

получим дифференциальное уравнение первого порядка относительно

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial \tau} - \frac{6a_3}{\delta^2} \bar{F}(\tau) = \frac{1}{\gamma c_p} \frac{\partial q}{\partial \tau} - \frac{6a_3}{\delta^2} \frac{\partial T(\tau)}{\partial \tau} \quad (6)$$

Решая его, определим

$$\bar{F}(\tau) = \exp\left(-\frac{6a_3}{\delta^2} \tau\right) \int_0^{\tau} \left[\frac{1}{\gamma c_p} \frac{\partial q}{\partial \tau} - \frac{6a_3}{\delta^2} \frac{\partial T}{\partial \tau} \right] \exp\left(-\frac{6a_3}{\delta^2} \tau\right) d\tilde{\tau} \quad (7)$$

Вычисляя интеграл в уравнении (7) по частям и подставляя в уравнение (5), получим выражение, характеризующее распределение температур в капиллярно-пористой структуре древесностружечной плиты с внутренним источником тепла:

$$T(\delta, \tau) = \frac{\delta^2}{2\gamma c_p} \left[q(\tau) \frac{a_3 - 1}{a_3} - q(0) \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) - 3a_3 \left[T(\tau) - T(0) \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) + 3a_3 \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) \int_0^{\tau} \frac{1}{\gamma c_p} q(\tilde{\tau}) + \frac{6a_3}{\delta^2} T(\tilde{\tau}) \right] \times \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) d\tilde{\tau} + T(\tau) \right]$$

Погрешность данного решения зависит от толщины плиты и может быть оценена в каждом конкретном случае отдельно.

Полученное решение позволяет установить распределение температуры по сечению формируемых древесностружечных плит с внутренним источником тепла, а в последующем определить нужный технологический регламент на изготовление качественных древесностружечных плит.

УДК 678.664-405.8

Н.Н.ЦЫБУЛЬКО, А.И.МАНДРИКОВА,
И.А.ГУРСКАЯ

ОГНЕСТОЙКИЕ ЖЕСТКИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНЫ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Применение в строительстве жестких пенополиуретанов (ППУ) при изготовлении легких ограждающих конструкций, а также в качестве связующих при изготовлении древесностружечных плит позволяет сравнительно просто изготавливать легкие трехслойные панели, резко увеличить производительность, снизить энергозатраты и улучшить физико-механические свойства древесностружечных плит [1]. Для успешного использования ППУ в строительстве и в производстве древесностружечных плит необходимо снизить его горючесть и тем самым уменьшить степень пожароопасности строительных объектов.

ППУ имеют сложный компонентный состав и своеобразную структуру. При высокотемпературном разложении выделяют вредные соединения, в связи с этим большое значение приобретает проблема повышения огнестойкости пенопластов. Повысить огнестойкость ППУ можно различными способами: введением минеральных наполнителей; соединений, способных плавиться и обволакивать негорючие защитные пленки; соединений, выделяющих при горении негорючие газы; различных антипиренов и модификаторов [2-5].

При выборе огнегасящих добавок необходимо, чтобы они имели хорошую совместимость, были достаточно стабильны в отношении теплового и светового старения, не ухудшали свойств ППУ, были доступны и экономически целесообразны.

С учетом этих условий в качестве огнегасящих добавок при проведении исследований использовали: фосфоросодержащий простой полиэфир (фосполиол-2), фумаровую кислоту, нефелиновый антипирен, аммоний-титанфтористый, трехокись сурьмы, поливинилхлорид С-70, сульфат магния, фторид бария. ППУ синтезировали на основании простых полиэфиров, стабилизатора пены, вспенивающего агента, катализатора отверждения, полиизоцианата и целевых добавок. Синтез проводили при комнатной температуре и свободном вспенивании. Огнегасящие добавки вводили в полиэфирную смесь. Массу тщательно перемешивали в течение 3 мин. Затем добавляли расчетную массу полиизоцианата и опять перемешивали в течение 15-20 с. После этого смесь выливали в форму, где происходило вспенивание и отверждение. Эффективность огнегасящих добавок оценивали по потере массы ППУ при горении, времени свободного горения и длине обгоревшей части образца пенопласта.

Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния огнегасящих добавок на физико-механические свойства жестких ППУ представлены в табл. 1.

Из представленных в таблице данных видно, что одновременное введение в ППУ композицию в определенном соотношении в качестве огнегасящих добавок нефелинового антипирена, аммония-титанфтористого и фумаровой кислоты является целесообразным. Потеря массы ППУ при горении, являющаяся основным показателем, характеризующим горючесть, в данном случае составляет 2-11 %, что в 2,3-12,9 раза меньше по сравнению с аналогичным показателем для наиболее распространенных огнестойких ППУ-304Н, изготовленных по известной рецептуре, содержащей фосполиол-2. Следует также отметить, что этот показатель уменьшается с увеличением концентрации названных огнегасящих добавок. По-видимому, ингибирование горения достигается за счет негорючих пленок, образующихся на поверхности структурного скелета ППУ при расплаве оксидов металлов и препятствующих пиролизу пенопласта и выделению горючих газов, а также за счет образования фосфоргаллоидсодержащих соединений.

При использовании огнегасящей добавки из четырех компонентов, полученной путем добавления к антипиренам трехокси сурьмы, горючесть ППУ еще больше снижается. Потеря массы при горении в этом случае составляет лишь 1,3-2,6 %. В результате химического взаимодействия трехокси сурьмы с нефелиновым антипиреном и аммонием-титанфтористым образуются полифосфогаллоидсурьмяные соединения, которые еще в большей степени препятствуют диффузии горючих газов пиролиза.

Зависимость физико-механических свойств жестких ППУ от вида и содержания огнегасящих добавок

Наименование и содержание огнегасящих добавок	Физико-механические свойства жестких ППУ									
	потеря массы, %	время свободного горения, с	длина обгоревшей части, м	кажущаяся плотность, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	прочность при изгибе, МПа	ударная вязкость, Дж/м ²	водопоглощение, кг/м ²		
ППУ-304Н (содержит 50 мас.ч ФП-2)	25,8	6,0	0,04	57,0	0,12	0,12	210	0,10		
Нефелиновый антипирен	11,0	6,0	0,042	32,0	0,12	0,32	178	0,019		
5 фтористый сульфат бария	7,6	4,0	0,042	32,6	0,13	0,34	181	0,018		
10 фтористый сульфат бария	5,4	1,4	0,038	33,9	0,15	0,37	203	0,018		
15 фтористый сульфат бария	2,0	0,6	0,036	33,1	0,14	0,35	190	0,012		
20 фтористый сульфат бария										
Нефелиновый антипирен										
5 фтористый сульфат бария + титан-окись	2,6	2,0	0,042	34,0	0,14	0,28	182	0,02		
10 фтористый сульфат бария + титан-окись	1,96	1,8	0,038	36,4	0,14	0,30	198	0,02		
15 фтористый сульфат бария + титан-окись	1,3	0,6	0,035	41,4	0,16	0,32	214	0,03		
20 фтористый сульфат бария + титан-окись										
Фосполиол-2 (ФП-2)										
7 матия + фторид бария	4,3	1,6	0,002	31,8	0,12	0,33	170	0,03		
2,5 матия + фторид бария	3,02	1,9	0,002	34,4	0,12	0,34	198	0,03		
3 матия + фторид бария	2,0	1,8	0,002	37,5	0,15	0,37	202	0,03		
10 матия + фторид бария	3,54	2,0	0,001	39,4	0,19	0,46	254	0,02		
3 матия + фторид бария	29,3	3,6	0,096	34,9	0,14	0,43	201	0,03		
20 матия + фторид бария										
Фосполиол-2 (ФП-2)										
50 поливинилхлорид + трехокись сурьмы	10,9	0,3	0,025	56,1	0,28		240	0,07		
10 поливинилхлорид + трехокись сурьмы	9,6	0	0,020	57,3	0,29		250	0,06		
15 поливинилхлорид + трехокись сурьмы	8,4	0	0,010	58,2	0,36		260	0,05		
30 поливинилхлорид + трехокись сурьмы	6,2	0	0,010	59,1						
40 поливинилхлорид + трехокись сурьмы										

Вводимая в обе композиции фумаровая кислота использовалась также с целью снижения дымообразования.

Две ППУ композиции, помимо общепризнанного фосполиола – 2, содержали: в первом случае сульфат магния и фторид бария, во втором – поливинилхлорид С-70 и трехокись сурьмы. Указанные антипирены, вступая в химическое взаимодействие с фосполиолом и другими ингредиентами рецептур, образуют дополнительно галоидфосфорные полимеры и галоидводороды, что также ведет к понижению горючести пенопласта. По сравнению с известной композицией ППУ-304Н обе новые композиции также отличаются лучшими физико-механическими свойствами. Причем первая композиция, содержащая значительно меньшую массу дорогостоящего фосполиола-2 (7–20 мас. ч), имеет меньшую потерю массы в 6–7 раз.

Влияние дополнительных антипиренов наглядно можно проследить по второй композиции, имеющей одинаковое с известной композицией содержание фосполиола-2. Как видно из таблицы, при одинаковой массе фосполиола-2 в известной и предлагаемой композициях ППУ, полученный на основе последней, имеет потерю массы при горении в 2,4–4,2 раза меньшую.

Положительным является и то, что выбранные огнегасящие добавки не снижают, а, наоборот, повышают прочностные свойства пенопластов (даже при значительно меньшей плотности). А так как механические свойства пенопластов в первую очередь зависят от их макроструктуры, то можно сказать, что применение целевых добавок привело к улучшению макроструктуры, уплотнению макромолекул.

Максимальная прочность при сжатии у разработанных пенопластов достигает 0,5 МПа, что примерно в 4 раза превосходит этот показатель для пенопластов, полученных по известной рецептуре.

Пенопласты имеют также высокие значения прочности при изгибе (от 0,28 до 0,46 МПа) и ударной вязкости (от 170 до 280 Дж/м²). Водопоглощение исследованных пенопластов изменяется от 0,012 до 0,07 кг/м².

Таким образом, разработанные ППУ как по огнестойкости, так и по прочностным свойствам превосходят наиболее распространенный и известный огнестойкий ППУ-304Н и поэтому могут с успехом применяться в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и при изготовлении древесных плит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушев В.П., Пчелинцев В.С., Яковлев А.И. Огнестойкость зданий. – М.: Стройиздат, 1970, с. 261–262.
2. Использование жестких пенополиуретанов в качестве связующих для получения древесностружечных плит/ Н.Н.Цыбулько, Ф.С.Мартинович, В.М.Сацура и др. – В сб.: Механическая технология древесины. Мн.: Выш.шк., 1979, вып.9, с. 57–62.
3. Цыбулько Н.Н. Огнестойкие пенополиуретаны для древесных плит и строительных изделий. – В сб.: Механическая технология древесины. Мн.: Выш.шк., 1982, вып. 12, с. 66–70.
4. А.с. № 200150 (СССР). Способ получения самозатухающих пенополиуретановых материалов/ Ф.К.Самигулин, И.М.Кафенгауз, А.П.Кафенгауз. – Оpubл. Б.И., 1967, № 16.
5. А.с. 258582 (СССР). Способ получения самозатухающих пенополиуретанов/М.В.Шоштаева, Ф.А.Крючков, Б.Н.Ротенберг и др. – Оpubл. в Б.И., 1970, № 1.