ТЕПЛОФИЗИКА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
Том 23 1985 № 6

УДК 536.46/66

ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Дорофеев С. Б., Назарян А. О., Плюхин В. Г., Смирнов Б. М.

Разработан метод измерения скоростей тепловыделения в реакциях разложения в конденсированной фазе, основанный на использовании анализа процессов теплопереноса при лазерном нагреве образца для инициирования реакции. Восстановлены константы скоростей разложения озона, нитрометана, нитробензола и нитрокумола, поглощенных активированным углем.

Наличие в образце примесей, вступающих в химическую реакцию при невысоких температурах, влияет на параметры воспламенения образца. Типичным примером такого типа являются угли [1, 2]. Они содержат небольшие примеси летучей фракции — простых углеводородов, которые, хотя и вносят только небольшой вклад в теплотворную способность углей, определяют его характеристики воспламенения [3]. Эти характеристики можно изменять, насыщая уголь компонентами, которые реагируют с выделением тепла при невысоких температурах [4, 5]. Для восстановления характеристик тепловыделения при невысоких температурах необходимо знать удельную скорость тепловыделения за счет химических реакций. Данная работа посвящена конкретным примерам такого типа — исследованию процессов тепловыделения при разложении озона, нитрометана, нитробензола и нитрокумола, поглощенных активированным углем.

При определении скоростей тепловыделения используется их резкая температурная зависимость. По этой причине рассматриваемые системы долго не разлагаются при температурах, близких к комнатной, и быстро разлагаются с их повышением. Для измерения скорости разложения рассматриваемых компонент в активированном угле их разложение удобно инициировать внешним источником, который нагревает образец и ускоряет химические реакции [5]. Наиболее удобным источником для этой цели представляется лазер, обеспечивающий высокие удельные значения энерговклада и не действующий на газ, окружающий образец. В связи с этим в данной работе для измерения скоростей тепловыделения при разложении озона, нитрометана, нитробензола и нитрокумола в активированном угле разработана лазерная методика.

Эксперимент. Образец из активированного угля закреплялся на термопаре в центре рабочей камеры и нагревался излучением лазера на монокристалле алюмоиттриевого граната с длиной волны 1,06 мкм, работающего в непрерывном режиме. В ходе эксперимента измерялись температура образца и температура газа вдали от него. Обработка температурных зависимостей от времени разогрева образца с активными компонентами при известной мощности поглощаемого излучения позволяет восстановить скорости тепловыделения в исследуемых процессах.

Использовался активированный уголь типа БАУ с удельной поверхностью $\simeq 700$ м^2/г. Образцы изготавливались в виде шариков диаметром 1—6 мм и таблеток диаметром 3—11,3 и высотой 1,5—2,2 мм. Средняя плотность образцов составляла 0,58 г/см^3. Температура измерялась хромель-алюмелевой термопарой, введенной в объем угля, с погрешностью $\simeq 1\%$.

Рабочая камера объемом 3,5 л была снабжена кварцевыми стеклами

для ввода лазерного излучения. Система охлаждения позволяла поддерживать температуру в камере в интервале 200—300 К.

Лазерное излучение фокусировалось на образец в соответствии с ее размерами с двух противоположных сторон. Падающая мощность изменялась в пределах 0,25—10 Вт. Интенсивность каждого луча измерялась измерителем мощности ИМО-2Н. В процессе эксперимента постоянный контроль мощности осуществлялся с помощью фотодиода.

Насыщение образца озоном перед началом эксперимента производилось в рабочей камере [5]. Предельная емкость активированного угля по отношению к озону составляла 0,1—0,6 г/г в зависимости от типа угля [4—9]. Озон вырабатывался из технического кислорода в озонаторе с барьерным разрядом. При работе с нитрометаном, нитробензолом и нитрокумолом образец пропитывался небольшим количеством жидкости (до 0,2 г/г (угля)). Предварительные эксперименты позволяли определить долю жидкости, оставшуюся в образце в результате подготовки к измерениям (откачка и выдержка при давлении $5\cdot10^{-3}$ МПа в течение 3 мин).

Определение параметров теплоотвода. Для определения скорости тепловыделения при химических процессах внутри образца необходимо проанализировать уравнение теплового баланса образца

$$c_p m dT/dt = -F(T, T_0) + \beta I + c_p m f(T). \qquad (1)$$

Здесь c_p — теплоемкость образца; m — масса образца. Первый член в правой части уравнения представляет собой потери тепла за счет теплопроводности газа (при исследуемых параметрах конвекция газа в камере отсутствует) и излучением с поверхности образца. Величина I — мощность лазерного излучения, попадающего на образец, β — вероятность того, что это излучение поглотится образцом. Последний член в правой части уравнения (1) представляет собой тепловыделение за счет химической реакции внутри образца[1]. Имея в виду далее процессы разложения химических соединений внутри образца, представим эту величину в виде

$$f(T) = \frac{\Delta T c}{\tau(T)} = \frac{Qc}{c_p \rho \tau(T)}, \qquad (2)$$

где Q — энергозапас примеси; ΔT — температура, на которую поднимается температура образца при полном разложении примеси в отсутствие теплоотвода; c — часть неразложившегося к данному моменту времени вещества; $1/\tau$ — частота разложения при данной температуре, которая, вообще говоря, зависит от количества поглощенного вещества (величина τ и является характеристикой скорости рассматриваемого процесса). При этом неразложившаяся часть поглощенного вещества изменяется во времени в соответствии с уравнением

$$dc/dt = -c/\tau. \qquad (3)$$

Ясно, что решение этого уравнения существенно зависит от характера изменения температуры со временем, а также связано с зависимостью времени разложения от количества поглощенного вещества.

Для анализа уравнения (1) при тепловыделении за счет химических процессов необходимо знать параметры c_p, β, а также параметры теплоотвода. Определение этих параметров явилось первой частью работы. С этой целью образец помещался в инертную среду и исследовался характер его нагрева и остывания. Анализ измеренных скоростей нагрева и остывания позволил восстановить искомые характеристики. В этом случае теплоотвод от образца

$$F(T, T_0) = 4\pi r_0^2 a\sigma(T^4 - T_0^4) + 4\pi r_0^2 \frac{\lambda}{r_0}(T - T_0). \qquad (4)$$

Здесь первое слагаемое описывает потери за счет излучения, второе — за счет теплопроводности газа (r_0 — радиус образца; a — степень черно-

[1] При записи этого члена используется то обстоятельство, что теплоемкость образца в пределах точности измерений не зависит от температуры.

ты поверхности образца; T_0 — температура окружающего газа и стенок камеры, которые считаются одинаковыми; λ — коэффициент теплопроводности газа[1]). Последнее слагаемое записано в предположении, что время установления теплового равновесия в газе гораздо меньше характерных времен нагревания образца. Это справедливо, если температуропроводность газа значительно выше температуропроводности образца. Такое предположение во всех случаях выполняется, однако при давлениях порядка атмосферы данный эффект создает заметные отклонения и требует специального учета. Чтобы избежать этих трудностей, основные измерения проводились при давлении $5\cdot10^{-3}$ МПа, когда влияние этого эффекта мало.

Исследование скорости нагрева и остывания образца позволило восстановить три параметра в уравнениях (1), (4): c_p, a, β. При этом в результате изменения радиуса образца и использования различных газов существенно изменяются соотношения между потерями за счет излучения и теплопроводности.

Скорости теплоотвода, рассчитанные по формуле (4), сравнивались с измеренными. Для упрощения обработки измеренные скорости нагрева и остывания образца сводились к определению параметров в модельных представлениях теплоотвода

$$F(T,\ T_0)=\varkappa(T-T_0), \tag{5а}$$

$$F(T,\ T_0)=\gamma(T^2-T_0^2). \tag{5б}$$

Параметры $\varkappa$, γ, полученные в эксперименте, сравнивались с полученными по формуле (4), на основании чего и определялись искомые параметры. В качестве примера в табл. 1 приводятся значения c_p, восстановленные по измерениям при давлении буферного газа $5\cdot10^{-3}$ МПа в предположении, что $a=0{,}8$. Как видно, надежность результатов основана на большой статистике данных. Статистическая обработка полученных результатов дает

$$c_p=(1{,}03\pm0{,}10)\ \text{Дж/(г·К)},\ a=0{,}8\pm0{,}1. \tag{6}$$

Полученные значения согласуются с имеющимися данными [1, 10].

Проведенные исследования показали, что используемый лазер не подходит для дальнейших измерений с объектами сферической структуры. Дело в том, что модовый состав лазерного излучения в данном случае создает неравномерное облучение образца, которое зависит от деталей юстировки и которое трудно предсказать заранее. Поскольку излучение отражается от образца и тем в большей степени, чем под большим углом к поверхности оно падает, то при данных условиях поглощенную шариком долю излучения определить трудно. До сих пор это было несущественно, поскольку параметром поглощенного излучения являлась конечная температура образца и необходимой величиной было время, за которое система ее достигала. В дальнейших экспериментах нужно сравнивать температурные профили в двух случаях — при наличии поглощенного и разлагающегося вещества и в его отсутствие. Поэтому в данном случае отсутствие измеренной доли поглощенной энергии приведет к потере результата.

Чтобы преодолеть указанные трудности, в качестве объекта исследования далее использовались таблетки. В этом случае лазерное излучение поглощается плоской поверхностью, так что перераспределение интенсивности излучения по поверхности не влияет заметно на характер поглощения. Для сравнения в табл. 2 приводятся вероятности поглощения излучения неодимового лазера образцами активированного угля в форме шарика и таблетки.

Отметим, что хотя для измерений использовались обе модели (5), вторая из них лучше описывает реальную ситуацию. В подтверждение это-

[1] Учет температурной зависимости коэффициента теплопроводности не вызывает трудностей и проведен в тех случаях, когда это влияло на результат.

Таблица 1

Значения теплоемкости

Буферный газ	Радиус образца, мм	c_p, Дж/(г·К)[1]			
		Нагрев		Остывание	
		модель (5а)	модель (5б)	модель (5а)	модель (5б)
Ne	1,8	0,89±0,02	1,42±0,1	1,29±0,03	1,28±0,09
	2,2	0,81±0,04	1,20±0,05	1,12±0,06	1,08±0,04
	2,5	0,80±0,05		1,18±0,07	1,37±0,02
N_2	1,3	0,70±0,05	1,04±0,05	0,98±0,07	1,04±0,05
	1,7	0,71±0,03	0,85±0,02	0,98±0,03	0,94±0,02
	2,8	0,73±0,04	1,13±0,03	1,10±0,06	1,02±0,02
Ar	1,3	0,73±0,02	1,00±0,01	1,09±0,01	1,00±0,01
	1,7	0,61±0,04	0,90±0,05	0,95±0,07	0,81±0,04
	2,5	0,69±0,05	0,88±0,05	1,04±0,07	0,97±0,06
CO_2	1,3	0,69±0,02	1,24±0,06	1,10±0,03	1,12±0,05
	1,8	0,68±0,05	1,07±0,04	1,08±0,08	1,07±0,04
	2,2	0,61±0,04	0,97±0,08	1,03±0,06	0,97±0,08
Kr	1,2	0,69±0,02	1,29±0,09	1,04±0,03	1,16±0,08
	1,8	0,75±0,05	1,22±0,07	1,13±0,08	1,10±0,07
	2,5	0,77±0,04	1,04±0,05	1,00±0,05	0,94±0,05
Xe	0,8	0,68±0,03	1,02±0,08	1,30±0,05	0,92±0,08
	1,3		0,74±0,04	1,01±0,06	0,81±0,04
	2,5	0,60±0,05	0,80±0,06	1,02±0,08	0,88±0,07
Среднее значение		0,71±0,07	1,09±0,19	1,08±0,09	1,03±0,13

[1] Указанная погрешность относится к статистическому усреднению результатов, соответствующих трем значениям мощности излучения лазера: 0,25; 0,5 и 0,8 Вт.

го в табл. 3, 4 приводятся отношения параметров скорости нагрева и остывания для каждой модели при давлении буферного газа $5\cdot10^{-3}$ МПа.

Определение скорости тепловыделения в ходе химических процессов в образце. Перепишем уравнение теплового баланса (1) с учетом соотношения (5б)

$$c_p\rho dT/dt=-\gamma(T^2-T_0^2)+I\beta+c_p\rho f(T). \tag{7}$$

При $t\to\infty$

$$dT/dt\to0,\ f(T)\to0,\ T\to T_m, \tag{8}$$

что соответствует равновесию между теплоотводом и поглощаемой мощностью лазерного излучения и прекращению химической реакции в образце. Соотношения (8) позволяют представить уравнение (7) в виде

$$c_p\rho dT/dt=\gamma(T_m^2-T^2)+c_p\rho f(T). \tag{9}$$

Из уравнения (9) находим выражение для величины

$$f(T)=\frac{dT}{dt}-\frac{\gamma}{c_p\rho}(T_m^2-T^2). \tag{10}$$

Соотношение (10) позволяет получить скорость выделения тепла $f(T)$ в химической реакции из экспериментальных данных. При этом величина $\gamma/c_p\rho$ определяется из экспериментальной зависимости $T(t)$ для того же образца без насыщения его активной компонентой в режиме нагрева и релаксации с погрешностью не более ±5%.

Количество энергии S, выделившейся к моменту времени t, и полное энерговыделение Q определяются численным интегрированием величины $c_p\rho f(t)$ в соответствии с уравнением (10)

$$S(t)=c_p\rho(T-T_0)-\gamma\int_0^t(T_m^2-T^2)\,dt, \tag{11}$$

Таблица 2

Буферный газ	Доля поглощенной энергии	
	шарик	таблетка
Ne	0,32±0,13 [1]	0,54±0,05
N_2	0,18±0,10	0,59±0,07
Ar	0,30±0,08	0,50±0,02
CO_2	0,29±0,10	0,56±0,05
Kr	0,22±0,07	0,50±0,02
Xe	0,16±0,07	0,44±0,07
Среднее	0,24±0,11 [2]	0,51±0,05 [2]

[1] Погрешность относится к результату статистического усреднения результатов, полученных для разных мощностей лазера, а в случае шарика и для разных радиусов шарика.
[2] Погрешность включает статистическое усреднение всех данных для разных мощностей лазера, радиусов шарика и сортов буферного газа.

Таблица 3

Буферный газ	Радиус шарика, мм	Отношение параметра нагревания к параметру остывания	
		модель (5а)	модель (5б)
Ne	1,8	1,4±0,07 [1]	0,9±0,03 [1]
	2,2	1,5±0,08	0,9±0,03
	2,5	1,5±0,08	0,9±0,03
N_2	1,3	1,4±0,04	1,0±0,03
	1,7	1,5±0,08	1,1±0,03
	2,8	1,5±0,08	0,9±0,03
Ar	1,3	1,5±0,09	1,0±0,03
	1,7	1,6±0,08	0,9±0,02
	2,5	1,5±0,11	1,1±0,03
CO_2	1,3	1,6±0,16	0,9±0,02
	1,8	1,6±0,11	1,0±0,02
	2,2	1,7±0,09	1,0±0,03
Kr	1,2	1,5±0,05	0,9±0,03
	1,8	1,5±0,05	0,9±0,03
	2,5	1,3±0,04	0,9±0,02
Xe	0,8	1,9±0,19	0,9±0,02
	1,3	2,1±0,32	1,1±0,03
	2,5	1,7±0,17	1,1±0,02
Среднее		1,57±0,18 [2]	0,97±0,08 [2]

[1] Погрешность относится к результату статистического усреднения результатов, полученных для разных мощностей лазера, а в случае шарика и для разных радиусов шарика.
[2] Погрешность включает статистическое усреднение всех данных для разных мощностей лазера, радиусов шарика и сортов буферного газа.

Таблица 4

Таблетка ($d=11{,}3$ мм; $h=2{,}2$ мм; $m=132{,}6\cdot10^{-3}$ г; $I=1{,}5$ Вт)

Буферный газ	Отношение параметра нагрева к параметру остывания (модель 5б)
Ne	1,00
N_2	0,98±0,05
Ar	1,09
CO_2	1,08
Kr	1,12
Xe	1,00±0,02
Среднее	1,06±0,05 [1]

[1] Усреднение по всем данным.

$$Q=c_p\rho(T_m-T_0)-\gamma\int_0^{t_k}(T_m^2-T^2)\,dt, \qquad (12)$$

где t_k — время, по достижении которого $T=T_m$. Величины Q и $S(t)$ позволяют определить долю непрореагировавшего вещества $c(t)$

$$c(t)=(Q-S(t))/Q. \qquad (13)$$

Из соотношений (2), (13) получим выражение для расчета характерного времени химической реакции

$$\frac{1}{\tau(T,c)}=\frac{f(T)c_p\rho}{Q-S(t)}. \qquad (14)$$

Уравнения (10)—(14) использовались авторами для расчета зависимости $\tau(T, c)$ из экспериментальных данных.

Чтобы привести получаемые параметры процесса к традиционным ха-

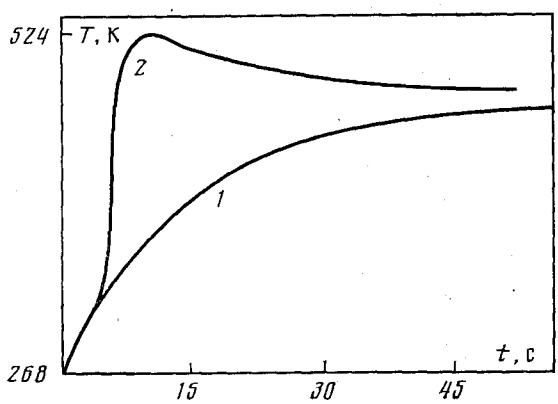

Рис. 1. Экспериментальная зависимость температуры активированного угля от времени при нагреве лазерным излучением в азоте (давление $5\cdot10^{-3}$ МПа): *1* — озон в образце отсутствует; *2* — образец насыщен озоном (резкий подъем соответствует тепловому взрыву)

рактеристикам химических реакций, запишем скорость химической реакции в образце в виде

$$dn/dt=-k(T)n^m. \qquad (15)$$

Здесь n — число молекул поглощенного вещества в единице объема угля; m — порядок реакции; $k(T)$ — константа скорости процесса, зависящая от температуры образца. Эта величина выражается через время химической реакции

$$k(T)=1/\tau n^{m-1}. \qquad (16)$$

Плотность молекул поглощенного вещества удобно представить в виде

$$n=x\rho N_0/M, \qquad (17)$$

где x — количество поглощенного вещества в граммах поглощенного вещества, приходящихся на грамм поглотителя; ρ — плотность поглотителя; N_0 — число Авогадро; M — масса молекулы поглощенного вещества, выраженная в единицах атомных масс.

Результаты экспериментов. Представленные формулы использовались при обработке экспериментальных зависимостей $T(t)$, полученных при нагреве образцов лазерным излучением. На рис. 1 представлены характерные зависимости $T(t)$ в случае нагрева образца активированного угля с поглощенным озоном. В некоторых случаях в экспериментах наблюдался тепловой взрыв озона, что соответствует практически верти-

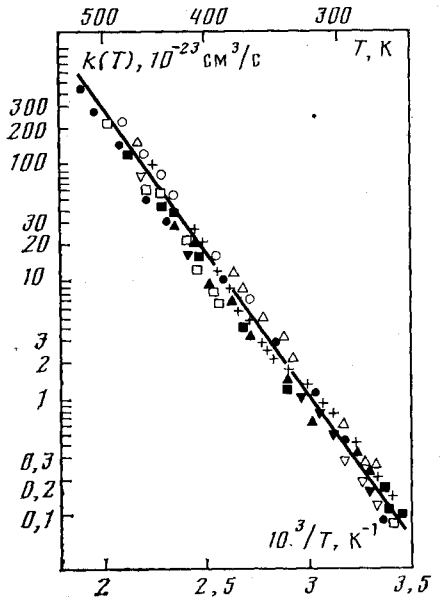

Рис. 2

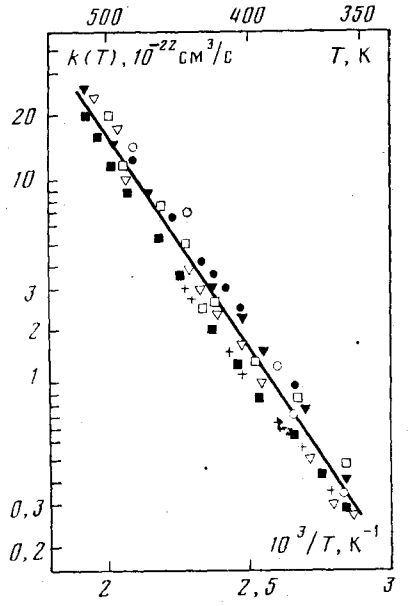

Рис. 3

Рис. 2. Температурная зависимость константы скорости распада поглощенного озона (обработка кривых типа представленных на рис. 1; одинаковые точки соответствуют обработке одной кривой)

Рис. 3. Температурная зависимость константы скорости разложения нитрометана, поглощенного активированным углем (одинаковые точки соответствуют обработке одного эксперимента)

кальной производной на экспериментальных зависимостях $T(t)$. Описанный эффект возникает при быстром нагреве образца за времена, много меньшие характерного времени разложения озона, что практически можно осуществить, используя лазерный нагрев образца. В экспериментах [5] при нагреве объема газа, в котором размещен угольный шарик, теплового взрыва озона не обнаружено.

Данные эксперименты проводились с использованием угольных таблеток. Энергозапас в поглощенном озоне, определенный из экспериментальных данных, изменялся в пределах 40—160 Дж/см³. Поскольку участки, соответствующие тепловому взрыву, дают большую ошибку в определении $k(T)$, они исключались из обработки. Расчет $k(T)$ с разными величинами поглощенного озона показал, что реакция разложения озона в области температур 290—525 К протекает с порядком m, близким к двум. Зависимость восстановленных значений константы скорости процесса от температуры показана на рис. 2. Аппроксимация аррениусовской зависимостью дает в интервале температур 290—525 К следующее выражение для величины $k(T)$:

$$k(T)=(1{,}9\pm1{,}0)\cdot10^{-16}\exp\left[-\frac{5600\pm600}{T}\right]\text{см}^3/\text{с}. \qquad (18)$$

Константа скорости разложения озона, поглощенного углем, измеренная ранее в [5] и выраженная в тех же единицах, имеет вид

$$k(T)=1{,}0\cdot10^{-16}\exp\left[-\frac{5500}{T}\right]\text{см}^3/\text{с} \qquad (19)$$

в интервале температур 265—470 К. Константы скорости (18) и (19) совпадают в пределах точности экспериментов.

При исследовании разложения нитрометана, поглощенного активированным углем, использовалось количество поглощенного нитрометана в пределах 0,05—0,2 г нитрометана на 1 грамм угля. В процессе подготовки

в измерениях образцы откачивались в рабочей камере и находились в атмосфере азота при давлении $5 \cdot 10^{-3}$ МПа в течение 3—4 мин. Для учета изменения количества поглощенного нитрометана от времени при выдержке в соответствующих условиях проведена специальная серия экспериментов. Характерные температуры нагрева образца и времена, за которые они достигаются, незначительно различаются для нитрометана, нитробензола и нитрокумола.

С учетом изменения веса CH_3NO_2 в образце удельное энергосодержание, рассчитанное на единицу массы нитрометана по экспериментальным данным, составляет

$$Q/m = 6{,}1 \pm 1 \text{ кДж/г}. \tag{20}$$

Усреднение проводилось по всем экспериментальным данным.

В табл. 5 представлены данные о тепловых эффектах возможных процессов разложения нитрометана, рассчитанные на основе термодинамических параметров из [11, 12]. Сопоставление с полученным результатом свидетельствует о том, что основное тепловыделение связано с образованием углекислого газа.

Отметим, что при разложении нитрометана, нитробензола и нитрокумола в активированном угле некоторый вклад в теплоотвод вносит процесс испарения этих веществ при нагреве образца. Поэтому при обработке данных введена поправка на этот процесс. Для этой цели подбирались режимы, когда разложение поглощенного вещества несущественно, и оценивались параметры, ответственные за его испарение. Эти данные вводились далее в поправку при определении параметров разложения.

Обработка экспериментальных данных показала, что в исследуемой области температур разложение нитрометана, нитробензола и нитрокумола идет с порядком, близким к двум. В табл. 6 приведены параметры для константы скорости разложения, которая представляется в виде

$$k = k_0 \exp[-E_a/T]. \tag{21}$$

Эти результаты получены из обработки данных, относящихся к отдельным измерениям, представленным на рис. 3—5. Удельное тепловыделение при разложении нитробензола и нитрокумола, приходящееся на единицу массы поглощенного вещества, составляет для нитробензола и нитрокумола соответственно 2,3±0,3 и 2,1±0,4 кДж/г.

Отметим, что константы скоростей разложения нитробензола и нитрокумола в активированном угле в исследованной области температур совпадают в пределах погрешностей эксперимента. Это свидетельствует об одинаковом механизме процесса. Видимо, это разложение определяется

Таблица 5

Возможные процессы разложения CH_3NO_2	Q/m, кДж/г
$CH_3NO_2 \rightarrow CO_2 + {}^3/_5H_2 + {}^1/_2N_2$	5,2
$CH_3NO_2 \rightarrow CO + H_2O + {}^1/_4H_2 + {}^1/_2N_2$	4,5
$CH_3NO_2 \rightarrow {}^1/_4CO_2 + {}^3/_4C + {}^3/_2H_2O + {}^1/_2N_2$	6,5
$CH_3NO_2 \rightarrow {}^1/_2CO + {}^1/_2C + {}^3/_2H_2O + {}^1/_2N_2$	5,6
$CH_3NO_2 \rightarrow {}^5/_8CO_2 + {}^3/_4H_2O + {}^1/_2N_2 + {}^3/_8CH_4$	6,2
$CH_3NO_2 + {}^1/_4C \rightarrow 2CO + {}^3/_4CH_4 + {}^1/_2N_2$	3,3
$CH_3NO_2 + 2C \rightarrow {}^1/_2C_2H_6 + 2CO + {}^1/_2N_2$	3,1

Таблица 6

Параметры формулы (21) при разложении нитросоединений, поглощенных активированным углем

Поглощенное вещество	E_a, К	k_0, 10^{-17} см³/с	T, К
Нитрометан CH_3NO_2	4800±500	2,5±1,2	350—525
Нитробензол $C_6H_5NO_2$	4700±400	7±3	370—520
Нитрокумол $C_9H_{11}NO_2$	4000±300	1,1±0,2	370—520

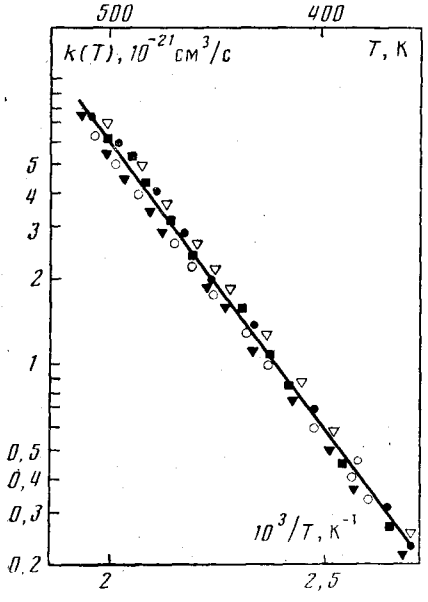

Рис. 4

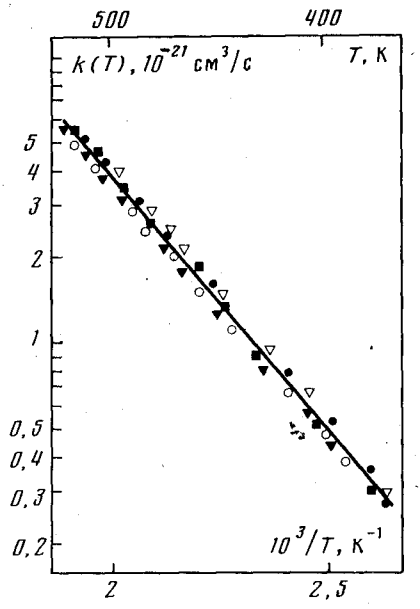

Рис. 5

Рис. 4. Температурная зависимость константы скорости разложения нитробензола, поглощенного образцом из активированного угля (одинаковые точки соответствуют обработке одного эксперимента)

Рис. 5. Температурная зависимость константы скорости разложения нитрокумола, поглощенного образцом из активированного угля (одинаковые точки соответствуют обработке одного эксперимента)

взаимодействием нитрогруппы с бензольным кольцом. Наличие группы $(CH_3)_2CH$ в нитрокумоле не проявляется в химическом процессе. Об этом свидетельствует и одинаковая величина тепловыделения при разложении нитробензола и нитрокумола.

Отметим, что данный метод может быть удобен для определения характеристик тепловыделения за счет химических реакций и процессов горения, протекающих в конденсированной фазе, когда эти процессы несущественны при комнатной температуре.

Авторы выражают благодарность А. К. Петрову и Н. В. Фатееву за внимание и помощь в работе.

Институт теплофизики
СО АН СССР

Поступила в редакцию
13.X.1984

ЛИТЕРАТУРА

1. Carbon Adsorption Handbook/Ed. by Cheremisinoff Paul N., Ellerbusch F. Michigan, 1978.
2. *Яворский И. А.* Физико-химические основы горения твердых ископаемых топлив и графитов. Новосибирск: Наука, 1973.
3. *Григорьев Г. Ю., Дорофеев С. Б., Смирнов Б. М.* Препринт ИАЭ № 3579, 1982.
4. *Афанасьев В. П., Дорофеев С. Б., Синицын В. И., Смирнов Б. М.* Препринт ИАЭ № 3378, 1981.
5. *Дорофеев С. Б., Синицын В. И., Смирнов Б. М.* ХВЭ, 1982, т. 16, № 3, с. 260.
6 *Кобзев Н. И. и др.* ЖФХ, 1975, т. 49, № 12, с. 3119.
7. *Кобзев Н. И. и др.* ЖФХ, 1973, т. 47, с. 2177.
8. *Deitz V. R., Bitner J. B.* Carbon, 1973, v. 11, N 4, p. 393.
9. *Deitz V. R., Bitner J. B.* Carbon, 1972, v. 10, p. 145.
10. *Криксунов Л. З.* Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов. радио, 1978.
11. *Зельдович Я. Б. и др.* Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
12. *Франк-Каменецкий Д. А.* Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1967.