

ПРЕДЕЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЗАЖИГАНИЯ БЕЗГАЗОВЫХ СИСТЕМ ВОЛНОЙ ГОРЕНИЯ

А. Г. Струнина, В. И. Ермаков, Э. А. Аверсон

(Черноголовка)

Критические условия при зажигании безгазовой системы тепловой волной горящего воспламенителя возникают в случае, когда а) ограничен запас тепла в воспламенителе, б) запас тепла велик, но имеют место теплопотери из реагирующих систем в окружающую среду, в) запас тепла в воспламенителе оказывается недостаточным из-за большого теплоотвода в поджигаемую систему (велика ее теплопроводность). Критические условия при зажигании безгазовых систем тепловой волной горящего воспламенителя частично проанализированы в [1—3]. Некоторым приближением к рассматриваемому случаю могут быть критические условия в динамических режимах зажигания [4]. За критические принимаются условия, при которых имеет место резкое возрастание времени задержки зажигания.

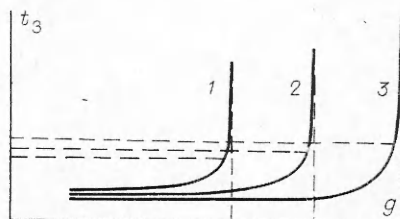
Ниже излагаются результаты теоретического и экспериментального исследования предельных режимов при зажигании безгазовых систем горящим воспламенителем. Теоретический анализ проводился по результатам численного счета задачи о зажигании безгазовых систем волной горения [5]. При решении задачи на ЭВМ определялись тепловые потоки от воспламенителя к поджигаемой системе, температура на границе раздела реагирующих систем, время задержки зажигания и энергия зажигания — начальная энергия, требуемая для инициирования реакции какой-либо реакционноспособной системы. Энергия зажигания определяется как

$$Q_3 = \int_0^{t_3} q_s(t) dt = c\rho \int_0^{\infty} f(x) dx,$$

где $q_s(t)$ — тепловой поток от воспламенителя к поджигаемой системе; t_3 — время задержки зажигания; $f(x)$ — распределение температур в поджигаемой системе (без химической реакции). Типичная картина изменения времени задержки зажигания различных поджигаемых систем с изменением определяющего параметра g (например, запаса тепла в воспламенителе) при переходе к критическим условиям представлена на рис. 1, 1—3. За критическое принималось время, предшествующее резкому его возрастанию, а за критическую энергию зажигания — энергия, соответствующая этому моменту времени. Соотношение между параметрами реагирующих систем при этом считалось предельным. В экспериментальных исследованиях предельные режимы определялись как граница между областью параметров, в которой имеет место зажигание, и областью параметров, где зажигание отсутствует.

Теоретический анализ предельных режимов проведем в той же последовательности, в которой они классифицированы выше и с учетом возможности их экспериментальной реализации.

Рис. 1. Изменение времени задержки зажигания при переходе к предельному режиму.



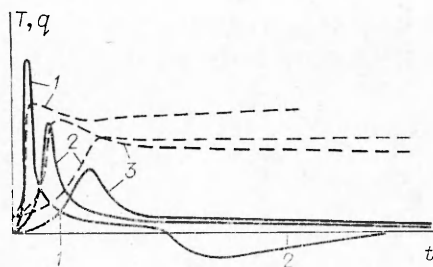


Рис. 2. Временные изменения граничной температуры T и теплового потока q от воспламенителя к поджигаемой системе; $E_1 = 8,38 \cdot 10^4$, $E_2 = 12,57 \cdot 10^4$ Дж/моль; $Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3}$.
 1 — $Q_1 = 6,62 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³; 2 — $Q_1 = 5,45 \times 10^{-3}$ Дж/м³; 3 — $Q_1 = 4,61 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³.

Пусть запас тепла в воспламенителе ограничен. В этом случае критические условия зажигания определенной поджигаемой системы могут быть получены снижением теплового эффекта воспламенителя Q_1 (1 — параметры воспламенителя, 2 — поджигаемой системы). Предполагается, что энергия активации при этом постоянна $E_1 = \text{const}$. Численным счетом проанализированы следующие случаи.

1. Энергия активации воспламенителя больше (либо меньше) энергии активации поджигаемой системы ($E_1 > E_2$ либо $E_1 < E_2$).

2. Снижение теплового эффекта воспламенителя, обычно достигаемое увеличением количества инертного разбавителя в реагирующей системе, сопровождается (либо не сопровождается) изменением ее теплофизических параметров.

На рис. 2 для случая $E_1 < E_2$ представлены изменения со временем теплового потока и температуры на границе раздела при зажигании фиксированной поджигаемой системы различными воспламенителями. Уменьшение теплового эффекта воспламенителя ведет к снижению максимальных значений теплового потока и температуры на границе и к менее резким их изменениям со временем. В случае, когда энергия активации воспламенителя больше, чем у поджигаемой системы $E_1 > E_2$, изменение теплового потока со временем становится более сложным (рис. 3). Бурное развитие реакции в поджигаемой системе приводит к резкому снижению теплового потока от воспламенителя; с наступлением зажигания имеет место обратный отток тепла к воспламенителю (отрицательный тепловой поток). Если тепловой эффект воспламенителя меньше, чем у поджигаемой системы, то и после начала зажигания воспламенитель будет оставаться «холодильником». Если тепловой эффект воспламенителя больше (как на рис. 3), то возможна повторная смена направлений теплового потока. Цифрами 1, 2, 3 на оси абсцисс на рис. 2 и 3 отмечены моменты зажигания. Чем меньше тепловой эффект у воспламенителя, тем больше время задержки зажигания.

Если аналогично [5] за основную характеристику реагирующей системы взять ее избыток энтальпии ΔH , то предельные режимы могут быть представлены соотношением между избытками энтальпий реагирующих систем в критических условиях. Как показал анализ результатов численного счета, для рассматриваемого случая с увеличением избытка энтальпии поджигаемой системы ΔH_2 , (при постоянстве теплофизических параметров) область зажигания сужается (снижается предельное значение ΔH_1). Учет теплофизических параметров при изменении теплового эффекта путем разбавления системы вносит некоторые поправки. Для определенного соотношения между теплофизическими параметрами возможно даже расширение области зажигания у систем с большим значением ΔH_2 .

На рис. 4 проведено сравнение предельной энергии зажигания с избытком энтальпии поджигаемой системы для различных режимов зажигания (разные $\Delta H_1/\Delta H_2$). В литературе известно большое количество работ по определению предельной энергии зажигания газообразных систем электрической искрой. Показано [6], что минимальная

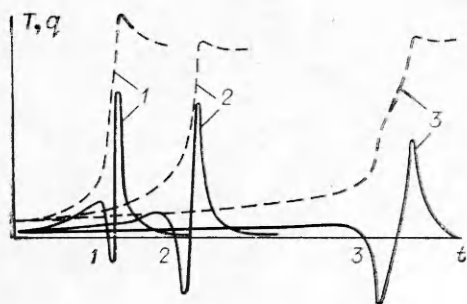


Рис. 3. Временные изменения граничной температуры и теплового потока от воспламенителя к поджигаемой системе; $E_1 = 18,86 \cdot 10^4$ Дж/моль, $E_2 = 8,38 \cdot 10^4$, $Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3}$.

$$1 - Q_1 = 10,06 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3; 2 - Q_1 = 9,22 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3; 3 - Q_1 = 8,38 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3.$$

энергия зажигания в таком случае равняется избытку энтальпии поджигаемой системы. Критическая энергия зажигания конденсированных систем определялась преимущественно при импульсном подводе лучистой энергии [7, 8]. Сравнение предельной энергии зажигания с избытком энтальпии поджигаемой системы не проводилось. Предельная энергия зажигания, согласно рис. 4, для различных соотношений между избытками энтальпии реагирующих систем может быть значительно больше избытка энтальпии поджигаемой системы. Чем больше энергия зажигания по сравнению с ΔH_2 , тем хуже организован процесс зажигания, так как при этом не только энергетические затраты больше, но и время задержки зажигания, как правило, затягивается.

Рассмотрим случай, в котором велики теплотери из реагирующих систем в окружающую среду. Теоретическое и экспериментальное исследование критических условий, обусловленных наличием больших теплотери в окружающую среду, проведено в [2, 3]. Показано, что предел по зажиганию поджигаемой системы определяется пределом по горению воспламенителя. Установлено значительное расширение области зажигания поджигаемой системы при снижении уровня теплотери из воспламенителя. Энергетика процесса в этих работах не рассчитывалась. Предельные энергии зажигания, определенные по методу, изложенному выше для различных $\Delta H_1/\Delta H_2$ и различных соотношений между теплофизическими параметрами реагирующих систем, представлены на рис. 4, 5 а, б, в. С ростом $\Delta H_1/\Delta H_2$ увеличивается и предельная энергия зажигания. Чем меньше отношение теплофизических параметров a_1/a_2 , тем круче нарастание предельной энергии зажигания.

Рассмотрим далее случай, в котором велики теплотери из воспламенителя в поджигаемую систему. Критические условия при значительных потерях тепла из воспламенителя в сторону свежей поджигаемой системы исследовались для случаев, когда при прочих равных параметрах температуропроводность реагирующих систем различна ($a_1 \neq a_2$). Критические условия достигались увеличением температуро-

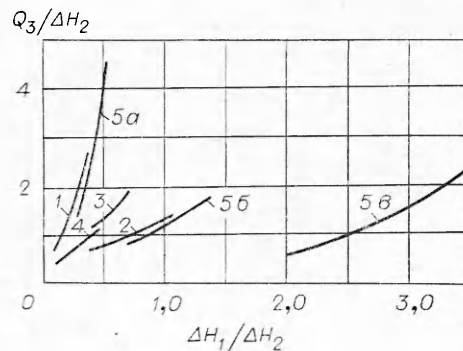


Рис. 4. Отношение предельной энергии зажигания к избытку энтальпии поджигаемой системы ΔH_2 для различных режимов зажигания.

$$1 - E_1 = 12,57 \cdot 10^4, E_2 = 20,95 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}, 9,65 \times 10^{-3} \leq Q_1 \leq 10,47 \cdot 10^{-3}, 7,54 \cdot 10^{-3} \leq Q_2 \leq 12,57 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3; 2 - E_1 = 8,38 \cdot 10^4, E_2 = 12,57 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}, 6,7 \cdot 10^{-3} \leq Q_1 \leq 8,38 \cdot 10^{-3}, 8,38 \cdot 10^{-3} \leq Q_2 \leq 33,52 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, a_1 = a_2; 3 - E_1 = 8,38 \cdot 10^4; E_2 = 12,57 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}, 7,12 \cdot 10^{-3} \leq Q_1 \leq 8,38 \cdot 10^{-3}; 8,38 \cdot 10^{-3} \leq Q_2 \leq 33,52 \times 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, a_1 \neq a_2; 4 - E_1 = E_2 = 12,57 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}, Q_1 = Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, 3,3 \cdot 10^{-8} \leq Q_1 \leq 13,31 \times 10^{-8}, 8,5 \cdot 10^{-8} \leq a_2 \leq 24,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}; 5 а, б, в - E_1 = E_2 = 12,57 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}, Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, a_2 = 13,31 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}, 5 а - 8,38 \cdot 10^{-3} \leq Q_1 \leq 11,73 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, a_1 = 2,66 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}, 5 б - 7,54 \cdot 10^{-3} \leq Q_1 \leq 16,76 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, a_1 = 13,31 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}, 5 в - 7,54 \cdot 10^{-3} \leq Q_1 \leq 11,73 \times 10^{-3} \text{ Дж/м}^3, a_1 = 13,31 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

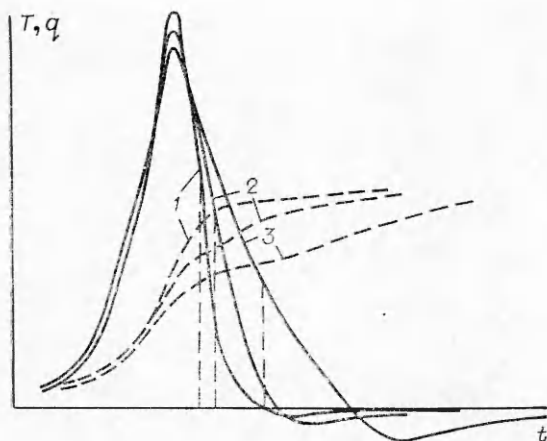


Рис. 5. Временные изменения граничной температуры и теплового потока от воспламенителя к поджигаемой системе; $E_1 = E_2 = 12,57 \cdot 10^4$ Дж/моль, $Q_1 = Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³, $a_1 = 13,31 \cdot 10^{-8}$ м²/с. a_2 , м²/с: 1 — $17,02 \cdot 10^{-8}$, 2 — $23,2 \cdot 10^{-8}$, 3 — $30,9 \cdot 10^{-8}$.

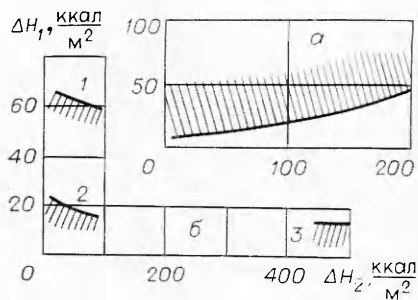


Рис. 6. Соотношение между избытками энтальпий реагирующих систем в критических условиях.

а) $E_1 = E_2 = 12,57 \cdot 10^4$ Дж/моль, $Q_1 = Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³, $3,32 \cdot 10^{-8} \leq a_1 \leq 13,31 \cdot 10^{-8}$ м²/с; б) $E_1 = 8,38 \cdot 10^4$, $E_2 = 12,57 \cdot 10^4$ Дж/моль, $Q_2 = 8,38 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³; 1 — $Q_1 = 10,47 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³, $a_1 = 21,2 \cdot 10^{-8}$ м²/с, $a_2 = 13,31 \cdot 10^{-8}$ м²/с, $\rho_1 = 35,28 \cdot 10^3$, $\rho_2 = 17,64 \cdot 10^3$ Н/м³; 2 — $Q_1 = 8,38 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³, $a_1 = a_2 = 13,31 \cdot 10^{-8}$ м²/с, $\rho_1 = \rho_2 = 17,64 \cdot 10^3$ Н/м³; 3 — $Q_1 = 12,57 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³, $a_1 = 13,31 \cdot 10^{-8}$ м²/с, $a_2 = 21,2 \cdot 10^{-8}$ м²/с, $\rho_1 = 17,64 \cdot 10^3$, $\rho_2 = 35,28 \cdot 10^3$ Н/м³.

проводности поджигаемых систем при зажигании их определенным воспламенителем. На рис. 5 показано изменение со временем граничной температуры и теплового потока от воспламенителя к поджигаемым системам, теплофизические параметры которых различны. Штриховыми кривыми отмечены времена задержки зажигания. Чем больше температуропроводность поджигаемой системы, тем дальше от границы раздела с воспламенителем происходит интенсивное нарастание температуры, тем позже наступает зажигание и более плавно снижается тепловой поток. С наступлением зажигания при определенном соотношении параметров реагирующих систем возможен обратный отток тепла в воспламенитель.

Предельные значения избытков энтальпий реагирующих систем представлены на рис. 6, а. Для поджигаемых систем с большой температуропроводностью (ΔH_2 велико) область зажигания (заштрихована) сокращается. Как показал анализ результатов численного счета, критические условия в этом случае реализуются, когда температуропроводность поджигаемой системы (при прочих равных параметрах) вдвое превышает температуропроводность воспламенителя. В связи с этим область зажигания (см. рис. 6, а) значительно превышает область, где зажигания нет. Рис. 6, б дает представление о расширении области зажигания при увеличении температуропроводности воспламенителя и о сокращении ее при увеличении температуропроводности поджигаемой системы.

На величину энергии зажигания (в том числе и предельной) оказывает большое влияние не только соотношение температуропроводностей реагирующих систем, но и их абсолютные значения. Так, при постоянном $a_2/a_1 = 2$ предельная энергия зажигания уменьшается на порядок при уменьшении абсолютных значений a_1 , a_2 в 3 раза.

Экспериментальное исследование критических условий зажигания проводилось на модельных безгазовых составах — различных термитах, разбавленных конечным продуктом, как и в [9]. Критические условия в эксперименте достигались следующим путем: при фиксированной поджигаемой системе менялся тепловой эффект воспламенителя введением в него различного количества инертного разбавителя, при

фиксированном воспламенителе менялись теплофизические характеристики поджигаемой системы (без изменения теплового эффекта) изменением плотности запрессовки. Реализация критических условий с ростом уровня теплопотерь в окружающую среду описана в [3].

По достижении критических условий небольшое изменение определяющего параметра (процента разбавления в первом случае и плотности прессования во втором) приводило от зажигания к полному отказу. Полным отказом считалась невозможность осуществить зажигание в 5—8 одинаковых опытах. Для всех исследуемых термитных систем аналогично [3] измерялись теплофизические параметры, температуры и скорости горения (табл. 1, 2) и по ним рассчитывались избытки энтальпий.

Рассмотрим критические условия при малом запасе тепла в воспламенителе. Предварительные эксперименты показали, что при определении критических условий зажигания, связанных с изменением теплового эффекта воспламенителя, существенную роль играет высота последнего. Специальный эксперимент (на модели железотитанового термита), в котором определялись предельные режимы зажигания поджигаемой системы ($\Delta H_2 = \text{const}$) воспламенителями разной высоты (но $\Delta H_1 = \text{const}$), показал, что в условиях опыта (прессованные образцы $d = 1 \cdot 10^{-2}$ м, окружающая среда — стоячий воздух) влияние высоты на результаты исчезает при $3 \div 3,5 \cdot 10^{-2}$ м и выше, а способность зажечь поджигаемую систему определяется только энергетическими возможностями воспламенителя (рис. 7). Исходя из этих соображений, исследование критических условий зажигания проводилось при высоте воспламенителя не меньше $3,3 \cdot 10^{-2}$ м. Воспламенитель и поджигаемая таблетка высотой $0,6 \text{—} 0,8 \cdot 10^{-2}$ м прессовались совместно.

Таблица 1

Характеристики горения и теплопроводность термитов при различной степени разбавления

Система	Процент добавки сверх 100%	T_r , К	$v \cdot 10^2$, м/с	λ , Вт/(м·град)	ΔH , ккал/м ²
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{Zr} + \beta\text{ZrO}_2$	12	2120	0,81	0,35	18,2
	20	2080	0,45	0,31	29,3
	30	1910	0,23	0,3	50,1
	40	1780	0,12	0,28	83,6
	50	1690	0,06	0,24	139
	60	1580	0,03		272,5
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} + \beta\text{Al}_2\text{O}_3$	0	2100	0,73	0,26	15
	5	2060	0,36	0,23	26,4
	10	2020	0,2	0,19	40,4
	15	1990	0,17	0,17	40,8
	20	1950	0,13	0,15	45,7
	25	1920	0,09	0,13	55,8
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} + \beta\text{Al}_2\text{O}_3$	30	2070	0,25	0,29	50,3
	32	1980	0,19	0,27	58,3
	34	1890	0,14	0,26	69,3
	36	1810	0,1	0,23	81,8
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{Ti} + \beta\text{TiO}_2$	28	1720	0,1		
	30	1690	0,09	0,38	136
	32	1670	0,08	0,37	152
	34	1630	0,07	0,37	167
	36	1590	0,06	0,36	183
	38	1540	0,06	0,35	190
	40	1460	0,05	0,32	182

Таблица 2

Характеристики горения и теплопроводность термитов при различной плотности за-
прессовки

Система	T_r, K	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{Н/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{град)}$	$v \cdot 10^2, \text{м/с}$	$\Delta H, \text{ккал/м}^2$
$2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{Zr} + 2,8\text{ZrO}_2$	1580	27,3	0,22	0,03	233,2
		29,0	0,26	0,025	319,9
		31,3	0,32	0,02	475,9
		33,3	0,38	0,015	647,6
		34,9	0,41	0,015	901,6
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} + 0,64\text{Al}_2\text{O}_3$	1860	21,0	0,26	0,1	93
		21,3	0,30	0,095	117,7
		22,3	0,34	0,09	141,7
		23,4	0,37	0,085	161,2
		23,8	0,39	0,08	180,8
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{Ti} + 2,26\text{TiO}_2$	1500	21,6	0,30	0,045	182,5
		24,6	0,38	0,05	214,4
		27,1	0,42	0,055	215,7
		28,4	0,45	0,055	226,7
		29,3	0,47	0,06	237,4

Чтобы исключить неравномерность плотности по высоте, прессование проводилось с обеих сторон таблетки — двумя пуансонами. В качестве воспламенителя для всех систем выбран хромоциркониевый термит, в качестве поджигаемых систем — железоалюминиевый, железотитановый и хромоалюминиевый термиты.

Для определенной поджигаемой системы подбирался воспламенитель с таким количеством инертной добавки, по достижении которого зажигание не реализовалось, а ниже имело место (или носило вероятностный характер). Избыток энтальпии такого воспламенителя считался предельным. Аналогичным образом находились критические условия для других (с иной степенью разбавления) поджигаемых систем. Диапазон разбавлений варьировался от минимального, ниже которого возможно растекание шлаков и появление больших затруднений в определении температуры и скорости горения, до максимального, выше которого наступает предел по горению поджигаемых систем. Для хромоалюминиевого термита этот диапазон составлял 0—20%, для железотитанового термита — 25—45% и для железоалюминиевого термита — 30—37% сверх 100% стехиометрической смеси.

Зависимость предельных избытков энтальпии воспламенителя от изменения избытка энтальпии поджигаемой системы представлена на рис. 8. Штриховыми прямыми отмечены максимальные избытки энтальпий, при которых наступает предел по горению. При анализе теоретических результатов показано, что с увеличением избытка энтальпии поджигаемой системы предельное значение избытка энтальпии воспла-

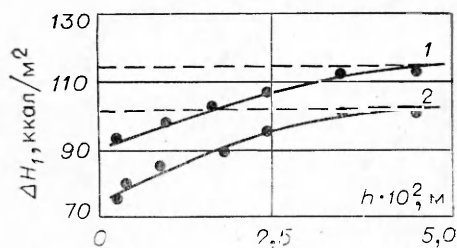


Рис. 7. Влияние высоты воспламенителя (железотитановый термит различной степени разбавления) на предельные режимы зажигания железотитанового термита 30 и 31%-ного разбавления.

1 — $\Delta H_2 = 150 \text{ ккал/м}^2$; 2 — $\Delta H_2 = 136 \text{ ккал/м}^2$.

менителя в зависимости от условий может и снижаться, и возрастать, но не значительно. Резкие изменения, представленные на рис. 8, объясняются, по-видимому, существованием в экспериментальных исследованиях некоторой области, в которой зажигание носит вероятностный характер. Предельные кривые рис. 8, как было отмечено раньше, ограничивают эту область сверху (выше каждой кривой зажигания нет, ниже — возможно). Кривые $\Delta H_1 = f(\Delta H_2)$ становятся намного более сглаженными, если ограничить вероятностные области снизу (например, кривая *ABC* для железотитанового термита, ниже которой зажигание всегда реализовалось, а выше — отсутствовало или носило вероятностный характер).

Исследовались также критические условия зажигания при больших теплотерях из воспламенителя в поджигаемую систему. Эксперимент проводился следующим образом. Воспламенитель высотой $3,3 \div 3,5 \times 10^{-2}$ м и поджигаемая система высотой $1 \div 1,3 \cdot 10^{-2}$ м прессовались раздельно из одного и того же термитного состава, но до разной плотности. Перед каждым опытом таблетки воспламенителя и поджигаемой системы притирались друг к другу и в течение опыта поджимались пружинным фиксатором с постоянной силой. Тем самым почти полностью компенсировалось влияние воздушной прослойки при раздельном прессовании таблеток [5]. Критические условия зажигания находились следующим образом: при фиксированном воспламенителе (плотность $\rho_1 = \text{const}$) поджигаемая система подбиралась такой плотности, по достижении которой (и выше) зажигание отсутствовало, а ниже — могло реализоваться. Аналогичным образом определялись критические условия при других (с иной плотностью запрессовки) воспламенителях. Диапазон плотностей ограничивался сверху пределами по горению реагирующих систем.

Результаты эксперимента представлены на рис. 9 (области зажигания заштрихованы). В полном соответствии с теоретическими выводами с уменьшением избытка энтальпии поджигаемой системы (при уменьшении ее плотности) и увеличением избытка энтальпии воспламенителя (при увеличении его плотности) область зажигания расширяется. Несколько необычный вид предельной зависимости для хромоциркониевого термита в области малых значений избытков энтальпии объясняется тем, что в этой области имеет место вырожденный режим зажигания поджигаемой системы (промежуточный между зажиганием и тепловым самовоспламенением). Характерны для него очень большие времена задержки (до 80—90 с), воспламенение при этом происходит вдали от границы раздела с воспламенителем — на расстоянии $0,3 \div 0,6 \cdot 10^{-2}$ м.

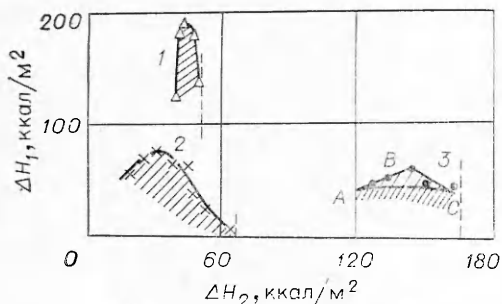


Рис. 8. Предельные режимы зажигания различных термитных систем хромоциркониевым воспламенителем.

1 — железоалюминиевый термит; 2 — хромоалюминиевый термит; 3 — железотитановый термит.

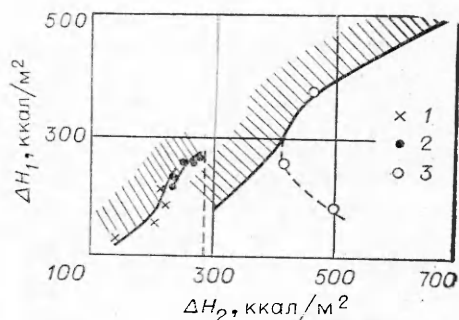


Рис. 9. Предельные режимы зажигания термитных систем различной плотности запрессовки.

1 — хромоалюминиевый термит; 2 — железотитановый термит; 3 — хромоциркониевый термит.

Таким образом, экспериментальные исследования, качественно подтверждая теоретические выводы, дополняют их некоторыми особенностями поведения реагирующих систем в критических условиях.

Поступила в редакцию
15/VIII 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Струнина, Н. И. Ваганова, В. В. Барзыкин. ФГВ, 1977, 13, 6.
2. А. Г. Струнина, В. И. Ермаков, В. В. Барзыкин. Влияние теплотерь и теплофизических параметров на процесс зажигания безгазовых систем волной горения. Препринт. Черноголовка, 1978.
3. В. И. Ермаков, А. Г. Струнина, В. В. Барзыкин. Экспериментальное исследование влияния теплотерь на процесс зажигания безгазовых систем волной горения. Препринт, Черноголовка, 1978.
4. А. Э. Аверсон, В. И. Розенбанд. ФГВ, 1968, 4, 519.
5. А. Г. Струмилин, Т. М. Мартемьянова и др. ФГВ, 1974, 10, 4.
6. Вопросы горения ракетных топлив. Сб. переводов. М., 1959.
7. S. H. Jpani, L. McCulley, H. Wise. Comb. and Flame, 1969, 3, 5.
8. W. A. Roseg, N. Fichman, H. Wise. AIAA J., 1966, 4, 9.
9. В. И. Ермаков, А. Г. Струнина, В. В. Барзыкин. ФГВ, 1976, 12, 2.

САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ КЕРОСИНА В ПОТОКЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

В. Н. Груздев, М. Д. Тавгер, А. В. Талантов

(Казань)

В основе многих аспектов теории горения лежат вопросы, касающиеся механизма самовоспламенения. Особенно важными они становятся в процессах, протекающих в форсажной камере ГТД, где они приобретают самостоятельное значение. Тем не менее многочисленные данные изучения самовоспламенения топлива в потоке продуктов сгорания находятся в сильном противоречии друг с другом [1, 2]. У различных авторов значения температуры самовоспламенения и энергии активации одинаковых углеводородных топлив в сходных физических условиях имеют очень существенные расхождения.

Следует отметить, что многие исследователи, организуя самовоспламенение в продуктах сгорания, считают их инертными, а некоторые совсем не упоминают о способе подогрева газа. При выводе эмпирических закономерностей, описывающих полученные экспериментальные результаты, для большинства авторов химически активные примеси, содержащиеся в продуктах сгорания, служили для качественного объяснения расхождений, предлагаемых теорией и получаемых в эксперименте. Механизм их влияния большинством исследователей не рассматривался. Однако экспериментальные данные [3] свидетельствуют о том, что роль неравновесных частиц, содержащихся в продуктах сгорания, и обменных процессов, приводящих к их гибели, может стать определяющей.

В работе ставилась цель — изучить промотирующее воздействие неравновесных частиц в продуктах сгорания на процесс самовоспламенения керосина. Эксперименты проводились на установке, схема которой изображена на рис. 1. В прямоугольном канале размером $0,12 \times 0,114$ м размещался стабилизатор пламени желобкового типа