

*В.А. Ващенко, д-р техн. наук, профессор ЧДТУ, Черкассы,  
П.И. Заика, канд. техн. наук, доцент, АПБ им. Героев Чернобыля,  
В.Н. Андриенко, канд. истор. наук, АПБ им. Героев Чернобыля*

## **МЕТОДИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

(представлено д-ром хим. наук Р.А. Яковлевой)

Разработан комплекс методик для исследования скорости и пределов горения металлизированных конденсированных систем при температурах нагрева до +300°C, внешних давлениях до 250 кг/см<sup>2</sup> и угловых скоростей осесимметричного вращения до 7000 об/мин.

**Постановка проблемы.** Различные динамические условия эксплуатации (температура нагрева, внешнее давление, обдув потоком воздуха, осесимметричное вращение и др.) широкого класса изделий военной техники и народного хозяйства (твердые металлизированные топлива, пиротехнические ИК-излучатели, трассирующие и осветительные средства, газогенерирующие составы, средства космической техники и др.) на основе металлизированных конденсированных систем (МКС) могут привести к возникновению пожаровзрывоопасной ситуации.

Существует проблема по прогнозированию скорости и пределов скорости стабильного горения МКС в широком диапазоне изменения температур нагрева, внешних давлениях, скоростей обдува потоком воздуха и угловых скоростей осесимметричного вращения.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Исследованию процессов горения металлизированных конденсированных систем уделяется большое внимание в работах Л.Я. Кашпорова, Н.А. Силина, В.А. Ващенко [1,2]. В экспериментальных условиях рассматривались влияния повышенных температур нагрева, внешних давлений, скорости обдува потоком воздуха и угловых скоростей осесимметричного вращения на скорость и пределы стабильного горения мкс, однако до сих пор отсутствуют апробированные методики для определения скорости и пределов горения металлизированных конденсированных систем в различных условиях эксплуатации.

**Постановка задачи и её решение.** В данной работе представлен разработанный комплекс методик, позволяющий в лабораторных условиях моделировать реальные условия эксплуатации изделий и изучать скорость и пределы стабильного горения МКС в условиях

---

повышенных температур нагрева (до 300°C), внешних давлениях (до 250 кг/см<sup>2</sup>), скоростях обдува потоком воздуха (до 0,5...1 М) и угловых скоростях осесимметричного вращения (до 7000 об/мин).

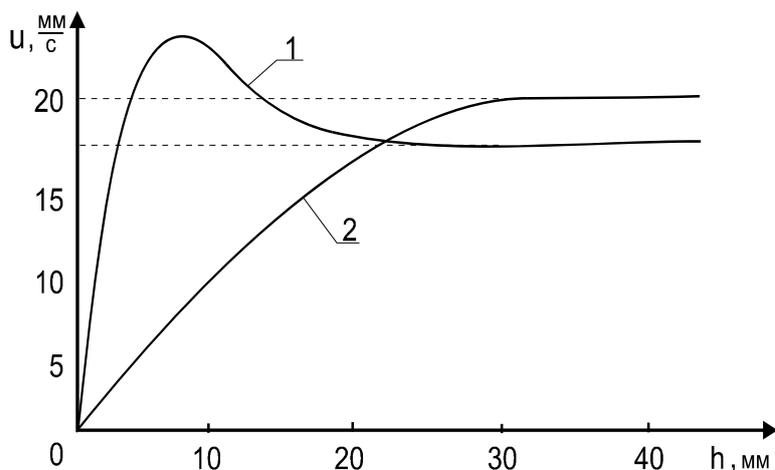
Определенный интерес представляет измерение усредненной обобщенной характеристики волны горения - скорости ее распространения (скорости горения) по образцу МКС в условиях влияния различных внешних условий и установление пределов горения. При этом специфическими условиями работы измерительных систем и установок при сжигании МКС являются широкий диапазон рабочих температур (лежащий в пределах 1400...3800 К) и чрезвычайно высокое (по сравнению с твердыми ракетными топливами, порохами и взрывчатыми веществами) содержание конденсированных продуктов сгорания.

Указанные условия накладывают значительные ограничения на применение традиционных методов измерения скорости горения различных систем (непрерывные методы: рентгеновские, радиоактивные, ультразвуковые, микроволновые, акустические, весо- и массоизмерительные; дискретные методы: метод перегорающих проволок и др.) [1-3,5-6].

Проведенные исследования показали, что при измерении скорости горения МКС наиболее надежными являются бесконтактные методы, при которых датчики, воспринимающие изменения каких-либо физических параметров, не подвергаются непосредственному воздействию высокотемпературных продуктов сгорания. К ним прежде всего относятся методы, основанные на применении датчиков оптического и теплового излучения. Эксперименты, проведенные с целью выбора места расположения приемников оптического или теплового излучения при сжигании образцов на воздухе (в качестве приемников излучения использовались фотодиоды ФД-1, ФД-2, ФД-3), показали, что при регистрации сигнала датчиком, направленным на передний (горящий) торец образца и непрерывно воспринимающим излучение факела, наибольшая составляющая погрешности измерения времени горения (среднее значение линейной скорости горения образца определяется по формуле  $u = \frac{h}{\tau}$ , где  $\tau$  - среднее время горения образца высоты  $h$ ) возникает при завершении процесса горения.

Значительно более четкой и эффективной является регистрация момента окончания процесса горения фотодатчиком, расположенным напротив заднего торца образца и фиксирующим момент возникновения свечения в отверстии, имеющимся в задней торцевой поверхности оболочки. Это дает возможность использовать достаточно простую и доступную в изготовлении конструкцию образца, отличающуюся

щуюся от обычной конструкции, только наличием отверстия в торцевой оболочке.



**Рисунок 1 – Зависимость  $u(h)$  для смесей  $Mg+NaNO_3$  ( $\alpha = 1$ ;  $K_y = 0,95...0,98$ ;  $d_m = 74$  мкм; оболочки металлические толщиной 3 мм; диаметр образца 2 мм): 1 - дисперсность порошка окислителя 250-500 мкм; 2 - дисперсность порошка окислителя 100-140 мкм**

Протяженность участков нестабильного горения для различных МКС может изменяться от единиц до десятков миллиметров. Проведенные исследования зависимости  $u(h)$  для рассматриваемых МКС показали, что при горении одинаковых по процентному составу МКС (например, стехиометрических смесей  $Mg+NaNO_3$ ), но с компонентами, различающимися по дисперсности, нестабильные участки больше у грубодисперсных смесей (рис. 1).

При измерении скорости горения МКС способ воспламенения играет существенную роль. Основное требование к способу воспламенения - малое время воспламенения (определяющееся тепловым потоком) в сочетании с одновременностью воспламенения всей поверхности образца. Для воспламенения образцов МКС чаще всего используется электрическая спираль и пороховая навеска, так как они наиболее просты и обеспечивают большую равномерность воспламенения, чем другие способы.

С целью определения оптимального способа воспламенения было проведено большое количество экспериментов. Исследованию подвергались образцы прессованной воспламенительной смеси диаметром от 10 до 30 мм, полученные различным давлением прессования.

Для воспламенения использовались нихромовые спирали двух видов: цилиндрические и плоские, а также навески зерненного воспламенительного состава, помещенные в воспламенительной камере пирогенного типа, сопло которой направлено на поверхность образ-

---

---

ца, либо расположенные в перкалевом мешочке непосредственно у торца образца. В качестве зерненной навески испытаниям подвергались специальная МКС, дымный порох ДРП и винтовочный порох ВТ.

Эксперименты показали, что время воспламенения и распространения пламени по всей поверхности образца при поджоге спиралями в несколько раз выше, чем при использовании зерненных навесок; из последних наиболее эффективным является дымный порох, размещенный у торца образца в специальной втулке с прорезями, обеспечивающими обтекание торца продуктами сгорания навески.

Все экспериментальные исследования процессов в волне горения, скорости ее распространения по МКС (скорости горения) и установление пределов горения проводились на следующих специально разработанных установках:

– установке для определения скорости горения в области нормальных начальных температур смеси и внешних давлениях до  $250 \text{ кг/см}^2$ .

– установке для определения скорости горения в области повышенных начальных температур (до  $+ 300^\circ\text{C}$ ) смеси и повышенных внешних давлений (до  $250 \text{ кг/см}^2$ ).

– установке для определения скорости горения в условиях совместного воздействия встречного обдува потоком воздуха (до  $1 \text{ М}$ ) и осесимметричного вращения (до  $7000 \text{ об/мин}$ )

**Выводы.** Для исследования физико-химических процессов, протекающих при горении рассматриваемых смесей в указанных выше условиях (повышенных температур нагрева, внешних давлениях, скоростях обдува потоком воздуха, угловых скоростях осесимметричного вращения) использовались следующие известные методы физико-химического анализа: киносъемка (кинокамера “Конвас-автомат”, скорость съемки  $30 \text{ кадр/с}$ ); микрокиносъемка (кинокамера СКС-1М, скорость съемки  $2400 \text{ кадр/с}$ ); рентгеноструктурный и рентгенофазный анализы, спектроскопические методы, методы дифференциального термического анализа (ДТА), термопарные и фотоэлектрические методы, которые положены в основу создания метода для определения скорости и пределов горения металлизированных конденсированных систем в различных условиях эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем /Н. А. Силин, В. А. Ващенко, Л. Я. Кашпоров и др. – М. : Машиностроение, 1978.

---

2. Ващенко В. А. Прогнозирование оптимальных значений температуры и состава продуктов в волне горения, скорости ее распространения по многокомпонентным металлизированным системам. – М.: Деп. в ВИНТИ 18.02.94, №24 – хп 94.

3. Ващенко В.А. Распространение волны горения по конденсированным системам металл + окислитель. – М.: Деп. в ВИНТИ 03.03.94, № 40 – хп 94.

4. Ващенко В.А. Взаимодействие волны горения с конденсированными системами металл + окислитель в динамических условиях. – М.: Деп. в ВИНТИ 03.03.94, № 39 – хп 94.

5. Ващенко В.А., Заика П.И. Пределы распространения волны горения по конденсированным системам типа магний + нитрат натрия. Материалы международной научно-практической конференции “Пожарная безопасность-97”. – М.: Институт пожарной безопасности, 1997, С.72-73.

6. Ващенко В.А., Краснов Д.М., Заика П.И. Процессы горения металлизированных конденсированных систем в условиях сверхзвукового обдува потоком воздуха и вращения. Тезисы II Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях. – Санкт-Петербург, Россия, БГТУ, 1998.

7. Ващенко В.А., Заика П.И., Кириченко О.В. Влияние повышенных температур нагрева и внешних давлений на режимы горения пиротехнических нитратных систем – Вісник Черкаського державного технологічного університету. 3/2008 – Черкаси: ЧДТУ, 2008. – С. 172 -176.

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.