

43. M. S. Jones, C. D. Bangerter et al. Tech. Rep. AFAPL-TR-67-64, August 1967.
44. M. S. Jones, A. H. Peterson, D. H. Church. Tech. Rep. AFAPL-TR-65-256, 1965.
45. O. K. Sonju, F. Teno. Proceedings of the 13-th Symposium on Engineering Aspects of MHD. Stanford, March 1973.
46. C. D. Bangerter, B. D. Hopkins, T. R. Brogan. Tech. Rep. AFAPL-TR-76-34, 1976.
47. C. N. McKinnon. Patent USA, cl. 310-11, N 3, 348, October 1967.
48. А. П. Ершов. ФГВ, 1975, 11, 6, 938.
49. S. P. Gill, D. W. Baum. Patent USA, cl. 310-11, № 3, 878, 409, 1975.
50. M. S. Jones, C. D. Bangerter et al. Tech. Rep. 669, MHD, Research Inc., 1969.
51. Р. Хан, Б. Антони и др.— В сб.: Накопление и коммутация энергии больших плотностей. М.: Мир, 1979.
52. E. C. Snare, W. P. Brooks, M. Cowan. Proceedings of the 2-nd IEEE International Pulsed Power Conference. Lubbock, 1979.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВ ТИТАНА

*Е. В. Черненко, В. А. Грива, В. И. Розенбанд
(Черноголовка)*

Изучение закономерностей воспламенения порошков переходных тугоплавких металлов имеет научное и прикладное значение. Представляет интерес исследование влияния на процесс воспламенения таких параметров, как состав газообразного окислителя, величина теплоотвода, размеры образца, марка металлического порошка. Это связано с решением вопросов техники безопасности при работе с порошками переходных металлов, обладающих повышенной реакционной способностью, применение которых в промышленности неуклонно возрастает. Настоящая работа посвящена изучению воспламенения металлических порошков переходных металлов на примере порошков титана.

Для исследования воспламенения применялись два металлических блока. Первый блок с большим внутренним объемом ($V = 200 \text{ см}^3$) использовался для изучения воспламеняемости порошков при различных условиях теплоотвода между капсулой, полностью заполненной порошком, и окружающей средой. Величина теплоотвода варьировалась изменением скорости продувки газа через металлический блок. Во втором блоке с малым внутренним объемом ($V = 20 \text{ см}^3$) исследовалась воспламеняемость порошков в ограниченном объеме без продувки газа. В металлический блок, нагретый до определенной температуры в муфельной печи, вводился образец (порошок титана) в капсуле, выполненной из латунной сетки (размер ячеек 71 мкм), не препятствующей подводу газа к образцу. Время ввода образца $\approx 2 \text{ с}$, что значительно меньше времени наблюдаемого процесса. Температуры металлического блока и образца измерялись с помощью хромель-алюмелевых термопар, которые устанавливались на поверхности, в центре образца и на поверхности металлического блока напротив образца. Установка позволяла проводить исследования при температурах металлического блока до 1200°C .

Для определения коэффициента теплоотдачи между образцом и окружающей средой порошок в капсуле заменялся медным цилиндром, температура которого измерялась хромель-копелевой термопарой, установленной в центре цилиндра. На стадии прогрева вблизи температуры металлического блока, благодаря высокой теплопроводности меди, можно считать, что медный цилиндр равномерно прогрет по всему объему. В этом случае коэффициент теплоотдачи от образца в окружающую среду

$$\alpha = - \frac{V_0 c \rho}{S} \frac{1}{T_{\text{ц}} - T_{\infty}} \frac{dT_{\text{ц}}}{dt},$$

где V_0 , S — объем и площадь медного цилиндра; c , ρ , $T_{\text{ц}}$ — его теплоемкость, плотность и температура; T_{∞} — температура цилиндра, которая

Т а б л и ц а 1

$V, \text{ см}^3$	$v_r, \text{ см/с}$	$\alpha \cdot 10^{-3} \text{ кал/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К})}$ при $T_\infty, ^\circ\text{C}$			
		300	400	500	600
200	5,85	0,80	1,28	1,74	2,20
	13,16	1,50	2,15	2,80	3,48
	23,47	2,15	2,65	—	—
20	0	0,59	1,08	1,54	2,12

устанавливается при окончательном его прогреве. В экспериментах за T_∞ принималась температура медного цилиндра после 30-минутного прогрева (увеличение времени выдержки при постоянной температуре металлического блока не приводило к изменению T_∞). В табл. 1 приведены значения коэффициента теплоотдачи в зависимости от T_∞ и скорости газового потока (v_r) для металлических блоков большого и малого объемов.

Для исследования закономерностей воспламенения использовались порошки магнийтермического титана ТУ 10-0, 7-77 № 1 и № 4 насыпной плотности 1,04 и 1,10 г/см³ соответственно. Длина образцов составляла 20 мм, диаметр $d = 6$ и 15 мм.

На рис. 1 приведена зависимость времени задержки зажигания образцов t_* от T_∞ в атмосфере O_2 , воздуха и N_2 , на рис. 2 — та же зависимость, полученная в атмосфере воздуха и N_2 при $d = 15$ мм и $v_r = 5,85$ см/с. Видно, что воспламеняемость образцов резко ухудшается при замене кислородной атмосферы на азотную. Критическая температура $T_{\infty \text{кр}}$ (температура, ниже которой воспламенение не происходит) наиболее низкая в кислороде и значительно выше в азоте при одинаковых диаметрах образцов. Так как значения $T_{\infty \text{кр}}$, полученные на воздухе, близки, то, следовательно, при воспламенении образцов в атмосфере воздуха основную роль играет кислород.

Для более детального выяснения роли азота в процессе воспламенения порошка титана получена зависимость перегрева образца титана № 1 диаметром 6 мм $\Delta T = T_{\text{max}} - T_\infty$ (где T_{max} — максимальная температура образца) от T_∞ при исследовании воспламенения в металлическом блоке малого объема на воздухе (рис. 3). С увеличением T_∞ наблюдается максимум ($T_\infty \approx 440^\circ\text{C}$), при этом образец не воспламенялся, а в дальнейшем ($T_\infty \approx 515^\circ\text{C}$) наблюдалось резкое возрастание ΔT с воспламенением об-

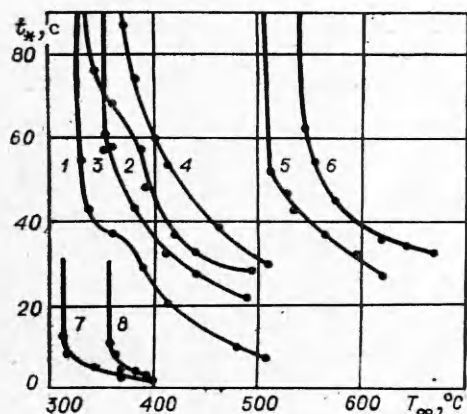


Рис. 1. Зависимость t_* от T_∞ для порошка титана № 1; $d = 6$ мм.

$v_r, \text{ см/с}$: 1, 3, 5, 7 — 13,16, 2, 4, 6 — 5,86, 8 — 23,47. Атмосфера: 1, 2 — O_2 , 3, 4 — воздух, 5, 6 — N_2 , 7, 8 — воздух при предварительном нагреве образца в Ag .

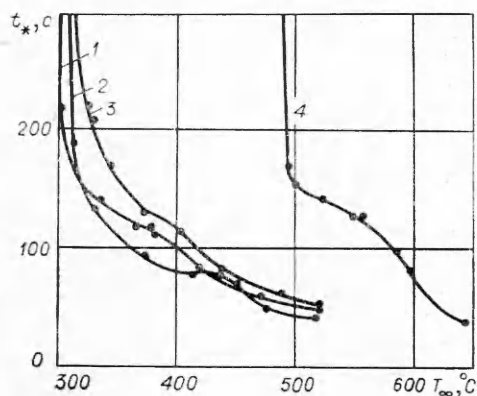


Рис. 2. Зависимость t_* от T_∞ ; $d = 15$ мм, $v_r = 5,86$ см/с.

1, 4 — порошок Тi № 1; 2 — порошок Тi № 4; 3 — порошок Тi № 4 с 20% сажи. Атмосфера: 1—3 — воздух, 4 — N_2 .

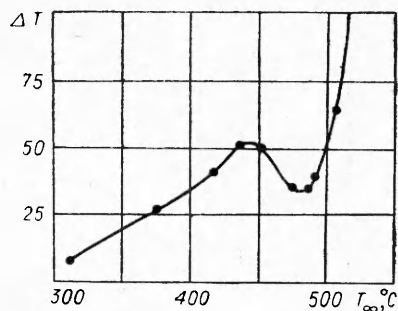


Рис. 3. Зависимость перегрева образца ($d=6$ мм) порошка титана № 1 от T_{∞} .

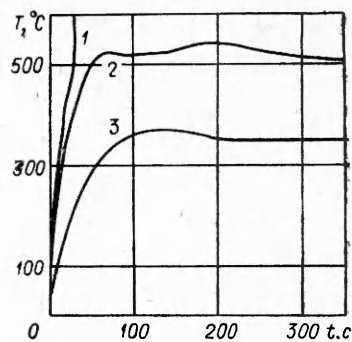


Рис. 4. Зависимость температуры образца ($d=6$ мм) порошка титана № 1 от времени выдержки в металлическом блоке малого объема.
 $T_{\infty}, ^\circ\text{C}$: 1 — 520, 2 — 495, 3 — 350.

разца. В блоке большого объема воспламенение аналогичных образцов фиксировалось при $T_{\infty} \approx 350 \div 365^\circ\text{C}$.

Аналогичная зависимость $\Delta T(T_{\infty})$ отмечалась при исследовании воспламенения прессованных порошков циркония [1]. В работе [1] предполагалось, что значительно меньшая температура воспламенения образцов в большем объеме обусловлена различием величин коэффициента теплоотдачи от таблетки в малом и большом объемах. Однако из табл. 1 видно, что в наших условиях α в малом объеме меньше, и с этой точки зрения условия для воспламенения образцов в малом объеме более благоприятны.

Полученный результат может быть объяснен только недостаточным количеством кислорода для воспламенения образцов в малом объеме. При этом воспламенение происходит за счет реакции взаимодействия металлического порошка с азотом и наблюдается в районе температур воспламенения образцов в чистом азоте (см. рис. 1). Участок спада ΔT при увеличении T_{∞} (см. рис. 3) объясняется тем, что кислород, содержащийся в малом объеме, начинает вырабатываться еще в процессе прогрева образца, т. е. до момента достижения образцом температуры T_{∞} . Об этом же свидетельствуют результаты химического анализа на кислород и азот образцов, выдержанных в течение 5 мин в металлическом блоке малого объема в атмосфере воздуха при различных температурах и затем быстро охлажденных. Анализ показал, что вплоть до T_{∞} , при которых происходит воспламенение образца, соединения азота в образцах присутствуют на уровне следов (табл. 2). Концентрация же азота в воспламенившемся образце, выдерживаемом при 520°C , соответствует наличию в образце 34,1% TiN.

На рис. 4 приведена временная зависимость температуры образца диаметром 6 мм, нагреваемого в металлическом блоке малого объема. При $T_{\infty} = 350^\circ\text{C}$ наблюдается плавный ход температуры и перегрев образца обусловлен реакцией взаимодействия титана с кислородом. При $T_{\infty} = 495^\circ\text{C}$ отмечается двухступенчатый перегрев, первая ступень которого является следствием реакции взаимодействия между титаном и кислородом, а вторая соответствует реакции взаимодействия титана с азотом. При $T_{\infty} = 520^\circ\text{C}$ рост температуры постоянен, причем воспламенение образца обеспечивается реакцией взаимодействия между титаном и азотом. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что при избытке кислорода предвоспламенительный разогрев полностью обусловлен взаимодействием титана с кислородом воздуха, при недостатке кислорода (например, воспламенение в малых объемах) воспламенение обеспечивается взаимодействием титана с азотом.

С увеличением скорости продувки газа, т. е. с ростом α , наблюдается уменьшение t_* и $T_{\infty\text{кр}}$, причем влияние α на $T_{\infty\text{кр}}$ возрастает по мере раз-

Т а б л и ц а 2

$T_{\infty}, ^\circ\text{C}$	$\text{O}_2, \%$	$\text{N}_2, \%$	$T_{\infty}, ^\circ\text{C}$	$\text{O}_2, \%$	$\text{N}_2, \%$
25	2,28	0,14	490	5,96	0,65
395	3,46	0,28	520	4,8	7,7
445	3,76	0,25			

П р и м е ч а н и е. Приведено массовое содержание O_2 и N_2 .

бавления кислорода азотом (см. рис. 1f). Уменьшение i_* с увеличением скорости продувки газа связано с сокращением времени инертного прогрева образца. Понижение $T_{\infty\text{кр}}$ обусловлено тем, что при нагреве образца от комнатной температуры до T_{∞} происходит предварительное окисление порошка, тем более существенное, чем меньше скорость нагрева, затрудняющее воспламенение образца.

Обратная картина наблюдается при предварительном нагреве образца в атмосфере Ar до T_{∞} , а затем смене инертного газа на воздух (см. рис. 1, 7 и 8). Так как стадия прогрева образца до температуры T_{∞} исключается, а на стадии реакционного разогрева увеличение α тормозит воспламенение образца, то с увеличением скорости продувки газа i_* и $T_{\infty\text{кр}}$ увеличились. Отсутствием нарастания окисной пленки в период нагрева объясняется и уменьшение $E_{\infty\text{кр}}$ для предварительно нагретого в инертной атмосфере образца, по сравнению с $T_{\infty\text{кр}}$ образца без предварительного нагрева (см. рис. 1, 3 и 7).

Таким образом, увеличение α двояко влияет на воспламеняемость образцов. С одной стороны, уменьшается толщина окисной пленки, нарастающей на частицах металла во время нагрева образца до T_{∞} , что улучшает воспламеняемость. С другой стороны, увеличивается тепловод от образца, когда его температура за счет химической реакции начинает превышать T_{∞} , что препятствует воспламенению. Следовательно, при увеличении скорости потока газа $T_{\infty\text{кр}}$ должна проходить через минимум. Действительно, из рис. 1, 3, 6 видно, что при $v_r = 23,47$ см/с даже в отсутствие стадии прогрева $T_{\infty\text{кр}}$ больше, чем при $v_r = 13,16$ см/с при наличии прогрева.

С увеличением диаметра образца i_* возрастает, так как на стадии инертного прогрева необходимо прогреть большую массу порошка, приходящуюся на единицу поверхности теплоприхода образца. При этом $T_{\infty\text{кр}}$ уменьшается вследствие того, что при реакционном разогреве в реакции участвует большая масса порошка титана, приходящаяся на единицу поверхности внешней теплоотдачи.

В работах [2, 3] теоретически рассматривался переход от самовоспламенения к зажиганию при простых кинетических законах соответствующих процессу термического разложения. В [4] теоретически показана возможность перехода от самовоспламенения к зажиганию и в случае воспламенения порошков металлов с кинетикой, обусловленной торможением реакции нарастающим окисным слоем. Экспериментальная проверка возможности существования этих двух предельных режимов воспламенения предпринята в данной работе.

Из рис. 2 видно, что при воспламенении образцов с $d = 15$ мм зависимость времени задержки зажигания от температуры имеет не плавный характер, а наблюдается резкое уменьшение i_* при достижении определенной T_{∞} . Для воспламенения порошков магнийтермического титана № 1 на воздухе эта температура $\approx 380^\circ\text{C}$, а в азоте $\approx 560^\circ\text{C}$. Такой характер зависимости $t_*(T_{\infty})$ можно объяснить переходом процесса от самовоспламенения к зажиганию. На рис. 5 показана зависимость перепада температур между поверхностью образца диаметром 15 мм и его центром от времени при воспламенении в атмосфере воздуха. При $T_{\infty} = 300^\circ\text{C}$ наблюдается самовоспламенение образца, т. е. срыв температуры происходит в центре образца, а затем, вследствие расхода газообразного окислителя,

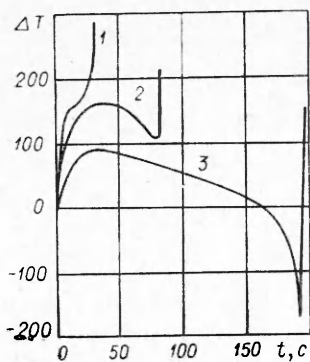


Рис. 5. Зависимость перепада температур между поверхностью и центром образца ($d=15$ мм) порошка титана № 1 от времени выдержки в металлическом блоке большого объема на воздухе; $v_r=5,85$ см/с.
 T_∞ , °C: 1 — 540, 2 — 400, 3 — 300.

горение переходит на поверхность. При $T_\infty = 540^\circ\text{C}$ происходит зажигание, т. е. перепад температур между поверхностью и центром образца непрерывно возрастает.

Резкое изменение характера зависимости $t_*(T_\infty)$ в момент перехода процесса от самовоспламенения к зажиганию, возможно связано с более быстрым темпом нагрева образца. Как следствие этого, приводящее к воспламенению растрескивание окисной пленки происходит при более низкой температуре, чем в случае теплового взрыва, имеющего место при более медленном нагреве. Изменение характера зависимости $t_*(T_\infty)$ наблюдается и при воспламенении образца с $d=6$ мм в кислороде из-за большей теплоты реакции взаимодействия титана с кислородом по сравнению с азотом и отсутствия диффузионных затруднений, имеющих место в случае воспламенения порошка титана на воздухе. При этом зона химической реакции в момент воспламенения мала, что позволяет четко определить момент перехода от самовоспламенения к зажиганию даже при малом диаметре образца.

С целью исследования влияния марки титана и разбавления порошка титана сажей (смесь порошка титана и сажи широко используется как шихта для получения карбида титана методом СВС [15]) па процесс воспламенения в воздухе получена зависимость $t_*(T_\infty)$ образцов диаметром 15 мм для марки титана № 4 и для смеси этого титана с сажей (см. рис. 2). Видно, что характеристики воспламенения зависят от марки титана, однако качественно зависимость остается неизменной. Различие $T_{\infty\text{кр}}$ для различных марок титана может быть существенным. Так, для электролитического порошка титана марки ПТСС ТУ 48-0561-2/0-80 с существенно менее разветвленной поверхностью частиц получена $T_{\infty\text{кр}} \approx 460^\circ\text{C}$. Разбавление титана сажей (20% сажи, см. рис. 2) несколько увеличивает i_* и $T_{\infty\text{кр}}$, так как в процессе воспламенения участвует меньшая масса титана, приходящаяся на единицу объема.

Можно считать, что определяющим процессом при воспламенении смеси титана с сажей на воздухе является окисление титана. Это подтверждается и тем, что при нагреве шихты до 1200°C в атмосфере Ar образцы не воспламенялись. Сажа выступает в качестве активного химического компонента уже при более высоких температурах, обусловленных воспламенением титана. Воспламенение образцов чистой сажи с $d=6$ мм наблюдалось при температуре выше 490°C при скорости продувки воздуха $13,16$ см/с. Надо отметить, что горение шихты после воспламенения носит более бурный характер, чем горение чистого титана, и приводит к развалу образца, что вызвано наличием в реагирующем объеме собственного окислителя и горючего.

Теоретическое исследование самовоспламенения частиц металла при различных кинетических законах проведено в работах [6, 7]. Получены формулы для расчета критических условий воспламенения частиц металла в нагретом газе. Представляется интересным сопоставление $T_{\infty\text{кр}}$, рассчитанных по этим формулам, с экспериментальными значениями. Для расчета необходимо знание эффективных кинетических параметров реакции окисления титана на воздухе. С этой целью неизотермическим термографическим методом [8] изучена кинетика окисления титана № 1 на воздухе:

$$\dot{g} = 1,8 \cdot 10^{13} e^{-49500/RT} \frac{1}{\epsilon^{0,013g}} \text{ кал}/(\text{г} \cdot \text{с}),$$

где \dot{g} — скорость тепловыделения; g — количество выделившегося в ходе реакции тепла на 1 г металла; R — универсальная газовая постоянная; T — температура порошка титана. Эксперименты проводились при скоростях нагрева исследуемого образца 5 и 10 град/мин. Кинетика окисления изучена в диапазоне температур 550—700°C.

Для исследования воспламенения в диапазоне температур, соответствующих полученной кинетике, готовилась смесь, состоящая из 20% порошка титана № 1 и 80% инертного порошка, состоящего из 50% Al_2O_3 и 50% SiO_2 . При исследовании образцов диаметром 6 мм в металлическом блоке большого объема при $v_r = 13,16$ см/с получена критическая температура воспламенения $\approx 630^\circ C$.

Предполагая, что в околоскритической области температура по сечению образца вследствие его малых размеров постоянна, можно записать систему уравнений, описывающую процесс воспламенения порошка в следующем виде:

$$(c_m M_m + c_n M_n) \cdot dT/dt = M_m \cdot dg/dt - \alpha S(T - T_\infty),$$

$$dg/dt = k_0 e^{-E/RT} \cdot e^{-bg}.$$

При $t = 0$, $T = T_0$, $g = 0$. Здесь c_m и c_n — теплоемкость порошка титана и инертного материала; M_m и M_n — масса порошка титана и инертного материала; S — поверхность образца; k_0 , E , b — эффективные кинетические параметры реакции окисления порошка титана на воздухе. При переходе к безразмерным переменным

$$\Theta = E(T - T_\infty)/RT_\infty^2, \quad \eta = 0,013g, \quad \beta = RT_\infty/E,$$

$$\tau = \frac{M_m k_0 e^{-E/RT_0}}{(c_n M_n + c_m M_m) RT_\infty^2}, \quad \kappa = \frac{EM_m k_0 e^{-E/RT_\infty}}{\alpha S RT_\infty^2},$$

$$\gamma = \frac{b RT_\infty^2 (c_m M_m + c_n M_n)}{M_m E}, \quad \Theta_0 = E(T_\infty - T_0)/RT_\infty^2.$$

Эта система уравнений сводится к системе, описанной в [7]. Используя найденное в этой работе критическое условие воспламенения и переходя к размерному виду, получим выражение для определения $T_{\infty \text{кр}}$

$$\frac{EM_m k_0}{\alpha S RT_{\infty \text{кр}}^2} \cdot \frac{1}{e^{E/RT_{\infty \text{кр}}}} - T_{\infty \text{кр}}^2 \frac{3bR(c_m M_m + c_n M_n)}{EM_n} = 0,368.$$

Для расчета критической температуры воспламенения образцов в это выражение подставим численные значения параметров, принимая во внимание полученную кинетику окисления порошка титана № 1 на воздухе, $k_0 = 1,8 \cdot 10^{13}$ кал/(г · с), $E = 49\,500$ кал/моль, $c_m = 0,162$ кал/(г · град), $c_n = 0,285$ кал/(г · град), $M_m = 0,09$ г, $M_n = 0,35$ г, $R = 2$ кал/(моль · град), $S = 4,33$ см², $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-3}$ кал/(см² · град · с), $b = 0,013$ г/кал. Рассчитанное таким образом $T_{\infty \text{кр}} \approx 610^\circ C$ хорошо согласуется с экспериментом.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Азот химически влияет на воспламенение порошка титана на воздухе только при недостатке кислорода.
2. Обдув существенно влияет на $T_{\infty \text{кр}}$, уменьшая ее при малых скоростях газового потока и увеличивая при больших.
3. Протекание процесса воспламенения порошка титана возможно в режиме самовоспламенения и зажигания.
4. Теоретически рассчитанная критическая температура воспламенения порошка титана хорошо согласуется с экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Вадченко, Ю. М. Григорьев. ФГВ, 1979, 15, 1, 64.
2. А. Г. Мержанов, В. Г. Абрамов, В. Т. Гонтковская. Докл. АН СССР, 1963, 148, 156.
3. В. Г. Абрамов, В. Т. Гонтковская, А. Г. Мержанов. Изв. АН СССР. Сер. химическая, 1966, 3, 429.
4. Е. В. Черненко, Т. А. Ивлева и др. ФГВ, 1980, 16, 1, 15.
5. В. К. Прокудина, В. И. Ратников и др.— В сб.: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черногловка, 1975.
6. Б. И. Хайкии, В. Н. Блошенко, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1970, 6, 6, 4.
7. А. П. Алдушиц, В. И. Блошенко, Б. С. Сеплярский. ФГВ, 1973, 9, 4, 89.
8. В. А. Грива, В. И. Розенбауд. ФГВ, 1978, 14, 2, 115.

ГОРЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ С ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗДЕЛЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

В. И. Юхвид
(Черногловка)

В случае, когда твердые окислитель и горючее пространственно разделены, известно два вида горения: горение топлива типа «сэндвич» [1] и химическая дуга [2]. Такие системы состоят из двух крупных блоков и моделируют топливо с большим размером частиц окислителя и горючего.

В настоящей работе экспериментально и теоретически изучен новый вид горения: нелетучее горючее в виде слоя частиц сгорает в псевдооживленном состоянии над поверхностью окислителя в продуктах его газификации. Возможность псевдооживления в условиях горения гетерогенных систем впервые рассматривалась при изучении горения смесевых систем с твердыми дисперсными добавками в центрифуге [3—5].

Методика эксперимента. Схема установки приведена на рис. 1. Эксперименты проводились при атмосферных условиях. Во всех опытах в качестве окислителя использовались пресованные таблетки перхлората аммония, а в качестве горючего — частицы гранулированного активированного древесного угля. Для осуществления послойного горения необходимо, чтобы таблетка ПХА плотно входила в трубку. Воспламенение производилось вольфрамовой электроспиралью, которая после воспламенения удалялась из трубки.

В опытах использовались таблетки ПХА диаметром 1 см, высотой 2 см и плотностью $\rho_0 = 1,95 \text{ г/см}^3$ и активированный уголь с диаметром частиц $d_c = 0,01 \div 0,14 \text{ см}$ и плотностью $\rho_c = 1 \text{ г/см}^3$. Начальная масса слоя угля M_0 изменялась от 0,1 до 3 г. Высота кварцевых трубок составляла 25 см, а толщина стенки 0,10 см. В ряде опытов использовались составные таблетки длиной 6 см (3×2 см).

В каждом опыте регистрировались начальная l_0 и конечная l_k высоты таблеток, время горения t_r и высота псевдооживленного слоя \bar{L} . Время горения составляло 1—10 мин и измерялось секундомером. Линейная средняя скорость горения (скорость перемещения поверхности таблетки ПХА) рассчитывалась по формуле $u_0 = (l_0 - l_k)/t_r$. Для получения зависимости скорости горения u от времени t измерения проводились через каждые 0,5 см высоты таблетки.

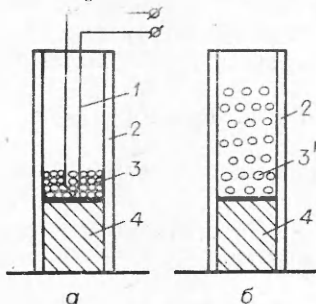


Рис. 1. Схема опыта до воспламенения (а) и после воспламенения (б).

1 — поджигающая электроспираль; 2 — кварцевая трубка; 3 — засыпка активированного угля; 3' — псевдооживленный слой; 4 — таблетка окислителя.