

Таким образом, можно считать, что при гетерогенном горении роль давления ограничена влиянием его на параметры воспламеняющего газового потока (плотность, «толщина» детонационной волны), а чувствительность процесса горения к изменению давления определяется изменением этих параметров.

Поступила в редакцию
29/VI 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Ф. Похил, В. С. Логачев, В. М. Мальцев. ФГВ, 1970, 6, 1, 80.
2. A. Davis. Combust. Flame, 1963, 7, 4, 359.
3. А. А. Борисов, А. Н. Любимов и др. ФГВ, 1967, 3, 1, 149.
4. Е. С. Щетинков. Физика горения газов. М., «Наука», 1965.

УДК 662.311

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОРОХОВ МЕТОДОМ ЗОНДА }

*В. Е. Зарко, Н. С. Буфетов
Н. И. Златомержева, С. С. Хлевной
(Новосибирск)*

Математическая основа зондового метода определения теплопроводности теплоизоляционных материалов изложена в работе [1]. В ней показано, что в случае нагрева постоянным тепловыделением бесконечного цилиндрического идеального проводника тепла, погруженного при начальной температуре T_n в исследуемую неограниченную среду, зависимость температуры поверхности контакта T от времени имеет логарифмическую асимптоту

$$T - T_n = \frac{Qr}{2\lambda} \left[\ln t + \left(\ln \frac{4\kappa}{r^2} - \gamma + \frac{2\lambda}{r\alpha} \right) + 0 \left(\frac{r^2}{\kappa t} \right) \right]. \quad (1)$$

Здесь Q — мощность тепловыделения на единицу площади поверхности контакта; r — радиус проводника; λ и κ — коэффициенты тепло- и температуропроводности; α — коэффициент теплопередачи (между проволокой и веществом); $\gamma = 0,5772$ — постоянная Эйлера.

Из (1) следует, что угловой коэффициент наклона прямой в координатах $(T - T_n)$; $\ln t$ равен величине $\frac{Qr}{2\lambda}$, откуда вытекает простой способ определения λ по известным из опыта величинам Q и r . Важно отметить, что несовершенство теплового контакта ($\alpha \neq \infty$) не влияет на точность нахождения λ .

Для соблюдения граничных условий задачи необходимо, чтобы тепловая волна за время измерения не доходила до периферии образца. Верхнюю оценку для радиуса порохового зерна можно сделать, воспользовавшись решением для распространения тепла при постоянной температуре проволоки: для $Fo = \frac{\kappa t}{r^2} = 1000$ радиус образца должен быть не менее $(70 \div 100) \cdot r$.

В экспериментальной практике [2, 3] обычно применяются относительно сложные и громоздкие конструкции, состоящие из нагревателя и датчика температуры. Используя проводники с зависящим от температуры сопротивлением, удается значительно упростить методику. При этом требуется обеспечить постоянную мощность тепловыделения в проводнике. Последнее осуществляется либо с помощью специальных схем с обратной связью [4], либо в ограниченных пределах подбором параметров электрической цепи [5]. Достоинством методики с применением термометров сопротивления в качестве нагревателей является простота и надежность конструкции, миниатюрные размеры датчика и малая продолжительность измерения, возможность определения теплофизических характеристик в узком температурном интервале и при различных начальных температурах.

На рис. 1 показана принципиальная электрическая схема, служащая для измерения $\Gamma(t)$. Шлейф Ш в диагонали мостовой ячейки регистрирует изменение сопротивления проволоки R_x , нагревающей образец исследуемого вещества. Опыт проводится в два этапа: вначале проволока разогревается строго контролируемым постоянным электрическим током, затем с помощью прецизионного магазина сопротивлений осуществляется градуировка отклонений шлейфа. Перевод изменения сопротивления в среднюю по длине температуру производится на основе имеющейся дополнительной градуировки. Согласно [4], корректные измерения температуры по такому способу возможны при $\frac{l}{r} \geq 300$ (l — длина проволоки).

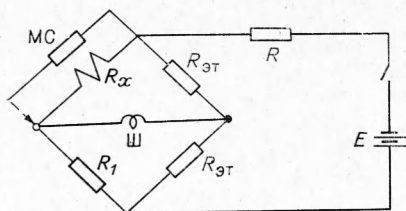


Рис. 1.

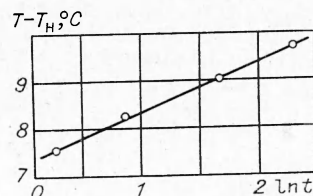


Рис. 2.

По описанной методике была измерена теплопроводность нитроглицеринового пороха Н и прессованной до плотности $\sim 1,85 \text{ г/см}^3$ смеси перхлората аммония с крахмалом. В экспериментах использовалась никелевая проволока $\varnothing 50 \text{ мк}$, длиной 35 мм . В качестве иллюстрации на рис. 2 в полулогарифмических координатах произведено спрямление зависимости $\{T(t) - T_n\}$ для случая разогрева проволоки, вклеенной на ацетоне между двумя брусками пороха Н. Из опытных данных и по оценкам, следующим из соотношения (1), видно, что асимптотическое разложение справедливо при $\Gamma_0 \geq 150 \div 200$ (в наших опытах при $t \geq 1 \text{ сек}$).

Для выявления систематической ошибки, характеризующей точность знания исходных величин, были измерены коэффициенты теплопроводности веществ с известными свойствами. При $T_n = 20^\circ\text{C}$ теплопроводность плексигласа равнялась, по нашим измерениям, $\lambda_n = (5,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$, глицерина марки ч. д. а. $\lambda_r = (7,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$. Согласно литературным данным, $\lambda_n = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ [6] и $\lambda_r = 7,0 \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ [7]. Систематическое завышение примерно на 7%, определенное таким сравнением, учитывалось при получении данных для исследуемых порохов.

Измеренная величина λ для нитроглицеринового пороха при $T_n = 20^\circ\text{C}$ оказалась равной $(6,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$. С учетом поправки $\lambda \approx 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ в хорошем согласии с данными [8]. Коэффициент теплопроводности модельной смеси перхлората аммония с учетом указанной поправки при $T_n = 20^\circ\text{C}$ $\lambda \approx 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$.

Как видно из записи соотношения (1), величина отрезка, отсекаемого на оси ординат прямой в координатах $\{T(t) - T_n\}; \ln t$ (см. рис. 2) равняется $\left[\ln \frac{4\kappa}{r^2} - \gamma + \frac{2\lambda}{r\alpha} \right]$.

Следовательно, определив предварительно по наклону значение λ и зная величину коэффициента теплопередачи α , можно найти также коэффициент температуропроводности κ . В наших опытах по оценкам $\alpha > 10$, поэтому можно пренебречь членом $\frac{2\lambda}{r\alpha}$ по

сравнению с величинами $\ln \frac{4\kappa}{r^2}$ и γ . В таком приближении κ для нитроглицеринового пороха (см. рис. 2) равняется $\sim 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}$.

Данная методика, очевидно, может быть использована для измерения теплофизических свойств жидкостей. При этом необходимо соблюсти требование, чтобы за время измерения не успевала развиваться конвекция. В частности, для проволоки $\varnothing 50 \text{ мк}$ это требование выполняется в случае глицерина и нарушается в опытах с этиловым спиртом.

Поступила в редакцию
17/VI 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. F. H. Blackwell, A. D. Misener. Proc. Phys. Soc., Sect. A, 1951, 64, part 2, № 384A, 1132.
2. A. Beck, J. C. Faeger, G. Newstead. Austr. J. Phys., 1956, 9, 286.
3. Э. Г. Тугова, Л. Н. Новиченко, В. Д. Кононенко. ИФЖ, 1971, XX, 3, 505.
4. И. О. Хинце. Турбулентность, ее механизм и теория. М.—Л., Физматгиз, 1963.
5. В. Е. Зарко, С. С. Хлевной. ФГВ, 1968, 4, 2, 158.
6. Ю. К. Годовский. В сб. «Успехи химии и физики полимеров». М., «Химия», 1970, стр. 192.
7. Справочник химика. Т. I. М.—Л., «Химия», 1964.
8. В. Ф. Жданов, В. П. Маслов, С. С. Хлевной. ФГВ, 1967, 3, 1, 40.

УДК 532.593

МАНГАНИНОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

*Б. Д. Христофоров, Е. Э. Голлер,
А. Я. Сидорин, Л. Д. Лившиц
(Москва)*

Описан манганиновый датчик и схема для регистрации давления плоских ударных волн в твердом теле в диапазоне $1-10^2$ кбар. Определены статистический и динамический коэффициенты чувствительности датчика. Последний определяется из сравнения с результатами электромагнитных измерений параметров ударных волн в NaCl в диапазоне $3-50$ кбар и при фазовом переходе в КВг.

Установка для измерения в лабораторных условиях давления в плоских ударных волнах, возбуждаемых в твердом теле взрывом или ударом, состоит из датчика, схемы регистрации и калибровки.

Датчик. Чувствительный элемент датчика сопротивлением R_0 $20-100$ ом изготовлялся из освобожденной от оплетки манганиновой проволоки ПЭШОММ диаметром $0,05$ мм, уложенной без пересечения на площади $1-6$ см². Под действием давления p проволока изменяет свое сопротивление на величину ΔR , измерив которую можно определить p . Проволока вдавливалась в подложку из целлофана толщиной $0,1$ мм и сверху прикрывалась целлофаном толщиной $0,05$ мм. В таком виде датчик помещался внутри образца. При измерениях в металлах между образцом и целлофаном вставлялся слой слюды толщиной $0,2$ мм для дополнительной изоляции, необходимой при давлениях выше 30 кбар. Выводы из медной фольги толщиной $0,05$ мм или проволоки сечением $0,2$ мм² припаивались к манганину и выходили с краев образца. Иногда вывод осуществлялся через отверстия диаметром 3 мм, залитые вакуумной замазкой.

Конструкция датчика и схема нагружения образца плоской ударной волной приведены на рис. 1. Плоская ударная волна в образце возбуждалась взрывной линзой 1 и зарядом взрывчатого вещества 2. Изменение плотности заряда и введение прослойки 3 из инертных материалов между зарядом и образцом 4 позволяло варьировать давление в ударной волне в широких пределах. Целлофановая пленка 5 предохраняет проволоку датчика 6 от деформаций, связанных с разрушением образца. Однако давление в пленке, равнос нормальному напряжению в образце, устанавливается за время около $0,2$ мксек, определяемое несколькими временами пробега волны по толщине пленки.

Схема регистрации. Для измерения применялась мостовая схема (рис. 2). Питание на мост подавалось через тиратрон, открывавшийся за 10 мксек до прихода волны к датчику давления, импульсом от электроконтактного датчика, замыкавшегося продуктами взрыва. Регистрирующее устройство не требует применения усилителя с дифференциальным входом в отличие от [1]. Балансировка моста производилась резистором R_4 . Измерительный тракт калибровался изменением сопротивления R_3 на величину ΔR_3 (при $\Delta R_3/R_3 = \Delta R/R_0$ разбаланс моста одинаков). При калибровке вместо R_3 подключался магазин сопротивлений (МС). Давление определялось по формуле $p = A \Delta R_3 / A_k R_3 S$, где A и A_k — отклонения луча регистрирующего осциллографа