

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ
ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ**

*И. М. Абдурагимов, А. С. Андросов, Б. В. Талченко
(Москва)*

Одним из практически важных и наименее изученных процессов термического разложения твердых горючих материалов является их пиролиз под влиянием внешних тепловых потоков. В подавляющем большинстве пожаров загорание, распространение пламени по поверхности и последующее выгорание материала происходит под воздействием тепловых потоков, создаваемых как от собственного пламени, так и за счет излучения, конвекции от пламени окружающих горящих предметов. Образцы, подвергаясь тепловому воздействию, прогреваются, начинают разлагаться с выделением летучих продуктов, которые в смеси с воздухом способны к воспламенению от источника зажигания.

Некоторые твердые материалы с горизонтальной поверхностью, в том числе и древесина толщиной более 2-3 мм, не способны к устойчивому распространению пламени и выгоранию в нормальных условиях за счет только тепла от собственного пламени [1, 2]. Таким образом, пиролиз и горение твердых горючих материалов под воздействием тепловых потоков — наиболее характерный вид горения при пожаре, в том числе на его начальной стадии.

В настоящей работе изучен пиролиз образцов сосновой древесины размером 70×60×35 мм на экспериментальной установке, описанной в [2]. При воздействии лучистого теплового потока поверхность образца постепенно чернела, затем появлялись трещины, количество которых быстро росло с увеличением размеров. Наконец, на поверхности образовывались очаги (как правило, на грани трещин) гетерогенного горения углистого слоя, которые затем распространялись на всю поверхность.

Весовым методом определялось количество вещества, разлагающегося с единицы поверхности (степень превращения материала). По полученным кинетическим кривым вычислена скорость пиролиза древесины

$$m = \Delta P / S \cdot \Delta \tau, \quad (1)$$

где m — скорость пиролиза; P — количество выделившихся летучих продуктов пиролиза; S — поверхность пиролиза; τ — время пиролиза.

На рис. 1 представлена зависимость скорости разложения материала от времени воздействия тепловых потоков различной плотности (q , кВт/м²: 1 — 40, 2 — 27, 3 — 25, 4 — 19,2, 5 — 13,3, 6 — 10). Видно, что скорость непостоянна во времени: вна-

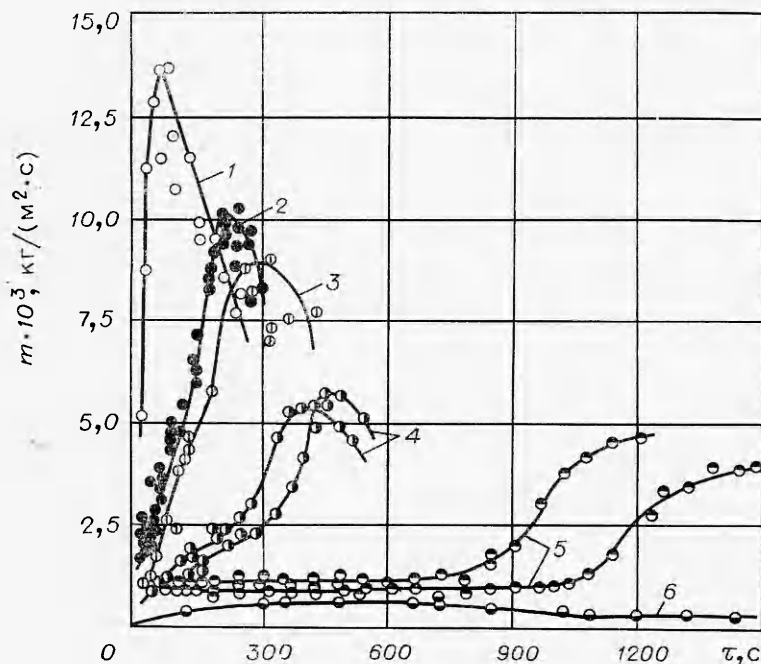


Рис. 1.

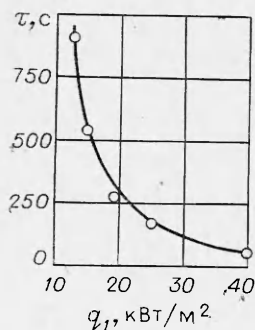


Рис. 2.

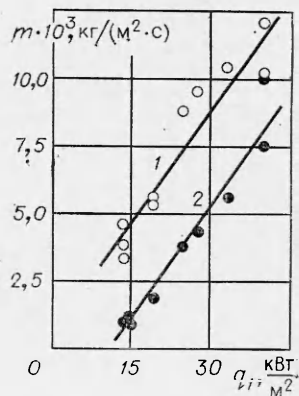


Рис. 3.

чале она возрастает, достигая максимального значения, а затем снижается. С увеличением плотности теплового потока q возрастает максимальная скорость пиролиза и снижается время ее достижения. Практически при всех потоках к этому моменту уже имеет место гетерогенное окисление поверхностного слоя. Начало ускорения пиролиза образцов, особенно четко наблюдаемое при небольших плотностях потоков (см. рис. 1), совпадает с появлением на поверхности гетерогенного горения¹. С помощью термопар, зачеканенных на поверхности образцов, установлено, что начало гетерогенного окисления углистого слоя наступает при достижении температуры $360 \div 450^\circ\text{C}$. При этом с увеличением плотности теплового потока температура несколько возрастает. Если при $q = 13,3 \text{ кВт/м}^2$ она составляет в среднем 375°C , то при $q_1 = 19,5 \text{ кВт/м}^2 - 430^\circ\text{C}$ ($\pm 15^\circ\text{C}$). При $q = 10 \text{ кВт/м}^2$ температура поверхностного слоя достигает $220 \div 230^\circ\text{C}$ и в течение длительного периода (более 1500 с) гетерогенного воспламенения поверхности не наступает.

Зависимость времени появления очага воспламенения (τ_r) от плотности внешнего потока (q_1), представленная на рис. 2, удовлетворительно описывается аналитической зависимостью

$$\tau_r = 1,2 \cdot 10^6 / q_1^{2,8}. \quad (2)$$

На рис. 3 представлена зависимость скорости термического разложения древесины от плотности теплового потока. Поскольку скорость пиролиза непостоянна во времени, она определялась при фиксированных значениях степени превращения: 1,5 и 0,25 кг/м^2 (кривые 1, 2 соответственно). Эти значения выбраны из тех соображений, что во втором случае при всех потоках пиролиз протекал без гетерогенного горения, образующегося на поверхности углистого слоя, а в первом — оно имело место, при этом скорость пиролиза была близка к максимальной. Как видно из рис. 3, зависимость массовой скорости разложения от плотности внешнего потока имеет линейный характер.

Тепловой баланс процесса разложения можно записать в следующем виде: для $P/S = 0,25 \text{ кг/м}^2$

$$q_1 = q_2 + q_3, \quad (3)$$

для $P/S = 1,5 \text{ кг/м}^2$

$$q_1 + q_4 = q_2 + q_3, \quad (4)$$

где q_1, q_2, q_3 — плотности теплового потока от внешнего источника излучения, потока, затрачиваемого на пиролиз, теряемого потока; q_4 — плотность потока за счет гетерогенного горения углистого слоя. Очевидно, что

$$q_2 = mQ, \quad (5)$$

где Q — теплота разложения материала.

Решая уравнения (3) и (4) с учетом (5) относительно m , получим для $P/S = 0,25 \text{ кг/м}^2$

$$m = -q_3/Q + 1/Q \cdot q_1, \quad (6)$$

для $P/S = 1,5 \text{ кг/м}^2$

$$m = (q_4 - q_3)/Q + 1/Q \cdot q_1. \quad (7)$$

¹ Для потоков небольшой плотности имеет место разброс экспериментальных данных во времени появления гетерогенного окисления. Линии 2, 3 на рис. 1 показывают границы изменения функции $m = f(\tau)$.

Из сравнения (6) и (7) с экспериментальными данными, представленными на рис. 3, могут быть определены параметры процесса разложения древесины под влиянием внешнего потока излучения²:

P/S , кг/м ²	Q , кДж/кг	q_4 , кВт/м ²	q_3 , кВт/м ²
0,25	3600	0	10,8
1,50	3500	13,0	10,8

Изменение плотности внешнего теплового потока не оказывает влияния на эти параметры. Теряемый тепловой поток в значительной степени зависит от геометрических размеров образца, главным образом от его толщины [3].

Тепловой поток от реакции окисления углекислого слоя определяется в основном скоростью диффузии кислорода воздуха к поверхности пиролиза. Принимая приближенно, что горение углистого слоя протекает по схеме $C+O_2=CO_2+33000$ кДж/кг, можно оценить скорость выгорания углерода с поверхности пиролиза. Поскольку $q_4=m_r Q_r$, получим $m_r=0,4 \cdot 10^{-3}$ кг/(м²·с), где m_r и Q_r — соответственно массовая скорость и тепловой эффект горения углерода. При этом если принять, что плотность образующегося углистого слоя равна $150 \div 100$ кг/м³, то линейная скорость выгорания углерода составит $0,003 \div 0,004$ мм/с.

Скорость пиролиза древесины при появлении гетерогенного горения углистого слоя возрастает, согласно рис. 3, на $\sim 3,5 \cdot 10^{-3}$ кг/(м²·с). Отсюда следует, что выгорание собственно угля составляет $10 \div 12\%$ от общего приращения скорости разложения. Следовательно, ускорение процесса разложения древесины при появлении гетерогенного горения угля на $3,5 \cdot 10^{-3}$ кг/(м²·с) происходит в основном за счет интенсивности разложения древесины до газообразных продуктов в глубине конденсированной фазы. Это обстоятельство, по-видимому, удовлетворительно объясняет факт незначительного изменения теплоты пиролиза древесины при появлении гетерогенного горения угля.

Превышение скорости образования углистого слоя за счет разложения и выхода летучих продуктов над скоростью выгорания приводит к увеличению толщины его слоя на поверхности древесины в процессе пиролиза. Поскольку теплопроводность угля составляет 25% от теплопроводности исходной древесины [4], прогрев материала вглубь замедляется, что приводит к снижению скорости разложения древесины (см. рис. 1).

Согласно полученным экспериментальным данным, при плотности внешнего теплового потока $10,8$ кВт/м² и менее разложение древесины становится фактически невозможным. Как следует из приведенных данных, действительно, под воздействием этого потока скорость разложения незначительна и, по-видимому, обусловлена выделением влаги из воздушно-сухого образца. Поверхность пиролиза остается практически светлой, сохраняет волокнистую структуру и гетерогенного воспламенения не наблюдается в течение всего изученного времени влияния теплового потока.

Таким образом, полученные в работе данные позволяют оценить кинетику и основные параметры процесса разложения твердых материалов под влиянием внешних тепловых потоков при отсутствии пламенного горения.

Поступила в редакцию
24/V 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Абдурагимов, А. С. Андросов, Е. В. Крылов. Тр. ВИПТШ МВД СССР, вып. 3, 1978.
2. А. С. Андросов, И. М. Абдурагимов. Тр. ВИПТШ МВД СССР, вып. 4, 1979.
3. P. H. Thomas. J. Fire and Flammabil, 1974, 5, 1.
4. В. П. Козлов. Пиролиз древесины. М., Изд-во АН СССР, 1962.

² В первом приближении принято, что плотность теряемого теплового потока при $0,25$ и $1,5$ кг/м² одинакова.