

Н. Н. Бахман, И. Н. Лобанов

## СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ГОРЕНИЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПММА ДЛЯ ОБЫЧНЫХ И ПОТОЛОЧНЫХ ПЛАМЕН

Скорость распространения пламени  $w$  вдоль поверхности плоского или цилиндрического образца полимера зависит от угла наклона  $\varphi$  образца к горизонтали [1] (в [1] приведена также подробная библиография). Согласно [1], повышение  $w$  по мере роста  $\varphi$  связано с возрастанием вклада естественной конвекции в теплопередачу от факела пламени к свежему полимеру.

Еще одна возможность оценить роль естественной конвекции при горении полимера состоит в том, чтобы сравнить величину  $w$  для обычных (выше образца полимера) и потолочных пламен (ниже нижней поверхности образца). Очевидно, что во втором случае роль конвективной теплопередачи должна быть существенно выше, так как архимедова сила стремится прижать пламя и горячие продукты сгорания к нижней поверхности образца. Лишь при  $\varphi = -90^\circ$  (горение вертикально вниз) и  $\varphi = +90^\circ$  (горение вертикально вверх) термины обычное и потолочное пламя теряют смысл, так как пламена с обеих сторон образца находятся в одинаковых условиях.

В данной работе проведены опыты с плоскими образцами листового ПММА длиной 195, шириной 25 и толщиной  $\Delta = 2 \div 8$  мм, которые приклеивались к металлической термостатируемой подложке ( $T_{\text{подл}} = 80^\circ\text{C}$ ) и горели только с одной стороны<sup>1</sup>. Образцы поджигали электроспиралью шириной 20 мм, изготовленной из нихромовой проволоки диаметром 1 мм.

Результаты опытов приведены в табл. 1. Исходя из них, в табл. 2 вычислено отношение скоростей потолочного и обычного пламени  $w_{\text{п}}/w_0$  при различных  $\varphi$ . При всех  $\varphi$   $w_{\text{п}}/w_0 > 1$ . Максимальное значение  $w_{\text{п}}/w_0 = 2,5 \div 4$  наблюдается для горизонтальных образцов, а при  $\varphi = -45^\circ$  оно несколько выше, чем при  $\varphi = +45^\circ$ . Если  $\varphi = 0$ , отношение  $w_{\text{п}}/w_0$  монотонно растет с толщиной образца, в то время как при  $\varphi = \pm 45^\circ$  какой-либо систематической зависимости  $w_{\text{п}}/w_0$  от  $\Delta$  не отмечается.

При  $\Delta = \text{const}$  скорость как обычного, так и потолочного пламени растет вместе с  $\varphi$ . Однако в изученных условиях в интервале  $\varphi = -45^\circ \div 0$  величина  $w_0$  практически не зависит от  $\varphi$ , в то время как  $w_{\text{п}}$  увеличивается в 1,6–2,4 раза: при  $\Delta = 3, 4, 5, 6$  и 8 мм  $(w_{\text{п}})_0 / (w_{\text{п}})_{\pm 45} = 1,6, 1,9, 2,4, 2,2$  и 2,2. Однако в интервале  $\varphi = 0 \div +45^\circ$

Таблица 1

$\Delta$ , мм	$\varphi = -90^\circ$		$-45^\circ$		0		$+45^\circ$		$+90^\circ$	
	$w_0$	$w_{\text{п}}$	$w_0$	$w_{\text{п}}$	$w_0$	$w_{\text{п}}$	$w_0$	$w_{\text{п}}$	$w_0$	$w_{\text{п}}$
2,0	—	—	—	0,06	—	—	—	0,3	—	—
2,5	0,05	—	—	0,07	—	—	0,2	0,5	—	1,0
3,0	0,05	—	0,05	0,08	0,05	0,13	0,4	0,55	—	1,2
4,0	0,05	—	0,055	0,08	0,05	0,15	0,4	0,6	—	1,3
5,0	0,05	—	0,06	0,08	0,055	0,19	0,5	0,6	—	1,5
6,0	0,06	—	0,06	0,09	0,055	0,20	0,5	0,6	—	1,5
8,0	0,06	—	0,06	0,09	0,05	0,20	0,5	0,7	—	1,6

Примечание. Прочерк означает отсутствие горения; скорость ( $w_0$ ,  $w_{\text{п}}$ ) — в мм/с.

<sup>1</sup> Очевидно, что при двухстороннем горении имеет место суперпозиция процессов распространения обычного пламени по верхней стороне и потолочного пламени по нижней стороне образца. Это усложняет анализ закономерностей горения.

Т а б л и ц а 2

$\Delta$ , мм	$w_{II}/w_0$		
	$\varphi = -45^\circ$	$\varphi = 0$	$\varphi = +45^\circ$
3	1,6	2,6	1,4
4	1,4	3,0	1,5
5	1,3	3,4	1,2
6	1,5	3,6	1,2
8	1,5	4,0	1,4

$w_{II}$  повышается с ростом  $\varphi$  в 2—3 раза медленнее, чем обычного пламени:

$\Delta$ , мм	3	4	5	6	8
$(w_0)_{+45}/(w_0)_0$	8,0	8,0	9,1	9,1	10,0
$(w_0)_{+45}/(w_{II})_0$	4,2	4,0	3,1	3,3	3,5

В целом, в интервале  $\varphi = -45^\circ \div +45^\circ$  степень увеличения  $w_{+45}/w_{-45}$  для потолочного пламени примерно такая же, как и для обычного пламени.

Отношение  $w_{+90}/w_{-90}$  характеризует максимальное изменение скорости пламени за счет ориентации образца. В данной работе получено:  $\Delta = 2,5, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0$  и  $8,0$  мм,  $w_{+90}/w_{-90} = 20, 24, 26, 30, 25$  и  $27$ . Отметим, что в [2] для термически толстых образцов ( $\Delta = 25$  мм)  $w_{+90}/w_{-90} = 15 \div 17$ .

Остановимся теперь на зависимости  $w(\Delta)$ . В [3] показано, что при горении образца на подложке скорость пламени по мере уменьшения толщины образца сначала остается постоянной, а затем начинает снижаться (из-за роста теплопотерь в подложку) и затухает при некотором  $\Delta = \Delta_{кр}$ . Аналогичная зависимость получена и в данной работе (см. табл. 1). Величина  $\Delta_{кр}$  для потолочных пламен несколько меньше, чем для обычных. Так, при  $\varphi = -45^\circ$  для потолочных пламен  $\Delta_{кр} < 2$  мм, а для обычных пламен  $\Delta_{кр} = (\Delta_+ + \Delta_-)/2 = (3,0 + 2,5)/2 = 2,75$  мм (здесь  $\Delta_+$  — наименьшая толщина образца, при которой горение устойчиво,  $\Delta_-$  — наибольшая толщина, при которой оно затухает).

Таким образом, проведенные опыты показали, что скорость распространения пламени для потолочных пламен выше, а величина  $\Delta_{кр}$  несколько ниже, чем для обычных пламен. Это согласуется с исходным предположением о более значительном вкладе конвективной теплопередачи из зоны горения к свежему полимеру в случае потолочных пламен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бахман Н. Н., Кодолов В. И., Ларионов К. Н. и др. Влияние ориентации образца твердого горючего на скорость распространения пламени вдоль его поверхности // ФГВ.— 1988.— 24, № 6.— С. 63.
2. Ito A., Kashiwagi T. // Combust. Flame.— 1988.— 71, N 2.— P. 189.
3. Алдабаев Л. Н., Бахман Н. Н., Кондраков Б. Н. и др. Критические условия горения и скорость распространения пламени вдоль плоских слоев ПММА // ФГВ.— 1981.— 17, № 2.— С. 82.

г. Москва

Поступила в редакцию 21/III 1991

УДК 536.46 + 541.128 ÷ 681.3

Б. М. Хусид, Б. Б. Хина, Е. А. Баштовая

#### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАКАЛКЕ ВЕЩЕСТВА В ВОЛНЕ СВС

Выполнены оценки скоростного охлаждения для различных режимов теплоотвода от поверхности СВС-образца. На примере системы титан — углерод проведено численное исследование гашения фронта горения. Рассчитаны зависимости скорости охлаждения от температуры в различных зонах волны горения.