

6. C. P. Fenimore. Thirteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1971, p. 373.
7. H. Kremer, VDI—Berichte, 1966, 95.
8. H. A. Becher, H. C. Hottel, G. C. Williams. J. Fluid. Mech., 1967, 30, 2.
9. F. P. Ricou, D. B. Spalding. J. Fluid Mech., 1961, 6, 21.
10. I. O. Hinze, van der Hegge Zijnen. Appl. Sci. Res., 1949, 1, 435—461.
11. В. Р. Кузнецов. Изв. АН СССР, МЖГ, 1972, 5.
12. S. Corrsin. M. S. Uberoi, 1951, NACA Rept., № 1040.
13. R. Gunter. Chemie—Ingenieur—Technick, 1969, 41, 315—322.
14. N. A. Chigier, V. Strokin. Combust. Sci. Technol., 1974, 9, 111—118.
15. I. H. Ay, M. Sichel. Combust. and Flame, 1976, 26, 1.
16. I. H. Kent, R. W. Bilger. Fourteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, Pa., 1973, p. 615.
17. Я. Б. Зельдович. ЖТФ, 1949, 19, 9.
18. А. Н. Колмогоров. Докл. АН СССР, 1941, 30, 4.
19. А. М. Обухов. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1949, 13, 1.
20. М. А. Михеев. Основы теплопередачи. М., Госэнергоиздат, 1949.
21. А. С. Монин, А. М. Яглом. Статистическая гидромеханика. Ч. 2. М., «Наука», 1967.
22. А. А. Таунсенд. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом. М., ИЛ, 1959.
23. В. Р. Кузнецов. Изв. АН СССР, МЖГ 1971. 2.
24. R. A. Antonia, A. Prabhu, S. E. Stephenson. J. Fluid. Mech., 1975, 72, 3.
25. И. Я. Сигал, А. В. Марковский и др. Теплоэнергетика, 1971, 4.
26. F. C. Zockwood, A. O. O. Odidi. Fifteenth Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, 1975.
27. G. H. Markstein. Combust. and Flame, 1976, 27, 1.
28. I. D. Allen. Combust. and Flame, 1975, 24, 1.
29. Ch. England, I. Houseman, D. P. Teixeira. Combust. and Flame, 1973, 20, 3.
30. I. D. Allen. J. Inst. of Fuel, 1973, 23, 4.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕГРУЗОК НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ СОСТАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ДО 80% АЛЮМИНИЯ

А. Д. Марголин, В. Г. Крупкин

(Москва)

В настоящей работе изучено влияние перегрузок до 1000g на скорость горения составов на основе перхлората аммония (ПХА) без металла и содержащих от 10 до 80% алюминия. До сих пор в поле перегрузок изучалось горение составов, содержащих до 20% алюминия [1—8].

Составы без металла состояли из 75% ПХА и 25% связки (полиформальдегид (ПФ) или полиметилметакрилат (ПММА)). В этих опытах технический ПХА перекристаллизовывался из воды и полученный продукт рассеивался по фракциям 160—250, 63—120 и меньше 63 мкм. На основе каждой из этих фракций готовились смеси либо с ПФ, либо с ПММА. Металлизированные составы содержали 10, 30, 45, 60 и 80% алюминия марки АСД-1 (среднемассовый размер частиц 15 мкм), 5% связки (ПФ) и остальное ПХА. Исследовался также состав из 80% алюминиевой пудры, 5% парафина и 15% ПХА.

Результаты опытов

Опыты проводились на центрифуге с плечом 4,5 см, ориентированной в бомбе постоянного давления [2, 9]. Образцы длиной 1,5 см и с площадью поперечного сечения 0,5 см² бронировались толстым

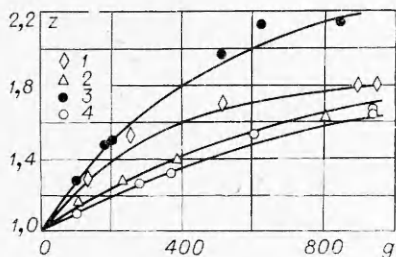


Рис. 1. Зависимость z от перегрузок (a/g) для составов, содержащих 10 (1), 30 (2) и 45% Al (3) (4 — 45% Al, $u_0=7$ мм/с) при давлении 50 атм.

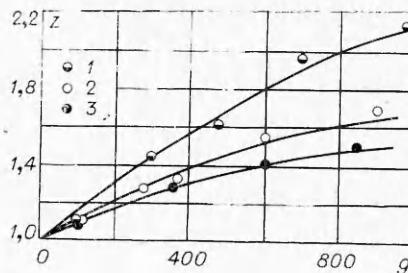


Рис. 2. Зависимость z от a/g для состава, содержащего 45% Al при давлениях 20 (1), 50 (2) и 80 атм (3).

(2—3 мм) слоем эпоксидной смолы, который не прогорал во время эксперимента. Образец поджигался после раскручивания на центрифуге до необходимого уровня перегрузок. Скорость горения определялась по осциллограмме повышения давления в бомбе. В течение опыта величина перегрузок изменялась на $\pm 15\%$ по сравнению с ее средним значением a в центре образца. Можно показать, что систематическая ошибка измерения скорости горения, вызванная изменением перегрузок в таких пределах, не превышает 1%.

Скорость горения безметаллических составов в отсутствие перегрузок уменьшалась при увеличении размера частиц ПХА и для всех изученных составов изменялась от 5 до 12 мм/с при давлениях 20—50 атм. Перегрузки величиной до 1000g, направленные по нормали к поверхности горения, не влияли на скорость горения этих составов в указанном диапазоне давлений.

Скорость горения всех изученных металлизированных составов по мере повышения перегрузок увеличивается. Составы, содержащие 10, 30 и 45% алюминия, изучены при давлении 50 атм (рис. 1). Базовые скорости горения u_0 для этих смесей составляли соответственно 6,9; 10,0 и 12,9 мм/с. Увеличение содержания алюминия w в составе от 10 до 45% приводит к уменьшению относительного увеличения скорости горения $z = u/u_0$ при перегрузках, так как одновременно происходит увеличение базовых скоростей горения. Если же u_0 при $w=0,45$ уменьшить до 7 мм/с (за счет изменения дисперсного состава ПХА), что равно базовой скорости горения состава с $w=0,1$, то видно, что повышение содержания алюминия в составе приводит к возрастанию z (см. рис. 1).

Увеличение давления приводит к уменьшению z для составов, содержащих 45% алюминия (закон горения в отсутствие перегрузок u_0 [мм/с] = $1,9 \cdot p^{0,51}$ [атм], рис. 2) и 60% алюминия ($u_0=11,3$ и 12,5 мм/с при давлениях 50 и 80 атм соответственно, рис. 3) и практически не влияет на относительный прирост скорости горения для состава, содержащего 80% алюминиевой пудры (рис. 3) и имеющего базовые скорости горения 8,5 и 13,0 мм/с при давлениях 20 и 50 атм соответственно.

Состав, содержащий 60% алюминия (АСД-1), при $p=20$ атм поджечь не удалось (при 50 и 80 атм он горит), а смесь, содержащая 80% алюминия этой марки, не горела при давлениях 20—80 атм. Конденсированный остаток после сгорания металлизированных составов с $w=0,1$ и 0,3 в условиях воздействия перегрузок величиной от 20 до 100g представлял собой отдельные застывшие капли размером 1—3 мм. После сгорания этих смесей при больших уровнях перегрузок, так же

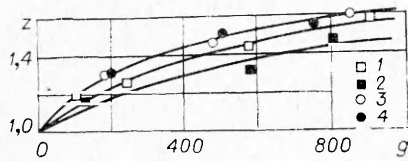


Рис. 3. Зависимость z от a/g для составов, содержащих 60% Al (АСД-1) при давлениях 50 (1), 80 атм (2) и 80% Al (пудра) при давлениях 20 (3) и 50 атм (4).

как и в случае горения высокометаллизированных составов ($w=0,45$ и $0,6$) во всем изученном диапазоне перегрузок (20—1000g), остаток имеет вид лепешки. Толщина этой лепешки возрастает с повышением w и уровня перегрузок и для образца с $w=0,6$, при 1000g достигает 5—7 мм (половины высоты исходного образца).

Качественно иной вид имеет остаток после сгорания образцов, содержащих 80% алюминиевой пудры. В отсутствие перегрузок он разбрасывается газовыми продуктами сгорания. При перегрузках после сгорания остается таблетка с поперечным сечением, близким к исходному, но в 1,5—2 раза длиннее, причем с повышением перегрузок и давления прочность таблетки заметно возрастает.

В настоящей работе проведено также измерение коэффициентов теплопроводности исследуемых составов. Измерение проводилось методом стыка [10]. В качестве эталонного образца выбран ПММА. Температура стыка между образцом состава и эталоном измерялась с помощью 10-микронной термомпары. Оказалось, что относительное увеличение коэффициента теплопроводности смеси λ/λ_0 (где λ_0 — коэффициент теплопроводности состава, не содержащего алюминия) составляло 1; 1,25; 2,5 и 6 при w , равном соответственно 0,1; 0,45; 0,6 и 0,8, т. е. слабо зависело от w при $w \leq 0,45$. При большем содержании алюминия в образце наблюдалась довольно сильная зависимость λ/λ_0 от w . Этот результат качественно согласуется с данными работы [11] по исследованию зависимости тепло- и электропроводности смесевых материалов от содержания в их составе металлического порошка.

Обсуждение результатов

Опыты, проведенные с составами без металла на основе очищенных компонентов, показали, что их скорость горения не зависит от перегрузок величиной до 1000g, в то время как скорость горения технических безметалльных топлив под действием положительных перегрузок увеличивается (см., например, [12]). Сравнивая эти эффекты, можно прийти к выводу, что скорость горения безметалльных технических составов увеличивается в поле перегрузок в результате удержания у поверхности горения инерционными силами каких-либо конденсированных частиц (но не частиц ПХА, как это предполагалось в работе [13]), например, антислеживающих, или других технологических добавок, вводимых в состав технических топлив в количестве нескольких процентов [5], или конденсированных продуктов сгорания.

Развитая в [2] модель устанавливает пределы изменения скорости горения металлизированных составов в поле перегрузок. Минимальное значение наблюдается, когда размер капель-агломератов достигает стационарной величины вследствие установления динамического равновесия между поступлением горящих частиц алюминия к капле из топлива и распыла капли газовыми продуктами сгорания. Максимальное значение скорости горения соответствует минимально возможному размеру частиц, определяемому из условия уноса частиц газовым потоком:

$$r_{\min}^{(1)} = \sqrt{\frac{9 \rho u_0 \eta_{\Gamma}}{2 \rho_{\Gamma} \rho_{\Gamma} a}} \quad (1)$$

где ρ и ρ_k — плотность состава и капли; η_r и ρ_r — вязкость и плотность газа; a — ускорение.

В работе [9] отмечено, что условие (1) является необходимым, но недостаточным условием увеличения местной скорости горения в поле перегрузок. Необходимо также, чтобы размер удерживаемых частиц был порядка ширины прогретого слоя конденсированной фазы при горении:

$$r_{\min}^{(2)} = k \frac{\kappa}{u_0} = k \frac{\lambda}{c\rho u_0}, \quad (2)$$

где c — удельная теплоемкость состава; k — коэффициент пропорциональности, который будет уточнен ниже. В противном случае увеличение скорости горения наблюдаться не будет из-за недостаточного запаса тепла в частице и невозможности прогрева такой частицей топлива на необходимую (порядка κ/u_0) глубину. Таким образом, максимальное увеличение скорости горения z при перегрузках будет наблюдаться для частиц, имеющих характерный размер $r = \max(r_{\min}^{(1)}, r_{\min}^{(2)})$. Анализ показывает, что во всех случаях, когда увеличение скорости горения в поле перегрузок можно наблюдать экспериментально (т. е. когда $z > 1,05$), $r_{\min}^{(2)} > r_{\min}^{(1)}$.

В реальном случае на поверхности топлива, горящего в условиях воздействия перегрузок, удерживается целый спектр горящих капель алюминия с размером $r \geq r_{\min}^{(1)}$, однако результирующее увеличение скорости горения будет соответствовать каплям оптимального размера $r \geq r_{\min}^{(2)}$, ведущим фронт горения.

В случае горения достаточно длинного образца может происходить «затопление» горячей поверхности слоем расплавленного металла из-за накопления алюминия в поле перегрузок. Толщина слоя увеличивается с возрастанием ω и длины образца. Через этот слой проходит поток газообразных продуктов сгорания, т. е. осуществляется режим, аналогичный процессу барботажа [14]. Возможны следующие режимы барботажа: пузырьковый, пенный и инжекционный. Определить экспериментально, какой из этих режимов осуществляется в настоящем случае, чрезвычайно трудно. Проведем оценку числа Фруда $Fr = v^2/al$, где v — скорость оттока газов; a — ускорение; l — толщина слоя жидкости, которое характеризует различные режимы барботажа [15]. В типичных условиях проведения опытов по горению топлив в поле перегрузок $Fr > 1$, что соответствует либо пенному, либо инжекционному режиму.

Таким образом, над горячей поверхностью топлива висит капельно-пенный слой металла и его окислов, через который продуваются газовые продукты сгорания. От этого слоя могут отрываться отдельные капли и относиться газовым потоком на некоторое расстояние. Однако если их размер будет больше, чем $r_{\min}^{(1)}$ (см. формулу (1)), то под действием инерционных сил они будут замедлять свое движение и падать обратно. У поверхности горения также могут находиться отдельные горячие частицы, временно не вовлеченные в этот слой. Тепловое воздействие этих частиц на горящую поверхность состава определяет результирующее увеличение скорости горения. Таким образом, и в этом случае фронт горения будут вести отдельные частицы с размером порядка ширины прогретого слоя к-фазы.

В начальный период горения топлив в поле перегрузок осуществляется переходный режим горения, когда скорость горения зависит от времени. Предлагаемая модель применима в том случае, когда горение выходит на квазистационарный режим. Из анализа результатов работ [2, 4, 5], где изучается нестационарный режим горения, следует, что скорость горения состава от времени горения изменяется не очень

сильно и часто лежит в пределах разброса экспериментальных данных. Более того, эксперименты [6, 7] показывают, что скорость горения составов в условиях воздействия перегрузок практически сразу выходит на стационарный уровень.

Следовательно, предлагаемую модель можно применять не только для расчета скорости горения для достаточно длинных образцов, но и для оценки скорости горения на коротких образцах.

Подставив формулу (2) в соотношение, полученное в работе [2] для относительного прироста скорости горения, получим связь скорости горения в поле перегрузок от параметров горения:

$$z^2(z^2 - 1) = \frac{2\lambda_r^2 \rho_K (T_K - T_n)^2 a \rho_r}{k c \rho^3 \lambda (T_n - T_0)^2 (1 - \omega)^2 u_0^2}, \quad (3)$$

где λ_r — теплопроводность газа; T_K , T_n и T_0 — температуры капли-агломерата, поверхности и начальная.

В выражении (3) конкретный состав топлива (процентное содержание, вид и дисперсность окислителя, горючей связки и алюминия, наличие в составе катализаторов или ингибиторов горения и т. д.) характеризуется параметрами c , ρ , λ , T_n , ω и интегральной характеристикой — базовой скоростью горения u_0 . Причем если первая группа параметров для конкретного типа топлив (например, для наиболее хорошо изученных в настоящее время топлив на основе ПХА) изменяется, как правило, незначительно от одного состава к другому, то u_0 зависит от состава очень существенно, поэтому этот параметр является определяющим. Возможность характеризовать чувствительность топлив к перегрузкам их базовыми скоростями горения подтверждается данными работы [5], в которой прирост скорости горения составов на основе ПХА под действием перегрузок в зависимости от u_0 (изменяемой за счет варьирования вида связок, дисперсности ПХА и введения катализаторов) хорошо аппроксимировался общей кривой $z = f(u_0)$ при постоянном давлении и постоянной перегрузке 100g.

Из всех параметров, входящих в (3), наиболее сильно для данного типа составов могут изменяться u_0 , $\rho_r \sim \rho$, ω и, как показано выше при ($\omega > 0,45$), λ . Поэтому перепишем (3) в виде

$$z^2(z^2 - 1) = \frac{K(a/g) \cdot p}{(\lambda/\lambda_0) \cdot (1 - \omega)^2 \cdot u_0^2}, \quad (4)$$

где $K = \frac{2\lambda_r^2 \rho_K (T_K - T_n)^2}{k c \lambda_0 \rho^3 (T_n - T_0)^2}$ — слабо изменяющаяся величина, которую можно вычислить или определить экспериментально; p — в атм; u — в мм/с.

Сравнение с экспериментом

Для сопоставления (4) с имеющимися опытными результатами (полученными как в настоящей работе, так и в работах других авторов) проведена обработка этих данных в переменных $z^2(z^2 - 1)$, $\frac{(a/g) \cdot p}{(\lambda/\lambda_0) \cdot (1 - \omega)^2 \cdot u_0^2}$. Поскольку эти обобщенные переменные могут изменяться в зависимости от составов и условий проведения опытов на несколько порядков, использовался логарифмический масштаб. В этом случае

$$\lg [z^2(z^2 - 1)] = \lg \left[\frac{(a/g) \cdot p}{(\lambda/\lambda_0) \cdot (1 - \omega)^2 \cdot u_0^2} \right] + \lg K. \quad (5)$$

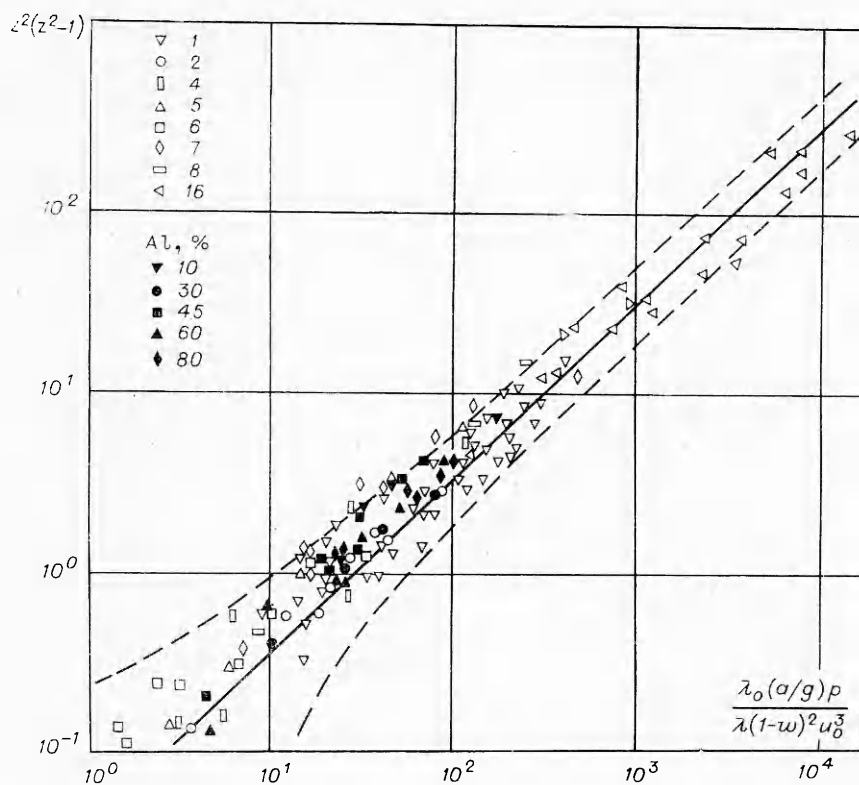


Рис. 4. Обобщенная зависимость относительного прироста скорости горения от перегрузок, базовых скоростей горения, давления и содержания алюминия в составе образцов. Экспериментальные точки, полученные в данной работе с $0,1 \leq \omega \leq 0,8$, обозначены залитыми значками, данные других авторов с $0,05 \leq \omega \leq 0,1$ — светлыми значками. Штриховые линии обозначают поле 10%-ного отклонения по z от средней величины.

При условии $K = \text{const}$ все имеющиеся данные должны составлять прямую линию, направленную под углом 45° к оси абсцисс.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 4, соответствуют различным топливам на основе ПХА, состав которых изменялся за счет применения различных горючих связок (каучуки различных видов, полиформальдегид, ПММА, парафин, нафталин и т. д.), дисперсности и процентного содержания компонентов, добавления катализаторов или ингибиторов горения. Этим данным соответствует изменение основных параметров в диапазонах: $20 \leq a/g \leq 2000 \text{ г}$, $20 \leq p \leq 100 \text{ атм}$, $3 \leq u_0 \leq 15 \text{ мм/с}$, $0,05 \leq \omega \leq 0,8$, $1 \leq \lambda/\lambda_0 \leq 6$, которые получены различными авторами на разных экспериментальных установках. В работах [5, 6, 8] испытывалось горение топлив в ракетных двигателях, а в [1—4, 7] исследовались заряды торцевого горения в бомбах постоянного давления различных конструкций.

Несмотря на значительный разброс точек, вся совокупность результатов действительно лежит в соответствии с теорией (см. формулу (5)) вблизи одной прямой, идущей под углом 45° (см. рис. 4). Обработка данных методом наименьших квадратов дает $K = 0,04$, если давление измеряется в атмосферах, а скорость в миллиметрах в секунду или же $8 \cdot 10^{-5} \text{ см}^5/(\text{г} \cdot \text{с})$. Определим теоретическое значение K из формулы (4). Подставляя типичные значения параметров: $\lambda_r = 2 \cdot 10^{-4} \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{град})$, $\lambda_0 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{град})$, $c = 0,5 \text{ кал}/(\text{г} \cdot \text{град})$, $T_k = 3300 \text{ К}$, $T_n = 900 \text{ К}$, получим $K = 60 \cdot 10^{-5}/\text{к} \text{ см}^5/(\text{г} \cdot \text{с})$.

Таким образом, теоретически вычисленное значение K по порядку величины совпадает с опытным. Из сопоставления этих величин следует, что размер частиц, наиболее эффективно увеличивающих скорость горения в поле перегрузок, должен быть в 5—10 раз больше ширины прогретого слоя k -фазы (т. е. $k=5-10$).

Предложенная модель явления хорошо согласуется не только с имеющимися опытными данными по изменению скорости горения составов в поле перегрузок, но и с результатами непосредственного наблюдения процесса горения металлизированных топлив при перегрузках с помощью киносъемки [3]. В цитируемой работе отмечено, что местное увеличение скорости горения происходило только в случае, если размер горящих капель-агломератов составлял 300—500 мкм. Капли меньшего размера удерживались вблизи поверхности инерционными силами, но скорость горения не меняли. Расчет характерных размеров частиц по формулам (1) и (2) применительно к условиям работы [3] дает $r_{\min}^{(1)} = 10$ мкм и $r_{\min}^{(2)} = 250 - 500$ мкм. Следовательно, рассчитанная величина размера частиц, эффективно влияющих на скорость горения $r_{\min}^{(2)}$, находится в соответствии с опытной величиной.

Таким образом, соотношение (4) справедливо в широкой области изменения основных параметров, характеризующих процесс горения металлизированных составов в поле перегрузок.

Рассмотрим предельные значения соотношения (4). При $z^2 \gg 1$ можно пренебречь 1 в левой части (4), тогда

$$z \sim \frac{[(a/g) \cdot p]^{0,25}}{(1-w)^{0,5} \cdot u_0^{0,75}}, \quad (6)$$

т. е. z наиболее сильно зависит от базовой скорости горения u_0 (факт, неоднократно отмечавшийся в [1—8]) и увеличивается, как $(a/g)^{0,15}$, с возрастанием перегрузок. Подставив в (6) вместо u_0 закон горения состава $u_0 = bp^{\nu_0}$, получим

$$z \sim \frac{(a/g)^{0,25} \cdot p^{(1-3\nu_0)/4}}{b^{0,25} \cdot (1-w)^{0,5}},$$

т. е. при увеличении давления z может увеличиваться, если $\nu_0 < 0,33$, уменьшаться при $\nu_0 > 0,33$, или оставаться постоянным при $\nu_0 = 0,33$. Этот теоретический вывод также подтверждается настоящей работой (см. рис. 2, 3), а также опытами [6, 7].

Скорость горения при перегрузках в этом предельном случае

$$u \sim \frac{[(a/g) \cdot p \cdot u_0]^{0,25}}{(1-w)^{0,5}} = \frac{(b \cdot a/g)^{0,25} \cdot p^{(1+\nu_0)/4}}{(1-w)^{0,5}}.$$

Отсюда следует, что скорость горения при больших перегрузках $u \sim u_0^{0,25}$. Эксперименты, проведенные в работе [7], показывают, что, действительно, скорости горения составов при больших перегрузках (и при постоянном давлении) слабо зависят от базовой скорости u_0 . Показатель степени в законе горения при больших перегрузках $\nu \rightarrow (1+\nu_0)/4$. Если ν_0 может меняться в зависимости от состава в пределах $0 \leq \nu_0 \leq 1$, то при больших перегрузках для этих же составов $0,25 \leq \nu \leq 0,5$. Как показывает анализ формулы (3), при больших перегрузках изменяется также величина температурной зависимости скорости горения. Существенное влияние при горении на z имеет также температура поверхности — составы с более высокой T_{π} будут менее чувствительны к перегрузкам.

Таким образом, проведено экспериментальное исследование влияния перегрузок на горение составов на основе ПХА, содержащих до 80% алюминия. Из теоретического анализа явления получено соотно-

шение, связывающее относительное увеличение скорости горения с основными параметрами, характеризующими данный состав и условия проведения эксперимента, и хорошо описывающее основные закономерности горения металлизированных составов при перегрузках. Показано, что скорость горения безметалльного состава из очищенных компонентов не зависит от перегрузок (до 1000g).

Поступила в редакцию 13/XII 1976,
после доработки — 15/II 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Штурм, Райхенбах. РТК, 1969, 7, 11, 50.
2. С. К. Орджоникидзе, А. Д. Марголин и др. ФГВ, 1971, 7, 4, 536.
3. P. G. Willoughby, K. L. Baker, R. W. Hersman. 13-th (International) Symposium on Combustion, 1971.
4. D. Cowles, D. Netur. Combustion Science and Technology, 1971, 3, 215.
5. Нортан. РТК, 1973, 11, 6, 99.
6. S. Ishii, T. Nüoka, T. Mitani. Combustion Science and Technology, 1973, 8, 177.
7. Ю. М. Максимов, Э. И. Максимов, В. Н. Виллюнов. ФГВ, 1974, 10, 2, 169.
8. G. B. Northan, M. H. Lусу. J. Spacecraft and Rocket, 1969, 6, 4, 456.
9. А. Д. Марголин, В. Г. Крупкин. ФГВ, 1975, 11, 5, 702.
10. А. Ф. Чудновский. ЖТФ, 1946, 2, 249.
11. В. Е. Гуль и др. Электропроводность полимерных материалов. М., «Химия», 1968.
12. Горение зарядов РДТТ в поле ускорений (Обзор). ВРТ, 1974, 4, 45.
13. Штурм, Райхенбах. РТК, 1970, 8, 6, 92.
14. В. В. Кафаров. Основы массопередачи. М., «Высшая школа», 1962.
15. А. А. Носков, В. Н. Соколов. Сб. трудов ЛТИ им. Ленсовета. Вып. XXXIX. Л., Госхимиздат, 1957, с. 110.
16. Андерсон, Райхенбах. РТК, 1968, 6, 2, 95.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОРЕНИЯ СМЕСЕЙ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С КРЕМНИЕМ И СИНТЕЗ СИЛИЦИДОВ

*А. Р. Саркисян, С. К. Долуханян, И. П. Боровинская,
А. Г. Мержанов*

(Черноголовка)

В [1—8] изучены закономерности и механизм горения смесей переходных металлов с углеродом, бором, азотом, а также исследованы возможности синтеза тугоплавких карбидов, боридов, нитридов и других соединений в самораспространяющемся режиме.

В данной работе приведены результаты исследования некоторых закономерностей горения в системах молибден—кремний, титан—кремний, цирконий—кремний и рассмотрены условия образования в этих системах различных силицидов.

Эксперименты проводились в бомбе постоянного давления в среде инертного газа — аргона. Скорость горения измерялась с помощью фоторегистратора ФР-14, максимальная температура горения — вольфрам-рениевой термопарой. Состав полученных при горении продуктов изучался с помощью химического и рентгенофазового анализов. Рентгеновский анализ проводился на дифрактометре ДРОН-0,5. Использовались порошки металлов дисперсностью < 50 мкм с массовым содержанием основного компонента не менее 99,5% и полупроводнико-