

рения ровный. При дальнейшем повышении давления до 55 ат пламя, имеющее форму конуса, обращенного вершиной вниз, начинает колебаться от стенки к стенке трубки, сопровождаясь колебаниями поверхности жидкости (см. рис. 3, в), скорость горения резко возрастает.

Нарушение устойчивости горения жидких ВВ связано, как известно, с переходом горения на турбулентный режим вследствие появления эффекта Ландау [4]. Критическую скорость горения дины можно рассчитать, воспользовавшись преобразованной формулой Ландау $u_m < 7,91 p/M \rho_r^{1/2} \delta_{ж}^{5/4}$, предложенной Андреевым [5]. Значение парачора для дины, рассчитанное по уравнению Сагдена [6], равно 435,6, молекулярный вес дины равен 240,41, и отношение p/m составляет 1,81. Примем плотность газообразных продуктов такой, как для нитроглицерина — $1,72 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$, плотность дины в переохлажденном состоянии по нашим измерениям равна $1,5 \text{ г/см}^3$. Переход горения переохлажденной дины на пульсирующий режим происходит, как уже отмечалось выше, при 52 ат. Тогда $u_m = 7,91 \cdot 1,81 (52 \cdot 1,72 \cdot 10^{-4})^{1/2} 1,5^{5/4} = 2,24 \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек}$. На рис. 1 видно, что если при давлении 52 ат скорость горения значительно меньше критической и составляет $0,7 \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек}$, то уже при 55 ат она становится равной $2 \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек}$, т. е. достигает критического значения.

Один из путей стабилизации горения жидких ВВ заключается в увеличении их вязкости. В данном случае это было осуществлено путем добавления к твердой дине 3% коллоксилина¹. Из рис. 1 видно, что значения скоростей горения для дины с 3% коллоксилина хорошо ложатся на кривую 3, являющуюся продолжением кривой для переохлажденной дины, горящей в ламинарном режиме.

Таким образом, способность дины к переохлаждению позволила изучить закономерности ее горения в жидком состоянии и установить области ламинарного и турбулентного горения. Подобные результаты были получены ранее лишь для жидких ВВ [8].

Поступила в редакцию
3/III 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Глазкова, И. А. Терешкин. ЖФХ, 1961, 35, 1622.
2. W. J. Chute, H. G. Herring. a. o. Canad. J. Res, 1948, 26, 89.
3. К. К. Андреев, П. П. Попова, ЖФХ, 1961, 35, 9.
4. Л. Д. Ландау. ЖЭТФ, 1944, 14, 240.
5. К. К. Андреев. Докл. АН СССР, 1946, 54, 39.
6. S. Sugden. The Parachor and Valency. 1930.
7. J. Kincaid, R. Mc. Gill. Am. patent 2 698 228 91944, 1954. С. А. 1955, 49, 5846.
8. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение ВВ. М., «Наука», 1966.

УДК 536.46+662.217.8

РАСЧЕТ СОСТАВА ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА

В. И. Димитров
(Новосибирск)

Основными конечными молекулярными продуктами, образующимися при нестехиометрическом горении водорода, являются вода, кислород либо водород — в зависимости от α — и инертный разбавитель (N_2 , если в качестве окислителя используется воздух).

При отборе проб на газовый анализ вода конденсируется из-за охлаждения пробы и практически замеряются концентрации конечных компонент в так называемом «сухом» газе, т. е. в газе, в котором концентрации конечных компонент иные по сравнению с составом газа в точке отбора — «влажном» газе.

Ниже излагается расчетный метод, позволяющий восстановить влажный состав газа в точке отбора, а также проверить правильность экспериментального замера одного из основных параметров эксперимента — коэффициента избытка окислителя α .

¹ Дина обладает хорошей желатинизирующей способностью и предлагалась в связи с этим в качестве заменителя нитроглицерина в порохах [7].

Следуя [1], можно записать три уравнения сохранения элементов (поэлементный баланс) в расчете на 1 кг H_2 :

$$\begin{aligned}\frac{18 R_{H_2O}}{\mu} &= \frac{9 + (K - H_2O)}{1 + \alpha L_0 + (K - H_2O)}, \\ \frac{32 R_{O_2}}{\mu} &= \frac{\gamma \alpha L_0 + 8/9 (K - H_2O)}{1 + \alpha L_0 + (K - H_2O)}, \\ \frac{28 R_{N_2}}{\mu} &= \frac{(1 - \gamma) \alpha L_0}{1 + \alpha L_0 + (K - H_2O)}.\end{aligned}\quad (1)$$

Для случая горения водорода в чистом окислителе $\gamma=1$ третье уравнение в системе [A] исчезает.

Здесь γ — содержание чистого O_2 в окислителе (для воздуха $\gamma = 0,232$); κ — количество влаги в окислителе; μ — молекулярный вес сухого газа:

$$\mu = 32 R_{O_2} + 28 R_{N_2} + 2 R_{H_2};$$

R_{O_2} , R_{N_2} , R_{H_2} — объемные доли кислорода, азота и водорода по данным газового анализа.

Решение системы (I) имеет вид:

$$\begin{aligned}H_2O &= K + 9 \frac{\mu \gamma - 32 R_{O_2} - 2 \gamma R_{H_2}}{\mu \gamma - 32 R_{O_2} + 16 R_{H_2} - 18 \gamma R_{H_2}} = \\ &= K + 9 \frac{\mu - 138 R_{O_2} - 2 R_{H_2}}{\mu - 138 R_{O_2} + 51 R_{H_2}},\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{8}{L_0} \frac{\mu - 32 R_{O_2} - 2 R_{H_2}}{\mu \gamma - 32 R_{O_2} + 16 R_{H_2} - 18 \gamma R_{H_2}} = \\ &= \frac{\mu - 32 R_{O_2} - 2 R_{H_2}}{\mu - 138 R_{O_2} + 51 R_{H_2}},\end{aligned}\quad (2)$$

где первые решения общие, а вторые — частный случай для воздуха. В случае, если газовый анализ состава сухих продуктов реакции проведен без погрешностей, решения (1), (2) точные. Правильность расчета можно проверить по критерию

$$\frac{R_{N_2}^*}{R_{O_2}^* + \frac{1}{2} R_{H_2O}^*} = \frac{1 - \gamma}{\gamma} = 3,76,\quad (3)$$

где R_i^* — объемные концентрации во влажном газе.

Состав влажных продуктов легко получить следующим образом:

$$R_{H_2O}^* = \frac{H_2O \cdot \mu^*}{(1 + \alpha L_0) \mu_{H_2O}^*},\quad (4)$$

где μ^* — молекулярный вес влажного газа при температуре процесса.

$$\mu^* = 32 R_{O_2}^* + 28 R_{N_2}^* + 2 R_{H_2}^* + 18 R_{H_2O}^* = \frac{\mu + 18 R_{H_2O}^*}{1 + R_{H_2O}^*}.\quad (5)$$

Подставив (5) в (4), обозначая $\frac{H_2O}{1 + \alpha L_0}$ через n и преобразовав (4), получаем выражение для определения $R_{H_2O}^*$ через параметры сухого газа:

$$R_{H_2O}^* = \frac{3(n-1) + \sqrt{9n^2 + 2n(\mu-9) + 9}}{6}.\quad (6)$$

При невысоких содержаниях воды (до ~ 10% объемных) можно, полагая $\mu^* = \mu$, пользоваться выражением (4) с удовлетворительной точностью.
Влажный состав по остальным компонентам определяется как

$$R_i^* = \frac{R_i}{1 + \bar{K}_{\text{H}_2\text{O}}^*}. \quad (7)$$

*Поступила в редакцию
17/VIII 1970*

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Димитров, В. М. Масленников. Сб. «Горение твердого топлива», т. I. Новосибирск, «Наука», 1969, стр. 239.
-