

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.04.004

光稳定剂复配对核壳 WPC 抗紫外老化性能的影响^{*}

徐兵¹,梅长彤^{1,2,3},刘朝政¹,刘波¹,王珂¹

(1. 南京林业大学材料科学与工程学院,南京 210037; 2. 江苏省速生木材与农作物秸秆材料工程研究中心,南京 210037;

3. 江苏省林业资源高效利用协同创新中心,南京 210037)

摘要:为探索经济、环保且效果更好的木塑复合材料(WPC)表面耐老化处理方法,采用共挤技术,以不同复配方式将纳米白炭黑、HALS-L944及UV327添加于核壳型WPC壳层。对试样进行紫外光加速老化试验,并对其弯曲性能、表面颜色及化学成分结构进行了测试表征与方差分析。研究结果表明,当壳层加入1%纳米白炭黑与1%UV327复配时效果最好,紫外老化2500h后,较之空白样,WPC的弯曲强度保留率提高了14.7%,弹性模量保留率提高了17.4%,保护效果最好,具有一定的协同作用;表面颜色变化较为缓慢,色差下降了44.9%,优于单独添加光稳定剂效果;O/C值增长幅度为9.1%,氧化的碳/未氧化的碳比值增加了11.8%,表面氧化程度最低。说明纳米白炭黑与UV327具有一定的协同作用,能够更好地提高核壳WPC的抗紫外老化性能,降低其光氧化降解程度。

关键词:核壳型木塑复合材料;纳米白炭黑;紫外光老化;力学性能;表面颜色

中图分类号:TB332 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2017)04-0017-07

Ultraviolet Weathering Properties of Core-Shell Wood Plastic Composite with Mixed Light Stabilizer

Xu Bing¹, Mei Changtong^{1,2,3}, Liu Chaozheng¹, Liu Bo¹, Wang Ke¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Research Center for Fast-growing Tress and Agri-fiber Materials of Jiangsu Province, Nanjing 210037, China;

3. Collaborative Innovation Center for Efficient Utilization of Forestry Resources of Jiangsu Province, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to explore environmental protection, economy and better surface aging treatment method of wood plastic composite (WPC), the core-shell structure WPC materials with nano white carbon black, HALS-L944 and / or UV327 filled shells in different ways were prepared with co-extrusion method. Specimens of the WPC were subjected to accelerated ultraviolet aging test, the mechanical flexural property, surface color and chemical composition were tested and analyzed before and after UV exposure. Research results show that when adding 1% nano white carbon black and 1% UV327 in the shell of core-shell WPC, the protective effect is the best and has a certain synergy, after 2500 h UV exposure, the retention rate of flexural strength and flexural modulus increase by 14.7% and 17.4% respectively compared with those of the blank sample; surface color change is slow than the blank sample, ΔE values decrease by 44.9%, better than the sample which added the light stabilizer alone; the O/C value increases by 9.1% and the C_{ox}/C_{unox} value increases by 11.8%, the degree of oxidation is the lowest. The results indicate that nano white carbon black and UV327 has a synergistic effect, can improve the anti ultraviolet aging properties of core-shell WPC better and reduce the degree of degradation.

Keywords: core-shell WPC; nano white carbon black; UV aging; mechanical property; surface color

木塑复合材料(WPC)在户外应用过程中,耐候性是衡量其制品性能优劣的重要标志之一。目前已有大量关于传统均一结构WPC的制备及耐老化性能方面的研究显示,苯丙三嗪类紫外线吸收剂UV327与高分子量受阻胺光稳定剂HALS-L994对WPC抗紫外老化效果较好^[1-4]。白炭黑作为一种无机纳米级材料,来源广泛、价格低廉,相比较于常用的有机光稳定剂类,更具有减少环境污染和降低成本的突出表现,因而在很多领域得到广泛应用^[5-7]。

纳米白炭黑分子式为 $\text{SiO}_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$,为无定型非晶体三维结构,具有粒径小、比表面积大及表面活性高、易形成高结构聚集体等特性,不仅可用于塑料的补强,还表现出一些特殊的光学性能,具有紫外吸收

^{*} 国家948项目(2014-4-49),江苏省优势学科二期建设项目(PAPD),江苏省林业资源高效利用协同创新中心项目

联系人:梅长彤,教授,主要从事木质复合材料、木塑复合材料、生物质复合材料等的研究与开发

收稿日期:2017-01-13

与红外反射的功能,通过不同方法制得的聚合物/纳米白炭黑复合材料可获得优异的耐老化性能^[8-9]。通常 WPC 的户外老化主要发生在材料表面,传统 WPC 在整体材料中添加相关助剂无疑会导致生产成本增加与内部相容及界面结合差的问题,使材料力学性能下降^[10]。而共挤技术则能够生产出内外层具有不同性质的多层结构 WPC,对其壳层材料进行改性与功能化设计,则可避免传统 WPC 整体中添加助剂造成的高成本、低界面与不相容性而导致力学性能下降的问题^[11-12]。所以运用共挤技术制备核壳型 WPC,并在其壳层添加以上不同光稳定剂,将会是一种更加经济有效、环保型的 WPC 表面耐老化处理方法。

由于各类光稳定剂的结构及作用机理较为复杂,无法确定 UV327 及 HALS-L994 与纳米白炭黑复配使用是否具有更好的协同效应或更差的拮抗作用。目前国内外利用共挤技术制备抗紫外老化性能的核壳 WPC 的研究甚少,关于纳米白炭黑应用于共挤 WPC 的抗紫外老化研究几乎没有,对于纳米白炭黑与常用有机光稳定剂运用于核壳型 WPC 协效作用的探究则更是甚少。为此,笔者以壳层光稳定剂添加总量相同,探究纳米白炭黑与 UV327 及 HALS-L994 不同复配的联合使用对核壳型 WPC 抗紫外老化性能的影响,对其弯曲性能、颜色变化及表面化学成分结构变化进行了测试表征,分析探究了其复配使用的协效情况。

1 实验部分

1.1 原材料

杨木粉: 60~80 目,徐州普诚木业有限公司;

高密度聚乙烯 (PE-HD): 5000S,熔体流动速率为 0.95 g/10 min,密度为 0.95 g/cm³,扬子石化公司;

马来酸酐接枝改性聚乙烯 (PE-g-MAH): 扬子石化公司;

UV327: 东莞市琦凡塑胶原料有限公司;

HALS-L944: 东莞市琦凡塑胶原料有限公司;

纳米白炭黑: AEROSIL R972,广州市贤人汇国际贸易有限公司;

聚乙烯蜡、滑石粉: 市售。

1.2 主要仪器与设备

高速混合机: SHR-10A 型,张家港华明机械有限公司;

锥形双螺杆挤出机: SJZ45/100 型,苏州金纬

机械制造有限公司;

单螺杆挤出机: JWS35/25 型,苏州金纬机械制造有限公司;

荧光紫外加速老化箱: 自制;

微机控制电子万能试验机: CMT6104 型,深圳市新三思材料检测公司;

便携式球形分光光度计: SP60 型,深圳市天友利标准光源有限公司;

X 射线光电子能谱仪 (XPS): AXIS UltraDLD, 英国岛津公司。

1.3 试样制备

①混料。将杨木粉放入烘箱干燥至含水率为 1% 左右备用。按照 6:4 的木塑比将杨木粉与 PE-HD 并辅以少量 PE-g-MAH、滑石粉等助剂在高速混合机中混合 10 min 至均匀作为芯层用料。将 PE-HD 烘干磨成粉末与纳米白炭黑、UV327 及 HALS-L944 按表 1 配方并辅以一定比例的润滑剂放入高混机中混合 10 min 至均匀作为壳层用料。

②芯/壳层料造粒。将混合均匀的芯/壳层用料分别加入双螺杆挤出机中进行造粒,并将芯/壳层造好的颗粒装好备用。③复合挤出。将芯层木塑颗粒料放入芯层挤出机 (锥形双螺杆挤出机,主机转速 5 r/min,温度范围 150~180℃),壳层造好的颗粒置于壳层挤出机 (单螺杆挤出机,主机转速 8 r/min,温度范围 100~195℃),在共挤机头与模具作用下同时挤出,制备出壳层耐老化处理过的核壳型 WPC 制品。

表 1 壳层光稳定剂添加配方¹⁾

实验号	纳米白炭黑	UV327	L-944
1 [#]	0	0	0
2 [#]	2	0	0
3 [#]	0	2	0
4 [#]	0	0	2
5 [#]	1	1	0
6 [#]	1	0	1
7 [#]	1	0.5	0.5

注: 1) 光稳定剂添加量以壳层 PE-HD 总含量的百分比计算。

1.4 性能测试

按 ASTM G154-06 对 WPC 试样进行紫外光加速老化,使用 UV-A340 型荧光紫外灯,每 12 h 为 1 个老化循环,每个循环包括紫外光照射 8 h,凝露 4 h。光照阶段黑板温度为 (60±3)℃,凝露阶段不接受紫外光照,黑板温度为 (50±3)℃。每隔 500 h 取样一次进行性能测试,总历时 2 500 h。

①表面颜色测试。使用便携式球形分光光度

仪,按照 CIE 1976Lab 表色系统对老化前后的试件进行色差测量,波长范围为 360~700 nm,每个试件选测 5 个点,取平均值。试件表面颜色变化用式 (1) 表示^[13-14]。

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中: ΔE 为色差; ΔL 为明度变化值,正值表示变白,负值表示变黑; Δa 为红绿程度,正值表示变红,负值表示变绿; Δb 为黄蓝程度,正值表示变黄,负值表示变蓝。

②弯曲性能测试。按 GB/T 29418-2012 测试,试件尺寸为 120 mm×15 mm×8 mm,加载速度为 5 mm/min,室温条件,结果取 5 次平均值。

③XPS 分析。采用低分辨率在 0~1100 eV 的结合能范围对固体试样进行 XPS 扫描,确定样品随着氧碳原子比 (O/C) 变化后的表面元素的浓度,而高分辨率采用 45° 入射角在 280~300 eV 范围扫描 C1s 区域,进一步分析化学键中的氧碳原子变化。

2 实验结果与分析

2.1 光稳定剂复配对 WPC 弯曲性能的影响

(1) 弯曲性能。

图 1 是壳层添加不同光稳定剂 WPC 紫外老化后的弯曲性能变化情况。由图 1 可看出,WPC 的弯曲性能在长时间老化后均出现了明显的下降。1[#] 空白样在 500 h 后,弯曲性能已经急剧下降,2000 h

后趋于平缓下降;而 5[#],6[#],7[#] 三组复配的 WPC 试样在老化 1000~1500 h 后,弯曲性能才急剧下降,在 2000~2500 h 阶段稍有减缓。这说明 WPC 老化后弯曲性能损耗并不是呈线性的,而是阶段性的发生光氧降解导致力学损耗。老化 2500 h 后,6[#] 复配试样弯曲强度保留率较之空白组下降了 2.1%,弹性模量保留率下降了 2.2%;7[#] 复配弯曲强度保留率提高了 6.1%,弹性模量保留率提高了 8.8%;而 5[#] 复配的 WPC 弯曲强度保留率则提高了 14.7%,弹性模量保留率提高了 17.4%,这说明纳米白炭黑与紫外吸收剂 UV327 复配对老化后 WPC 弯曲性能的保护效果最好,能够增强 WPC 表面对紫外线的吸收或反射,将有害的紫外线转换为无害的热能放出,从而起到保护材料的作用。

老化 0~1000 h 阶段,三组复配试样弯曲性能均有很好的保留,下降速率较为缓慢一致。但在 1000~1500 h 后,6[#],7[#] 两组复配的 WPC 试样弯曲性能均发生了急剧下降,老化终期,6[#] 弯曲性能保留率接近于 1[#] 空白样,7[#] 复配效果与 2[#],3[#] 两组单独使用光稳定剂效果相差不大。说明纳米白炭黑与 HALS 复配效果不好,这可能是由于纳米白炭黑三维网络表面存在少许的酸性硅醇基 (—SiOH) 与其他自由羟基、连生羟基、双生羟基^[15-16] 等杂质,在老化阶段由于光热与水的交联作用可能产生酸性基团;另一方面,HALS 结构的哌啶环上存在 N—H 基团,一般都具有较高的碱性,两者容易发生化学反应,降低其光稳定性,不能很好地保护 WPC 的弯曲性能^[17-18],还有待进一步探究。

(2) 方差分析。

以光稳定剂实验配方为因素,分别以不同添加方式为水平与空白对照组数据用 SPSS 软件进行单因素方差分析,并根据显著性结果再分别以不同复配方式为水平与光稳定剂单独使用效果较好的样本数据进行单因素分析,判断各组样本是否具有显著性差异,结果见表 2 和表 3。

表 2 光稳定剂不同添加方式与空白对照组弯曲性能的组间方差分析¹⁾

实验号	样本数	偏差平方和	自由度	均方值	F	P
2 [#]	5	0.0195	1	0.0195	41.9609	0.0006
3 [#]	5	0.0248	1	0.0248	37.7169	0.0008
4 [#]	5	0.0016	1	0.0016	2.9785	0.1351
5 [#]	5	0.0467	1	0.04674	120.4390	0.0000
6 [#]	5	0.0009	1	0.0009	1.2886	0.2996
7 [#]	5	0.0105	1	0.0105	26.6925	0.0021

注:1) F 是组间均方与组内均方的比例, P 表示在相应 F 值下的概率值,即显著性水平,下同。

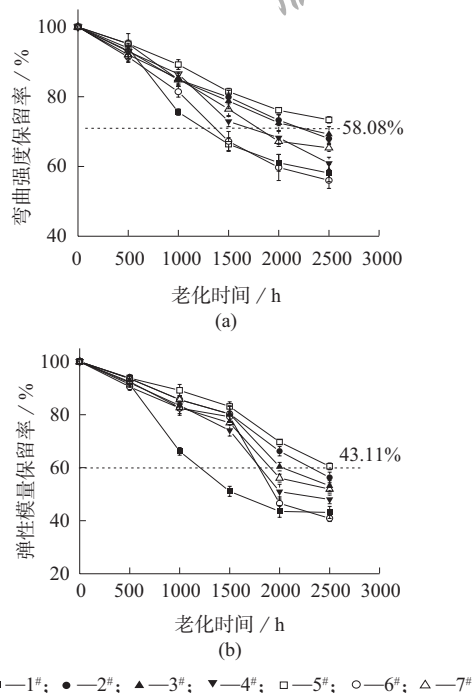


图 1 紫外加速老化 WPC 试样弯曲性能变化

表3 不同复配组与单独添加光稳定剂组弯曲性能的组间方差分析

实验号	样本数	偏差平方和	自由度	均方值	F	P
5 [#]	5	0.006 4	2	0.003 2	9.401 3	0.006 2
6 [#]	5	0.042 7	2	0.021 3	39.739 2	0.000 0
7 [#]	5	0.002 7	2	0.001 4	3.561 2	0.072 6

由表2单因素方差分析可见,4[#],6[#]两组显著性水平 P 分别为0.135与0.299,大于0.05,说明单独添加受阻胺光稳定剂HALS-L944和纳米白炭黑/HALS-L944复配对WPC力学性能没有显著性影响,不能提升老化后WPC的弯曲强度保留率。表3中三种复配样本与单独添加效果较好的两组样本数据的方差分析结果显示,5[#],6[#]两组显著性水平 P 均小于0.05,具有显著性差异,但由于表2中6[#]与空白对照组没有显著性差异,且由图1可知6[#]弯曲强度保留率小于单独添加光稳定剂样本,因此纳米白炭黑/HALS-L944复配表现出拮抗作用;而5[#]数据与空白对照及单独添加光稳定剂样本均具有显著性差异,且由图1知5[#]弯曲强度保留率最高,说明纳米白炭黑/UV327复配能够较好地提升老化后WPC弯曲强度保留率,具有协同作用;表3中7[#]显著性水平为0.0726,大于0.05,说明其与单独添加光稳定剂效果差异不大,不具备协同或拮抗作用。

2.2 光稳定剂复配对WPC表面颜色的影响

图2是核壳WPC老化前后的颜色变化情况。

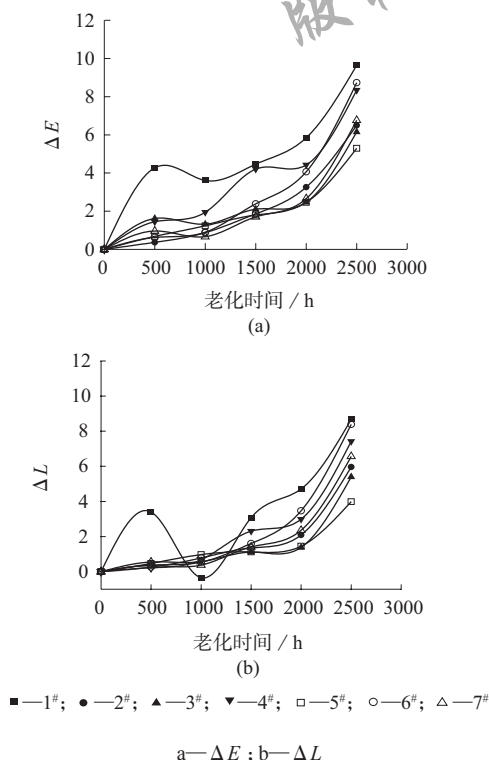


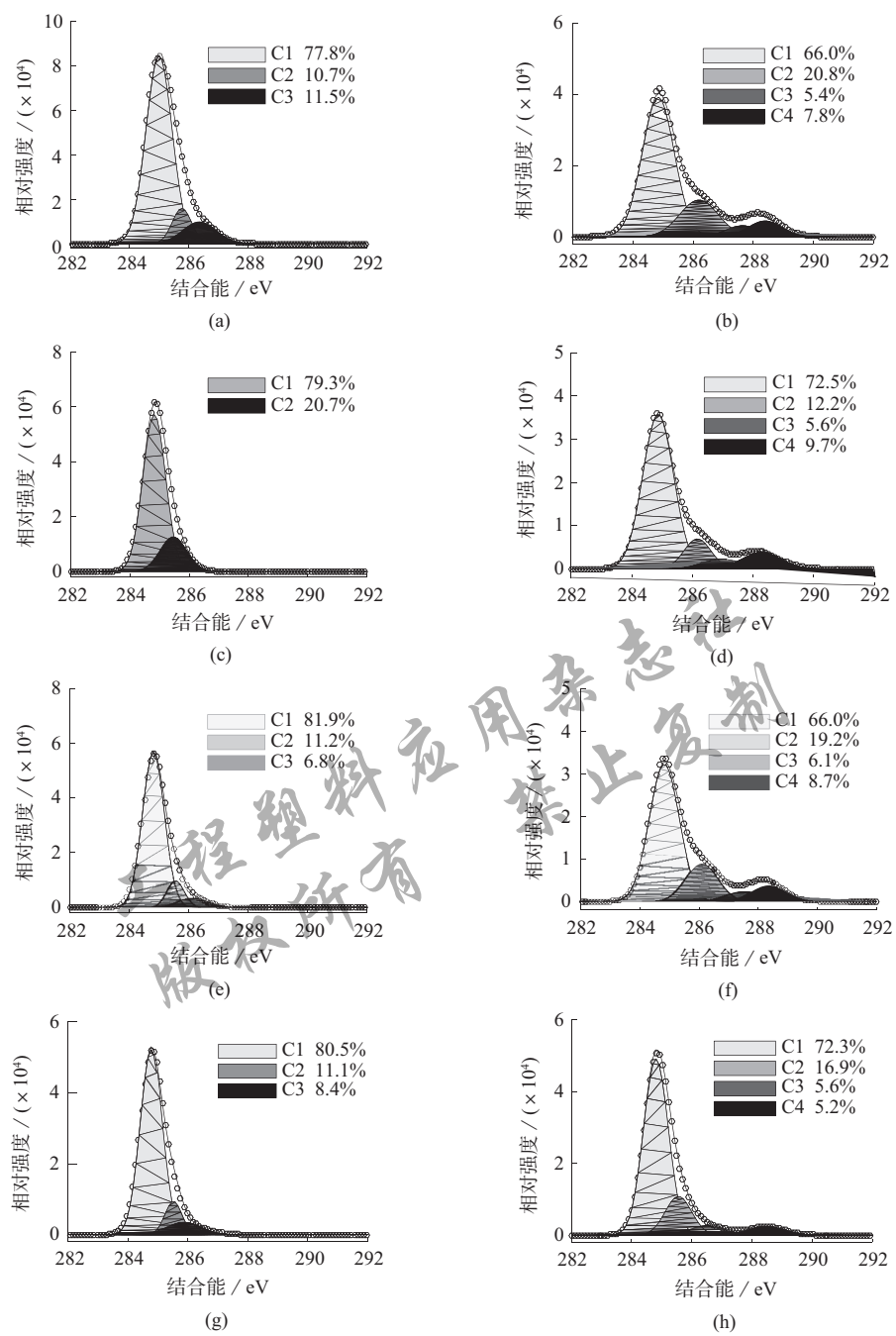
图2 WPC试样老化前后表面颜色变化

图中显示不同光稳定剂复配的WPC色差值 ΔE 与明度变化值 ΔL 相差不大,在整个老化阶段均是上升趋势,说明添加不同光稳定剂的核壳WPC发生褪色现象主要是随着明度增大逐渐变白。老化0~1500 h内,三种复配的WPC表面 ΔE 与 ΔL 值的上升速率与大小差异不大,在1500 h后6[#]复配的 ΔE 与 ΔL 值迅速上升,变化值最终接近于空白样。且在老化2500 h后,6[#]复配的 ΔE 较之空白样下降了7.3%, ΔL 下降了3.3%,均低于2[#],3[#]两组单独添加光稳定剂效果,说明壳层添加1% HALS-L944与1%纳米白炭黑复配在老化末期并不能很好地保护WPC色变,对老化后核壳WPC表面褪色程度影响不大。7[#]复配WPC表面的 ΔE 与 ΔL 值明显低于空白样,与空白样相比,分别下降了29.9%和24.3%,但与2[#],3[#]两组单独添加光稳定剂WPC试样相差不大,说明其不能起到很好的协同效果。

而5[#]复配的核壳WPC老化后颜色变化始终保持缓慢,增长幅度最小,老化2500 h后, ΔE 比之空白样下降了44.9%, ΔL 下降了49.4%,均优于2[#],3[#]两组单独添加光稳定剂的效果,更好地保护了老化后WPC的色变,说明纳米白炭黑与紫外吸收剂UV327具有很好的协同作用,对材料表面颜色的保护效果好。可能是因为纳米白炭黑的表面活性与三维网络结构比表面积大,对色素粒子的吸附作用很强,紧紧包裹在色素粒子的表面,形成屏蔽作用,大大降低了因紫外线的照射而造成的色素衰减;另一方面由于其特殊结构性质,在材料中充分均匀的分散能够形成“链状”,增加塑料与紫外光吸收剂的相容性,促进立体网状的高结构聚集形成,增强了紫外光吸收剂的利用率与效果,阻碍了材料表面的光氧化降解,起到了较好的固色作用^[9]。

2.3 XPS分析

对不同光稳定剂复配的WPC试样表面进行XPS扫描,结果见图3,测得WPC试样老化前后表面元素的主要类型与含量变化如表4所示,其中O/C值用来表示试样表面的氧化程度。从表4可以看出,老化2500 h后,6[#]复配的WPC表面O/C值为0.282,增长幅度为21.3%;5[#]复配的WPC表面O/C值为0.181,增长幅度为9.1%;7[#]复配的WPC表面O/C值为0.299,增长幅度为17.5%。较之空白样,三种复配WPC的O/C值与增长幅度都有所下降,其中5[#]中纳米白炭黑与UV327复配效果最好,较好地降低了材料表面的氧化程度,保护了



a—1[#],老化前;b—1[#],老化 2 500 h;c—5[#],老化前;d—5[#],老化 2 500 h;e—6[#],老化前;f—6[#],老化 2 500 h;g—7[#],老化前;h—7[#],老化 2 500 h

图3 WPC 试样老化前后表面 C 元素高分辨率 XPS 谱图

表 4 加速老化对 WPC 表面元素相对含量的影响

实验号	老化时间 / h	相对含量 / %				O / C
		C	O	N	Si	
1 [#]	0	79.30	19.40	0.52	0.66	0.245
	2500	67.10	30.30	1.25	1.08	0.456
5 [#]	0	88.33	7.95	1.09	2.65	0.090
	2500	80.64	14.55	1.98	2.83	0.181
6 [#]	0	89.85	6.24	0.57	3.35	0.069
	2500	71.45	20.17	6.30	2.09	0.282
7 [#]	0	84.12	10.44	1.52	3.92	0.124
	2500	69.74	20.89	7.62	1.75	0.299

材料的弯曲性能及颜色变化,说明其具有一定的协同效应。而纳米白炭黑与 HALS-L944 复配效果较差,三者同时复配的效果也没有超过光稳定剂单独使用效果,进一步验证了前面弯曲性能与颜色变化的结论。

通过 XPS 高分辨 C1s 扫描确定老化前后 WPC 样品表面 C—O 键的类型和数量, C 原子中 C1s 被衍射成四个子峰 (C1, C2, C3 和 C4),不同 C 元素相

对含量由 XPS 图谱对应峰积分面积算出,如图 3 所示。四个衍射峰对应的理论键能和键的类型见表 5^[19],只有 C1 峰是不存在 C—O 键,其他三种 C 的子峰都存在碳氧键。因此,氧化的碳 (C_{ox}) 和未氧化的碳 (C_{unox}) 比率可以按式 (2) 用峰面积比计算^[19]。

$$C_{ox}/C_{unox} = \frac{C2 + C3 + C4}{C1} \quad (2)$$

表 5 XPS 确定的 C1s 衍射峰对应的键能和键的类型

元素	键结合能 / eV	化学键类型
C1	284.8	C—C 或 C—H
C2	286.1	C—O
C3	287.2	O—C—O 或 C=O
C4	288.4	O—C=O

由图 3 可知,老化 2500 h 后, WPC 试样表面的 C_{ox}/C_{unox} 比值明显增加,并增加了 C4 子峰,证明试样老化后发生光氧化反应,产生了 O—C=O 类化学键的基团。C1 峰面积明显减小, C2 峰面积增大,说明 WPC 表面 C1 开始发生氧化主要产生了 C—O 键类的基团,部分 C3 及 C1 进一步氧化产生了 C4 类化学键的基团,这些含 C=O 官能团键的增加,则主要来源于 WPC 光氧化降解木质素中的羰基 (C=O) 与 PE-HD 断裂链形成的 C=O^[15-16],因而使得 WPC 的弯曲性能下降及表面褪色。由图中数据可以计算出,5[#] 复配 WPC 表面 C_{ox}/C_{unox} 值增加了 11.8%,7[#] 复配 WPC 表面 C_{ox}/C_{unox} 值增加了 14.11%,均低于空白样 WPC 老化后 C_{ox}/C_{unox} 值的增长值 23%,其中纳米白炭黑与 UV327 复配效果最好,具有协同作用。而 6[#] 组复配 WPC 表面 C_{ox}/C_{unox} 值增加了 29.6%,高于空白样,说明纳米白炭黑与 HALS-L944 复配不能有效降低老化后 WPC 表面的氧化降解程度,因而不能较好地保护材料老化后的弯曲性能及颜色变化。

3 结论

(1) 纳米白炭黑与 HALS-L944 及 UV327 不同复配中,1% 纳米白炭黑与 1% UV327 复配对 WPC 弯曲性能保护效果最好,老化 2500 h 后,弯曲强度保留率较之空白样提高了 14.7%,弹性模量保留率提高了 17.4%,方差分析显示其具有一定的协同作用。纳米白炭黑与 HALS-L944 复配效果最差,产生了一定的拮抗作用。

(2) 当壳层加入 1% 纳米白炭黑与 1% UV327 复配时, WPC 表面颜色变化较为缓慢,对颜色保护效果最好,老化 2500 h 后, ΔE 较之空白样下降了 44.9%, ΔL 下降了 49.4%,且优于单独添加光稳定

剂效果。

(3) 老化 2500 h 后,所有 WPC 试样表面 O/C 值与 C_{ox}/C_{unox} 值均增加,氧化程度加深,表明试样均发生了光氧化降解,导致了 WPC 弯曲性能下降与颜色变化。其中 1% 纳米白炭黑与 1% UV327 复配时 WPC 表面 O/C 值增长幅度为 9.1%, C_{ox}/C_{unox} 值增加了 11.8%,增长幅度最小,氧化程度最低,说明纳米白炭黑与 UV327 具有一定的协同作用,能够吸收屏蔽或帮助材料表面反射掉大部分紫外线,有效降低 WPC 的光氧化降解程度。

参考文献

- [1] Du Hua, Wang Weihong, Wang Qingwen, et al. Effects of pigments on the UV degradation of wood-flour/HDPE composites [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 118(2):1 068-1 076.
- [2] 冷李超,张元明,韩光亭,等. 受阻胺光稳定剂改性聚丙烯耐光老化性能研究[J]. 应用化工, 2014(5):864-867.
Leng Lichao, Zhang Yuanming, Han Guangting, et al. Study of different hindered amine light stabilizer modified anti light aging of polypropylene[J]. Applied Chemical Industry, 2014(5):864-867.
- [3] 郭振宇,王玉民,宁培森,等. 受阻胺光稳定剂 (HALS) 在聚合物材料上的应用 [J]. 塑料助剂, 2011(2):18-25.
Guo Zhentyu, Wang Yumin, Ning Peisen, et al. Application of hindered amine light stabilizer(HALS) in polymeric material[J]. Plastic Additives, 2011(2):18-25.
- [4] Stark N M, Matuana L M. Influence of photo stabilizers on wood flour-HDPE composites exposed to xenon-arc radiation with and without water spray[J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91(12):3 048-3 056.
- [5] 李株. 白炭黑应用的新领域 [J]. 当代化工, 2001(2):114-116.
Li Zhu. The new application of silica[J]. Contemporary Chemical Industry, 2001(2):114-116.
- [6] 潘其维,王兵兵,陈朝晖. 表面接枝防老剂的白炭黑在天然橡胶中的应用 [J]. 复合材料学报, 2013, 30(5):1-8.
Pan Qiwei, Wang Bingbing, Chen Zhaozhui, et al. Application of antioxidant functionalized silicas in natural rubber[J]. Acta Material Composite Sinica, 2013, 30(5):1-8.
- [7] 符韵林,莫引优,刘一星,等. 纳米二氧化硅在涂料中的应用及其增强木材表面特性的构想 [J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(4):644-652.
Fu Yunlin, Mo Yinyou, Liu Yixing, et al. Application of nanometer silicon dioxide in coating and idea of strengthening wood surface properties with nanometer silicon dioxide[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2011, 28(4):644-652.
- [8] 汪斌华,黄婉霞,刘雪峰,等. 纳米 SiO₂ 的光学特性研究 [J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(4):514-17.
Wang Binhua, Huang Wanxia, Liu Xuefeng, et al. Study on optical

- properties of nano-SiO₂[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2003, 21(4):514-17.
- [9] 甘露,刘厚凡. 纳米白炭黑在聚合物中的应用研究[J]. 江西化工, 2007(2):1-4.
Gan Lu, Liu Houfan. Research of application of nanosilica in polymer[J]. Jiangxi Chemical Industry, 2007(2):1-4.
- [10] Pandey K K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood[J]. Polymer Degradation and Stability, 2005, 87(2):375-379.
- [11] 黄东辉. 双层共挤木塑复合地板的性能表征[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(3):86-89.
Huang Donghui. Properties characterization of co-extrusion wood-plastic composite floor with double layers[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(3):86-89.
- [12] Jin S, Matuana L M. Coextruded PVC / wood-flour composite with WPC cap layers.[J]. J Vinyl Additive Technol, 2008, 14(4):197-203.
- [13] 王林娜,蔡建臣,薛平. 木塑复合材料加速老化性能的研究[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(2):63-66.
Wang Linna, Cai Jianchen, Xue Ping, et al. Study on accelerated aging properties of wood plastic composite[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(2):63-66.
- [14] Muasher M, Sain M. The efficacy of photo-stabilizers on the color change of wood filled plastic composites[J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91(5):1 156-1 165.
- [15] 付文,刘安华,杨军. 原位接枝改性炭黑对天然橡胶性能的影响[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2014, 42(6):51-56.
Fu Wen, Liu Anhua, Yang Jun, et al. Effects of in-situ grafting-modified carbon black on properties of natural rubber[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2014, 42(6):51-56.
- [16] 刘吉文,许海燕,吴驰飞,等. 环氧天然橡胶接枝分散白炭黑增强天然橡胶复合材料的制备及表征[J]. 高分子学报, 2008(2):123-128.
Liu Jiwen, Xu Haiyan, Wu Chifei, et al. Preparation and characterization of the natural rubber composites reinforced by epoxy natural rubber grafted silica with good dispersibility[J]. Acta Polymerica Sinica, 2008(2):123-128.
- [17] 杨涛,冯嘉春. 受阻胺光稳定剂的多功能性及其结构优化[J]. 塑料助剂, 2008(4):4-10.
Yang Tao, Feng Jiachun. Multifunction and structure optimization of hindered amine light stabilizer[J]. Plastics Additives, 2008(4):4-10.
- [18] 张宇,邵玉昌,刘威,等. 含受阻胺结构的三嗪型光稳定剂的合成及性能研究[J]. 石油化工, 2011, 40(6):640-643.
Zhang Yu, Shao Yuchang, Liu Wei, et al. Synthesis and properties of s-Triazines light stabilizer containing hindered amine[J]. Petrochemical Technology, 2011, 40(6):640-643.
- [19] Du H, Wang W, Wang Q, et al. Effects of ultraviolet absorbers on the ultraviolet degradation of rice-hull / high-density polyethylene composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 126(3):906-915.

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 2000~2016 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 17 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. 2004~2016 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价 400 元/套。

2. 2000~2016 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 2000~2016 年 17 本《论文集》的全部内容外,还包括约 3 300 人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款地址:山东济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》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>