

летучих. Предпринята попытка расширения на такие системы феноменологической модели Зельдовича — Новожилова для нестационарного горения твердого топлива. Приведена система уравнений, описывающих процесс горения с подповерхностной газификацией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зарко В. Е., Зырянов В. Я., Куценогий К. П. *Archivum combustionis*, 1984, 4, 2.
2. Булдаков В. Ф., Романов О. Я., Шелухин Г. Г. Физика аэродисперсных систем, 1973, 8.
3. Новожилов Б. В. Нестационарное горение твердых ракетных топлив.— М.: Наука, 1973.
4. Зенин А. А. // Физические процессы при горении и взрыве.— М.: Атомиздат, 1980.

Поступила в редакцию 15/V 1988

УДК 536.46

### ПРЕДЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ГАЗОФАЗНОГО ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВИБРАЦИИ

*В. И. Калинин, В. И. Потякин, А. С. Мелихов,  
Ю. С. Масловский, С. А. Пахомов  
(Балашиха)*

Циклические массовые перегрузки — один из тех эксплуатационных факторов, которые с наибольшей вероятностью могут привести к появлению неисправностей в электросистемах различного назначения и к возникновению процесса горения. При вибрации перегрузки достигают нескольких десятков  $g_0$  ( $g_0 = 9,8 \text{ м/с}^2$ ), а диапазон частот обычно лежит в пределах от  $1,5$  до  $2 \cdot 10^3$  Гц.

В работе [1] исследовалось влияние перегрузок на предел горения по концентрации кислорода для полимерных материалов, установлено, что при  $g > 1$  его значение возрастает. Известно также, что колебания газовой среды в определенном диапазоне частот интенсифицируют процесс пламенного горения [2]. Однако влияние вибрации на горение системы твердый материал — пламя практически не изучалось. В данной работе приведены некоторые результаты, полученные при исследовании указанной проблемы.

Эксперименты проводились при атмосферном давлении и объемной концентрации кислорода от 18 до 25 %. Установка состояла из металлического сосуда ( $90 \times 90 \times 450$  мм) с окном для визуального наблюдения и специального смесительного устройства [3], посредством которого создавался направленный снизу вверх равномерный по сечению поток азотно-кислородной среды с заданной концентрацией кислорода. В центре сосуда размещается образец ( $2 \times 15 \times 80$  мм) полиметилметакрилата, жестко соединенный кронштейном с корпусом. Основание сосуда крепилось к столу вибратора с максимальной величиной вектора силы  $2 \cdot 10^3$  кг и с рабочим диапазоном частот в синусоидальном режиме от 5 до  $4 \cdot 10^3$  Гц. Колебания происходили в вертикальном направлении.

Методика проведения экспериментов состояла в следующем. Образец устанавливался в сосуде и фиксировался в вертикальном положении. Затем подавалась азотно-кислородная смесь (при этом скорость потока в сосуде составляла  $\sim 0,08$  м/с) и образец зажигался сверху электро-спиралью. После начала устойчивого горения включался вибратор. При заданной частоте устанавливалась некоторая начальная амплитуда колебаний  $A$ . Если заметных изменений пламени не наблюдалось, то плавно увеличивалась амплитуда колебаний до значений, при которых процесс горения прекращается.

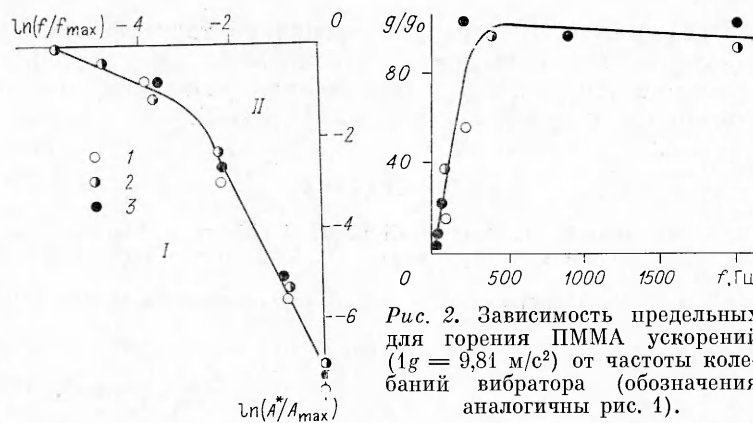


Рис. 1. Зависимость предельной для горения ПММА амплитуды колебаний от частоты;  $A_{\max} = 7$  мм,  $f_{\max} = 2 \cdot 10^3$  Гц,  $A^*$  — предельное значение амплитуды, при которой горение прекращается. [O], %: 1 — 18, 2 — 21, 3 — 25.

Рис. 2. Зависимость предельных для горения ПММА ускорений ( $1g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>) от частоты колебаний вибратора (обозначения аналогичны рис. 1).

Частота вибрации  $f$  устанавливалась дискретно: 5, 10, 15, 200, 800, 2000 Гц. Максимальное значение амплитуды  $A_{\max}$  ограничивалось величиной перегрузок, допускаемых вибростендом, которое составляло  $\sim 100 g$ .

На рис. 1 приведена зависимость предельных условий горения образца от параметров вибрации. Видно, что с возрастанием частоты колебаний значения  $A^*$  уменьшаются, при этом концентрация кислорода в исследуемом диапазоне не оказывала заметного влияния на предельные условия горения. График приведенной зависимости образует область под кривой, где горение имеет место (I), и над кривой, где горение невозможно (II). Имеющийся перегиб обусловлен различием механизмов, создающих предельные для горения условия.

При визуальном наблюдении за горением, протекающим под влиянием вибрации, отмечено следующее. В области частот до  $f \approx 200$  Гц и относительно больших значений  $A$  потуханию пламени предшествовало хаотическое изменение его формы, расширение и снижение яркости свечения. Высокотемпературная зона химической реакции становилась размытой. Образец в процессе колебаний проникал в зону пламени. По-видимому, в этой области частот потухание происходило за счет возрастания тепловых потерь из зоны реакции, обусловленных нарушением концентрационной структуры пламени, которое синхронно не отслеживает колебания образца, проникновением твердой фазы с прилегающим холодным пограничным слоем в зону реакции, а также увеличением лучистых потерь.

При  $f > 200$  Гц характер горения в области предельных режимов существенно отличался. Плавное увеличение амплитуды колебаний горящего образца до предельных значений приводило к резкому уменьшению высоты пламени. При этом оно приближалось к поверхности горения, сильно уменьшалось в размерах и затем потухало. В данной области предельный режим горения образца, вероятно, достигался в результате увеличения действия циклических перегрузок, тормозящих вылет продуктов газификации топлива и отвод продуктов горения, что, в частности, подтверждается данными, представленными на рис. 2. Из графика следует, что предельная величина перегрузок в достаточно широком диапазоне частот практически не меняется. Это подтверждает предположение о том, что, начиная с некоторых значений, перегрузки уменьшают среднюю скорость движения продуктов газификации полимера в зону реакции. В результате пламя, уменьшаясь в размерах, быстро приближается к поверхности образца, возрастают потери в конденсированную фазу и процесс горения прекращается [4].

Таким образом, можно заключить, что вибрация при определенных соотношениях частоты и амплитуды колебаний может быть фактором, подавляющим процесс газофазного горения полимерных материалов. Следует также отметить, что необходимы дополнительные исследования для детального изучения причин, вызывающих предельные явления при горении. С этой целью предполагается провести эксперименты по определению особенностей взаимодействия пламени (при неподвижном образце) с гармоническими колебаниями окружающей газовой среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марголин А. Д., Крупкин В. Г. Докл. АН СССР, 1981, 257, 6.
2. Раушенбах Б. В. Вибрационное горение.— М.: Физматгиз, 1961.
3. Болодьян И. А., Мелихов А. С., Третьяков В. А. // Пожарная профилактика.— М.: ВНИИПО, 1979.— Вып. 13.
4. Рыбанин С. С., Соболев С. Л. ФГВ, 1983, 19, 4.

Поступила в редакцию 15/VI 1987,  
после доработки — 15/IX 1987

УДК 614.841.41

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ СКОРОСТИ ВЫГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

*И. С. Молчадский, Н. К. Гриневецкий, Б. С. Лимонов,  
В. С. Махин, А. Д. Голиков, В. М. Макаров,  
А. Н. Бородин  
(Москва)*

Массовая скорость выгорания материалов — важнейшая количественная характеристика горения, в значительной степени определяющая изменение теплотехнических параметров пожара, его интенсивность и др. Известно, что массовая скорость выгорания материалов не является физико-химической константой, поэтому при использовании литературных данных для практических целей следует учитывать условия, в которых она определена, и в необходимых случаях вносить соответствующие поправки.

Анализ существующих методов определения скорости выгорания твердых материалов [1—4] показывает, что испытание материалов, как правило, проводится при их расположении в виде штабеля. Кроме того, не всегда обоснованы условия проведения экспериментов (характеристики штабеля, размер проемов, расход воздуха и др. параметры). Например, данные для одного материала (древесины) отличаются более чем в 5 раз [1—4]. Для твердых веществ и материалов существуют два понятия массовой скорости выгорания  $M$ : действительная, отнесенная к полной поверхности горения, и приведенная, отнесенная к площади пожара. Первая более точно характеризует способность материала к горению, но ее трудно определить из-за сложности точного учета фактической поверхности горения. На практике широко используется приведенная скорость выгорания, которая наиболее достоверно в настоящее время определяется экспериментально на крупномасштабных установках типа камера — весы [4].

В работе [5] приведены результаты крупномасштабных исследований, позволяющие прогнозировать изменение скорости выгорания древесины на реальных пожарах. Несмотря на достоверность данных [5], следует обратить внимание на большую трудоемкость проведения экспериментов и их высокую стоимость. А имея в виду большое разнообразие встречающихся в практике сгораемых материалов, следует признать нецелесообразность использования изложенного метода (крупномасштаб-