

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ОКИСИ СВИНЦА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ БАЛЛИСТИТНОГО ПОРОХА ПО ТЕПЛОВЫМ ШУМАМ ПОВЕРХНОСТИ

В. М. Зенченко, Ю. С. Иващенко, В. С. Еремеев, В. Л. Павленко
(Красноярск)

В работе [1] изложена методика определения температуры поверхности горения пороха, основанная на использовании известного выражения Найквиста, связывающего величину сопротивления $R_{\text{п}}$ поверхности и уровень теплового шума $\bar{e}_{\text{ш}}^2$ (тепловых флуктуаций) носителей заряда с температурой поверхности $T_{\text{п}}$ соотношением

$$\bar{e}_{\text{ш}}^2 = 4kR_{\text{п}}T_{\text{п}}\Delta f, \quad (1)$$

где $\bar{e}_{\text{ш}}^2$ — среднеквадратичное значение ЭДС теплового шума, генерируемой сопротивлением $R_{\text{п}}$; k — постоянная Больцмана; Δf — полоса частот, в которой усиливается тепловой шум.

Для применения выражения Найквиста необходимо наличие заметной электропроводности исследуемой среды. Электрическая проводимость поверхности горения баллиститного пороха возникает, как и у всех полимерных материалов, за счет экспоненциальной связи проводимости с температурой и коксования полимера.

Поверхность горения баллиститного пороха вследствие сажеобразования [2] представляет собой дисперсную систему, состоящую из высокопроводящего наполнителя (сажи), распределенного в слабопроводящем расплаве полимерной основы пороха.

Поскольку электропроводность частиц сажи, образующихся при горении углеводородных топлив, составляет $\sim 10^5 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ при электропроводности расплава полимера $\leq 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$, измеряемая электропроводность поверхности горения баллиститного пороха определяется объемным содержанием сажи в поверхностном слое.

Измерялась электропроводность поверхности баллиститных порохов Н и Н+1% РbO. Электропроводность измерялась на переменном токе частотой 1000 Гц с помощью сгорающих пленочных электродов из олова, нанесенных напылением в вакууме на большие грани прямоугольных образцов пороха сечением $7,5 \times 15$ и длиной 100 мм. Для обеспечения торцевого горения образцы покрывались слоем парафина. В опытах определялась величина удельной электропроводности поверхности

$$\sigma_{\text{п}} = d/Rbh, \quad (2)$$

где R — измеренное сопротивление к-фазы; d — расстояние между электродами; b — ширина электродов; h — толщина реакционного слоя в к-фазе.

Учитывая неопределенность величины h , в выражении (2) вместо нее использовалась толщина прогретого слоя $\delta = \kappa/u$ ($\kappa \approx 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ — коэффициент температуропроводности; u — скорость горения), позволяющая косвенно учитывать характер изменения h со скоростью горения.

На рис. 1 даны зависимости электропроводности поверхности горения порохов Н (1) и Н+1% РbO (2) от давления (такая же нумерация линий сохранится и в дальнейшем). Электропроводность поверхности пороха Н линейно увеличивается (в логарифмическом масштабе) с давлением, что объясняется увеличением степени деструкции нитроцеллюлозы и образованием на поверхности углеродистых соединений вплоть до частиц сажи, обладающих высокой электропроводностью.

В области давлений до 4 МПа для пороха Н+1% РbO также наблюдается рост $\sigma_{\text{п}}(p)$, при этом электропроводность поверхности горения превышает электропроводность поверхности пороха Н за счет более интенсивного сажеобразования. Начиная с $p=4$ МПа, рост электропроводности с давлением замедляется и при $p>5$ МПа электропроводность поверхности пороха Н+1% РbO начинает уменьшаться.

Исходя из представления о проводимости поверхностного слоя за счет сажеобразования, можно предположить, что при введении в состав пороха окиси свинца интенсивность сажеобразования, начиная с $p \sim 5$ МПа, падает. Именно в интервале $p=4 \div 6$ МПа наблюдается замедление в росте зависимости $u(p)$ пороха Н+1% РbO (рис. 2).

Уменьшение скорости горения пороха Н+1% РbO, вероятно, связано со снижением каталитического действия РbO за счет его агломерации при снижении содержания сажи на поверхности горения [2].

На рис. 3 даны зависимости температуры поверхности от давления, полученные термометровым методом на частоте 20 МГц при начальной температуре образцов 20°C . Погрешность измерения температуры составляла 2% (при доверительной вероятности 0,95). Температура поверхности пороха Н при $p=4$ МПа равна 660 К и совпадает с данными термометра [3]. Однако в дальнейшем температура монотон-

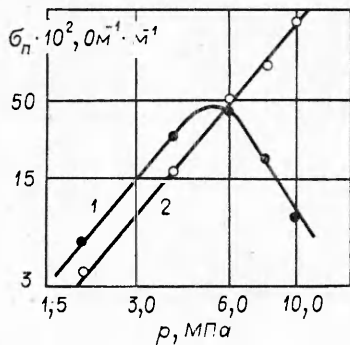


Рис. 1.

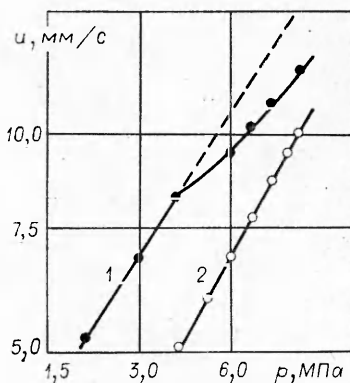


Рис. 2.

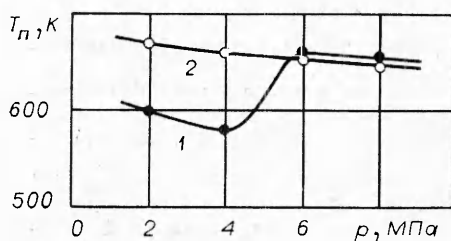


Рис. 3.

по уменьшается с давлением до 650 К при $p=8$ МПа. Статистическая обработка результатов измерений показывает, что коэффициент корреляции зависимости $T_n(p)$ отрицателен ($r = -0,2$) с доверительной вероятностью 0,95. Причиной стабилизации или снижения температуры поверхности могут быть процессы, связанные с испарением и диспергированием поверхностного слоя пороха.

Температура поверхности пороха Н+1% РbО в области давлений до 4 МПа ниже на ~ 70 К и также понижается с давлением. Однако при достижении $p \sim$

~ 5 МПа она скачком возрастает до величины ~ 660 К при $p=6$ МПа и практически сравнивается с температурой поверхности пороха Н. В дальнейшем наблюдается понижение температуры поверхности.

Анализ зависимостей скорости горения, электропроводности и температуры поверхности от давления говорит о действии добавки окиси свинца, начиная с давления ~ 5 МПа, через процесс сажеобразования в к-фазе.

Изучение зависимости температуры поверхности горения от давления на примере пороха Н+1% РbО показывает отсутствие связи скорости горения с температурой к-фазы. Можно ожидать, что такая связь существует с температурой газовой фазы, близко расположенной или смыкающейся с поверхностью горения.

Отличие полученных результатов от данных термопар объясняется избирательностью термозумового метода, позволяющего измерять температуру непосредственно к-фазы даже в условиях вспененного слоя за счет различия в электрофизических свойствах газа и к-фазы. Термопары регистрируют «кажущуюся» температуру поверхности, растущую с давлением вследствие роста температуры газовых включений и сокращения протяженности дымогазовой зоны.

Поступила в редакцию 17/II 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Иващенко, В. М. Зенченко. ФГВ, 1979, 15, 1.
2. А. П. Денисюк, А. Д. Марголин и др. ФГВ, 1977, 13, 4.
3. А. А. Зенин. ФГВ, 1966, 2, 3.

УДК 536.655.532.8071±

ВЛИЯНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНОСТИ НА ГОРЕНИЕ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ

А. И. Васильев, И. И. Храмов
(Горький)

Развитие молекулярной физики и физики жидких состояний позволяет оценить процесс горения при ламинарном и переходном режиме с точки зрения устойчивости виртуальных изменений плотности и существования метастабильных состояний, проникающих в область конкурирующей фазы. Известна точка зрения ряда исследо-