

В то же время обращает на себя внимание корреляция между величинами максимумов отрицательного потенциала и концентрации атомов водорода, особенно наглядно проявляющаяся при изменении коэффициента избытка окислителя (воздуха) в смеси (рис. 2). При этом как та, так и другая величина при обогащении смеси изменяются значительно медленнее, чем при ее обеднении. Чтобы оценить концентрацию атомарного водорода в пламени, полученном при сжигании пропан-бутана с воздухом, вне зависимости от факторов, связанных с техникой зондирования, проведен дополнительный эксперимент. При помещении круглой кварцевой пламеразделительной горелки внутрь резонатора радиоспектрометра от внутреннего конуса пламени при атмосферном давлении получен сигнал атомарного водорода в сверхравновесной концентрации (10^{16} см⁻³). Экспериментально установлена зависимость интенсивности сигнала от коэффициента избытка воздуха в смеси, подобная наблюдающейся при зондовом отборе проб (рис. 3).

Согласование расположения областей локализации отрицательного потенциала и атомарного водорода наряду с весьма близким характером изменения их величин при варьировании состава смеси позволяет полагать обусловленность возникновения заряженных частиц в ходе химионизации и атомов водорода одинаковыми или близкими процессами.

Поступила в редакцию
4/IV 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Лаутон, Ф. Вайнберг. Электрические аспекты горения. М., Энергия, 1976.
2. В. Н. Панфилов.— В сб.: Свободнорадикальные состояния в химии. Новосибирск, Наука, 1972.
3. Б. С. Фиалков, В. Т. Плицын. Кинетика движения и характер горения кокса в доменной печи. М., Металлургия, 1971.
4. Б. С. Фиалков.— В сб.: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка, 1973.
5. A. A. Westenberg, R. M. Fristrom. X-th Symposium on Combustion Pittsburg, Pennsylvania, 1965, p. 473.
6. W. Downs, E. L. Simmons. Thermochim. acta, 1974, 8, 4, 363.
7. Г. И. Ксандопуло, А. А. Сагиндыков и др. ФГВ, 1975, 12, 6.
8. Б. С. Фиалков, Н. Д. Щербаков, В. Т. Плицын. ФГВ, 1978, 14, 3.

ГОРЕНИЕ СЛОЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

И. М. Абдурагимов, А. С. Андросов, А. В. Самогачев
(Москва)

В настоящее время все более широкое распространение получают слоевые изделия, состоящие чаще всего из чередующихся слоев полимера и металла [1, 2]. В [2, 3] отмечается, что такие изделия должны обладать повышенной огнестойкостью, по крайней мере, по двум причинам. Во-первых, металлические листы, закрывая внешние поверхности полимера, препятствуют поступлению окислителя к поверхности горения, во-вторых, при введении металлических прослоек в полимер повышается эффективный коэффициент теплопроводности конденсированной фазы (к-фазы) по сравнению с исходным полимерным материалом, вследствие чего будет возрастать необходимое для стационарного горения теплосодержание к-фазы. Последнее обстоятельство приводит к возрастанию времени воспламенения слоевого образца относительно исходного полимера. При снижении толщины полимерной прослойки ниже ее некоторого критического размера подобные композиции должны быть негорючими [3].

Однако анализ процесса горения в условиях пожара дает основание предположить, что интенсификация теплоотвода в глубь к-фазы образца наряду с несомненным положительным влиянием на время воспламенения может иметь и отрицательные последствия. Например, при горении материалов, составляющих горючую загрузку помещения, на слоевые конструкции будет воздействовать тепловой поток той или иной интенсивности. Вследствие интенсивного прогрева к-фазы не исключена возможность резкого ускорения процесса разложения полимера.

С целью проверки сделанных предположений проведено экспериментальное исследование условий воспламенения и горения модельных слоевых композиций. Испытуемый образец с размерами $100 \times 50 \times 20$ мм, представляющий собой чередующиеся слои полиметилметакрилата (ПММА) различной толщины (от 2 до 20 мм) и ме-

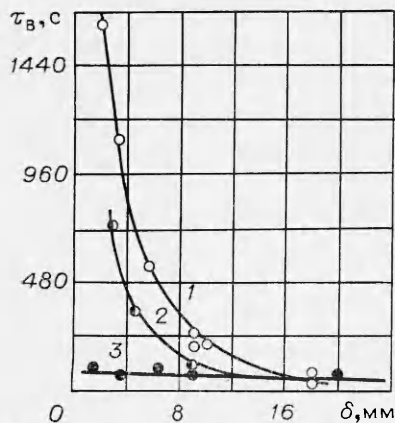


Рис. 1. Влияние толщины полимерной прослойки на время воспламенения образцов.

1 — образец с медными пластинами; 2 — образец с алюминиевыми пластинами, 3 — образец без пластин.

таллических пластин (медь, алюминий) толщиной 0,8 мм, устанавливался на платформу весов ВЛКТ-500. Внешний тепловой поток интенсивностью 24 кВт/м^2 от газовой инфракрасной панели имитировал тепловые условия внутреннего пожара. Источником воспламенения продуктов пиролиза ПММА служила нихромовая спираль с температурой $\sim 800^\circ\text{C}$, установленная на расстоянии 25 мм от поверхности образца.

На рис. 1 представлено изменение времени воспламенения образцов в зависимости от толщины полимерной прослойки. Видно, что время воспламенения образца ПММА без металлических прослоек (эталон) составляет 70 ± 30 с и практически не изменяется от толщины слоя полимера. Для слоистых образцов с уменьшением толщины полимерной прослойки менее 13 мм и повышением теплопроводности металла время воспламенения резко возрастает, что качественно весьма удовлетворительно согласуется с данными [3].

На рис. 2 представлен характер выделения летучих продуктов с единицы облучаемой поверхности во времени. Горение эталонного образца после воспламенения протекает с постоянной скоростью, равной $0,02 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$. При введении металлических пластин в образец полимера характер его горения существенно изменяется. Кривые изменения массы образцов во времени могут быть разделены на три характерные области: термическое разложение полимера до воспламенения; выгорание со скоростью, близкой к скорости эталонного образца; область резкого ускорения процесса выгорания.

На соотношение этих зон определяющее влияние оказывает толщина полимера, заключенного между пластинами. При малых толщинах ПММА ($2,0 \div 3,5$ мм) имеет место быстрый переход от воспламенения в область резкого ускорения процесса выгорания, когда массовая скорость возрастает до $0,1 \div 0,15 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$, т. е. в 5—7 раз больше скорости горения эталонного образца. При толщинах полимера 9 мм и более между областями воспламенения и интенсивного выгорания имеется область горения со скоростью, близкой к скорости эталонного образца. При этом чем больше толщина полимера, заключенного между пластинами металла, тем более продолжительна эта область горения.

Для выяснения условий воспламенения и перехода процесса выгорания образцов в ускоренный режим с помощью хромель-алюмелевых термопар диаметром 0,025 мм, заделанных П-образным способом [4], изучено распределение температур в к-фазе образцов с толщиной полимерной прослойки, равной 9 мм. В каждый образец на определенных расстояниях от поверхности вводили по 6 термопар попарно в центре слоя ПММА и у медной пластины. Изменение температуры в процессе горения фиксировалось с помощью шлейфового осциллографа П-700.

На рис. 3 представлено распределение температуры по глубине образца на различные моменты времени. При построении температурных полей координата термопары в образце определялась по соотношению:

$$x_t = x_0 - (p_i/s \cdot t/\rho),$$

где x_t — координата термопары на рассчитываемый момент; x_0 — координата термопары на начальный момент; p_i/s — удельный выход летучих на рассчитываемый мо-

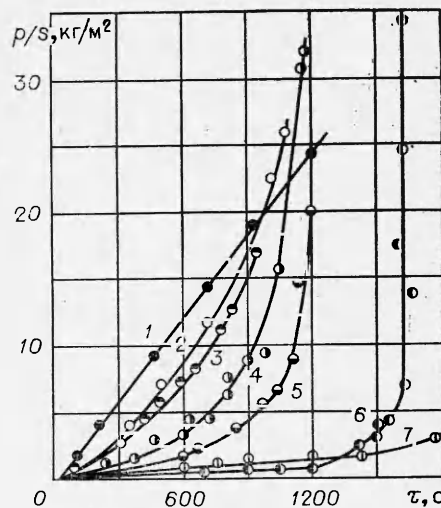


Рис. 2. Изменение характера выделения продуктов разложения к-фазы слоистых изделий во времени.

1 — образец без пластин; толщина полимерной прослойки, мм: 2 — 18, 3 — 13, 4 — 9, 5 — 6, 6 — 3,5, 7 — 2.

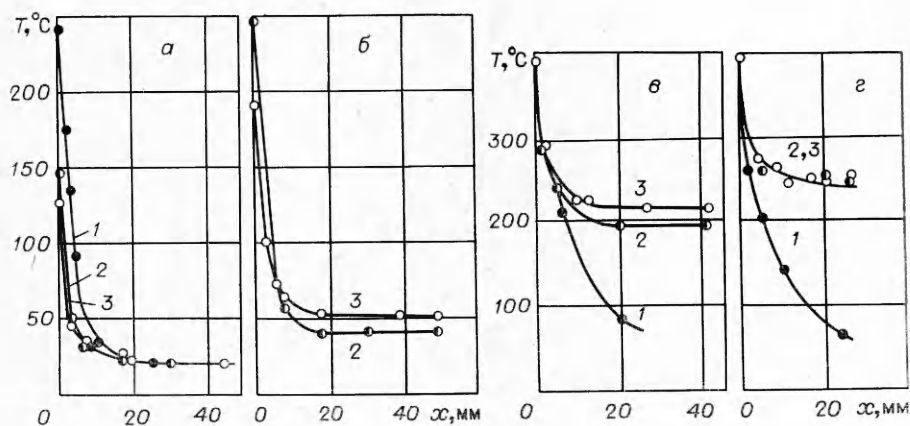


Рис. 3. Распределение температуры в κ-фазе образцов.

а) воспламенение образца без пластин (40 с); б) воспламенение слоевого образца (160 с); в) горение эталонного и слоевого образцов с постоянной скоростью (720 с); г) горение слоевого изделия на ускоренном режиме (960 с).
1 — образец без пластин; 2 — в центре полимерной прослойки слоевого изделия; 3 — у медной пластины слоевого изделия.

мент; ρ — плотность материала. Построение температурных полей, представленных на рис. 3, проведено по результатам испытаний четырех слоевых образцов.

Как следует из рис. 3, а при воздействии теплового потока интенсивностью 24 кВт/м^2 , когда происходит воспламенение эталонного образца, температура на его поверхности достигает 240°C . В этот момент температура поверхности в центре полимерной прослойки композитного образца составляет 140°C , а у металлической пластины она достигает лишь 125°C . Таким образом, на этом участке термического разложения образца медные пластины вследствие более высокого коэффициента теплопроводности способствуют стоку тепла в глубь κ-фазы.

В момент воспламенения слоевого образца (см. рис. 3, б) температура поверхности в центре полимерной прослойки и у пластины различна. В центре слоя ПММА она составляет 246°C , а у пластин 181°C , т. е. на 60°C ниже. И в данном случае пластины металла способствуют теплоотводу от поверхности образца, при этом, однако, на глубине более 5,3 мм полимер у пластин на $8\text{--}12^\circ\text{C}$ прогрет выше, чем в центре прослойки. Обращает на себя внимание, что воспламенение эталонного и слоевого изделий возникает при достижении на поверхности близких температур — $240\text{--}247^\circ\text{C}$.

Рассмотрим случай горения эталонного и слоевого образцов с одинаковой скоростью (720 с). Как следует из рис. 3, в температура поверхности эталонного и слоевого образца в центре ПММА и у металлической пластины примерно одинакова — $395\text{--}400^\circ\text{C}$. Однако на глубине более 2 мм характер распределения температуры резко изменяется. Так, у слоевого образца температура на глубине более 40 мм составляет $197\text{--}208^\circ\text{C}$, при этом полимер у металлических пластин прогреет на $5\text{--}10^\circ\text{C}$ выше, чем в центре. Таким образом, на этом участке горения металлические пластины выполняют роль теплоподводящих элементов, способствуя прогреву материала на значительно большую глубину.

В условиях резкой интенсификации процесса выгорания слоевого образца (см. рис. 3, г) температура поверхности не изменяется, составляя 400°C . Однако на расстоянии 5 мм и выше температура κ-фазы слоевого образца резко отличается от эталонного. На глубине $15\text{--}35$ мм от поверхности горения температура в центре слоя ПММА и у пластин одинакова и составляет $245\text{--}248^\circ\text{C}$, т. е. достигается температура, при которой в условиях опыта происходит воспламенение полимера. По-видимому, в этом случае протекает уже не приповерхностное, а объемное разложение образца, что и приводит к резкой интенсификации процесса его выгорания. Процесс горения слоевого образца сопровождается на этом участке сильными щелчками с появлением под поверхностью «фронтов пламени», свидетельствующих, по-видимому, о прорыве под давлением образующихся продуктов разложения сквозь массу полимера. Объемный характер разложения ПММА можно отчетливо видеть после охлаждения и разборки испытуемого образца.

Полученные результаты показывают, что пожарная опасность слоевых материалов типа полимер — металл вообще и их горючесть в частности требует более тщательного и всестороннего исследования. Оценка этих параметров только по времени воспламенения представляется недостаточной. При определенных условиях горения металлические пластины могут резко интенсифицировать процесс разложения полимера. Образующиеся продукты разложения будут резко ускорять горение

или, что значительно более опасно, обладая, как правило, высокой токсичностью при отсутствии условий для воспламенения или горения, могут резко ухудшать токсикологическую обстановку.

Поступила в редакцию
10/IV 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Хромец. Промышленные здания из легких конструкций. Стройиздат, М., 1978.
2. V. M. Bhatnagar. Flammability of Sandwich Panels. Technomic Publishing Co. Westport, 1974.
3. А. Д. Марголиц, В. Г. Крупкин.— В сб.: Горение гетерогенных газовых систем. Химическая физика процессов горения и взрыва. Черноголовка, 1977.
4. А. А. Зенин. Канд. дис. М., ИХФ АН СССР, 1962.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ ДВУХОСНОВНЫХ ПОРОХОВ

В. Н. Симоненко
(Новосибирск)

При использовании световой энергии для изучения зажигания и механизма горения твердых ракетных топлив необходимо знать прозрачность конкретного состава. Эффективные значения показателей прозрачности определены [1] для пороха Н ($\sigma = 15 \text{ см}^{-1}$) и для пороха Н + 1%С ($\sigma = 115 \text{ см}^{-1}$). Данные получены калориметрическим методом, источником излучения служила графитовая пластина, раскаленная до 2000 К. Однако эти данные не могут быть перенесены на другие условия, когда спектральный состав излучения отличается от используемого в [1]. Для пороха JR1 определена спектральная прозрачность в диапазоне длин волн от 0,4 до 10 мкм [2]. Весь диапазон разбит на девять частей и найдены эффективные значения прозрачности в каждой части спектра.

Таким образом, имеющиеся данные по прозрачности двухосновных топлив весьма ограничены. Кроме того, неизвестно, как будут влиять на спектральные характеристики прозрачности топлив различные технологические добавки. В настоящей работе проведено исследование спектральной прозрачности двухосновных топлив Н, Н+1%С, Н+катализатор в широком диапазоне спектра.

Образцы для измерений готовились с помощью микротомы в виде тонких срезов диаметром 20 мм, толщина варьировалась от 20 до 800 мкм. Опыты по определению углового рассеяния света на образцах толщиной до 800 мкм показали, что большая часть прошедшего света ($\sim 93\%$) рассеивается в угол 3° . Достаточно малое рассеяние позволяет корректно проводить измерения прозрачности пороховых образцов на спектрофотометрических приборах. Результаты измерений пропускания монохроматического света при различных толщинах образцов пороха показали хорошее согласие с законом Бугера — Ламберта

$$I(x) = I_0 \exp(-\sigma x),$$

где I_0 — плотность поглощенного светового потока; σ — показатель прозрачности вещества. Результаты продемонстрированы на рис. 1. Угол наклона прямых позволяет определить σ для данной длины волны. Спектральные измерения прозрачности проводились на приборах СФ-8 (0,2—2,5 мкм) и UR-20 (2—14 мкм). В ряде опытов для более точного определения прозрачности образцов в области спектра 0,2—1 мкм использовался спектрофотометр VSU-2P. Коэффициенты отражения от поверхности образцов измерялись в диапазоне спектра 0,3—1 мкм на шаровом спектрофотометре ФМП-56М.

В изученном диапазоне коэффициенты отражения изменяются в пределах: для пороха Н — 5—10%, для пороха Н+1%С — 4—7%, для пороха Н+катализатор — 7—15%. Данные по спектральной прозрачности с учетом отражающих свойств поверхности приведены на рис. 2. Из полученных данных видно, что в ультрафиолетовой области оптическая плотность порохов велика и точное определение прозрачности затруднено. В диапазоне спектра 0,2—0,3 мкм $\sigma \geq 1000 \text{ см}^{-1}$.

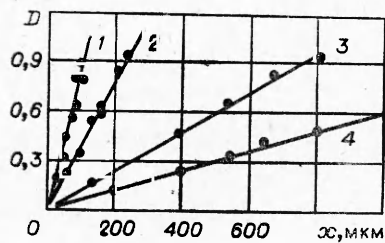


Рис. 1. Зависимость изменения оптической плотности от толщины пороховых образцов.

λ , мкм: 1 — 0,4, 2 — 0,45, 3 — 0,5, 4 — 0,6.