高分子的纤维材料竹材表面极性与 PE-HD 表面非极性有较大的差别,易造成两者的相容性差。而对竹材表面进行液体石蜡油、甲基丙烯酸甲酯、5% 邻苯二甲酸酐乙醇溶液、5%NaOH 水溶液 H_2O_2 及热处理后,都不同程度地降低竹材表面能并在热压过程中与 PE-HD 发生化学反应而提高 PE-HD 的极性,缩小

了竹材与 PE 表面极性差距,使得竹材与 PE-HD 的极性相似,提高两者的相容性。(2)通过处理,使界面的酸碱匹配,使竹材与 PE-HD 接触体系界面的电子斥引作用相匹配,提高了两者的界面相容性。(3)通过处理,为界面形成化学键力提供了可能与条件。如:对竹材表面采用强氧化剂 H_2O_2 处理,一方面使竹材表面的纤维素在氧化剂的作用后,羧基氧化成醛基、酮基形成氧化纤维素;另一方面也使其在与 PE-HD 接触后,对 PE-HD 进行氧化,在材料表面导入羧基、羰基等极性基团,使被氧化后的 PE-HD 能够与竹材表面的极性基团发生化学交联,形成化学键力,从而提高了竹材与 PE-HD 界面的相容性。

2.2 PE-HD/竹粉复合材料试样的界面相容性

表 5 为 PE-HD/竹粉复合材料试样平面拉伸强度和胶合强度。由表 5 可见,与 PE-HD/竹片复合材料试样相比,无论是对比试样,还是经过处理的试样,PE-HD/竹粉复合材料试样的拉伸强度和胶合强度都有不同程度的提高,这是由于竹粉在 PE-HD 本体中的分散度要优于竹片,尤其是经过处理后的竹粉可以较好地与 PE 粉末相容,从而提高了试样的拉伸强度和胶合强度。这也从侧面说明了相对于竹片来说,竹粉与 PE-HD 的界面相容性更好。另外,不同处理方法对 PE-HD/竹粉复合材料试样的拉伸强度和胶合强度的影响趋势与 PE-HD/竹材复合材料试样是一致的。与对比试样(竹材表面未经处理的)相比,A6 组处理后的竹塑复合材料试样的拉伸强度提高了 24.4%~76.8%,胶合强度提高了 1.9%~55.7%。经处理后的试样 B1~B6 的拉伸强度和胶合强度提高幅度均要高于试样 A1~A6,可能是由于竹粉的比表面积要大于竹片,所以经过处理后的竹粉与 PE-HD 的相容性改善程度要优于竹片。

表 5 PE-HD/竹粉复合材料试样平面拉伸强度和胶合强度

试样编号	平面拉伸强度 / MPa	胶合强度 / MPa
对比试样	0.82	3.68
B1	1.02	3.75
B2	1.11	3.81
B3	1.28	4.40
B4	1.35	5.73
B5	1.16	3.91
B6	1.45	5.49

2.3 PE-HD/竹纤维复合材料试样的界面相容性

为了便于操作,笔者先对颗粒较大的竹粉进行表面处理,然后再粉碎至指定微米数,这就造成了粉

碎后的竹粉中存在一定的未经处理的表面,并且颗粒状的竹材比表面积一般较大,因而竹粉在 PE 本体中可能会发生团聚而造成试样性能下降。竹纤维的比表面积较竹粉小,但又远远高于竹片,并且纤维状的竹材本身具有十分优异的力学性能,所以将竹纤维和 PE 进行复合,并对其拉伸强度和胶合强度进行了测定,用以评定竹纤维和 PE 的界面相容性。

表 6 列出 PE-HD/竹纤维复合材料试样的平面拉伸强度和胶合强度。由表 6 看出,该试样的平面拉伸强度和胶合强度都要高于前两类竹塑复合材料试样,造成这种现象的原因可能是竹纤维本身优异的力学性能或竹纤维和聚乙烯较好的界面相容性。与未经处理的 PE-HD/竹片复合材料试样相比,未经处理的 PE-HD/竹纤维复合材料试样的拉伸强度和胶合强度分别提高了 3.7% 和 1.1%,而经过 5% H_2O_2 水溶液处理的试样 C6 与试样 A6 相比,平面拉伸强度提高了 35.7%,经过 5% 邻苯二甲酸酐乙醇溶液处理的试样 C3 与试样 A3 相比,胶合强度提高了 5.0%,这说明竹纤维较为合适的比表面积,经处理后能够更好地与 PE-HD 相容,进而提高了 PE-HD/竹纤维复合材料试样的拉伸性能和胶合性能,并不完全是由于竹纤维本身力学性能造成的。另外,与对照组试样相比,经过处理的 PE-HD/竹纤维复合材料试样 C1~C6 的平面拉伸强度提高了约 25.9%~78.8%,胶合强度提高了 4.9%~60.0%,这也反映出竹纤维与 PE-HD 的界面相容性要高于前两种竹材。

表 6 PE-HD/竹纤维复合材料试样平面拉伸强度和胶合强度

试样编号	平面拉伸强度 /MPa	胶合强度 /MPa
对比试样	0.85	3.70
C1	1.07	3.88
C2	1.16	3.94
C3	1.34	4.55
C4	1.45	5.92
C5	1.22	4.04
C6	1.52	5.68

虽然竹材经液体石蜡油、甲基丙烯酸甲酯、5% 邻苯二甲酸酐乙醇溶液,5%NaOH 水溶液、 H_2O_2 及热处理后,有利于竹材与 PE 界面相容性的提高,但提高的幅度并不是很大,分析主要由以下原因所造成:①由于实验条件所限,造成处理达不到预期效果,如竹材表面的热处理要求在无氧的条件下进行的,但由于实验条件的限制,本研究是在有氧的条件下进行的,在进行热处理的过程中,竹材表面在高温条件下与空气中的氧发生了一定的化学反应。②对

竹材表面进行单一的处理,很容易出现得此失彼的现象。如对竹材表面用液体石蜡油进行处理,封闭了竹材表面的极性官能团、降低了竹材表面的极性,但却不利于在热压过程中在界面上形成化学键。所以在生产中,建议采用综合处理法,并严格保证生产条件。

3 结论

(1) 经过处理后,竹片、竹粉、竹纤维 3 种竹材和 PE-HD 的界面相容性都得到不同程度的改善,经组坯热压所制备的试样的拉伸强度和胶合强度都得到提高。

(2) 由于竹纤维的比表面积要远高于竹片,经处理后竹纤维与 PE-HD 的界面相容性改善更为显著;竹粉与 PE-HD 的界面相容性也优于竹片,但较竹纤维差,这可能是由于竹粉在 PE-HD 本体中会发生一定程度的团聚造成的。

参考文献

- [1] 高洪一,刘艳丰.竹材力学性能研究[J].中国农机化学报,2015,36(6):139-142.
Gao Hongyi, Liu Yanfeng. Study on the mechanical properties of bamboo and its application in the car[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(6):139-142.
- [2] 张卫东,陈庭合,孙晓东.竹材利用研究现状及发展趋势[J].湖南林业科技,2010,37(5):53-54.
Zhang Weidong, Chen Tinghe, Sun Xiaodong. Status and tendency of bamboo utilization[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2010, 37(5):53-54.
- [3] 葛正浩,元庆凯,田普建,等.竹粉目数对竹塑复合材料性能的影响[J].塑料科技,2011,39(3):39-42.
Ge Zhenghao, Yuan Qingkai, Tian Pujian, et al. Effect of mesh number of bamboo powder on properties of bamboo-plastic composite[J]. Plastics Science And Technology, 2011, 39(3):39-42.
- [4] 李嘉俊.聚丙烯竹塑复合材料的研究[D].上海:华东理工大学,2009.
Li Jiajun. Study on bamboo plastic composite material of polypropylene[D]. Shanghai:East China University of Science and Technology, 2009.
- [5] 李大纲,闫微丽,何强,等.竹纤维高密度聚乙烯(HDPE)混熔生产竹塑复合材料的研究[J].世界竹藤通讯,2010,8(3):20-23.
Li Dagang, Yan Weili, He Qiang, et al. A study of producing bamboo-plastic composites with bamboo fibers / HDPE[J]. World Bamboo and Rattan, 2010, 8(3):20-23.
- [6] 周发青.热处理竹材/聚乙烯复合材料的制备与性能研究[D].福州:福建师范大学,2009.
Zhou Faqing. Study on preparation and properties of heat-treated

(下转第 137 页)

- [15] Kabir M M, et al. Composites Part B:Engineering, 2012, 43(7):2883-2892.
- [16] Mohanty A K, et al. Composite Interfaces, 2001, 8(5):313-343.
- [17] Li Xue, et al. Journal of Polymers and the Environment, 2007, 15(1):25-33.
- [18] 张菲菲,等. 硅酸盐通报, 2012, 31(3):595-598.
Zhang Feifei, et al. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2012, 31(3):595-598.
- [19] 张梓军,等. 材料导报, 2012, 26(6):144-148.
Zhang Zijun, et al. Materials Review, 2012, 26(6):144-148.
- [20] Peng Qingyu, et al. Composites Science and Technology, 2013, 74:37-42.
- [21] Ma Lichun, et al. Applied Surface Science, 2014, 296:61-68.
- [22] Fujiki K, et al. Composite Interfaces, 1999, 6(3):215-226.
- [23] Yang Qiang, et al. Cellulose, 2011, 18(6):1611-1621.
- [24] 陆绍荣. 一种超支化聚酯接枝改性剑麻纤维素微晶的制备方法: 中国, 103951830[P]. 2014-07-30.
Lu Shaorong. Preparation method of a kind of hyperbranched polyester modified sisal microcrystalline cellulose: CN, 103951830[P]. 2014-07-30.
- [25] 赵兵,等. 印染助剂, 2011, 28(5):12-14.
Zhao Bing, et al. Textile Auxiliaries, 2011, 28(5):12-14.
- [26] 赵兵,等. 毛纺科技, 2010, 38(11):51-54.
Zhao Bing, et al. Wool Textile Journal, 2010, 38(11):51-54.
- [27] Hassan M L. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 101(3):2079-2087.
- [28] Xiao Xian'e, et al. RSC Advances, 2014, 29(4):14928-14935.
- [29] 陆绍荣. 一种超支化联苯液晶接枝剑麻微晶的制备方法及其应用: 中国, 104910347[P]. 2015-09-16.
Lu Shaorong. A kind of hyperbranched polyphenylenes liquid crystal modified sisal microcrystalline cellulose, the preparation method and its application: CN, 104910347[P]. 2015-09-16.
- [30] Lu Shaorong, et al. Plastics, Rubber and Composites, 2013, 42(9):361-366.
- [31] Wong S, et al. Macromolecular Materials and Engineering, 2004, 289(5):447-456.
- [32] Moshiri A A, et al. Composites Part A:Applied Science and Manufacturing, 2012, 43:1921-1929.
- [33] Mohanty A K, et al. Hyperbranched polymer modified biopolymers, their biobased materials and process for the preparation thereof: US, 2006 / 0247387 A1[P]. 2006-11-02.
- [34] Zhou X, et al. Journal of Polymer Research, 2013, 20(10):267-280.

中原石化首创聚乙烯块料全部回收

中原石化聚乙烯装置成功投用块料粉碎机,实现块料产品全部回收,每年增加效益近100万元,这在全国聚乙烯装置中尚属首家。

聚乙烯车间通过货币化计算发现,每班从两条造粒线振动筛收集的约50 kg块料产品,虽然无污染但只能作为落地料廉价出售,造成了效益流失。车间积极寻求最佳块料回收方案,新增一台破碎机,将聚乙烯块料粉碎后经振动筛加入造粒机组,回收利用变成合格粒料产品。

通过这一措施,每年可回收36 t聚乙烯块料产品,减少了物料消耗,同时彻底地解决了造粒机周围的地上积存有大量的落地料的安全隐患,生产现场更加整洁有序。

(工程塑料网)

扬子石化聚丙烯新品填补国产料空白

扬子石化塑料厂与北京化工研究院合作开发的高熔体流动速率(MFR)、高抗冲、高模量聚丙烯汽车专用料,已完成工业化生产,产品各项主要指标与国外同类产品相当,具备了替代进口料的潜力,填补国产产品的空白。扬子石化成功开发了系列汽车专用料产品。此次扬子石化用北京化工研究院的中试研究成果,开始在塑料工业大装置进行高MFR、高抗冲和高模量牌号PPB-MM60-VH的完善生产,并通过对聚合的乙烯含量控制、聚合釜MFR调整、助剂配方优化和精确控制反应条件等方式,确保首批工业产品质量稳定。在国内市场,目前该类产品需求在20万t左右,此前一直靠国外进口产品满足。扬子石化成功开发该产品,形成了替代进口的潜力。

(工程塑料网)

(上接第102页)

- bamboo / polyethylene composites[D]. Fuzhou:Fujian Normal University, 2009.
- [7] 曾春霞. 竹粉/LDPE复合材料的优化及性能研究[D]. 福州:福建农林大学, 2012.
Zeng Chunxia. Optimization and performance of bamboo powder composites / LDPE[D]. Fuzhou:Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [8] 赵方. 竹塑复合材料制造关键技术研究[D]. 北京:北京林业大学, 2012.
Zhao Fang. Research on key technology of bamboo plastic

- composite materials[D]. Beijing:Beijing Forestry University, 2012.
- [9] 周蔚虹,杨宝,喻云水,等. 竹材碎料表面处理对竹塑复合材料性能影响的研究[J]. 林产工业, 2011, 38(1):28-31.
Zhou Weihong, Yang Bao, Yu Yunshui, et al. Effect of bamboo particle surface modification on properties of bamboo-plastic composites[J]. China Forest Products Industry, 2011, 38(1):28-31.
- [10] 雍成. 毛竹层积材胶合界面相的多尺度表征[D]. 南京:南京林业大学, 2013.
Yong Cheng. Multiscale characterization of Mao bamboo laminated material bonding interface[D]. Nanjing:Nanjing Forestry University, 2013.