

3. Область промежуточных концентраций $\beta_2 < \beta < \beta_*$. В этом режиме при $d > d_{кр}^{об}$ $t_3 \approx t_*$, а при $d < d_{кр}^{об}$ время задержки зажигания рассчитывается по коэффициенту теплообмена. Область $d_{кр}^{об} < d < d_{кр}^{оч}$ не охватывается моделями.

Поступила в редакцию
16/IV 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Барзыкин, У. И. Гольдшлегер, А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1970, 191, 1.
2. У. И. Гольдшлегер, В. В. Барзыкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1971, 7, 2.
3. У. И. Гольдшлегер, К. В. Прибыткова, В. В. Барзыкин. ФГВ, 1973, 9, 1.
4. В. И. Лисицкий, А. Г. Мержанов. НТПГВ, 1965, 1, 2.
5. Ю. М. Григорьев, В. И. Лисицкий, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1967, 3, 4.
6. А. Э. Аверсон, В. В. Барзыкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1968, 4, 1.
7. С. М. Муратов, В. М. Махаринский и др. Сб. «Горение и взрыв». М., «Наука», 1967.
8. Д. Янг. Кинетика разложения твердых веществ. М., «Мир», 1969.
9. А. В. Лыков. Теория теплопроводности. М., «Наука», 1967.
10. В. И. Игнатъев, Н. И. Зверев. Изв. ВТИ, 1957, 4.
11. У. И. Гольдшлегер, В. В. Барзыкин. ИФЖ, 1970, 18, 3.
12. Г. Карслоу, Д. Егер. Теплопроводность твердых тел. М., «Наука», 1964.
13. Сб. «Тепло- и массообмен тел с окружающей газовой средой». Минск, 1965.

УДК 536.46

СКОРОСТЬ СТАЦИОНАРНОГО ВЫГОРАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ СЛОЯ ПОРОШКА

Л. И. Алдабаев, Н. Н. Бахман

(Москва)

Скорость ламинарного диффузионного горения жидкости со свободной поверхности зависит от природы жидкости, диаметра горелки, концентрации кислорода в окружающей среде, а также от расстояния Δ между поверхностью жидкости и краем горелки [1]. По мере увеличения Δ скорость горения быстро падает, а затем при некотором $\Delta = \Delta_*$ горение затухает. Для ряда задач представляет интерес скорость выгорания органических жидкостей из слоя порошка.

В данной работе на примере керосина Т-6 исследована зависимость стационарной скорости выгорания горючего из слоя различных порошков в функции плотности, дисперсности частиц и теплофизических свойств слоя, а также вязкости горючего.

Схема установки показана на рис. 1. Сообщающиеся сосуды 1 и 2 заполняются исследуемой жидкостью. Стекло-вая горелка 2 (диаметр 16 мм), в которую снизу впаиван стеклянный фильтр, заполнена слоем

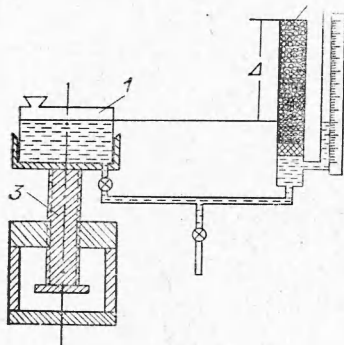


Рис. 1. Схема установки для определения массовой скорости горения жидких горючих.

порошка высотой 70 мм. Уровень жидкости в горелке во время опыта поддерживается постоянным за счет питающего сосуда 1 с диаметром ≈ 150 мм. С помощью микрометрического винта 3 питающий сосуд можно перемещать по вертикали, что позволяет менять расстояние Δ . Горелка заполнялась порошком NaCl с размером частиц ≈ 10 мк и $300 \div 400$ мк или алюминия (размер частиц ≈ 10 мк). Относительная плотность $\delta = \rho/\rho_{\max}$, вычисленная для слоя порошка на воздухе, составляла 0,4 или $\approx 0,6$. Здесь ρ — плотность слоя, ρ_{\max} — плотность монокристалла NaCl (или плотность монолита алюминия).

В опытах менялась вязкость исследуемой жидкости: керосин загущался добавкой ($\approx 0,5\%$) нафтената алюминия. Вязкость контролировалась вискозиметром Хепплера. Массовая скорость горения \dot{m} [г/см²·с] вычислялась по формуле $\dot{m} = G/\tau \cdot S$, где G — вес сгорающей жидкости; τ — время горения; S — площадь поперечного сечения горелки.

Опыты проводились при атмосферном давлении в специально оборудованном вытяжном шкафу, где токи воздуха над горелкой были минимальные, что позволяло получить ровный и устойчивый конус факела пламени в течение всего опыта. Поджигание осуществлялось нихромовой спиралью, которая отводилась вбок сразу после воспламенения жидкости.

На рис. 2 показана зависимость массовой скорости горения керосина от Δ при различной дисперсности и относительной плотности слоя порошка, заполняющего горелку. (Каждая точка на рис. 2 и 3 является средней из 7—10 опытов.)

Кривая 1 относится к горению керосина в обычной горелке, без порошка. В соответствии с результатами работы [1], скорость горения круто падает по мере увеличения расстояния между уровнем жидкости и краем горелки. Остальные кривые на рис. 2. получены для горелок, заполненных порошками.

Для мелкодисперсных порошков NaCl и алюминия скорость горения очень слабо зависит от Δ в диапазоне $0 \leq \Delta \leq 70$ мм. Однако величина скорости горения для изученных порошков неодинакова: при уплотнении слоя и при увеличении теплопроводности частиц слоя (ср. кривые 4 и 5) величина скорости горения снижается. Для крупного порошка NaCl ($\delta = 0,6$) скорость горения при $0 \leq \Delta \leq 40$ мм слабо зависит от Δ , а затем начинает быстро снижаться и при $\Delta_* = 65$ мм горение затухает. Таким образом, лишь при очень большой разнице между уровнем жидкости в питающем сосуде и краем горелки скорость горения начинает быстро падать, и при некотором Δ_* горение затухает, причем для мелких порошков значение Δ_* больше, чем для крупных.

Влияние вязкости горючего η на скорость горения показано на рис. 3. Прямая 1 относится к горелке без порошка; при этом скорости горения для загущенного и незагущенного керосина совпадают. Остальные кривые на рис. 3 получены для горелок, заполненных порошками. В горелке, заполненной мелкодисперсным NaCl ($\delta = 0,6$), скорость горения незагущенного керосина при изменении Δ от 0 до 70 мм снижается лишь на 20% (кривая 5), причем при $\Delta = 70$ мм горение идет вполне устойчиво. Загущенный керосин при данной плотности засыпки вообще не может гореть устойчиво — горение прекращается приблизительно через 12 мин после поджигания, поэтому опыты с загущенным керосином были проведены при несколько меньшей плотности засыпки ($\delta = 0,5$). В этом случае уровень скорости горения при $\Delta = 0$ в 2, 3 раза ниже, чем для незагущенного ($\delta = 0,6$)¹. По мере увеличения Δ скорость горения загущенного керосина существенно снижается, а при $\Delta_* = 35$ мм горение затухает.

¹ Из рис. 2 следует, что при увеличении δ скорость горения только падает, поэтому при $\delta = 0,6$ скорость горения загущенного керосина была бы еще ниже.

В горелке, заполненной крупнодисперсным NaCl, при $\delta=0,6$ горение идет устойчиво (при не слишком больших Δ) как для загущенного, так и для незагущенного керосина. Однако скорость горения для загущенного керосина ниже и падает с ростом Δ несколько круче, чем для незагущенного (см. рис. 3, 3, 4). Значение Δ_* , при котором горение затухает, для загущенного керосина ($\Delta_* \approx 45$ мм) меньше, чем для незагущенного ($\Delta_* \approx 65$ мм).

Таким образом, увеличение вязкости горючего снижает скорость горения и снижает величину Δ_* .

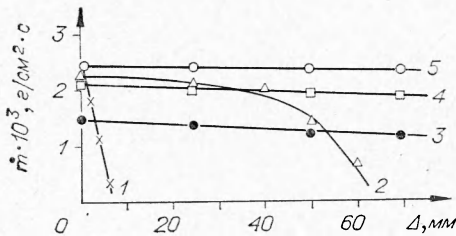


Рис. 2. Зависимость массовой скорости горения керосина Т-6 от расстояния между краем горелки и уровнем жидкости в питающем сосуде при различной дисперсности порошка и различной плотности слоя.

1 — горелка без засыпки; 2 — NaCl (≈ 350 мк), $\delta=0,6$; 3 — NaCl (≈ 10 мк), $\delta=0,6$; 4 — Al (≈ 10 мк), $\delta=0,4$; 5 — NaCl (≈ 10 мк), $\delta=0,4$.

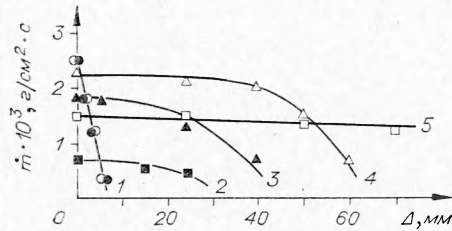


Рис. 3. Зависимость массовой скорости горения керосина Т-6 от расстояния при различной вязкости горючего.

1 — горелка без засыпки (O — $\eta=3$ спз, \bullet — $\eta=100$ спз); 2 — NaCl (≈ 10 мк), $\delta=0,5$, $\eta=100$ спз; 3 — NaCl (≈ 350 мк), $\delta=0,6$, $\eta=100$ спз; 4 — NaCl (≈ 350 мк), $\delta=0,6$, $\eta=3$ спз; 5 — NaCl (≈ 10 мк), $\delta=0,6$, $\eta=3$ спз.

Полученные результаты можно объяснить, исходя из того, что керосин поднимается к краю горелки по капиллярам между частицами порошка, заполняющего горелку. Чем меньше диаметр капилляра, тем на большую высоту h поднимается жидкость (высота подъема обратно пропорциональна диаметру капилляра). В свою очередь, диаметр капилляра тем меньше, чем выше относительная плотность слоя порошка.

С точки зрения изложенных представлений, стационарное горение возможно только при $\Delta < h_*$. При этом для крупнодисперсного слоя величина h_* будет меньше, чем для мелкодисперсного слоя, что и наблюдается на опыте.

Однако при горении важна не только высота поднятия, но и скорость подъема жидкости по капилляру. Величина скорости уменьшается по мере подъема жидкости по капилляру и при $h=h_*$ обращается в нуль. Если высота подъема увеличивается при уменьшении диаметра капилляра, то скорость подъема при этом уменьшается (по формуле Пуазейля расход жидкости через трубку радиуса r пропорционален r^4/η , т. е. расход на единицу сечения трубки пропорционален r^2/η). Поток керосина через единицу площади поперечного сечения слоя уменьшается также при уменьшении пористости (т. е. при увеличении δ).

При увеличении вязкости горючего уменьшается скорость течения жидкости по капиллярам. Это приводит к снижению скорости горения и уменьшению Δ_* .

Из рис. 2 и 3 следует, что при переходе от одной засыпки к другой скорость горения \dot{m} керосина при $\Delta=0$ заметно меняется (ср. рис. 2, 3, 4, 5 и рис. 3, 3, 4). Это связано прежде всего с влиянием скорости подвода керосина по капиллярам, которая различна для различных засыпок.

Помимо эффекта капиллярности, который является в данном случае основным, некоторое влияние на уровень скорости горения оказывает скорость потерь тепла стенками горелки в окружающую среду. Эти потери зависят от ширины прогретого слоя засыпки. При увеличении

теплопроводности слоя они увеличиваются, и скорость горения соответственно снижается. Однако в условиях наших опытов этот эффект является не слишком большим. Так, в предельном случае, при замене засыпки из порошка пучком медных проволочек (диаметр 1,7 мм; длина 70 мм; относительная плотность пучка (0,45)) скорость горения при $\Delta=0$ уменьшается лишь вдвое по сравнению с горелкой без всякой засыпки.

Поступила в редакцию
11/IV 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Блинов, Г. И. Худяков. Диффузионное горение жидкостей. М., Изд-во АН СССР, 1961.

УДК 541.12.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УДАРНО-СЖАТОЙ МЕДИ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ В ВОЛНЕ РАЗГРУЗКИ

В. Е. Фортов, А. Н. Дремин

(Москва)

Измерение в динамических экспериментах кинематических параметров распространения ударных волн вместе с использованием законов сохранения на ударном разрыве позволяет определить давление p , удельный объем V и внутреннюю энергию E ударно-сжатого вещества [1]. Полученная таким образом экспериментальная информация о термодинамических свойствах среды оказывается неполной ввиду отсутствия таких важных термодинамических характеристик как температура T и энтропия S ударно-сжатого вещества [2]. Экспериментальное измерение этих величин совместно с другими параметрами ударного сжатия в подавляющем большинстве практически важных случаев встречает, как известно [3], весьма серьезные трудности, вызванные невозможностью использования оптических методов диагностики. Температуру ударного сжатия T поэтому приходится находить расчетным путем на базе развитых в настоящее время полуэмпирических моделей уравнения состояния с введением ряда теоретических предположений о свойствах и характере исследуемого вещества [1]. Критерием качества построенных уравнений состояния является соответствие рассчитанных и измеренных состояний ударного сжатия. При этом возможна ситуация [4], когда, описывая достаточно хорошо исходный экспериментальный материал в механических переменных $E-p-V$, различные модели уравнения состояния приводят к существенно отличающимся значениям температур. Это вызывает известную неоднозначность интерпретации экспериментальных результатов и заставляет искать способы определения T и S на основании общих термодинамических соотношений [2, 5].

Предположим, что тем или иным способом удастся провести измерения физических параметров p_0 , V_0 , T_0 на изэнтропе расширения вещества в области низких давлений, где имеется приемлемое термодинамическое описание среды. В частности, с достаточной степенью