

HDPE/木粉复合材料抗蠕变性能研究^{*}

薛菁 薛平

(北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所,北京 100029)

摘要 利用添加交联剂过氧化二异丙苯(DCP)及刚性树脂聚苯乙烯(PS)两种方法来改进高密度聚乙烯(HDPE)木塑复合材料的弯曲蠕变性能。研究了DCP、PS和木粉的含量对HDPE木塑复合材料抗蠕变性能及弯曲性能的影响。结果表明,随着DCP、PS用量的增加,木塑复合材料的弯曲性能提高,同时复合材料的蠕变性能增强,其蠕变形变降低。

关键词 木塑复合材料 HDPE 蠕变 弯曲性能

木塑复合材料是当今世界许多国家逐步推广应用的新型材料,它是用聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)等树脂或回收的废旧塑料与锯木、秸秆、稻壳、玉米杆等废弃物,通过专用设备应用特定的工艺配方进行配混造粒或直接挤出成型工艺制成的各种型材。木塑复合材料具有较高的强度和硬度,耐酸碱、抗腐蚀、不变形、不含甲醛、易回收,可制成各种截面形状和尺寸,既保留了木材在加工性能方面的优势,又克服了木材不耐用、怕虫蛀的缺点,在建材领域得到广泛的应用。木塑复合材料广泛应用于门、窗框、建筑模板、地板、汽车配件及户外设施(如户外铺板、户外桌椅、户外凉亭等)中。在实际工程中,木塑复合材料经常服役于高温、长期载荷等动态工作环境中,这时会显现出冲击性能低、抗蠕变性与抗老化性能差等缺点。其中蠕变就是指恒温、恒应力作用下,材料形变随时间推移而逐渐发展的现象。结构往往因蠕变而提前失稳^[1],因此研究如何提高木塑复合材料的抗蠕变性能是十分必要的。而目前关于蠕变性能的研究多是关于金属或者纯聚合物的,专门针对木塑复合材料的蠕变性能研究较少。

蠕变是粘弹性材料最典型的表现形式之一,聚合物是典型的粘弹性材料,木塑复合材料则同样具有蠕变性。根据材料蠕变的一般规律,蠕变变形与时间的关系有3个阶段,即初期阶段、稳定阶段和最后阶段。在初期阶段,蠕变速率随时间的增加而逐渐减小,稳定阶段蠕变速率是常数,最后阶段蠕变速率不断增加,直至发生蠕变断裂^[2]。同时蠕变与外力大小和温度高低有关,温度升高、外力加大,蠕变速率增大。

笔者以常温环境下地板用高密度聚乙烯(HDPE)木塑复合材料为研究背景,通过交联、添加

刚性树脂聚苯乙烯(PS)两种方法来改进HDPE木塑复合材料的弯曲蠕变性能。重点考察了交联和添加PS对材料弯曲蠕变性能及弯曲性能的影响规律。

1 实验部分

1.1 原材料

木粉:180 μm ,石家庄纪源达工贸有限公司;
HDPE废旧塑料:北京环峰塑胶制品有限公司;
过氧化二异丙苯(DCP)、PS:市售。

1.2 设备及仪器

烘箱:SFG-02.400型,黄石市恒丰医疗器械有限公司;

高速混合机:SHR-50A型,张家港市三兴江帆机械厂;

模压机:400 mm $\times$ 400 mm,郑州鑫和机器制造有限公司;

万能材料试验机:MODEL1185型,英国Instron公司;

蠕变仪:自制,如图1所示。



图1 自制弯曲蠕变仪

1.3 试样制备

采用混炼及热压法制备试样,制备工艺流程如

^{*} 北京市教委攻坚项目《木塑复合新材料及建筑用制品产业化研究》

图 2 所示。其中关键的工艺参数为模压压力、热压温度和成型时间,具体设置为模压压力 6 ~12 MPa、热压温度 140 ~170 ℃、成型时间 17 ~20 min。图 3 为工艺改进过程前后外观效果对照图。

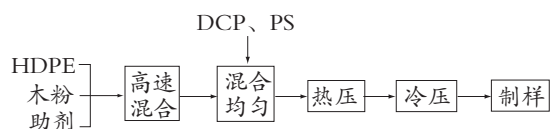
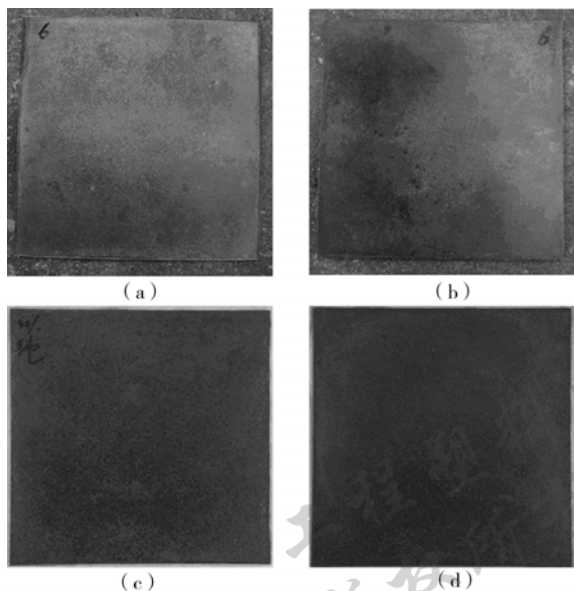


图 2 试样制备工艺流程图



a—130 ℃、20 min; b—135 ℃、20 min;
c—140 ℃、18 min; d—150 ℃、18 min

图 3 工艺改进前后外观效果对照图

1.4 性能测试

弯曲性能按 GB/T 1042 - 1979 测试,采用三点式加载负荷。试样尺寸为 80 mm ×10 mm ×4 mm,测试速度为 5 mm/min,温度为 23 ℃,湿度为 80%。

蠕变性能测试:在自制蠕变仪上进行,对材料施以恒定的竖直方向的力,通过千分表测得不同时刻材料弯曲形变的竖直方向挠度作为对比。时间大约为 250 min,恒定压力为材料最大弯曲负荷的 60% 左右,温度为 23 ℃,湿度为 80%^[3]。

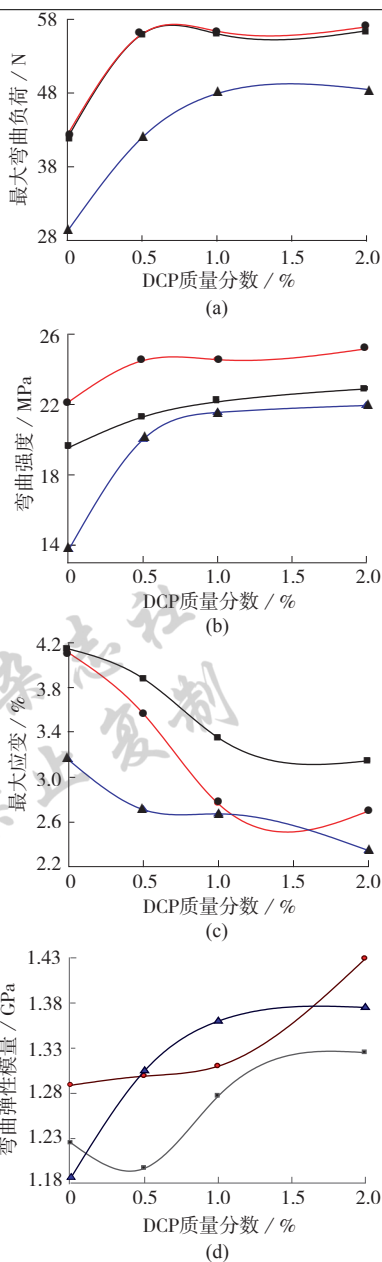
2 结果与讨论

2.1 交联剂 DCP 对 HDPE 木塑复合材料性能的影响

交联是提高 PE 综合性能较为理想的方法之一^[4],而有关木塑复合材料体系的交联机理及性能的影响研究较少。

(1) 弯曲性能

图 4 示出 DCP 含量对 HDPE/木粉复合材料的



木粉质量分数: ■—40%; ●—50%; ▲—60%
a—最大弯曲负荷; b—弯曲强度; c—最大应变; d—弯曲弹性模量
图 4 DCP 含量对 HDPE/木粉复合材料弯曲性能的影响

最大弯曲负荷、弯曲强度、最大应变、弯曲弹性模量的影响。从图 4 可以看出,在木粉含量不变的情况下,随着 DCP 含量的增加,材料的最大弯曲负荷、弯曲强度及弯曲弹性模量呈增大趋势,而最大应变则相反。从图 4 还可知,在 HDPE、DCP 等其它成分含量一定时,木粉含量对复合材料的弯曲性能也有较大的影响。随着木粉用量的增加,弯曲强度先增加后下降,在 50% 时出现极大值。但含木粉 60% 的木塑复合材料弯曲弹性模量却高于含木粉 40% 和含木粉 50% 的,它的最大应变也低于含木粉 40% 和含

木粉 50% 的。说明木粉确实提高了 HDPE 的刚性,而且这种趋势是与木粉含量成正比的,但同时也使材料变脆。这是因为木粉作为增强填料有一定的长径比和较高的比强度,从而提高了 HDPE 的弯曲强度。而当木粉含量高于 50%,材料强度的下降可能是由于木纤维在进行加热混合时,木粉聚集现象加剧不容易分散,使其不能在塑料基体中均匀分布,局部木粉聚集引起的应力集中及产生缺陷的几率加大所致^[5]。有研究^[6]表明,通过有效的混合分散,热压成型复合板材的木塑配比为 5 5 时,仍能得到较好的性能,这与本实验结果相似。而通过挤出螺杆高度混炼分散,木粉质量分数可达 60%~80%。

(2) 蠕变性能

图 5 示出 DCP 含量对 HDPE/木粉复合材料弯曲蠕变性能的影响。图 5 中数字含义见表 1。

表 1 HDPE/木粉/DCP 复合材料的配方

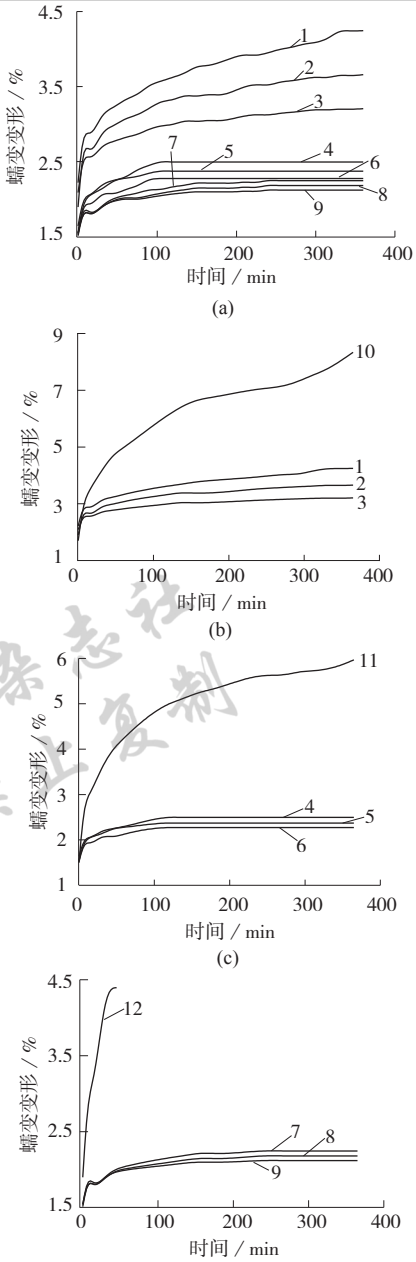
配方编号	木粉质量分数/%	DCP 质量分数/%
1	40	0.5
2	40	1
3	40	2
4	50	0.5
5	50	1
6	50	2
7	60	0.5
8	60	1
9	60	2
10	40	0
11	50	0
12	60	0

从图 5a 可以看出,在 HDPE、DCP 等成分含量一定时,木粉含量对复合材料蠕变性能也有较大影响,随着木粉含量增大,材料的形变减小,且形变随时间的延长而趋于增长平缓。由图 5b~图 5d 可知,当木粉含量相同时,在 HDPE/木粉复合材料中加入 DCP 后,同一时间的弯曲形变显著降低,且变形随时间延长而增大的幅度趋于平缓,说明添加 DCP 对改进材料蠕变性能的效果明显。且复合材料的蠕变与 DCP 的添加量成反比,随着 DCP 含量的增大,材料的形变越来越小,且形变随时间的延长而趋于增长平缓。但 DCP 的添加与不添加之间的变化幅度大。

2.2 PS 对 HDPE/木粉复合材料性能的影响

(1) 弯曲性能

图 6 示出 PS 含量对 HDPE/木粉复合材料弯曲性能的影响。从图 6 可以看出,当木粉含量相同时,



a—不同含量木粉、不同含量 DCP; b—40% 木粉、不同含量 DCP;
c—50% 木粉、不同含量 DCP; d—60% 木粉、不同含量 DCP

图 5 DCP 含量对交联 HDPE/木粉复合材料弯曲蠕变性能的影响

随着 PS 含量的增加,材料的最大弯曲负荷、弯曲强度及弯曲弹性模量均呈增大趋势,而最大应变则相反,说明 PS 起到了提高材料弯曲性能的作用。这是因为 PS 的刚性非常好,其自身弹性模量相当高^[7]。其中 PS 含量增大到 100% 时,材料的弯曲强度大幅提高,说明纯 PS 木塑复合材料的弯曲性能比纯 HDPE 木塑复合材料好的多。而最大应变反而是在刚加入 PS 时突然大幅减小,说明添加 PS 对改进材料抗弯性能的效果明显,PS 含量的变化对其抗弯性

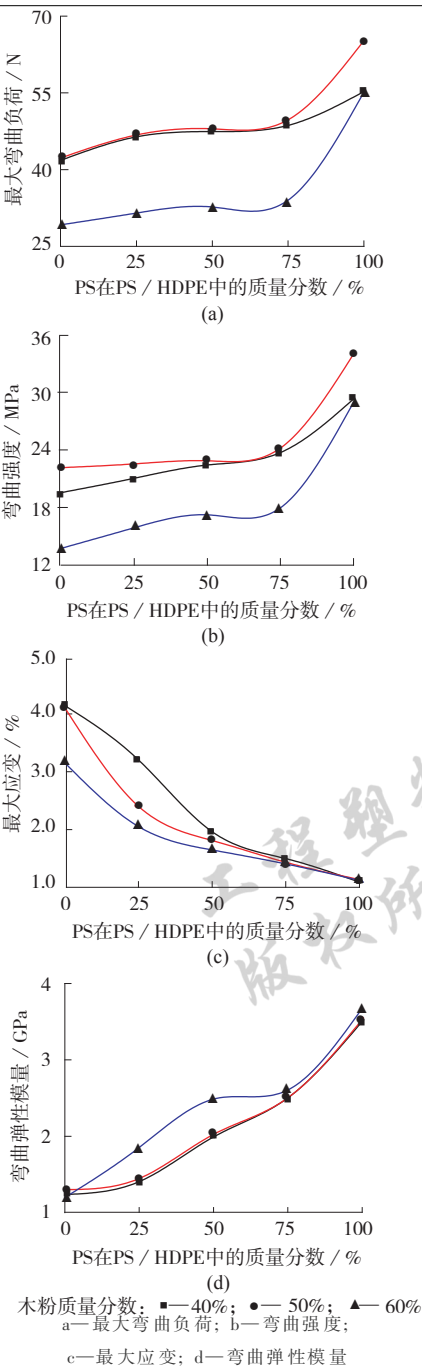


图6 PS含量对PS/HDPE/木粉复合材料弯曲性能的影响

能的影响则相对平缓。

从图6还可以看出,在HDPE与PS配比一定的情况下,木粉含量对复合材料弯曲性能的影响与添加交联剂DCP的规律极其相似。

(2) 蠕变性能

图7示出添加不同PS含量的HDPE/木粉/PS复合材料的抗蠕变性能。图中数字的意义如表2所示。由图7a可知,在PS、HDPE等成分含量一定时,随着木粉含量增大,大部分配方的蠕变也会降低,但

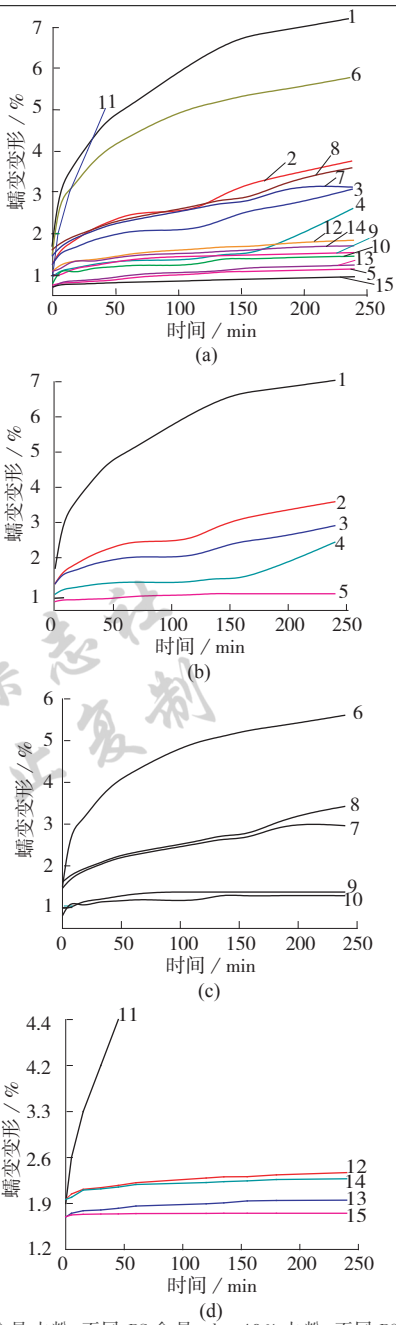


图7 PS含量对HDPE/木粉/PS复合材料蠕变性能的影响

是改善效果不明显。由图7b~图7d可知,当木粉含量相同时,随着配方中PS的加入,复合材料在同一时间的形变大大减小,且形变随时间延长而增大的趋势也趋于平缓。说明PS的加入对复合材料的抗蠕变性能有较大改善。同时还可看出,木粉/纯HDPE复合材料在添加PS后蠕变立刻大幅降低,说明添加PS对改进材料的蠕变性能效果明显,而随后PS含量的逐渐增大对复合材料蠕变的影响差别不大。

表2 PS/HDPE/木粉复合材料的配方

配方编号	木粉质量分数/%	PS与HDPE的质量比
1	40	0 400
2	40	25 75
3	40	50 50
4	40	75 25
5	40	100 0
6	50	0 400
7	50	25 75
8	50	50 50
9	50	75 25
10	50	100 0
11	60	0 400
12	60	25 75
13	60	50 50
14	60	75 25
15	60	100 0

2.3 两种方法对 HDPE 木塑复合材料性能影响的对比

(1) 相似点

弯曲性能:无论添加 DCP 还是 PS,其对 HDPE 木塑复合材料的弯曲性能的影响规律基本一致,即随着 DCP 或 PS 含量的增加,HDPE 木塑复合材料的最大弯曲负荷、弯曲强度及弯曲弹性模量均呈增大趋势,而最大应变则相反;添加 DCP 或 PS,木粉质量分数为 40% 和 50% 的数据相差不大,但是木粉质量分数为 60% 时的数据则与它们相差较大。

蠕变性能:无论添加 DCP 还是 PS,其对木塑复合材料蠕变性能的影响规律基本一致,即随着 DCP 或 PS 含量的增加,木塑复合材料的蠕变变形减小,且其随时间延长而增大的趋势减缓;同时,它们的作用都比增加木粉含量对其蠕变的影响要大。

(2) 不同点

弯曲性能:添加 PS 时,复合材料的最大应变比添加 DCP 时小,弯曲弹性模量比添加 DCP 时大;添加 DCP 时,当其质量分数为 0 ~0.5% 时,DCP 含量对弯曲性能的影响显著,添加 PS 时,当 PS 与 HDPE 的质量比为 75 25 ~100 0 时,其含量变化对弯曲性能的影响显著。

蠕变性能:添加 PS 比添加 DCP 对 HDPE 复合材料蠕变变形减小的程度更大,但是由于 PS 的刚性极强,使复合材料的整体韧性降低,更容易断裂,通常蠕变断裂的时间会更短。

3 结论

(1) 木粉的加入增加了材料的刚性,同时使材料变脆,随着木粉含量的增大,弯曲强度在木粉质量分数为 50% 时出现极大值。

(2) 添加 DCP 可以使 HDPE 木塑复合材料交联。随着 DCP 含量的增加,复合材料的最大弯曲负荷、弯曲强度及弯曲弹性模量呈增大趋势,而最大应变则相反。同时增强了蠕变性能,即大大降低蠕变变形,以及其随时间延长而增大的幅度趋于平缓。

(3) 添加 PS 极大地提高了复合材料的刚性以及各项弯曲性能。随着 PS 含量的增加,复合材料的最大弯曲负荷、弯曲强度及弯曲弹性模量均呈增大趋势,而最大应变则相反。同时增强了蠕变性能,即大大降低蠕变变形,以及其随时间延长而增大的幅度趋于平缓。

参考文献

[1] 王克俭,赵永生,朱复华.蒙脱土填充塑木复合材料的弯曲性能和蠕变特性[J].高分子材料科学与工程,2007,23(6):109-112.

[2] 李大纲,蒋本浩,徐永吉.温湿处理对杉木弯曲蠕变性能的影响[J].建筑人造板,1994(1):9-11.

[3] Park B D, Balatinez J J. Short term flexural creep behavior of wood-fiber/polypropylene composites [J]. Polymer Composites, 1998, 19: 377 - 382.

[4] Magnus Bengtsson, Kristiina Oksman. Profile extrusion and mechanical properties of crosslinked wood-thermoplastic composites [J]. Polymer Composites, 2006, 10: 184 - 194.

[5] 侯秀英,黄祖泰,杨文斌.改善高压成型木塑复合材料力学性能途径[J].森林工程,2005,21(1):46-48.

[6] 薛平,张明珠,何亚东,等.木塑复合材料及挤出成型特性的研究[J].中国塑料,2001,15(8):53-59.

[7] Xu Bin, Simonsen J, Rochefort W E. Creep resistance of wood-filled polystyrene/high-density polyethylene blends. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 79: 418 - 425.

STUDY OF CREEP RESISTANCE PROPERTIES OF HDPE/WOOD COMPOSITES

Xue Jing, Xue Ping

(Institute of Plastic Machinery and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT By adding DCP as crosslinking agent or rigid resin such as PS, the bending creep properties of HDPE/wood composites was improved. The influence of the contents of DCP, PS and wood on the bending creep of HDPE/wood composites was studied. The result indicated that the bending property of HDPE/wood composites was improved, creep resistance of composites was enhanced and creep deformation was decreased greatly with the increasing of the content of DCP or PS.

KEYWORDS wood plastic composites, HDPE, bending creep, bending resistance