

4. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1942, 12.
5. А. Ф. Белов. ЖФХ, 1938, 12, 93.
6. В. Б. Либрович. ПМТФ, 1963, 6, 74.
7. А. М. Гришин. ПМТФ, 1966, 5, 25.
8. В. И. Лисицкий, К. В. Прибыткова. ФГВ, 1968, 4, 4, 501.
9. Д. А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1967.
10. Л. И. Иванов, В. С. Земсков и др. Плавление, кристаллизация и фазообразование в невесомости. М.: Наука, 1979.

УДК 536.46 : 541.6

О ПРЕДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГЕЛИЕВО-КИСЛОРОДНОЙ И АЗОТНО-КИСЛОРОДНОЙ СРЕДАХ

*В. А. Меркулов, В. М. Николаев, К. П. Кузьменко
(Балашиха)*

Изучение предельных условий распространения пламени — одна из важнейших задач теории горения — может служить научной основой для установления противопожарных норм при использовании изделий из полимерных материалов.

В настоящей работе представлены результаты исследований предельной концентрации кислорода, под которой понимается то минимальное содержание кислорода в газовой смеси, ниже которой самостоятельное горение полимерных материалов невозможно. Исследования проводили в гелиево-кислородной и азотно-кислородной смесях в диапазоне давлений $p = 0,04 \div 5,0$ МПа.

Экспериментальная установка состояла из вертикально расположенной цилиндрической камеры диаметром 200 и высотой 500 мм, снабженной окном для наблюдения и обрудованной системами вакуумирования и заполнения смесями требуемого состава при заданном давлении. Образец исследуемого материала устанавливался в центре камеры и зажигался электроспиралью, которая затем отводилась из зоны горения. Объемный расход газовой смеси через установку составлял 1,5 л/с, что позволяло удалить из камеры продукты горения и поддерживать требуемую концентрацию кислорода. Давление в камере измерялось образцовыми манометрами, а объемная концентрация кислорода C — газоанализатором ГХП-3М.

Предельная концентрация кислорода $C_{пр}$ в смеси при заданном давлении в камере определялась в процессе плавного повышения концентрации кислорода до величины, при которой горение образца происходило без источника зажигания. Каждое значение $C_{пр}$ для заданного p определялось как наименьшее по результатам пяти экспериментов. При определении зависимости $C_{пр}$ от p газовой смеси исследовано несколько материалов различной структуры и физико-химических свойств. Образцы резины и полиметилметакрилата (ПММА) имели размеры $200 \times 10 \times 4$ мм, а хлопчатобумажной ткани и бумаги — 200×400 мм. Вес одного квадратного метра хлопчатобумажной ткани и бумаги составлял соответственно 147 и 62 г. Образцы устанавливались вертикально и зажигались снизу.

Из полученных данных, представленных на рис. 1, следует, что $C_{пр}$ при увеличении p снижается. Характер изменения $C_{пр}$ для всех материалов при росте давления подобен и не зависит от их физико-химических свойств. Однако можно отметить значительное расхождение абсолютных значений $C_{пр}$ при изменении вида инертного разбавителя в смеси. Обработка результатов эксперимента позволила установить, что в азотно-кислородной среде $C_{пр}$ для ПММА снижается на 18,7% при изменении p от 0,1 до 4,0 МПа, а замена азота на гелий снижает $C_{пр}$ ПММА на 40,5%.

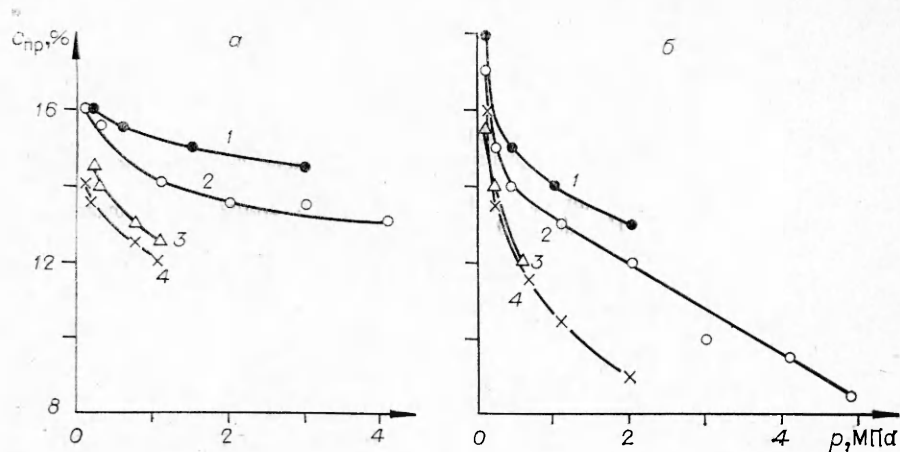


Рис. 1. Зависимость предельной концентрации кислорода от давления в азотно-кислородной и гелиево-кислородной смесях.
1 — резина; 2 — полиметилметакрилат; 3 — хлопчатобумажная ткань; 4 — бумага.

Эксперименты показали, что горение полимерных материалов в области повышенных давлений имеет ряд характерных особенностей. Внешне это проявляется в том, что с увеличением давления газовой смеси пламя по высоте становится меньше и приближается к поверхности образца. Цвет пламени изменяется от голубого до светло-желтого с тонким голубым внешним слоем на границе пламени при возрастании давления выше атмосферного для ПММА, хлопчатобумажной ткани и бумаги и от светло-желтого до красного с уменьшением толщины голубого слоя на границе пламени для резины.

Наблюдения за горением материалов в околопредельных условиях выявили характерную особенность. При горении полимерных материалов в газовой смеси с предельной концентрацией кислорода и при давлениях выше атмосферного внешняя граница пламени имеет голубой цвет, который переходит в фиолетовый при давлениях значительно ниже атмосферного.

Из экспериментальных данных, представленных на рис. 2, и сопоставления графиков на рис. 1, а, б следует, что в области $p = 0,2 \div 5,0$ МПа значение $C_{пр}$ для исследованных материалов в гелиево-кислородной среде ниже, чем в азотно-кислородной. В области низких давлений газовой смеси (меньше 0,2 МПа) предельная концентрация кислорода в гелиево-кислородной среде выше, чем в азотно-кислородной. Таким образом, величина $C_{пр}$ полимерных материалов зависит от давления газовой смеси и от инертного разбавителя. Зависимость $C_{пр}$ от p газовой смеси наиболее существенно изменяется в области низких давлений. Так, в гелиево-кислородной среде при изменении p от 0,04 до 0,1 МПа $C_{пр}$ для ПММА снижается с 23,5 до 17%, а при увеличении p от 1,0 до 4,0 МПа — с 13 до 9,5%.

Горение материала обуславливается потоком тепла из зоны химической реакции, который нагревает окружающий эту зону газ, а также на-

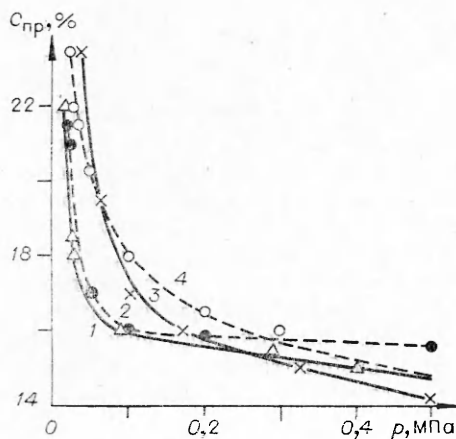


Рис. 2. Зависимость предельной концентрации кислорода от давления в азотно-кислородной (1, 2) и гелиево-кислородной (3, 4) смесях.
1, 3 — полиметилметакрилат; 2, 4 — резина.

гревает и газифицирует горючий материал. Кислород и продукты газификации горючего подводятся в зону реакции диффузией. Теплообмен между пламенем и поверхностью образца в рассматриваемом случае осуществляется в основном теплопроводностью и излучением, т. е. величина теплового потока может быть представлена в виде

$$q \simeq \frac{\lambda (T_{\text{п}} - T_{\text{к}})}{l} + \varepsilon_{\text{пр}} \sigma (T_{\text{п}}^4 - T_{\text{к}}^4),$$

где λ — коэффициент теплопроводности среды между поверхностью пламени и конденсированной фазой; $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{к}}$ — температура пламени и конденсированной фазы; σ — постоянная Стефана — Больцмана; $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенная степень черноты; l — расстояние между образцом и пламенем.

Рассмотрим вопрос о влиянии давления газовой смеси на теплообмен пламени с поверхностью материала. При горении исследованных материалов в процессе теплообмена пламени с конденсированной фазой, по-видимому, преобладает кондуктивная теплопередача. На предельных режимах горения, как показано в [1], температуры максимальная в зоне пламени и поверхности образцов практически не зависят от давления газовой смеси. Давление слабо влияет на состав продуктов пиролиза полимеров и коэффициент теплопроводности газовой смеси [2]. Эксперименты показали, что с увеличением давления газовой смеси расстояние между пламенем и поверхностью образца уменьшается и, судя по приведенной выше формуле, тепловой поток от пламени к материалу растет. Следовательно, для поддержания устойчивого горения образцов скорость пиролиза может быть уменьшена и требуется меньше окислителя в газовой смеси. Влияние инертного разбавителя на величину $C_{\text{пр}}$ для одного и того же материала, по-видимому, объясняется отличием коэффициентов теплопроводности гелиево-кислородной и азотно-кислородной среды и вкладом кондуктивной и лучистой составляющей теплового потока при различных давлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Мелихов и др. ФГВ, 1982, 18, 3, 44.
2. Р. Рид, Т. Шервуд. Свойства газов и жидкостей. М.: Физматгиз, 1964.

УДК 532.529

ПЕРЕХОД КОНВЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ВВ В ДЕТОНАЦИЮ

Р. И. Нигматулин, П. Б. Вайнштейн, И. Ш. Ахатов
(Москва)

Уравнения, описывающие плоское одномерное движение порошкообразной, газонасыщенной среды, при наличии гетерогенных химических реакций, возьмем в виде [1]:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial x} = J, \quad \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v_2}{\partial x} = -J, \quad \frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial n v_2}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v_1^2}{\partial x} + \alpha_1 \frac{\partial p_1}{\partial x} = -j + J v_2, \quad \rho_i = \alpha_i \rho_i^0 \quad (i = 1, 2), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_2 v_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v_2^2}{\partial x} + \alpha_2 \frac{\partial p_1}{\partial x} + \frac{\partial p_f}{\partial x} = f - J v_2, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad \rho_2^0 = \text{const},$$

$$\frac{\partial \rho_i e_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v_1 e_i}{\partial x} + p_1 \frac{\partial}{\partial x} (\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2) + \xi_1 p_f \frac{\partial v_2}{\partial x} = f (v_1 - v_2) - q + J [e_2 + 1/2 (v_1 - v_2)^2], \quad e_1 = c_{v1} (T_1 - T_0), \quad (3)$$