

11. Б. В. Новожилов. Нестационарное горение твердых ракетных топлив. М., «Наука», 1973.
12. Э. И. Максимов, Ю. М. Максимов, В. Ф. Чуков. ФГВ, 1971, 7, 2, 197.
13. В. С. Бабкин, С. С. Хлевной. ФГВ, 1972, 8, 4, 597.
14. Э. И. Штессель, А. Г. Мержанов и др. ФГВ, 1973, 9, 6, 855.
15. Р. Прекел. РТК, 1965, 3, 2, 238.
16. А. П. Денисюк, Т. М. Козырева, В. Г. Хубаев. ФГВ, 1975, 11, 2, 315.
17. D. I. Hewkin, I. A. Hicks a. o. Combustion Science and Technology, 1971, 2, 5—6, 307.
18. А. С. Андросов, А. П. Денисюк, Н. П. Токарев. ФГВ, 1976, 12, 5, 780.
19. В. М. Мальцев, М. Самерфильд. ФГВ, 1973, 9, 1, 133.
20. А. П. Денисюк, А. Д. Марголин и др. ФГВ, 1977, 13, 4, 576.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ НА ПРОЦЕСС ЗАЖИГАНИЯ БЕЗГАЗОВЫХ СИСТЕМ ВОЛНОЙ ГОРЕНИЯ

В. И. Ермаков, А. Г. Струнина, В. В. Барзыкин

(Черноголовка)

Распространение фронта горения в реальных условиях всегда сопровождается теплотерями, которые могут привести к срыву горения. Впервые процесс зажигания, сопровождающийся теплотерями, рассмотрен Зельдовичем для случая, когда объем газа заключался между стенками с различной температурой [1]. Пределы распространения пламени при наличии теплотерей исследовались в [2]. В работе [3] рассмотрены критические явления, возникающие при торцевом зажигании накаленной стенкой цилиндрического образца с теплотерями через боковую поверхность. Анализ процесса горения безгазовых систем [4, 5] показал, что наличие теплотерей сказывается не только на пределе и величине скорости горения, но и на границе между стационарными и автоколебательными режимами горения.

Автоколебания расширяют область отсутствия горения. Влияние теплотерей на развитие процесса при инициировании реакции в безгазовой системе тепловой волной горящего воспламенителя исследовалось в [6]. В этой работе показана связь предельных коэффициентов теплоотдачи по горению и зажиганию с параметрами реагирующих систем. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния теплотерей на развитие процесса зажигания и переходные режимы горения безгазовых систем, инициируемых волной горения воспламенителя.

Постановка и проведение эксперимента

Изучение процесса зажигания при наличии теплотерей, как и в [7], проводилось на модельных безгазовых системах — железотитановом и хромово-циркониевом термитах. Состав воспламенителя и поджигаемой системы различался лишь процентом разбавления исходных компонентов конечным продуктом реакции. Данные о выбранных термитных составах приведены в табл. 1. Коэффициенты температуропроводности определялись по методике [8]. Температура горения термитов измерялась в центре образца вольфрам-рениевой термопарой диаметром $5 \cdot 10^{-5}$ м [9]. Значения температур, приведенные в табл. 1, средние из

Таблица 1

Система	Диаметр частиц горючего, мкм	Количество инертной добавки (сверх 100%), %	Диаметр исследуемого образца, м·10 ²	T _г , К	v·10 ² , м/с	a·10 ⁷ , м ² /с	λ, Вт/(м·град)
2Fe ₂ O ₃ +3TiO ₂ +βTiO ₂	≈4,5	31	1,0	1800	0,075	4,6	0,38
			1,2	1820			
			1,5	1850			
		39	1,0	1700	0,054	3,99	0,34
			1,2	1720			
			1,5	1740			
2Cr ₂ O ₃ +3ZrO ₂ +βZrO ₂	≈4,5	30	0,8	2000	0,22	2,56	0,31
			1,0	2030			
			1,2	2030			
		42,5	0,8	1840	0,1	2,82	0,25
			1,0	1860			
			1,2	1860			

8—10 опытов. Скорость перемещения фронта горения по образцу воспламенителя и поджигаемой системы фиксировалась фоторегистратором ФР-11.

Приготовление исходной смеси термита, плотность запрессовки, выбор высоты воспламенителя и поджигаемой системы были такими же, как в [7]. Теплопотери регулировались изменением скорости обдува потоком азота вдоль боковой поверхности совместно спрессованных воспламенителя и поджигаемого образца.

Схема проведения эксперимента показана на рис. 1. Фронт горения двигался сверху вниз навстречу потоку азота. Исследуемый образец ставился на обтекатель (длиной 5÷6 диаметров образца), чтобы исключить завихрения, возникающие на торцевой части таблетки.

Диаметр сопла менялся в зависимости от диаметра образца. Расход газа, по которому вычислялась скорость обдува, измерялся ротаметрами РС-3, РМ-4, РС-5. Погрешность измерения расхода газа не превышала ±3%. Для осушения и выравнивания струи азота использовался селикагель. Чтобы исключить попадание воздуха в струю азота, образец и система обдува помещались в закрытый сосуд, имеющий свободный выход газа. При такой постановке эксперимента движение газа вдоль цилиндрической поверхности можно рассматривать как движение вдоль плоской поверхности пластины с гладкой начальной кромкой [10, 11]. Переход от ламинарного к турбулентному пограничному слою при обтекании пластины происходит при $Re \approx 10^5$ [12], что соответствует скорости газа ~25 м/с. Измерения показали, что при скоростях обдува от 0,1 до 80 м/с расширение струи газа на всей длине поджигаемой таблетки и воспламенителя невелико.

В условиях опыта теплообмен образца с окружающей средой осуществлялся как конвекцией, так и излучением. Конвективный коэффициент теплоотдачи рассчитывался по следующим формулам [13]:

$$\bar{\alpha}_{к1} = 2,99 (\gamma \cdot \omega_0 / x)^{0,5} \quad \text{для } Re \leq 10^5, \quad (1)$$

$$\bar{\alpha}_{к2} = 3,72 (\gamma \cdot \omega_0)^{0,8} x^{0,2} \quad \text{для } Re > 10^5, \quad (2)$$

а лучистый коэффициент теплоотдачи по формуле [13]

$$\alpha_{л} = \sigma \cdot \epsilon [(T_{п}/100)^4 - (T_0/100)^4] / (T_{в} - T_0), \quad (3)$$

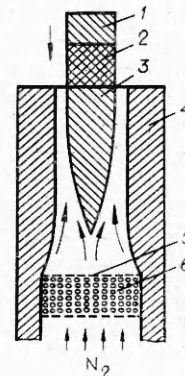


Рис. 1. Схема эксперимента.
1 — воспламенитель; 2 — поджигаемая система; 3 — обтекатель; 4 — корпус сопла; 5 — сетка; 6 — селикагель.

где ω_0 — скорость обдува газом, м/с; γ — плотность газа, кг/м³; x — расстояние от среза сопла, м; $\sigma = 5,72$ Дж/(м²·с·К⁴) — постоянная Стеффана — Больцмана; ϵ — степень черноты; T_n и T_0 — температура поверхности и начальная, К.

Полный коэффициент теплоотдачи определялся выражением

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_u. \quad (4)$$

Температура поверхности оценивалась оптическим пирометром ОППИР-017 в красной части спектра ($\lambda = 0,635$ мкм). Поскольку при обдуве температура поверхности сильно понижалась и область раскаленных шлаков сужалась в некоторых случаях до $0,3-0,4 \cdot 10^{-2}$ м, то T_n оценивалась в месте своего максимального значения — в узкой области, находящейся у границы раздела зоны реакции и непрореагировавшего вещества. Малая скорость горения термитного состава позволяла следить за перемещением этой области по образцу и производить в ней оценку температуры поверхности. Среднее значение T_n бралось из 8—10 одинаковых опытов. Разброс температуры поверхности не превышал 5%.

При изучении влияния теплопотерь на процесс зажигания волной горения определялись следующие характеристики.

Скорость горения воспламенителя (при подходе фронта горения к границе раздела) и поджигаемого образца. Изменение скорости горения с координатой определялось графическим дифференцированием увеличенного в 10—15 раз кадра фоторегистрации процесса. Точность определения скорости в каждом конкретном случае была не хуже 5%.

Время задержки зажигания t_1 . За t_1 принималось время от конца горения воспламенителя до начала перемещения фронта горения по поджигаемому образцу. Точность определения t_1 (из увеличенного кадра фоторегистрации) была не хуже 5%.

Время установления фронта горения t_2 . За t_2 принималось время от начала перемещения фронта горения по поджигаемому образцу до момента, когда нестационарная скорость горения отличалась от своего стационарного значения на 5÷7%; t_2 определялось из графика изменения скорости горения с координатой.

Полное время переходного периода t_n определялось выражением: $t_n = t_1 + t_2$.

Предел по горению разделяет область коэффициентов теплоотдачи, при которых имеет место затухающее горение, от области, где фронт горения может распространяться по образцу сколько угодно большой длины.

Пределный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{кр}$ устанавливался следующим образом. Исследуемый образец высотой $3 \div 3,5 \cdot 10^{-2}$ м ставился на обтекатель и после зажигания обдувался потоком азота со все увеличивающейся скоростью. Скорость обдува увеличивалась до тех пор пока горение не затухало. Далее из нескольких опытов методом последовательного приближения к скорости обдува, при которой происходило затухание горения, бралось среднее значение скорости и по формулам (1) или (2) вычислялся конвективный коэффициент теплоотдачи. При этой же скорости обдува оценивалась пирометром температура поверхности и по формуле (3) определялся лучистый коэффициент теплоотдачи. Критический коэффициент теплоотдачи рассчитывался по выражению (4).

Пределом по зажиганию считался такой коэффициент теплоотдачи, ниже которого образец зажигался, а выше которого зажигание отсутствовало, причем незначительное увеличение уровня теплопотерь приводило к тому, что воспламенитель не догорал до границы раздела с поджигаемой системой. Экспериментально предел по зажиганию определялся таким же методом, как и предел по горению.

Результаты экспериментов

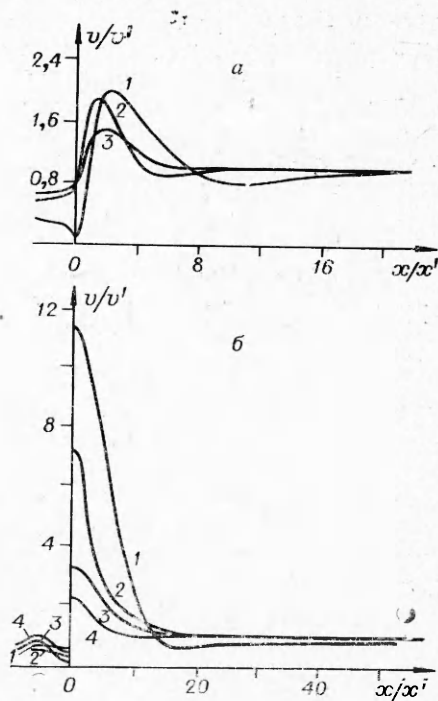
В соответствии с работами [6, 7, 14], посвященными изучению процесса зажигания безгазовых систем волной горения, в данной работе рассматриваются два режима зажигания: индукционный ($\Delta H_1 > \Delta H_2$) и «сжигания»¹ ($\Delta H_1 < \Delta H_2$). Реализация режимов на термитных составах проводилась аналогично [7].

Индукционный режим. На рис. 2 представлено изменение скорости горения для железотитанового и хромово-циркониевого термитов при различных уровнях теплопотерь. Область отрицательных x соответствует воспламенителю, область положительных x — поджигаемой системе. Здесь v' и x' — скорость горения поджигаемой системы и ширина прогретой зоны в стационарном режиме. Из графиков видно, что с ростом уровня теплопотерь (при увеличении скорости обдува) для обоих термитов растет максимальное отклонение нестационарной скорости горения от своего стационарного значения и затягивается выход на стационарный режим горения. Дальнейший рост уровня теплопотерь приводит к тому, что достигается предел по горению воспламенителя², и зажигание не реализуется, несмотря на то, что при данном уровне теплопотерь поджигаемая система способна гореть. Следовательно, для индукционного режима предел по зажиганию системы совпадает с пределом по горению воспламенителя.

На рис. 3 представлены зависимости временных характеристик от уровня теплопотерь. Здесь t' — время сгорания прогретого слоя поджигаемой системы в стационарном режиме горения, а $\alpha_{кр1}$ — предельный коэффициент теплоотдачи по горению воспламенителя. Видно, что времена задержки зажигания t_1 и установления фронта горения t_2 для обоих термитов возрастают, причем это возрастание значительно при подходе к пределу по горению воспламенителя ($\alpha_{кр1}$). Полное время переходного периода растет не за счет увеличения времени задержки зажигания, как при теоретическом исследовании [6], а за счет увеличения времени установления фронта горения. Это объясняется различным подходом к определению времени задержки в теории и эксперименте. В теории [14] за t_1 принимается время от начала теплового воздействия воспламенителя на поджигаемую систему до выхода максимума тепловыделения на границу раздела систем. В эксперименте t_1 берется от конца горения воспламенителя до начала перемещения фронта горения по поджигаемой системе.

Рис. 2. Изменение скорости горения в индукционном режиме зажигания.

а) железотитановый термит, $d=10^{-2}$ м, скорость обдува: 1 — 1,55 м/с, 2 — 0,6 м/с, 3 — 0; б) хромово-циркониевый термит, $d=0,8 \cdot 10^{-2}$ м, скорость обдува: 1 — 5,6 м/с, 2 — 2,8 м/с, 3 — 0,7 м/с, 4 — 0.



¹ $\Delta H_1 = \lambda(T_f - T_0)/v$ — избыток энтальпии безгазовой системы [15], где λ , T_f и v — теплопроводность, температура и скорость горения безгазовой системы соответственно.

² Поскольку скорость и температура горения воспламенителя в индукционном режиме меньше, чем у поджигаемой системы, то предел по горению воспламенителя меньше, чем у поджигаемой системы.

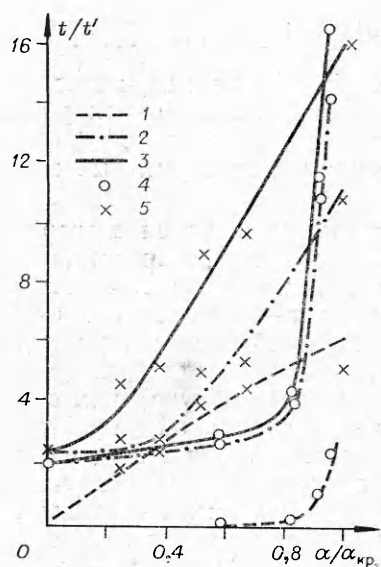


Рис. 3. Временные характеристики процесса в индукционном режиме зажигания при разных уровнях теплопотерь.

1 — t_1 ; 2 — t_2 ; 3 — $t_{II} = t_1 + t_2$; 4 — железотитановый термит, $d = 10^{-2}$ м; 5 — хромово-циркониевый термит, $d = 0,8 \times 10^{-2}$ м.

Режим «сжигания». Поскольку при реализации режима «сжигания» поджигаемая система имеет больший процент разбавления конечным продуктом реакции, чем воспламенитель, то обдув поджигаемого образца даже слабым потоком азота приводит к тому, что последний сгорает в пульсирующем режиме. Эти пульсации могут быть неупорядоченными, как у железотитанового термита, и периодическими, как у хромово-циркониевого термита (рис. 4). Частота пульсаций у хромово-циркониевого термита с ростом уровня теплопотерь снижается, причем тем быстрее, чем меньше диаметр образца. С увеличением теплопотерь достигается предел по горению поджигаемой системы (в режиме «сжигания» предел по горению системы меньше, чем предел по горению воспламенителя). При дальнейшем увеличении уровня теплопотерь имеет место вынужденное сжигание части образца, причем эта часть быстро уменьшается с ростом коэффициента теплоотдачи. Затем достигается предел по зажиганию поджигаемой системы. Этот предел, как показали эксперимен-

ты, совпадает с пределом по горению воспламенителя. Таким образом, в режиме «сжигания» при коэффициентах теплоотдачи, превышающих предел по горению системы, можно зажечь (вынужденно сжечь) образец, неспособный гореть при данном уровне теплопотерь.

В теоретической работе [6] показано, что в режиме «сжигания» при теплопотерях, больших предела по горению поджигаемой системы, возможны режимы периодически затухающего горения последней. Это объясняется тепловым воздействием раскаленных шлаков воспламенителя на неспособную (в этих условиях теплообмена) к самостоятельному горению поджигаемую систему. Экспериментально такой режим горения при аналогичных условиях реализовать не удалось вследствие быстрого остывания раскаленных шлаков воспламенителя при обдуве образца потоком газа. Однако режим периодически затухающего горения можно получить, если взять воспламенитель со значительно меньшим избытком энтальпии, чем у поджигаемой системы ($\Delta H_1/\Delta H_2 \approx 0,07$).

Сущность этого режима заключается в том, что исследуемая система сгорает послойно, периодически, с остановками (рис. 5). Периодически затухающее горение наблюдается по окончании горения воспламенителя, когда его сильно раскаленные шлаки прогревают небольшой слой поджигаемого образца. Прогретый слой сгорает в режиме затухания с большой нестационарной температурой и скоростью горения. (Горение затухает вследствие значительного увеличения теплоотдачи из зоны реакции при более крутых профилях температур [14].) В период остановки горения тепловой поток от шлаков воспламенителя (и частично от сгоревшего участка поджигаемой системы) продолжает прогревать все более далекие слои, которые сгорают аналогичным образом. Если брался достаточно длинный ($3-3,5 \cdot 10^{-2}$ м) поджигаемый образец, то по мере удаления от границы раздела с воспламенителем влияние последнего уменьшалось, т. е. период между остановками горения увеличивался, скорости и температура горения во время вспышек образца уменьшились и постепенно устанавливалось стационарное рас-

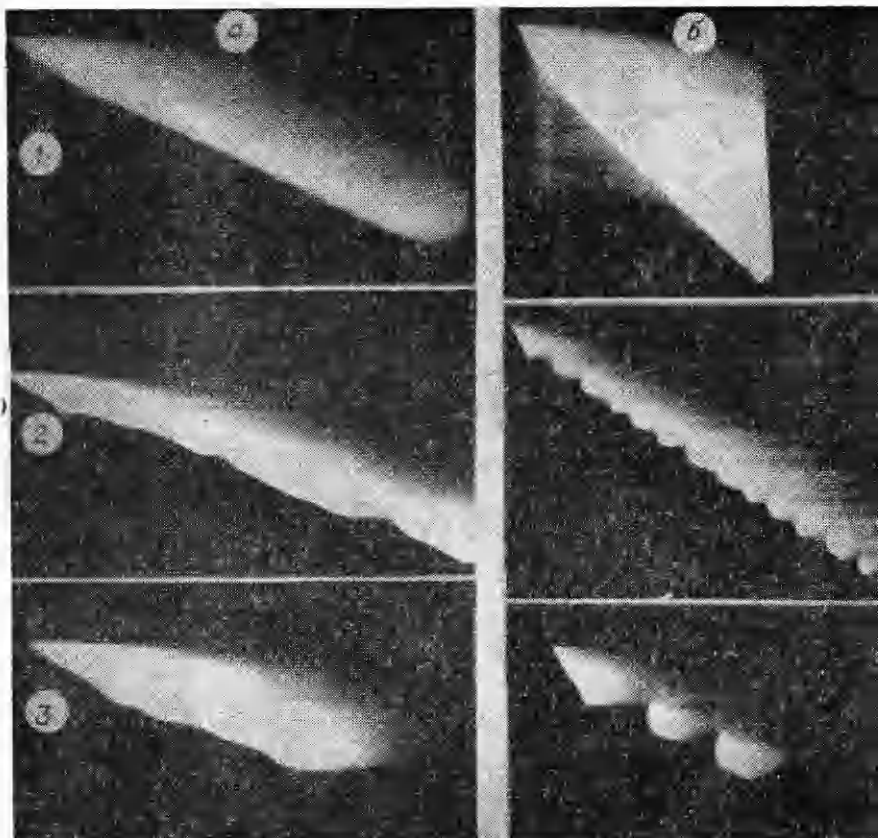


Рис. 4. Фоторегистрация процесса горения в режиме «сжигания» железотитанового (а) и хромово-циркониевого термита (б).
1 — $\omega=0$; 2 — $\omega>0$; 3 — $\omega = \omega_{кр}$.

пространение фронта горения образца. Соответственно рост высоты воспламенителя увеличивал длину участка поджигаемой системы, сгорающего в режиме периодически затухающего горения.

Предельные режимы. В табл. 2 приведены значения температур поверхности без обдува образца ($\alpha_k=0$) и при критических условиях теплоотвода ($\alpha_k=\alpha_{кр}$). Здесь же даны предельные значения конвективной составляющей теплоотвода ($\alpha_k=\alpha_{кр}$) и коэффициентов теплоотдачи излучением без обдува (при $\alpha_k=0$) и в критических условиях (при $\alpha_k=\alpha_{кр}$). В области критических коэффициентов теплоотдачи существенную роль играют потери тепла конвекцией, причем тем большую, чем меньше процент разбавления исследуемой системы конечным продуктом реакции. Связь критических коэффициентов теплоотдачи с параметрами воспламенителя и образца представлена на рис. 6. Здесь $\alpha_{кр2}$ — предельный коэффициент теплоотдачи по горению поджигаемой системы.

Как видно из графика, что в полном соответствии с [6], всю область параметров α и ΔH можно разделить на три подобласти: 1 — устойчивое зажигание и горение поджигаемой системы; 2 — вынужденный режим сжигания части безгазовой системы; 3 — наблюдается такой уровень теплотеря, что систему вообще нельзя поджечь.

Таким образом, можно сказать, что в области критических коэффициентов теплоотдачи развитие процесса при зажигании безгазовых систем горящим воспламенителем лимитируется меньшим из критических коэффициентов теплоотдачи. В случае индукционного режима зажига-

Таблица 2

Система	Содержание разбавителя (сверх 100%), %	$d \cdot 10^3$, м	T_{II} , К		$\alpha_k = \alpha_{кр}$, Вт/(м ² ·град)	α_u , Вт/(м ² ·град)	
			$\alpha_k=0$	$\alpha_k=\alpha_{кр}$		$\alpha_k=0$	$\alpha_k-\alpha_{кр}$
$2Fe_2O_3 + 3Ti + \beta TiO_2$	31	1,0	1770	1370	204,70	151,8	75,5
		1,2	1770	1150	304,7	151,8	47,1
		1,5	1780	—	—	154,0	—
	39	1,0	1780	1540	14	135,6	102,9
		1,2	1710	1460	28,5	137,9	89,8
		1,5	1730	1370	62,8	143,5	74,7
$2Cr_2O_3 + 3Zr + \beta ZrO_2$	30	0,8	1910	1600	299,6	186,5	115,5
		1,0	1940	—	—	197,9	—
	42,5	0,8	1810	1580	57,0	161,6	110,6
		1,0	1840	1470	265,2	168	90,6

ния ($\Delta H_1 > \Delta H_2$ и $\alpha_{кр1} < \alpha_{кр2}$), зажигание и выход на режим горения поджигаемой системы возможно при коэффициентах теплоотдачи, меньших критического коэффициента теплоотдачи воспламенителя $\alpha_{кр1}$. В случае же режима «сжигания» ($\Delta H_1 < \Delta H_2$ и $\alpha_{кр1} > \alpha_{кр2}$) — при $\alpha < \alpha_{кр2}$. В обоих режимах предел по зажиганию определяется пределом по горению воспламенителя.

Изменение средней скорости горения исследуемых термитов с ростом уровня теплопотерь показано на рис. 7. На оси абсцисс нанесены значения конвективной составляющей теплопотерь. Как показали эксперименты, с ростом уровня теплопотерь средняя скорость горения исследуемых безгазовых систем снижается, но в предельных условиях горения протекает различным образом.

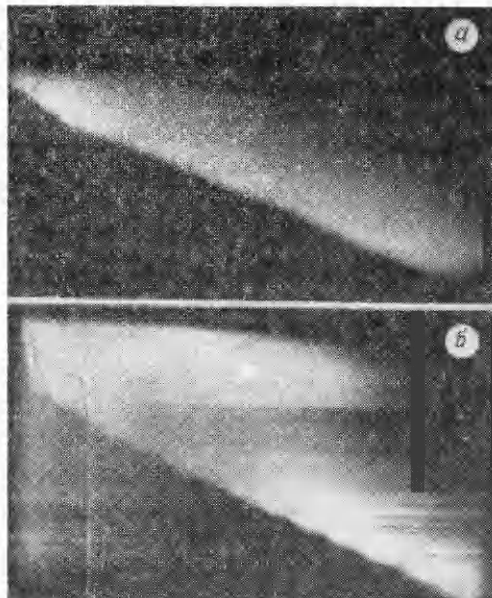


Рис. 5. Влияние воспламенителя на горение поджигаемой системы (железотитановый термит, 39% разбавления). Воспламенитель: железотитановый термит, 31% разбавления (а), и хромово-алюминиевый термит без разбавления (б).

У железотитанового термита фронт горения распространяется в неупорядоченно-пульсирующем режиме, а у хромово-циркониевого в автоколебательном режиме. Представляет интерес тот факт, что при некотором уровне теплопотерь автоколебательное горение хромово-циркониевого термита переходит в горение, аналогичное спиновому [16], — винтообразное перемещение одного или двух светящихся пятен по поверхности образца.

Как известно [5], при автоколебательном режиме выход на предел горения облегчается ($v_{ад}/v_{пр} < \sqrt{e}$). Это хорошо иллюстрируется на примере железотитанового термита, у которого $v/v_{пр} \approx 1,3$. Однако у хромово-циркониевого термита в предельных условиях из-за наличия «спинового» горения $v/v_{пр} \approx 3 \div 4$.

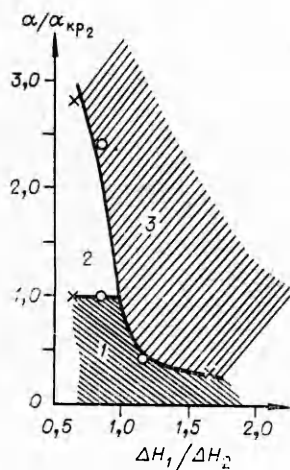


Рис. 6. Зависимость предельных коэффициентов теплоотвода от соотношения избытков энтальпий реагирующих систем (O — железотитановый термит; X — хромово-циркониевый термит).

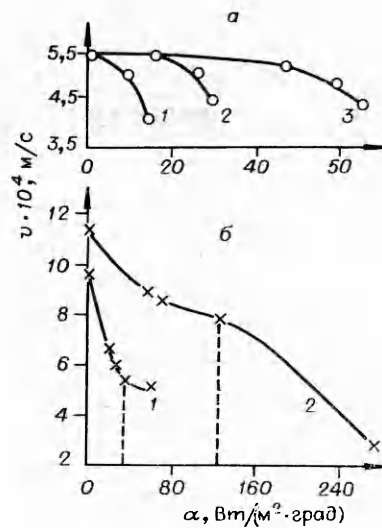


Рис. 7. Изменение скорости горения при $\alpha \rightarrow \alpha_{кр}$.

а) железотитановый термит, 39% разбавления, $d=10^{-2}$ (1), $1,2 \cdot 10^{-2}$ (2) и $1,5 \cdot 10^{-2}$ м (3); б) хромово-циркониевый термит, 42,5% разбавления, $d=0,8 \cdot 10^{-2}$ (1) и 10^{-2} м (2).

Таким образом, на примере железотитанового и хромово-циркониевого термитов экспериментально изучено влияние теплотерь на процесс зажигания безгазовых систем волной горения в различных режимах протекания процесса. Сравнение результатов эксперимента с теоретическими данными в допредельных и предельных условиях дало хорошее качественное совпадение. Анализ теплотерь при горении различных термитных систем показал, что при малых степенях разбавления исходных компонентов продуктами реакции определяющую роль на пределе горения системы играют конвективные потери тепла, а при сильном разбавлении — потери тепла излучением.

Поступила в редакцию
18/X 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1939, 9, 12.
2. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 11, 159.
3. В. В. Барзыкин, С. И. Худяев. Докл. АН СССР, 1966, 169, 6.
4. Э. И. Максимов, К. Г. Шкадинский. ФГВ, 1971, 7, 3.
5. К. Г. Шкадинский, Б. И. Хайкин.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
6. А. Г. Струнина, В. И. Ермаков, В. В. Барзыкин. ФГВ, 1978, 14, 4.
7. В. И. Ермаков, А. Г. Струнина, В. В. Барзыкин. ФГВ, 1976, 12, 2.
8. В. С. Волькенштейн. Скоростные методы определения теплофизических характеристик материалов. Л., «Энергия», 1971.
9. В. М. Маслов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1976, 12, 5, 703.
10. В. А. Арутюнов и др.— В сб.: Металлургическая теплотехника. Т. 1. М., 1974.
11. С. С. Кутателадзе. Основы теплообмена. Новосибирск, «Наука», 1970.
12. В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. Теплопередача. М., «Энергия», 1969.
13. С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. Справочник по теплопередаче. М., Госэнергоиздат, 1959.

14. А. Г. Струнина, Т. М. Мартемьянова и др. ФГВ, 1974, 10, 4, 518.
15. К. Г. Шкадинский, Б. И. Хайкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1971, 7, 1.
16. А. Г. Мержанов, А. К. Филоненко, И. П. Боровинская. Докл. АН СССР, 1973, 208, 4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МАГНИЯ

М. В. Деревяга, Л. Н. Стесик, Э. А. Федорин

(Черноголовка)

Известно значительное количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных исследованию воспламенения магния. В этих работах предлагался ряд моделей воспламенения [1—3], основанных на предположении об определяющей роли гетерогенной поверхностной реакции на срыве теплового равновесия. Расчет кинетических констант данной реакции по различным моделям с использованием измерений температур воспламенения, как правило, приводил к различным результатам, несогласующимся с результатами исследований высокотемпературного окисления магния [4, 5].

В настоящей работе ставилась задача экспериментального выяснения особенностей критических условий воспламенения магния и характера его химического реагирования на срыве теплового равновесия, т. е. основных характеристик модели. Опыты проводились на образцах магния (чистота 99,9%) диаметром 3 и 6 мм в горячих и холодных (комнатной температуры) окислительных газовых потоках (скорость 20 см/с) при атмосферном давлении. В обоих случаях измерялись температура образцов, а также температура горячей окислительной атмосферы. При этом использовались вольфрам-ренийевые термодпары (толщиной 0,35 и 0,05 мм соответственно), сигнал с которых фиксировался на шлейфовом осциллографе Н-105. Ошибка измерения температуры составляла $\pm 5^\circ$. Воспламенение в горячем воздухе проводилось с применением электропечи Т-40/600, установленной вертикально. Образцы подвешивались на термодпарах на расстоянии 10 см от верхнего среза канала печи. Обдувающий газовый поток был направлен снизу вверх. Воспламенение в холодной окислительной атмосфере (смеси азота с кислородом) проводилось с применением индукционного нагрева образцов [6]. В этом случае образцы подвешивались на термодпарах внутри стеклянной трубки, помещенной в индуктор.

Опыты в электропечи проводились с целью определения зависимости времени задержки τ_z и температуры воспламенения t_{cp} от температуры газового потока t_r . Полученные в этом случае кривые изменения температуры образцов ($d=3$ мм) во времени представлены на рис. 1. Кривые отличаются скоростью роста температуры образцов во времени, а также значениями τ_z и t_{cp} . Время задержки измерялось от начала разогрева до момента срыва теплового равновесия. Температура образца, соответствующая этому моменту, принималась за температуру воспламенения. Срыв теплового равновесия определялся по перегибу кривых (точки c и c'), где вторая производная температуры образца по времени меняет знак, что в случае $t_r=250^\circ\text{C}$ приводит к быстрому росту температуры на участке $c'd'$. При $t_r=800^\circ\text{C}$ некоторое время этому препятствует наличие плавления (участок ab), протекающего с поглощением