

же  $Q_1 < Q_2$ , то  $\Omega_{кр}^1 > \Omega_{кр}^2$ . При скоростях нагрева, меньших, чем большая из этих скоростей, на термограмме имеется два пика температурного отклонения. В случае  $Q_1 > Q_2$  существует одна критическая скорость нагрева  $\Omega_{кр}$ , при  $\Omega < \Omega_{кр}$  — два пика отклонения.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Если идет сложная реакция, константы скоростей стадий которой равны между собой ( $E_1 = E_2, k_1^0 = k_2^0$ ), на термограмме наблюдается один термический эффект. Процесс можно рассматривать как простую реакцию с  $E = E_1 = E_2$  и суммарным тепловым эффектом. Предэкспоненциальный множитель этой реакции  $k^0 = k_1^0 = k_2^0$  при разложении вещества по параллельным реакциям или в случае последовательных стадий и  $k^0 = k_1^0 + k_2^0$  при независимом протекании параллельных реакций.

2. Если на термограмме два термических эффекта, разделенных квазистационарным участком, то это либо реакция, протекающая в две последовательные стадии, либо две независимые параллельные реакции, скорости которых заметно отличаются и  $\Omega < \min(\Omega_{кр}^1, \Omega_{кр}^2)$ .

3. Разбавление исходного вещества инертным позволяет выявить существование нескольких стадий, если идут последовательные реакции или независимые параллельные.

4. При исследовании параллельных реакций в условиях линейного нагрева полезно ввести в рассмотрение эффективную энергию активации.

Поступила в редакцию 22/VI 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Т. Гонтковская, Н. Н. Озерковская и др. ФГВ, 1978, 14, 6, 92.
2. В. Т. Гонтковская, Н. Н. Озерковская и др. ФГВ, 1980, 16, 1, 63.
3. K. Heide, G. Kluge et al.— In: Thermal Analysis (proceedings fourth ICTA, Budapest, 1974). V. 1, 1975.
4. Н. Н. Семенов. УФН, 1940, 23, 3, 251.
5. V. V. Barzykin, V. T. Gontkovskaya et al.— In: Thermal Analysis (proceedings fourth ICTA, Budapest, 1974). V. 1, 1975.
6. В. Г. Абрамов, Д. А. Ваганов, Н. Г. Самойленко. Докл. АН СССР, 1975, 224, 1, 416.

УДК 541.128.3+538.69+662.311.1

### ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ СОСТАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ДОБАВКИ

А. И. Лесникович, С. В. Левчик, В. Г. Гуслев

(Минск)

Изложены результаты опытов, поставленных для выяснения возможности воздействия магнитного поля на скорость горения смесевых систем, содержащих ферромагнитные добавки — регуляторы скорости горения. Такая возможность представляется реальной, так как с помощью достаточно сильного ( $\sim 1000$  Э) магнитного поля можно изменить время пребывания ферромагнитной добавки в зоне влияния ее на горение, но она не очевидна, поскольку химическая агрессивность среды и высокие температуры в волне горения приводят к быстрой потере добавкой ферромагнитных свойств.

Исследовалось горение образцов — трубок из оргстекла высотой 20 и внутренним диаметром 8 мм, наполненных под давлением составом на основе перхлората аммония (85%, смесь в равных пропорциях двух си-

товых фракций: 50 и 50—140 мкм) и каучукоподобного связующего. В качестве добавок взяты ферромагнитные вещества различной химической природы: металлический никель, феррит кобальта ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ), магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Феррит кобальта получен совместным осаждением из горячего водного раствора нитрата кобальта (II) и нитрата железа (III) избыточным количеством концентрированного едкого натра, а магнетит — аналогичным образом, но при комнатной температуре и с применением хлоридов двух- и трехвалентного железа и аммиака. Размеры частиц полученных веществ не превышали 50 мкм и представляли собой агрегаты первичных частиц, средний размер которых определен по уширению линий на рентгенограммах и составлял 0,015 мкм. Один из препаратов ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) получен в присутствии поверхностно-активного вещества — олеиновой кислоты. Это предотвратило агрегацию первичных частиц, что подтверждено электронно-микроскопически. Размеры частиц никеля не превышали 7 мкм. Все образцы добавок обладали ферромагнитными свойствами.

Сжигание составов при давлении 4,05 МПа проводилось в атмосфере азота в бомбе постоянного давления, изготовленной из немагнитного материала (сталь X18H10T), а также на воздухе при атмосферном давлении. В последнем случае сжигание образцов проводилось на подставке из мягкой стали, изготовленной в виде усеченного конуса с диаметром верхнего сечения 5 мм, которая основанием устанавливалась на полюс постоянно-го магнита. Напряженность магнитного поля  $H$  в зависимости от расстояния  $l$  до подставки менялась следующим образом:

$l$ , мм	80	50	30	20	15	10	5	2
$H$ , Э	230	380	590	770	930	1130	1630	>2000

В бомбе магнитное поле создавалось с помощью вставленного в нее соленоида, имеющего диаметр отверстия 10 мм, в которое на расстоянии 35 мм от выхода помещен сердечник из мягкой стали. Соленоид питался постоянным током напряжением 80 В. Напряженность магнитного поля на выходе соленоида составляла 900 Э. Горение составов на воздухе и в бомбе проходило стационарно. Для получения надежных результатов в одинаковых условиях сжигалось от 8 до 20 образцов одного состава. Линейные скорости горения (в мм/с) составов в магнитном поле и без него, стандартные ошибки скорости при 95%-ном доверительном уровне приведены в таблице.

Из таблицы следует, что при использовании  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  и менее дисперсной из двух исследованных добавок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  магнитное поле оказывает слабое, но превышающее ошибки измерений, замедляющее влияние на скорость горения образцов при атмосферном давлении. Отсутствие эффекта в случае никеля может быть обусловлено несколькими причинами: слабым влиянием этой добавки на скорость горения, окислением металла при горении составов и низкой температурой Кюри для никеля (631 К [1]). Более активные, химически устойчивые катализаторы  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , характеризующиеся также большими значениями температуры Кюри (793 и 858 К соответственно [2]), несколько меняют свою эффективность в магнитном поле. Как и никель, эти добавки могут терять ферромагнитные свойства не только за счет перехода точки Кюри, но и в результате химического превращения при горении. По-видимому, сравнительно быстрым химическим превращением мелких частиц и обусловлено отсутствие влияния магнитного поля на эффективность мелкодисперсного  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , если это влияние не маскируется несколько большей ошибкой опыта.

При повышении давления растут температурный градиент у поверхности топлива и температура поверхности, что может вызвать быструю потерю ферромагнитных свойств добавки. В этих условиях влияние магнитного поля на горение не превышает ошибок измерения.

Изменение под действием магнитного поля эффективности катализаторов горения с температурой Кюри, близкой к температуре поверхности

Условия сжигания	Добавки и их массовое содержание				
	без добавки	3% Ni	3% Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1,5% высокоокислительного Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3% CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
На воздухе	1,03±0,01 <sub>k</sub>	1,10±0,01	1,31±0,01	1,53±0,05	1,56±0,03
	1,02±0,01	1,08±0,1	1,27±0,01	1,48±0,5	1,48±0,02
В азоте	11,3±1,0	11,5±0,8	—	—	14,7±0,5
	11,4±0,7	12,1±0,5	—	—	14,4±0,5

Примечание. Цифры в числителе получены в отсутствие, а в знаменателе — при наличии магнитного поля.

горения топлива, свидетельствует о том, что эти катализаторы оказывают влияние на скорость горения уже в области сравнительно низких температур — до потери ферромагнитных свойств, которая, как отмечалось, может быть вызвана не только достижением точки Кюри, но и химическим превращением добавок, возможным и до температуры Кюри. Неожиданным при этом оказалось замедляющее действие магнитного поля на горение. Предварительное объяснение этому можно дать с учетом сведений о том, что в процессе горения частицы катализатора способны перемещаться по поверхности, что приводит, в частности, к их агломерации [3]. Такое перемещение увеличивает эффективную концентрацию катализатора на поверхности и способствует росту скорости горения. В присутствии магнитного поля движение частиц заторможено, а прирост скорости горения за счет увеличения времени пребывания катализатора на поверхности оказывается меньше, чем ее уменьшение, вызванное потерей подвижности частиц катализатора. Отметим, что уменьшение теплоприхода из газовой фазы за счет возможного образования теплоизолирующего слоя из частиц катализатора на поверхности исключено ввиду достаточно низких значений температуры Кюри.

Изложенные результаты показывают, что магнитное воздействие на горение топлив, содержащих ферромагнитные добавки, может быть полезным при выяснении механизма влияния добавок на скорость горения.

Поступила в редакцию 14/VIII 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Вонсовский, И. С. Шур. Ферромагнетизм. М.—Л.: Гостехиздат, 1948.
2. Я. Смит, Х. Вейн. Ферриты. М.: ИЛ, 1962.
3. В. М. Мальцев, М. И. Мальцев, Л. Я. Кашпоров. Основные характеристики горения. М.: Химия, 1977.

УДК 536.46

### ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВИБРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ

А. М. Аввакумов, И. А. Чучкалов, А. И. Китаев  
(Чебоксары)

Фазовые соотношения между колебаниями газовых масс и процесса горения, даже если известен ожидаемый механизм возбуждения, как правило, расчету не поддаются [1]. Это создает определенные трудности на пути предсказания вибрационного режима работы камер сгорания и управления им.

Однако, как было показано в [2, 3] для различных моделей вибрационного горения (труба, открытая с одного конца, поющее пламя, труба Рийке), фазовые соотношения между колебаниями теплоподвода и давления наиболее существенно зависят от ограниченного числа параметров: нор-