

Научная статья
УДК 678

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕАЭРАТОРА НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЛИГНИНСОДЕРЖАЩЕЙ ФЕНОЛЬНОЙ ПЕНЫ

Илья Владимирович Тычинкин¹, Олег Федорович Шишлов², Виктор Владимирович Глухих³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ ilya.ty4inkin@yandex.ru

² o.shishlov@ucp.ru

³ gluhihvv@m.usfeu.ru

Аннотация. Данное исследование направлено на изучение влияния деаэрата ПМС-10000 на теплопроводность лигнинсодержащей фенольной пены. Фенольная пена была получена на основе лигнинсодержащей фенольной смолы с содержанием 10 % лигнина. Статья содержит сведения о свойствах резольной фенолформальдегидной смолы и деаэрате ПМС-10000, а также метод определения теплопроводности теплоизоляционного материала. В ходе исследования было отмечено, что введение деаэрата ПМС-10000 в количестве 1 % от общей массы смолы в состав лигнинсодержащей фенольной пены увеличивает теплопроводность готового теплоизоляционного материала.

Ключевые слова: фенолформальдегидные смолы, лигнин, фенольная пена, деаэрат, теплопроводность материалов

Для цитирования: Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Оценка влияния деаэрата на теплопроводность лигнинсодержащей фенольной пены // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2023. С. 156–161.

Scientific article

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE DEAERATOR ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF LIGNIN-CONTAINING PHENOLIC FOAM

Ilya V. Tychinkin¹, Oleg F. Shishlov², Viktor V. Glukhikh³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ ilya.ty4inkin@yandex.ru

² o.shishlov@ucp.ru

³ gluhihvv@m.usfeu.ru

© Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В., 2023

Abstract. This study is aimed at studying the effect of the PMS-10000 deaerator on the thermal conductivity of lignin-containing phenolic foam. Phenolic foam was obtained on the basis of a lignin-containing phenolic resin with a content of 10 % lignin. The article contains information about the properties of the phenol–formaldehyde resin and the PMS-10000 deaerator as well as a method for determining the thermal conductivity of a thermal insulation material. During the study it was noted that the introduction of the PMS-10000 deaerator in the amount of 1 % of the total resin mass into the composition of lignin-containing phenolic foam increases the thermal conductivity of the finished thermal insulation material.

Keywords: phenol-formaldehyde resins, lignin, phenolic foam, deaerator, thermal conductivity of materials

For citation: Tychinkin I. V., Shishlov O. F., Glukhikh V. V. Evaluation of the effect of a deaerator on the thermal conductivity of lignin-containing phenolic foam // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2023. P. 156–161.

Органические теплоизоляционные материалы в основном включают термопластичные и термореактивные пенопласты, представленные пенополистиролом (ПС), поливинилхлоридом (ПВХ), пенополиуретаном (ППУ) и фенольной пеной (ФП) [1]. Они используются во многих отраслях (чаще в строительной) благодаря их хорошим теплоизоляционным свойствам, низкой плотности и относительно низкой стоимости, позволяя эффективно сокращать энергопотребление различных типов сооружений и достигать высокой эффективности по энергосбережению. Однако пены ПС, ПВХ и ППУ имеют относительно низкую температуру термостойкости, при горении выделяют дым и ядовитые газы, вызывая загрязнение окружающей среды и влияя на здоровье людей при пожарах [2].

Фенольная пена – это теплоизоляционный материал на основе фенольной смолы, образующийся путем расширения пузырьков вспенивающего агента и отверждения резольной фенолформальдегидной смолы при нагревании под действием отвердителя [3]. Низкое дымовыделение, самозатухаемость, нетоксичность, хорошая термическая стабильность и огнестойкость по сравнению с таковыми у ПС, ПВХ и ППУ привлекает большое внимание потребителей и позволяет широко использовать фенольную пену в качестве изоляционного материала [4].

Однако данный материал, как и его предшественники, несовершенен и в настоящее время модификация фенольной пены в основном сосредоточена на повышении огнестойкости и ударопрочности, а также на снижении теплопроводности.

Так, при вспенивании фенольной пены на стадии смешения компонентов возможно большое включение воздуха в систему и увеличение теплопроводности готового материала. Для снижения количества пузырьков воздуха

в данной работе был использован деаэратор полиметилсилоксан (ПМС-10000).

Методы и материалы

В работе использовали деаэратор полиметилсилоксан (ПМС-10000), который вводили в систему в количестве 1 % от общей массы смолы на стадии смешения компонентов.

Основные характеристики деаэратора полиметилсилоксана ПМС-10000 представлены ниже.

Внешний вид	Жидкость без запаха, вкуса и цвета, прозрачная
Плотность, г/см ³	0,974
Содержание механических примесей	Отсутствует
Кинематическая вязкость, сСт	10 000
Температура застывания не выше, °С	-62
Температура вспышки в открытом тигле, не ниже, °С	315
Коэффициент преломления	1,4035
Поверхностное натяжение, кгс/м	21,3

Резольная фенолформальдегидная смола с содержанием 10 % лигнина для производства теплоизоляционных материалов была синтезирована в лаборатории научно-технического центра ПАО «Уралхимпласт».

В качестве лигнина использовали крафт-лигнин Lineo™ компании Stora Enso, который представляет собой аморфное порошкообразное вещество с плотностью 1,22–1,43 г/см³, с содержанием сухого вещества 92–96 %, светло-кремового или темно-коричневого цвета со специфическим запахом. Молекулярная масса 5150–10500 [5].

Основные характеристики резольной лигнинсодержащей фенолформальдегидной смолы представлены ниже.

Условная вязкость при 25 °С, сПз	3100
Массовая доля щелочи, %	0,57
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	79,2
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,84
Массовая доля свободного фенола, %	0,7
Кислотность, рН	6,9–7,4

Для получения фенольной пены использовали резольную лигнинсодержащую фенолформальдегидную смолу, вспенивающий агент, отвердитель и модификатор, деаэратор ПМС-10000. Все компоненты перемешивали в смесителе, а затем загружали в термостатированный ящик и выдерживали при температуре 80 °С в течение 30 мин. Готовый блок фенольной пены оставляли на сутки под вытяжной вентиляцией для устранения запаха и окончательного отверждения.

Для изучения влияния деаэратора на теплопроводность фенольной пены из готового блока вырезали образцы размером 300x300x20 мм в количестве трех штук [6].

Для измерения теплопроводности образцов использовали прибор Lambda-Meter EP500e с горячей охранной зоной (GHP, Guarded Hot Plate),/ который предназначен для определения термического сопротивления и теплопроводности при стационарном тепловом режиме для различных строительных и конструкционных материалов методом контролируемых пластин (путем измерения электрической мощности, подаваемой на нагревательные элементы зоны измерения горячей плиты прибора) в соответствии с требованиями стандартов ISO 8302, ASTM C177, ГОСТ 7076.

Для перемещения средней части (верхней измерительной пластины) прибор оснащен подъемным механизмом с электроприводом, позволяющим производить измерение толщины установленного образца при заданной номинальной нагрузке либо перемещаться на заданную номинальную толщину в случае, когда производятся измерения образцов с очень низкой плотностью. Измерение толщины образца проводится согласно требованиям стандартов DIN 18164 и DIN 18165.

Конструкция прибора обеспечивает возможность проведения измерения образца без предварительного термостатирования, а также без использования внешних систем охлаждения и систем продувки рабочего пространства газами. Устранение торцевых стоков тепла обеспечено тремя охранными зонами, состоящими из двух зон нагревательных элементов, а также зоны из 12 элементов Пельтье с воздушным охлаждением, окружающими зону измерений с размерами 200 x 200 мм, расположенную в центре рабочей зоны прибора. Измерение температуры пластин проводится интегрально. Управление осуществляется через сенсорный дисплей.

Готовый образец укладывают на рабочую поверхность прибора и опускают верхнюю (подвижную пластину) до момента звукового сигнала прибора и срабатывания датчика измерения толщины образца. В программе вводят значение длины, ширины и толщины образца, а также интервал разности температур, в котором будет измеряться теплопроводность образца (по стандарту DIN 18164 и DIN 18165 15, 25, 40 °С соответственно). Влажность учитывается по ГОСТ Р ЕН 1604–2008. Затем в базу данных вносят наименование образца и количество повторений и запускают прибор. В процессе измерения отображаются текущее значение теплопроводности и отклонение измеренного значения в течение последних 15 мин измерения. Прибор замеряет теплопроводность образца при заданной температуре до тех пор, пока отклонение значения теплопроводности не будет в диапазоне 0–1. Измерив значения теплопроводности в каждом температурном интервале, прибор рассчитывает среднее значение, которое после окончания замеров выводится (записывается) в программе.

В ходе испытания образцов была рассчитана теплопроводность для образцов фенольной пены с содержанием в своем составе 1 % деаэрата ПМС-10000. Результаты теплопроводности стандартной фенольной пены, фенольной пены на основе лигнинсодержащей смолы без деаэрата и с его использованием представлены ниже.

	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Стандартная фенольная пена	0,030
Лигнинсодержащая фенольная пена (10 % лигнина)	0,0317
Лигнинсодержащая фенольная пена с деаэратом (10 % лигнина)	0,0319

Полученные данные свидетельствуют о том, что с использованием деаэрата ПМС-10000, введенного в количестве 1 % на стадии смешения компонентов лигнинсодержащей фенольной пены, незначительно увеличивается теплопроводность готового теплоизоляционного материала. Однако это не будет отрицательно влиять на производство данного материала при условии, что деаэрат позволяет значительно увеличить прочность лигнинсодержащей фенольной пены, о чем подробно написано в статье [6].

Выводы

1. Проведены испытания по изучению влияния деаэрата ПМС-10000 на теплопроводность лигнинсодержащей фенольной пены.
2. Установлено, что введение деаэрата ПМС-10000 в количестве 1 % на стадии смешения компонентов системы незначительно увеличивает теплопроводность готовой лигнинсодержащей фенольной пены.

Список источников

1. Using lignin degraded to synthesize phenolic foams with excellent flame retardant property / Shuting Z., Xiaodong C., Zhitian F., Rui N., Xiaoli L., Yumei T. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2023. P. 666. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131373>
2. Effect of formaldehyde to phenol molar ratio on combustion behavior of phenolic foam / T. Kaihong, H. Xiaofeng, X. Guiqiu, T. Xiaojun, G. Tiejun, Z. Ailing // *Polimer Testing*. 2022. P. 111. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107626>
3. Nitrogen-doped carbon derived from composite of phenolic and amino foam: Effect of synthesis processes on physicochemical properties and super-capacitive performances / Na Z., Bin H., Haoyu G., Rui W., Jiawei S., KaiKai L., Haiyang J. // *Diamond and Related Materials*. 2022. P. 126. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109134>

4. Design lignin doped with nitrogen and phosphorus for flame retardant phenolic foam materials / Shuxian W., Zhuo L., Caiying B., Fei S., Yuzhi X., Lihong H., Yonghong Z., Puyou J. // *Reactive and Functional Polymers*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2023.105535>

5. Шишлов О. Ф., Баулина Н. С., Глухих В. В. Лигнинсодержащие фенолкарданолформальдегидные смолы для фанеры и древесностружечных плит // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2019. № 4. С. 40–45.

6. Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Влияние деаэрата на прочность при сжатии фенольной пены // *Молодой ученый*. 2022. № 19 (414). С. 10–13.

References

1. Using lignin degraded to synthesize phenolic foams with excellent flame retardant property / Shuting Z., Xiaodong C., Zhitian F., Rui N., Xiaoli L., Yumei T. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2023. P. 666. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131373>

2. Effect of formaldehyde to phenol molar ratio on combustion behavior of phenolic foam / Kaihong T., Xiaofeng H., Guiqiu X., Xiaojun T., Tiejun G., Ailing Z. // *Polimer Testing*. 2022. P. 111. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107626>

3. Nitrogen-doped carbon derived from composite of phenolic and amino foam: Effect of synthesis processes on physicochemical properties and super-capacitive performances / Na Z., Bin H., Haoyu G., Rui W., Jiawei S., KaiKai L., Haiyang J. // *Diamond and Related Materials*. 2022. P. 126. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109134>

4. Design lignin doped with nitrogen and phosphorus for flame retardant phenolic foam materials / Shuxian W., Zhuo L., Caiying B., Fei S., Yuzhi X., Lihong H., Yonghong Z., Puyou J. // *Reactive and Functional Polymers*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2023.105535>

5. Shishlov O. F., Baulina N. S., Glukhikh V. V. Lignin-containing phenol-cardanol-formaldehyde resins for plywood and chipboards // *Woodworking industry*. 2019. No. 4. P. 40–45. (in Russ.)

6. Tychinkin I. V., Shishlov O. F., Glukhikh V. V. Influence of a de-aerator on the compressive strength of phenolic foam // *Young scientist*. 2022. №. 19 (414). P. 10–13. (in Russ.)