

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.12.011

## 模压压力和温度对 PE/麦秸秆发泡复合材料的影响<sup>\*</sup>

常萧楠<sup>1,2</sup>,何春霞<sup>1,2</sup>,付菁菁<sup>1,2</sup>,熊静<sup>1,2</sup>,刘丁宁<sup>1,2</sup>

(1. 南京农业大学工学院,南京 210031; 2. 江苏省智能化农业装备重点实验室,南京 210031)

**摘要:**为探讨模压压力和温度对聚乙烯(PE)/麦秸秆发泡复合材料微观结构和性能的影响,以偶氮二甲酰胺(AC)为发泡剂模压制备 PE/麦秸秆发泡复合材料,对比研究模压压力和温度对 PE/麦秸秆发泡复合材料热导率、表观密度和吸水性能的影响,用体视显微镜观察材料的断面微观形貌,用傅立叶变换红外光谱分析探讨复合材料的化学结构。结果表明,当模压压力为 10 MPa,模压温度为 150℃时,PE/麦秸秆发泡复合材料内部泡孔结构均匀,热导率、表观密度和吸水率较小,麦秸秆和 PE 的界面结合较好,材料较致密。

**关键词:**麦秸秆;聚乙烯;发泡材料;模压

**中图分类号:** TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)12-0048-06

### Effects of Molding Pressure and Temperature of PE/Wheat Straw Foam Composite

Chang Xiaonan<sup>1,2</sup>, He Chunxia<sup>1,2</sup>, Fu Jingjing<sup>1,2</sup>, Xiong Jing<sup>1,2</sup>, Liu Dingning<sup>1,2</sup>

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China; 2. Key Laboratory of Intelligence Agriculture Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210031, China)

**Abstract :** Azodicarbonamide(AC) was adopted as a foaming agent to prepare polyethylene(PE) / wheat straw foam composite by compression molding process to investigate the effects of molding pressure and temperature on the microstructure and properties of PE / wheat straw foam composite. In order to compare the effects of molding pressure and temperature on the thermal conductivity, apparent density and water absorption capability of the foam composites, stereomicroscope was used to observe the section microstructure of material, FTIR was used to characterize the chemical structure of materials. The results indicate that when the molding pressure and temperature are 10 MPa and 150℃ respectively, the foam structure inside the PE / wheat straw foam composite is uniform, the thermal conductivity, apparent density and water absorption of PE / wheat straw foam composite are lower, wheat straw and PE have better interfacial adhesion so that the material has dense structure.

**Keywords :** wheat straw ; polyethylene ; foam material ; compression molding

全球正在大力提倡建筑节能,保温技术在建筑维护结构上的应用也有了很大发展,尤其是在外墙保温技术方面。在建筑节能领域,外墙外保温技术作为建筑节能外围结构保温的主要技术已成为共识,但是其系统产品需消耗大量的能源和资源<sup>[1]</sup>。我国是农业生产大国,每年在小麦丰收的同时会产生大量的麦秸秆废弃物,如何在环境保护和经济可持续发展的前提下处理这些废弃物是需要仔细考虑的问题。因此,将麦秸秆应用于外墙保温可以同时解决外墙产品能源消耗和废弃麦秸秆处理这两大问题。

通过气体核将泡孔引入木塑复合材料中制成的发泡木塑复合材料不仅具有传统木塑复合材料硬度较高、力学性能好、耐磨、耐腐蚀、吸水性小等优点,而且由于其特有的泡孔结构可以钝化裂纹尖端使材料具有好的延展性和冲击力。且由于发泡木塑

复合材料内有大量泡孔,材料内部空隙较大,可以节省材料,有效地降低材料的密度,使材料具有隔热和隔音的功效<sup>[2]</sup>。因此,发泡木塑复合材料可作为保温材料用于建筑外墙。

付菁菁<sup>[3]</sup>利用麦秸秆和聚丙烯(PP)模压制备发泡复合材料,得到制备 PP/麦秸秆发泡复合保温材料的成型参数为 10 MPa、180℃和 10 min。胡伟等<sup>[4]</sup>在 10 MPa、180℃条件下发泡 10 min 制备 PP/木粉复合泡沫材料,分析并解决在制备过程中发泡剂分解温度过高的问题,结果表明,提高模压温度有利于缩短发泡剂分解前诱导期及发泡剂的分解时间。李锤祥等<sup>[5]</sup>探究影响低密度聚乙烯(PE-LD)

<sup>\*</sup> 国家科技支撑计划项目(2011BAD20B202-2)

联系人:何春霞,教授,博士生导师,主要从事新型工程材料的应用与研究

收稿日期:2015-09-20

发泡保温材料质量的因素,结果表明,当发泡温度为 175℃,发泡压力为 10 MPa 时,制得的 PE-LD 发泡保温材料性能最佳,且发泡剂偶氮二甲酰胺 (AC) 和活化剂氧化锌 (ZnO) 的用量比对发泡材料的质量影响最大。F. A. Soares 等<sup>[6]</sup>在 190℃和 11 MPa 的模压条件下制备 PP/木粉发泡复合材料,研究物理和化学发泡方法对发泡材料的密度、力学性能和微观形貌的影响表明,化学发泡制备的发泡材料中有形状较规则的封闭气泡,由碳酸氢钠和乙酸在 PE 基体制成的科莱恩 (Hydrocerol 1004) 可使 PP/木粉发泡复合材料获得最好的微观形貌,并有效减少密度和力学性能损失。Jiang Xiulei 等<sup>[7]</sup>研究了 PP 和 PE-LD 在不同混合比例下发泡后的混合形态,结果表明,当发泡温度接近 PE-LD 的熔化温度时,气核可以在 PP 表面和 PE-LD 的内部成核。为探讨发泡复合材料成型时模压压力和温度对发泡材料微观结构和性能的影响,笔者用模压方法制备 PE/麦秸秆发泡复合材料,研究模压压力和温度对发泡材料微观结构、热导率、表观密度和吸水性能的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

麦秸秆:产地为江苏省江阴市璜塘镇,粉碎过筛后取粒度 $\leq 630\ \mu\text{m}$ ,干燥备用;

PE 粉料:南京聚隆科技股份有限公司;

AC:化学纯,北京天宏盛世有限公司;

ZnO:分析纯,天津市凯信化学工业有限公司。

### 1.2 主要仪器及设备

电磁平板硫化机:XLB-0 型,湖州顺力橡胶机械有限公司;

体视显微镜:SMZ1000 型,日本尼康株式会社;

双平板旋转式导热仪:D300FX-D15 型,天津佛瑞德科技有限公司;

弹性材料体积密度测试仪:LH-120YE 型,厦门群隆仪器有限公司;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪:Nicolet iS-10 型,塞默飞世尔科技(中国)有限公司。

### 1.3 试样制备

PE 与麦秸秆质量比为 1 : 1,发泡剂 AC 和助剂 ZnO 的质量分数分别为 1% 和 0.5%,将材料按比例放入搅拌机中混合 10 min 后移入模具,置于平板硫化机上模压成型。设定模压温度为 150℃,模压压力分别为 8,9,10 MPa 和 11 MPa;再设定模压压力为 10 MPa,模压温度分别为 140,145,150℃

和 155℃,保压时间均为 10 min。最后制成的材料尺寸为:120 mm×100 mm,厚度在 6~10 mm,待材料冷却成型后将其加工成标准试样。

### 1.4 测试与表征

热导率按照 GB/T 3399-1982 测试;

表观密度按照 GB/T 6343-2009 测试;

FTIR 分析:采用 FTIR 仪对试样进行扫描,波数为 4000~400  $\text{cm}^{-1}$ ,分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描次数为 16 次;

微观结构表征:采用体视显微镜观察 PE/麦秸秆发泡复合材料切割断面的微相结构;

吸水性能按照 GB/T 1034-1998 测试,将材料试样在室温下放入蒸馏水中完全浸泡 24 h 后,取出擦干称重,计算试样 24 h 吸水率:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

式中: $m_1$ ——浸泡前试样的质量,mg;

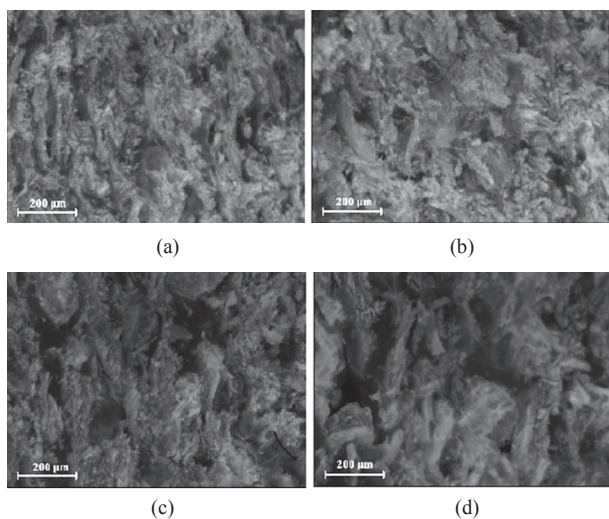
$m_2$ ——浸泡后试样的质量,mg。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PE/麦秸秆发泡复合材料微观结构

(1) 不同模压压力下 PE/麦秸秆发泡复合材料微观结构。

图 1 为 4 种不同模压压力 (8,9,10,11 MPa) 下 PE/麦秸秆发泡复合材料的微观结构的照片。由图 1 可以看出,在不同的模压压力下成型的 PE/麦秸秆发泡复合材料微观结构不同,其中的泡孔尺寸和数量不等。在模压压力为 8 MPa 下,发泡复合材料中有数量较少且尺寸较小的泡孔,麦秸秆几乎全部被 PE 包裹;随着模压压力的增大,泡孔的尺寸逐渐增大,模压压力为 9 MPa 时有较大的泡孔,但部分泡孔中有 PE 填充;压力增大到 10 MPa 时,泡孔尺寸较大且分布均匀,只有少量被 PE 填充;模压压力为 11 MPa 时,虽然有较大的泡孔,但泡孔基本被 PE 填充,甚至有 PE 被挤出泡孔。分析原因是,复合成型时模压压力的大小会影响 PE 在麦秸秆粉之间的流动和 AC 的分解,一方面,压力增大会使 PE 流动速度加快,使 PE 和麦秸秆充分接触,但是过大的压力,会使流速过快的 PE 进入到已形成的泡孔内,填充的泡孔越多,越影响其与麦秸秆的结合性能。另一方面,压力增大有利于 AC 分解速率加快,但是过大的压力反而会抑制 AC 分解,影响泡孔形成的尺寸和数量。当模压压力为 10 MPa 时,形成的泡孔尺寸好,数量较多,PE 和麦秸秆的结合较好。

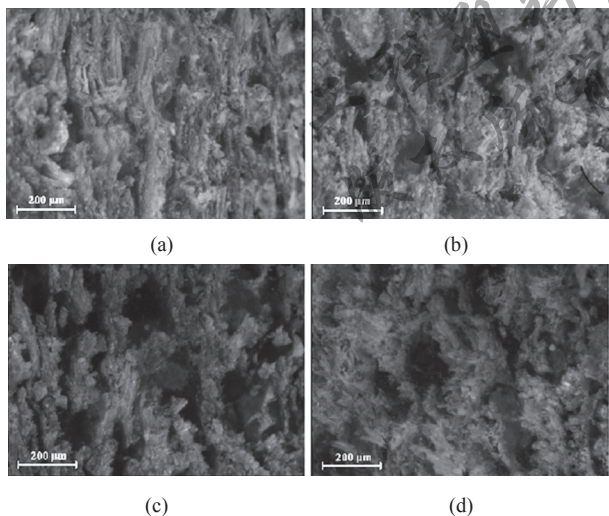


模压压力 :a—8 MPa ; b—9 MPa ; c—10 MPa ; d—11 MPa

图 1 不同模压压力下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料表面微观结构照片

(2) 不同模压温度下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料微观结构。

图 2 为 4 种不同模压温度 (140, 145, 150, 155℃) 下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料的微观结构照片。



模压温度 :a—140℃ ; b—145℃ ; c—150℃ ; d—155℃

图 2 不同模压温度下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料表面微观结构照片

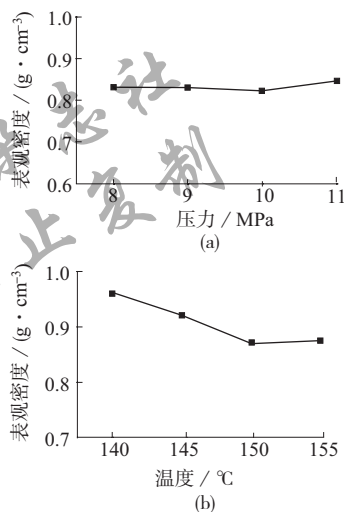
由图 2 可以看出,在不同的模压温度下, PE/ 麦秸秆发泡复合材料的泡孔尺寸和数量不等。随着温度的升高,泡孔尺寸逐渐增大,在模压温度为 140℃ 下,发泡复合材料中只有少量的小尺寸泡孔,并有大量 PE 覆在麦秸秆上;在模压温度为 145℃ 下,泡孔尺寸和数量明显增多,只有少量 PE 填充在泡孔内;在 150℃ 和 155℃ 成型温度下的复合材料的内部泡孔尺寸大、数量多,而且 150℃ 时的泡孔数量最多,泡孔尺寸较均匀, PE 和麦秸秆结合好。分

析原因是,高温有利于发泡剂分解,使材料的发泡质量好,生成很多尺寸较大的泡孔,同时高温下 PE 的流动性好,麦秸秆的纤维强度较好,可以很好地结合。但是 155℃ 下发泡复合材料内部大泡孔数量减少,有较多小尺寸泡孔,原因可能是温度过高使 PE 流动速度过快, AC 作用在麦秸秆和 PE 上的时间变短,只能形成尺寸较小的气泡。因此,当模压温度为 150℃ 时,形成的泡孔质量好, PE 和麦秸秆的结合好。

## 2.2 PE/ 麦秸秆发泡复合材料表观密度及热导率

### (1) PE/ 麦秸秆发泡复合材料表观密度。

图 3 为不同模压工艺下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料的表观密度。



a—不同模压压力; b—不同模压温度

图 3 不同模压工艺下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料的表观密度

由图 3a 可看出,在 4 种不同模压压力下,材料的表观密度均小于 1 g/cm<sup>3</sup>,在 10 MPa 时达到最小值。主要原因是,10 MPa 时发泡复合材料内部泡孔尺寸较大且分布均匀,使材料空隙率较大,表观密度较小。图 3b 为不同模压温度下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料的表观密度,在 4 种不同模压温度下,发泡复合材料的表观密度均小于 1 g/cm<sup>3</sup>,且总体随着模压温度升高呈下降趋势,但在 155℃ 下稍有增大。主要原因是,随着模压温度从 140℃ 升到 150℃,发泡复合材料内部泡孔数量增多,尺寸增大,分布趋于均匀,材料空隙率增大,表观密度减小。但由图 2d 知,155℃ 下发泡复合材料内部泡孔数量虽多,但整体尺寸较 150℃ 下的泡孔尺寸要小,因此其密度反而增大,但增值较小。所以,150℃ 下 PE/ 麦秸秆发泡复合材料的表观密度达到最小值。

## (2) PE/麦秸秆发泡复合材料热导率。

热导率是评定材料保温性能的重要指标,热导率与材料密度和空隙率有关,密度越小,空隙率越大,热导率越小。一般所使用的保温材料在平均温度低于 350℃时,热导率应小于 0.14 W/(m·K)<sup>[8]</sup>。

图 4 为不同模压压力和温度下 PE/麦秸秆发泡复合材料的热导率。

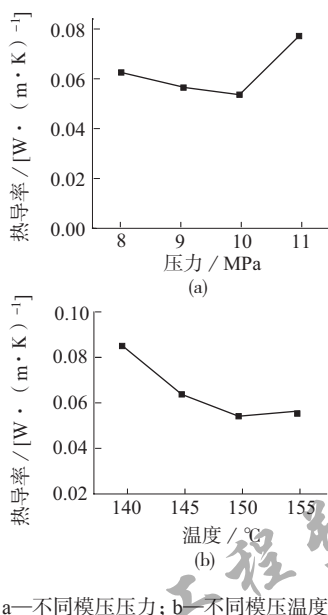


图 4 不同模压工艺下 PE/麦秸秆发泡复合材料的热导率

由图 4 可知,所有发泡复合材料热导率均小于 0.14 W/(m·K),因此,PE/麦秸秆发泡复合材料可用于保温材料。由图 4a 可知,随着模压压力的增大,复合材料的热导率先下降后升高,且升高的幅度较大,达 43.67%。在 10 MPa 下成型的发泡复合材料的热导率最低,即其保温效果最好。这可能是,模压压力为 10 MPa 时发泡复合材料发泡质量较好,有较多且尺寸较大的泡孔,且分布均匀,这些泡孔可以阻隔气流交换,因此该压力下发泡复合材料的热导率较小。由图 4b 可知,随着模压温度的增大,复合材料的热导率总体减小,模压温度为 150℃时发泡复合材料的热导率最小,保温效果最好。主要原因是,模压温度为 150℃时,发泡复合材料内部泡孔尺寸较大且数量较多,材料的空隙率较大,热导率较小。在 155℃下发泡复合材料的热导率略有增大,可能是 155℃下发泡复合材料内部泡孔数量较多,但尺寸差别较大,大部分都是小泡孔,阻隔空气流动的能力较差。因此,150℃下发泡复合材料的热导率最小。

## 2.3 PE/麦秸秆发泡复合材料 FTIR 分析

图 5 为不同模压压力和温度下制备的 PE/麦秸秆发泡复合材料的 FTIR 谱图。

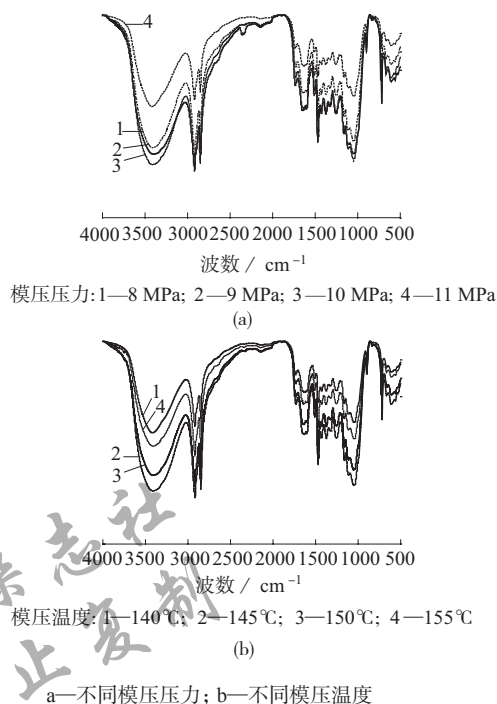


图 5 不同模压工艺下 PE/麦秸秆发泡复合材料 FTIR 谱图

从图 5 可以发现,4 种压力和温度条件下的发泡复合材料具有形状相似的红外吸收峰,差异仅在于某些吸收峰的吸收强度减弱。图 5 中最明显的波数段为 3 250~3 500 cm⁻¹ 和 3 440~3 425 cm⁻¹,其在 AC 发泡剂中属于联二脲的特征峰,为羰基两端—NH₂ 的伸缩振动<sup>[9-10]</sup>,在此处峰值变化较大说明 AC 已发生分解。而 3 334.94 cm⁻¹ 处为麦秸秆纤维素和半纤维素内羟基—OH 的伸缩振动峰<sup>[11]</sup>,随着压力的增大和温度的升高,—OH 的伸缩振动谱带先增强后减弱,说明压力过大、温度过高会破坏纤维素间的氢键,从而影响材料的吸水性。2 915 cm⁻¹ 处为纤维素中亚甲基(—CH₂)反对称伸缩振动的吸收峰,2 848.7 cm⁻¹ 为—CH₂ 的对称伸缩振动<sup>[12]</sup>,在 10 MPa 和 150℃下,2 920 cm⁻¹ 和 2 850 cm⁻¹ 处的吸收峰达到最强,而随着压力和温度的进一步升高,吸收峰反而减弱,说明过大的压力和温度会导致麦秸秆纤维大分子中的甲基和亚甲基发生部分断裂。1 730 cm⁻¹ 处的吸收峰是麦秸秆中木质素和半纤维素中羧基(C=O)的伸缩振动引起的,两幅 FTIR 谱图对比显示,在 1 740 cm⁻¹ 附近的吸收峰的强弱变化不明显,说明压力和温度变化对 C=O 影响不大。1 660 cm⁻¹ 处为木质素中 C—O 的伸缩振动峰<sup>[13]</sup>,

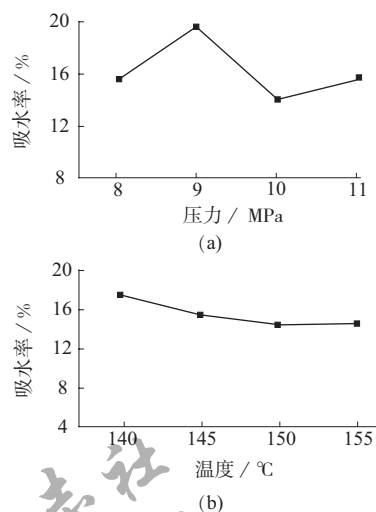
在波数  $1600, 1520$  和  $1460\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为木质素芳香环上  $\text{C}=\text{C}$  伸缩振动峰<sup>[14]</sup>,  $1031\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为有机硅  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  反对称伸缩振动<sup>[15]</sup>, 在  $10\text{ MPa}$  和  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  下,  $1640, 1470, 1050\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰达到最强, 而随着压强和温度的增大, 吸收峰减弱, 说明压力过大和温度过高均会导致  $\text{C}=\text{C}$  和有机硅  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  的断裂。在  $1471.6, 717.5\text{ cm}^{-1}$  波数处为  $-\text{CH}_2-$  的弯曲振动, 为 PE 的吸收峰, 在  $10\text{ MPa}$  和  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  下,  $-\text{CH}_2-$  的弯曲振动明显, 且为碳链面内的摇摆振动, 说明此种条件下聚乙烯流动速度快可以很好地包裹麦秸秆粉。从以上分析可知, 模压压力和温度变化可以破坏麦秸秆纤维素分子间的氢键和碳碳键, 并影响有机硅  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  的伸缩振动, 还会影响聚乙烯中亚甲基的振动方式和振动方向, 从而影响 PE/麦秸秆发泡复合材料的吸水性能。

#### 2.4 PE/麦秸秆发泡复合材料吸水性能

P. A. Sreekumar 等<sup>[16]</sup>发现, 成型方法可以影响木塑复合材料的吸水率。C. M. Clemons 等<sup>[17]</sup>研究发现, 木塑复合材料配方相同时, 采用挤出成型材料吸水率高, 采用模压成型的则较小, 主要原因是模压成型的材料比挤出成型的材料致密, 而且模压成型的木塑复合材料的表面塑料含量较高, 孔隙较少, 因此吸水率较低<sup>[18]</sup>。

图 6 为不同模压压力和温度下 PE/麦秸秆发泡复合材料的吸水率。图 6a 为不同模压压力下 PE/麦秸秆发泡复合材料的 24 h 吸水率, 可以看出, 在  $10\text{ MPa}$  下成型的复合材料的 24 h 吸水率最低, 而在  $9\text{ MPa}$  的情况下最高, 在  $8\text{ MPa}$  和  $10\text{ MPa}$  之间, 发泡复合材料的吸水率先升至最高后再降到最低,  $10\text{ MPa}$  以后, 该材料的吸水率又缓慢升高。主要原因是, 当模压压力较大时, 材料的泡孔密度增大, 挤压麦秸秆纤维表面由羟基和醇羟基形成的氢键, 使其断裂, 不利于材料吸水, 与 FTIR 谱图分析结果一致; 同时较大的压力会使材料较致密, 孔隙较小, 因此, 模压压力增大会导致发泡复合材料的吸水率减小。图 6b 为不同模压温度下 PE/麦秸秆发泡复合材料的 24 h 吸水率, 可以看出, 在  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  下成型的复合材料的 24 h 吸水率最低, 与 FTIR 分析结果一致, 但是在  $145\sim 155\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间, 复合材料的吸水率整体变化趋势不大, 可见模压温度变化对麦秸秆纤维表面的羟基和醇羟基形成氢键的影响不太明

显, 虽然温度升高, 发泡复合材料内部泡孔较多, 但麦秸秆与 PE 结合紧密, 水不容易进入泡孔, 故模压温度的升高对复合材料 24 h 吸水率的影响不太明显。



a—不同模压压力; b—不同模压温度

图 6 不同模压工艺下 PE/麦秸秆发泡复合材料的吸水率

### 3 结论

(1) 模压压力和温度对 PE/麦秸秆发泡复合材料的热导率、表观密度和微观结构均有较大影响。当模压压力为  $10\text{ MPa}$ , 模压温度为  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, PE/麦秸秆发泡复合材料的热导率和表观密度较小, 材料内部的泡孔尺寸大、数量多, 麦秸秆和 PE 的界面结合较好。

(2) 模压压力过大、温度过高会破坏纤维素间的氢键, 使麦秸秆纤维大分子中的甲基和亚甲基发生部分断裂, 并影响有机硅的伸缩振动, 从而影响 PE/麦秸秆发泡复合材料的吸水性能。

#### 参考文献

- [1] 黄振利, 张盼. 固体废弃物在建筑外墙外保温中的利用 [J]. 建筑科技, 2007(6):56-57.  
Huang Zhenli, Zhang Pan. The usage of solid waste in the thermal insulation of building exterior [J]. Architectural Technology, 2007(6):56-57.
- [2] 张求慧, 张晶, 刘婧. 我国发泡木塑复合材料的研究现状及趋势 [J]. 材料导报, 2014, 28(5):85-88.  
Zhang Qiuhui, Zhang Jing, Liu Jing. Domestic research process on foamed wood plastic composite materials [J]. Materials Review, 2014, 28(5):85-88.
- [3] 付菁菁. 麦秸秆—粉煤灰/PP 发泡复合保温材料制备及性能研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.  
Fu Jingjing. Study on the preparation and properties of wheat straw-

- fly ASH / PP foaming composite insulation material[D]. Nanjing :Nanjing Agriculture University, 2013.
- [4] 胡伟,陈祥星,李慧,等. 模压法制备高发泡聚丙烯/木粉复合泡沫材料[J]. 塑料助剂, 2012(5):37-43.
- Hu Wei, Chen Xiangxing, Li Hui, et al. Preparation of high-expanded PP / wood flour composite foam moulded method[J]. Plastic Additive, 2012(5):37-43.
- [5] 李垂祥,杨雷,李树军,等. 影响 LDPE 模压发泡保温材料质量的因素[J]. 塑料助剂, 2011(2):42-45.
- Li Chuixiang, Yang Lei, Li Shujun, et al. Factors affecting the quality of LDPE molded foam thermal insulation material[J]. Plastic Additive, 2011(2):42-45.
- [6] Soares F A, Nachtigall. S M B. Effect of chemical and physical foaming additives on the properties of PP / wood flour composites[J]. Polymer Testing, 2013, 32(4):640-646.
- [7] Jiang Xiulei, Liu Tao, Zhao Ling, et al. Effects of blend morphology on the foaming of polypropylene / low-density polyethylene blends during a batch foaming process[J]. Journal of Cellular Plastics, 2009, 45(3):225-241.
- [8] 吴亚坤. 葵花秆 / 聚乙烯轻质复合材料制备工艺及性能研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- Wu Yakun. Study on the preparation and properties of sunflower stalk / polyethylene (PE) lightweight composite[D]. Huhe Haote: Inner Mongolia Agricultural University, 2013.
- [9] 聂宗武, 陈长章, 高冬寿, 等.  $V_2O_5$  催化氧化联二脲合成偶氮二甲酰胺[J]. 催化学报, 1992, 13(1):25-30.
- Nie Zongwu, Chen Changzhang, Gao Dongshou, et al.  $V_2O_5$  catalytic oxidation coupling two azobisformamide urea synthesis[J]. Chinese Journal of Catalysis Catalysis, 1992, 13(1):25-30.
- [10] 王丽. 插层型偶氮二甲酰胺 / 蒙脱土纳米复合材料的研制[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- Wang Li. The study of the intercalated azodicarbonamide-montmorillonite nanocomposites[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2009.
- [11] 侯人鸾, 何春霞, 薛娇, 等. 麦秸秆粉 / PP 木塑复合材料紫外线加速老化性能[J]. 复合材料学报, 2013, 30(5):86-93.
- Hou Renluan, He Chunxia, Xuejiao, et al. UV accelerated aging properties of wheat straw / PP wood plastic composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(5):86-93.
- [12] 潘惠. 高密度聚乙烯基木塑复合材料的老化性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- Pan Hui. Study on aging properties of wood fiber reinforced high density polyethylene composites[D]. Nanjing : Nanjing Forestry University, 2013.
- [13] 伍胜. 木质素邻醌模型物的合成研究及其与过氧化氢反应的初探[D]. 西安: 陕西科技大学, 2006.
- Wu Sheng. Study on synthesis of lignin adjacent quinonoid compound and PIOT discuss of its reaction with hydrogen peroxide[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2006.
- [14] Chen Xiaolang, Yu Jie, Zhang Zhibin, et al. Study on structure and thermal stability properties of cellulose fibers from wheat straw[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 85:245-250.
- [15] 于昱, 何春霞, 张还, 等. 预处理对麦秸 / 聚丙烯复合材料摩擦磨损性能影响实验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7) : 138-143.
- Yu Min, He Chunxia, Zhang Huan, et al. Effect of different pretreatments on tribological properties of wheat straw / polypropylene composites[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2013, 44(7) : 138-143.
- [16] Sreekumar P A, Kuruvilla J, Unnikrishnan G, et al. A comparative study on mechanical properties of sisal-leaf fibre-reinforced polyester composites prepared by resin transfer and compression moulding techniques[J]. Composites Science & Technology, 2007, 67(3):453-461.
- [17] Clemons C M, Ibach R E. Effects of processing method and moisture history on laboratory fungal resistance of wood-HDPE composites[J]. Forest Products Journal, 2004, 54(4):50-57.
- [18] Craig C, 朱家琪. 美国木塑复合材料的历史、现状及展望[J]. 中国人造板, 2002(11):19-21.
- Craig C, Zhu Jiaqi. The history, present situation and prospects of wood-plastics composites in America[J]. China Wood-Based Panels, 2002(11):19-21.

### 防老剂在聚氨酯材料中的应用

和其它高分子材料一样, 聚氨酯(PUR) 泡沫塑料在光、热等外界因素作用下会发生老化, 发生黄变, 材料的物理性能会下降。添加抗氧化剂、紫外光吸收剂等防老剂会延缓这种作用。在 PUR 原料或配方中加入微量的抗氧化剂即可起阻滞 PUR 热氧化的作用。抗氧化剂的作用在于阻止氧诱发引起的聚合物的断链反应和分解生成的过氧化氢。

受阻酚类化合物是最常用的 PUR 材料的抗氧化剂。例如: 1,3,5- 三甲基-2,4,6- 三(3',5'- 二叔丁基)-4- 羟基苯基苯, 2-(2'- 羟基-3'- 叔烷基苯基) 苯甲醚, 四[ $\beta$ -(3,5- 二叔丁基-4-

羟基苯基) 丙酸] 季戊四醇酯( 抗氧化剂 1010),  $\beta$ -(3,5- 二叔丁基-4- 羟基苯基) 丙酸十八酯( 抗氧化剂 1076), 2,6- 二叔丁基-4- 甲基苯酚( 抗氧化剂 264) 等。

二苯甲烷二异氰酸酯等芳香族异氰酸酯原料在贮存和使用过程中受光、热、氧和水分等因素的影响, 颜色会变黄, 而且还会发生化学反应, 生成一些不溶物, 使异氰酸酯含量下降。加入亚磷酸三苯酯、亚磷酸三(2,4- 二叔丁基苯基) 酯等抗氧化剂和防老剂可以减少这种现象。磷酸酯与取代酚并用可提高聚氨酯的耐候性及耐紫外光性。磷酸酯抗氧化剂也常和防老剂、抗氧化剂配合使用效果较好。( 工程塑料网)