

4. А. П. Глазкова. Кинетика и катализ, 1971, 12, 1, 16.
5. А. П. Глазкова, В. П. Карпов. ФГВ, 1971, 7, 4.
6. А. И. Гольбиндер, К. К. Андреев. Антигризутные взрывчатые вещества. М., Углетехиздат, 1947, стр. 110.
7. К. К. Андреев, М. М. Пуркали. Докл. АН СССР, 1946, 51, 455.
8. К. К. Андреев, М. А. Рабинович. ЖФХ, 1950, 24, 655.
9. E. Audibert. USA Bureau of Mines. 1950, Bull. n. 489.
10. А. П. Глазкова, В. К. Боболев. Сб. «Взрывное дело». М., «Недра», 1966, № 60/17, стр. 5.
11. А. П. Глазкова, П. П. Попова. Докл. АН СССР, 1967, 177, 6, 1341.
12. А. П. Глазкова, П. П. Попова. Сб. «Взрывное дело». М., «Недра», 1970, № 68/25, стр. 265.
13. А. П. Глазкова, О. К. Андреев. ФГВ, 1969, 5, 3, 434.
14. А. Р. Glaskova, O. K. Andreev. Chimie et Industrie, 1970, 103, 14, 1735.
15. А. П. Глазкова, И. А. Терешкин. ЖФХ, 1961, 35, 1622.
16. А. П. Глазкова, Э. Г. Розанцев и др. ФГВ, 1970, 6, 4, 584.
17. А. Р. Glaskova. XIII International Symposium on Combustion (Abstracts). Pittsburg, Pennsylvania. U. S. A. 1970, p. 164.
18. А. П. Глазкова. Канд. дисс. МХТИ им. Д. И. Менделеева. Москва, 1952.
19. M. Dewitte, L. Deffet. Rapport du Centre de Recherches Scientifiques et Techniques pour l'Industrie des Produits Explosifs. n. 68/5 Sterrebeek. May 1968; Explosifs, 1969, n. 1, 12.
20. Японский патент. Кл. 29 с 12 № 9592.
21. Х. Кумао, Р. Йокагава, М. Сиро. Японский патент. Кл. 29 с 12 № 9591.
22. С. А. Мельникова. Канд. дисс. ИГД им. А. А. Скочинского. Москва, 1969.

УДК 536.46

ГОРЕНИЕ АЛЮМИНИЗИРОВАННЫХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕГРУЗКАХ

*С. К. Орджоникидзе, А. Д. Марголин,
П. Ф. Похил, А. С. Уралов
(Москва)*

Инерционные силы, приложенные к горящему веществу, в ряде случаев значительно увеличивают скорости горения [1—13]. Это происходит благодаря тому, что инерционные силы прижимают к горячей поверхности горячие конденсированные частицы, образующиеся в процессе горения. В настоящей работе экспериментально и теоретически изучается горение алюминизированных систем.

Методика эксперимента

Измерялись скорость горения, масса и состав образующегося шлака конденсированной системы, состоящей из 70% перхлората аммония, 15% каучука и 15% порошка алюминия с размером частиц около 10 мкм. Исследуемые образцы имели площадь поперечного сечения 0,4 см² и длину от 0,5 до 1,5 см. Боковая поверхность образцов покрывалась эпоксидной смолой, после чего образцы клеивались на эпоксидной смоле в кварцевые трубки длиной 4 см. Для создания перегрузок образец закреплялся радиально на диске (радиус 4,5 см), который вместе с вращающим его электромотором помещался в сосуд объемом 2 л. Перед опытом сосуд заполнялся азотом при давлении 30, 60 или 100 атм. После того, как достигалась постоянная скорость вращения диска, производилось поджигание образца с помощью электровоспла-

менителя. Скорость горения определялась по осциллограмме повышения давления в сосуде. В процессе опыта давление повышалось не более чем на 5 атм. Скорость горения относилась к среднему давлению в процессе горения и к среднему ускорению, т. е. ускорению в середине образца.

Результаты опытов

Исследуемый состав в отсутствие перегрузок горит со скоростью 1,1 см/сек при 30 атм, 1,3 см/сек при 60 атм и 1,5 см/сек при 100 атм. С увеличением ускорения до 200 g скорость горения образцов длиной 1,5 см увеличивается в 1,5 раза, причем приращение скорости горения происходит пропорционально корню квадратному из величины ускорения (рис. 1). После сгорания образца в массивном медном поддоне, в который упирался образец, оставалась лепешка мелкопористого сероватого шлака, имеющего удельный вес 2,8 г/см³. Шлак состоит в основном из окиси алюминия. Металлического алюминия в шлаке волюмометрический анализ не обнаружил. В работах [7, 10] также показано, что шлак, остающийся после горения при перегрузках, состоит в основном из окиси алюминия. При небольших перегрузках шлак имеет вид агломератов из нескольких шариков диаметром около 100 мкм, при больших ускорениях остаток состоит из двух-трех лепешек и при максимальных ускорениях — из одной лепешки. Если в поддоне сделать отверстие, то шлак в процессе опыта вытекает в него. Следовательно, во время горения окись алюминия находится в расплавленном виде. Масса оставшегося шлака увеличивается с ростом ускорения (рис. 2) и пропорциональна массе сгоревшего образца (рис. 3). Последние результаты получены на образцах разной длины с площадью поперечного сече-

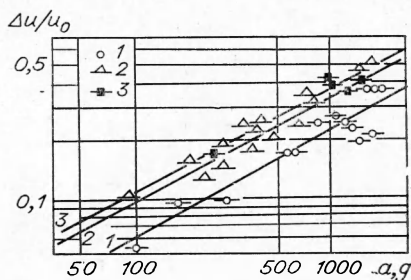


Рис. 1. Зависимость относительного увеличения скорости горения $\Delta u/u_0$ от ускорения a , выраженного в единицах g ($g=980 \text{ см/сек}^2$), при давлениях 33 (1), 64 (2), 104 атм (3) для образцов длиной 1,5 см.

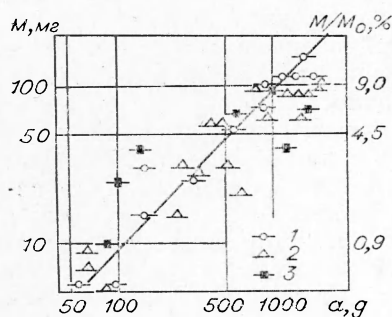


Рис. 2. Зависимость массы шлака M и относительной массы шлака M/M_0 (M_0 — начальная масса образца) от ускорения a при давлениях 33 (1), 64 (2) и 104 атм (3) для образцов длиной 1,5 см.

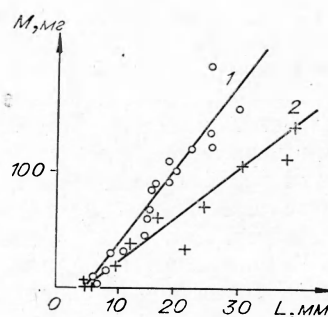


Рис. 3. Зависимость массы шлака M от начальной длины образца L при ускорениях 1500 g (1) и 400 g (2) и давлении 60 атм.

ния от 0,03 до 0,5 см². Эффект увеличения скорости горения при перегрузках уменьшается по мере удлинения образца (рис. 4). Отрицательные ускорения не влияют на величину скорости горения.

Модель горения

На основании экспериментальных данных по увеличению скорости горения и накоплению массы шлака, состоящего из окиси алюминия, предлагается следующая модель горения алюминизированных систем при перегрузках.

Частицы алюминия, удерживаемые инерционными силами вблизи поверхности горения, горят с образованием капель шлака и сливаются в крупные капли. На поверхность расплавленных капель шлака из сгорающего образца постоянно выносятся новые частицы алюминия, которые легко воспламеняются от высокотемпературной поверхности капель шлака и сгорают на ней, увеличивая массу капли шлака. Удержание горящих капель алюминия вблизи поверхности горения способствует более полному сгоранию алюминия и превращению в окись алюминия.

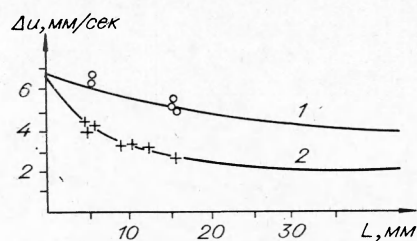


Рис. 4. Зависимость прироста скорости горения Δu от длины образца L при ускорениях 1500 g (1) и 400 g (2) и давлении 60 атм. Кривые теоретические.

Присутствие вблизи поверхности конденсированной системы высокотемпературных капель шлака, удерживаемых инерционными силами, увеличивает местную скорость горения под каплей, поскольку теплопередача от высокотемпературной поверхности капли к поверхности горения идет через малый зазор между каплей и поверхностью горения. При этом под каплей на поверхности горения образуются углубления. При достаточно большом количестве капель шлака над поверхностью смыкание смежных углублений происходит довольно быстро и скорость горения поверхности становится равной местной скорости горения. С ростом капли шлака в процессе горения увеличивается зазор между каплей и поверхностью горения (см. формулу (2)), что вызывает уменьшение теплового потока к поверхности горения и, следовательно, ослабление эффекта увеличения скорости горения. Размер капли не может расти бесконечно, так как под действием обтекающего потока газов сгорания поверхность достаточно большой капли становится неустойчивой и капля дробится. При достижении каплями шлака максимального размера прекращается накопление массы шлака под поверхностью горения, так как увеличение массы капель из-за прихода новых частиц компенсируется уносом мелких капель при дроблении. Это будет соответствовать стационарному режиму горения.

В работе [7] предлагается незамкнутый расчет, в котором размер капель оставался неизвестным. Перейдем к построению замкнутой теории.

Считаем, что расплавленная капля шлака, состоящая из окиси алюминия, имеет температуру плавления окиси алюминия $T_k = 3500^\circ \text{K}$ и приближение капли к поверхности горения изменяет градиент температуры φ в зоне горения

$$\varphi = \frac{T_k - T_{II}}{l},$$

где l — расстояние между поверхностью капли и поверхностью горения; T_k — температура капли; T_n — температура горячей поверхности.

Принимаем следующую связь скорости горения u с градиентом температуры φ :

$$u = \sqrt{u_0^2 + k_1^2 \varphi^2} = \sqrt{u_0^2 + k^2/l^2}, \quad (1)$$

где $k = \frac{\lambda_r (T_k - T_n)}{\rho_r c_r (T_n - T_0)}$; u_0 — нормальная скорость горения; λ_r — коэффициент теплопроводности газов сгорания; ρ_r — плотность к-фазы; c_r — теплоемкость к-фазы.

Газодинамическим расчетом [7] для сферической капли радиуса r , висящей в углублении на поверхности образца так, что зазор l под ней имеет параллельные стенки, из условия равновесия сил инерции и давления газа под глобулой можно определить ширину зазора

$$l = 0,7u_r(1-w) \sqrt{\frac{r}{\rho_k \rho a}}, \quad (2)$$

где a — центробежное ускорение; w — содержание Al; ρ_k — плотность капли; ρ — плотность газов.

Подставляя (2) в уравнение (1) и проведя некоторые преобразования, получаем следующую зависимость для относительной скорости горения $Z = u/u_0$:

$$Z^2(Z^2 - 1) = \frac{2k^2 \rho_k \rho a}{(1-w)^2 \rho_r^2 u^4 r}. \quad (3)$$

При $Z \gg 1$

$$Z \sim \frac{\rho^{0,25} a^{0,25}}{(1-w)^{0,5} u_0 r^{0,25}}, \quad (4)$$

что качественно согласуется с уравнением, полученным в работе [7] при условии $u > 1,2 u_0$,

$$Z = 2 \left[\frac{r}{b} \left(\frac{\rho_k \rho a}{r} \right)^{1/4} \frac{\eta^{1/2} g}{\rho_r u_0 (1-w)} - 0,2 \right] + 1, \quad (5)$$

которое при $Z \gg 1$ имеет вид

$$Z \sim \frac{\rho^{0,25} a^{0,25}}{(1-w) u_0 r^{0,25}}. \quad (6)$$

Для слабого увеличения скорости горения, т. е. при $Z \approx 1$, имеем из уравнения (3)

$$Z - 1 \sim \frac{\rho a}{u_0^4 r}.$$

Таким образом, получена зависимость относительной скорости горения от процентного содержания алюминия в образце, плотности газа, ускорения, нормальной скорости горения в отсутствие перегрузок и радиуса капель шлака. Из уравнения (3) следует, что чем меньше нормальная скорость горения, тем сильнее эффект увеличения скорости горения при перегрузках и для достаточно большого эффекта (4) скорость горения u не зависит от нормальной скорости. Физически это означает, что при малых нормальных скоростях горения u_0 вклад собственно горения мал по сравнению с теплоприходом от высокотемпературных капель шлака. Этот вывод подтверждается экспериментальными данными (рис. 5).

Экспериментальные режимы горения. Максимальное увеличение скорости горения соответствует каплям минимального радиуса r_{\min} .

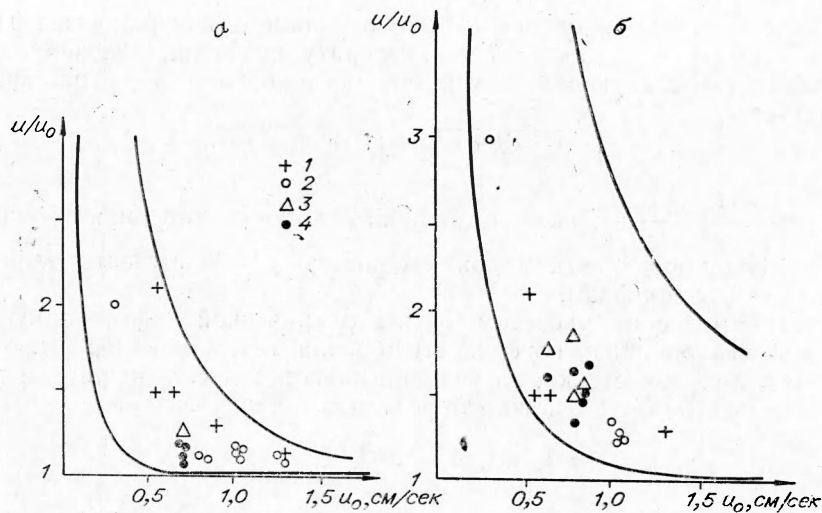


Рис. 5. Зависимость относительной скорости горения u/u_0 от начальной скорости горения u_0 при давлении 70 атм и ускорениях 100 g (а) и 1000 g (б).

1 — данные настоящей работы и [1], $L=15$ мм; 2 — $L=57$ мм [5]; 3 — $L=25,5$ мм [10]; 4 — $L=58,5$ мм [10].

который определяется [14] из условия равенства веса капли и сил гидродинамического сопротивления (капли меньшего размера будут уноситься потоком)

$$r_{\min} = \sqrt{h \frac{v_r \eta}{\rho_k a}}, \quad (7)$$

где v_r — скорость потока газов, обтекающих каплю на удалении от поверхности горения; η — коэффициент динамической вязкости газов сгорания; h — коэффициент, равный $9/2$ при $Re \ll 1$ (уравнение Стокса) и 9 при $Re \gg 1$ (уравнение Левича).

Из уравнения материального баланса между расходом массы образца и газоприходом в единицу времени через единицу площади (считая, что при горении алюминий в газ не превращается) получаем

$$u \rho_r (1 - w) = v_r \rho. \quad (8)$$

Значение v_r подставляем в уравнение (7), и тогда

$$r_{\min} = \sqrt{h \frac{u \rho_r (1 - w) \eta}{\rho_k \rho a}}. \quad (9)$$

Для максимального увеличения скорости, используя (3) и (9) и проводя соответствующие преобразования, получаем

$$Z_{\max}^{2,5} (Z_{\max}^2 - 1) = \frac{h^2 \rho_r^{1,5} \rho^{1,5} a^{1,5}}{\rho_r^{2,5} \eta^{0,5} (1 - w)^{2,5} u_0^{4,5}}. \quad (10)$$

Для $Z_{\max} \gg 1$

$$Z_{\max} \sim \frac{\rho^{0,33} a^{0,33}}{(1 - w)^{0,55} u_0}$$

и $Z_{\max} \approx 1$

$$Z_{\max} - 1 \sim \frac{\rho^{1,5} a^{1,5}}{(1 - w)^{2,5} u_0^{4,5}}.$$

Минимальное увеличение скорости определяется максимально возможным размером удерживаемой капли, больше которого ее поверхность становится неустойчивой и разбивается на капли: их размер меньше r_{\min} и они уносятся потоком. Скорость распыла такой неустойчивой капли очень высока. Размер мелких капель, срывающихся с поверхности неустойчивой капли, по порядку величины определяется длиной неустойчивой волны [14] по уравнению

$$r_{\min} \approx \frac{\sigma_k}{\rho v_3^2}, \quad (11)$$

где σ — поверхностное натяжение капли; v_3 — скорость потока газа на выходе из зазора под каплей, удерживаемой над поверхностью горения.

Скорость газа на выходе из зазора определяется балансом газоприхода от поверхности образца и газорасходом через поверхность выхода из зазора (считаем, что зазор кончается в экваториальной плоскости капли и l мало по сравнению с r капли), т. е.

$$u \rho_T (1 - \omega) 2\pi r_{\max}^2 = v_3 \rho 2\pi r_{\max} l_{\max},$$

откуда имеем

$$v_3 = \frac{u \rho_T (1 - \omega) r_{\max}}{\rho l_{\max}}. \quad (12)$$

Используя уравнение (2) для l и уравнение (12), приравняем выражение для r_{\min} из уравнения (11) к r_{\min} из уравнения (9), согласно условию существования капли максимального радиуса. Мелкие капли срываются (11) с поверхности большой неустойчивой капли потоком газа, движущимся на выходе из зазора со скоростью v_3 , а уносятся (9) потоком газа, движущимся вне зазора с меньшей скоростью v_r . Проведя преобразования, определяем критический максимальный размер капли

$$r_{\max} = 0,25\sigma_k \sqrt{\frac{\rho}{u \rho_T (1 - \omega) \eta \rho_k a}}. \quad (13)$$

Подставляя это выражение в уравнение (3), получим

$$Z_{\min}^{1,5} (Z_{\min}^2 - 1) = \frac{8k^2 \rho_k^{1,5} \eta^{0,5} \rho^{0,5} a^{1,5}}{\sigma_k \rho_T^{1,5} (1 - \omega)^{1,5} u_0^{3,5}} \quad (14)$$

При $Z_{\min} \gg 1$

$$Z_{\min} \sim \frac{\rho^{0,14} a^{0,43}}{(1 - \omega)^{0,43} u_0}$$

и при $Z_{\min} \approx 1$

$$Z_{\min} - 1 \sim \frac{\rho^{0,5} a^{1,5}}{(1 - \omega)^{1,5} u_0^{3,5}}.$$

Таким образом, капли шлака могут иметь размер $r_{\min} < r < r_{\max}$ и этому соответствует относительное увеличение скорости $Z_{\max} > Z > Z_{\min}$.

Построение зависимости Z_{\max} и Z_{\min} от u_0 на рис. 5 показывает, что все экспериментальные данные по зависимости Z и u_0 заключены между этими предельными величинами. Однако во всех случаях, когда ускорение настолько велико, что размер заложенных в образце частиц больше r_{\min} , и когда имеет место агломерация и слияние расплавленных частиц, всегда начальное значение скорости $Z_{\text{нач}}$ будет меньше Z_{\max} .

Переходный режим горения. Поскольку капли шлака в процессе горения увеличиваются в размере, то должен существовать режим перехода от начального увеличения скорости $Z_{нач}$ к предельному Z_{min} , если длина образца позволяет достичь этого предела. Для этого необходимо представлять, как изменяется размер капли в процессе горения. Можно представить, что рост капли происходит пропорционально поверхности горения образца под каплей. Простым расчетом можно показать, что действительно размер капли сравним с размером углубления.

Предполагаем, что

$$\frac{dm}{dt} = wv\omega\rho_r s, \quad (15)$$

где m — масса капли, s — поверхность горения под каплей (полусфера); v — доля сгоревшего Al, попавшего в каплю шлака. Произведя в уравнении (15) следующие замены

$$\begin{aligned} m &= \rho_k V = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k, \\ s &= 2\pi(r+l)^2 \\ udt &= dL, \end{aligned}$$

где L — длина сгоревшей части образца, и, используя уравнения (2), (3), получаем после ряда преобразований следующую зависимость размера капли r и относительной скорости горения Z от длины образца L :

$$\begin{aligned} r &= 0,5wv \frac{\rho_r}{\rho_k} L + r_0; \\ Z^2(Z^2 - 1) &= \frac{2k^2 \rho_k \rho_a}{(1-w)^2 \rho_r^2 u_0^4 \left(0,5wv \frac{\rho_r}{\rho_k} L + r_0\right)}, \end{aligned} \quad (16)$$

где r_0 — размер капли шлака в начале горения.

Для $Z_{min} \approx$ длина $L_{перех}$ участка образца, на которой осуществляется переходный режим, определяется следующим образом:

$$L_{перех} = \frac{0,5\sigma_k}{v\omega\rho_r} \sqrt{\frac{\rho}{\eta(1-w)\rho_r a u_0}} - \frac{2\rho_k r_0}{v\omega\rho_r} \quad (17)$$

Принимая $v=0,05$, получаем хорошее соответствие теоретической зависимости $Z=f(L)$ (16) и наших экспериментальных данных для $a=400$ г и $a=1500$ г (см. рис. 4) и данных Райхенбаха [10] для ускорений соответственно 100 и 400 г ($u_0=0,965$ см/сек, $\rho=35$ ат). При этом начальный радиус каплей при $L=0$ по формуле (3) при 400 и 1500 г равен по расчету соответственно 14 и 51 мкм, а из данных Райхенбаха для обоих ускорений — около 200 мкм. Это связано с тем, что в наших экспериментах радиус заложенных в образец частиц равен 5 мкм, а в работе [10] — 28 мкм. Предполагая, что в начальный момент капли имеют размер, определяемый агломерацией и сливанием частиц на поверхности, из приведенных выше результатов расчета видно, что, по-видимому, увеличение перегрузок может увеличивать размер агломератов. Использование теории для экспериментальных данных по начальному периоду горения образца при различных перегрузках и экстраполяция их на нулевые перегрузки может явиться методом определения степени агломерации и слияния частиц алюминия на поверхности.

Таким образом, горение делится на два этапа: на первых нескольких сантиметрах образца быстрое уменьшение эффекта, а затем мед-

ленное уменьшение относительной скорости горения Z до Z_{\min} , которое по теоретическому расчету для 1500 г в нашем случае достигается при сгорании приблизительно 50 см образца. При этом капли шлака имеют максимальный размер 1000 мкм. Чем ближе начальный размер капель к максимальному, тем короче длина участка переходного режима.

Если предположить, что над поверхностью горения висит монодисперсный слой капель, который и определяет увеличение скорости горения, тогда масса M этого слоя определяется произведением числа капель n над поверхностью горения площадью S на массу m одной капли.

$$M = n \cdot m,$$

причем

$$n = \frac{S}{\sigma} q,$$

где σ — площадь сечения капли; q — коэффициент заполнения ($q \approx 0,5$).

После преобразований получаем зависимость массы шлака от длины образца

$$M = 4/3 q S \rho_k \left(0,5 \omega v \frac{\sigma_r}{\sigma_k} L + r_0 \right). \quad (18)$$

Используя уравнения (17), (18), имеем следующее выражение для максимальной величины массы шлака, обусловленной максимальным размером капель r_{\max} :

$$M_{\text{пред}} = 0,33 q S \sigma_k \sqrt{\frac{\rho_k r}{(1-\omega) \rho_r \eta a u_0}}. \quad (19)$$

Для $S = 0,4 \text{ см}^2$ (в наших экспериментах) получаем $M_{\text{пред}} \approx 100 \text{ мг}$ (при 1500 г). По формуле (18) масса шлака должна расти линейно с длиной, достигая одинаковой величины на одинаковой длине образца вне зависимости от ускорения. В действительности (см. рис. 3) масса растет, хотя и линейно с длиной образца, но быстрее при больших ускорениях и достигает значений больших $M_{\text{пред}}$ уже при длинах образца, меньших рассчитанного предела $L_{\text{перех}}$. Это означает, что масса, рассчитываемая по формуле (18), является минимальной массой, и в действительности может быть полидисперсный слой капель, причем скорость горения определяется только каплями наименьшего размера в нижней части слоя, наиболее близкой к поверхности горения. Однако в процессе горения капли сливаются, растут в размерах и достигают максимально возможного размера, определяемого уравнением (13), и очевидно, что этот слой и будет монодисперсным, а его масса равна $M_{\text{пред}}$. Следовательно, в процессе горения вся масса шлака может быть в некоторый момент больше предельной, а затем по мере перехода от полидисперсного слоя капель к предельному монодисперсному уменьшается до $M_{\text{пред}}$ и остается далее постоянной.

Таким образом, предполагаемая модель позволяет объяснить наблюдаемые экспериментальные зависимости и предсказать ряд других. Очевидно, что для полноты картины необходимо знать начальный размер капель шлака и зависимость его от величины ускорения. Для этого необходимы измерения скорости горения в процессе горения с самого начального момента. Также необходима теория для описания поведения полидисперсного слоя капель в процессе горения, так как переходный режим может быть достаточно продолжительным. Однако для процесса горения в предельном стационарном режиме предлагаемая теория позволяет определить скорость горения, размер капель, величину уносимых капель и массу шлака.

Выводы

1. С ростом перегрузок увеличивается скорость горения и масса шлаковых остатков, причем более быстрогорящие составы обладают меньшей чувствительностью к перегрузкам.

2. С увеличением длины образца масса шлака увеличивается, а средняя скорость горения уменьшается.

3. Теоретическая модель горения алюминизированных систем при перегрузках хорошо согласуется с данными наших экспериментов и данными других авторов.

4. Теоретически предсказаны максимальное и минимальное увеличение скорости горения и продолжительность переходного режима в зависимости от величины перегрузок и характеристик системы, а также размер уносимых с поверхности горения частиц и масса шлака в стационарном режиме горения.

Поступила в редакцию
6/IV 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Т. Crowe, P. G. Willoughby. AIAA Preprint, № 66—523, AIAA 4-th Aerospace Sciences Meeting June 27—29, 1966.
2. R. L. Glick, B. K. Hodge, L. H. Caveny. AIAA Preprint, № 67—470, AIAA 3-rd Propulsion Joint Specialist Conf., July, 17—21, 1967.
3. Э. И. Максимов, Ю. М. Максимов, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1967, 3, 3, стр. 323.
4. M. H. Lucy. J. Spacecraft and Rocket, 1968, 5, 2, 271.
5. I. B. Anderson, R. E. Reichenbach. AIAA, 1968, 6, 2, p. 271.
6. Б. В. Серков, Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1968, 4, 4, 600.
7. Виллугби, Кроув, Бейкер. Вопросы ракетной техники, 1969, 7, 28.
8. G. V. Northam, M. H. Lucy. J. Spacecraft and Rocket, 1969, 6, 4.
9. Б. И. Гончаренко, Б. Т. Ерохин и др. 2-й Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву, 1969, стр. 67.
10. E. I. Sturm, R. E. Reichenbach. AIAA, 1969, 1, 11, 2087.
11. G. V. Northam. AIAA Paper, № 70—126, January, 19—21, 1970, AIAA 8-th Aerospace Sciences Meeting.
12. А. С. Уралов. Дипломная работа. МИФИ — ИХФ АН СССР, февраль, 1970.
13. M. J. Bulman, D. W. Netser. AIAA, 1970, 8, 6, 1155.
14. В. Г. Левич. Физико-химическая гидродинамика. М., Физматгиз, 1959.

УДК 536.46+662.222

СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕВЫХ СИСТЕМ

*В. С. Никифоров, Н. Н. Бахман,
Т. Н. Крук, Ф. П. Мадякин
(Москва)*

В работах [1—3] было исследовано влияние добавок порошков алюминия, магния, бора и др. на скорость горения модельных смесей на основе перхлората аммония (ПХА) и перхлората калия (ПХК). Было показано, что действие добавок металлов определяется прежде