

УДК 662.76.032

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ГАЗОВ

© 2013 А. А. Новиков, Н. А. Ершихин

Самарский государственный технический университет

Приведены результаты исследований по разработке способа сжигания газогенерирующих составов (ГГС) в режиме вынужденной конвекции продуктов сгорания (РВКПС) и факторов, оказывающих влияние на конструкцию химического источника газа (ХИГ). Исследовано влияние количества окислителя на режим и скорость горения топлива в РВКПС. Показано, что относительная площадь каналов оказывает влияние на характер горения пористого заряда. При увеличении количества каналов и их площади до 5% скорость горения и расход газа увеличиваются, а от 5% и до 25% уменьшаются. Установлено, что многоканальные блоки с фиксированной пористостью обеспечивают постоянство расходно-временных характеристик, позволяют снизить давление в камере в 10-15 раз и увеличить длину заряда до десяти диаметров.

Сверхтемпературные топлива, способ сжигания, устройство, характеристики.

Новый вид газогенерирующих устройств на основе специальных твёрдых топлив нашёл широкое применение в системах пожаротушения, средствах спасения на воде, системах наддува, пневмокомкратах, системах вытеснения, для которых используются сжатые газы.

Такие устройства были названы химическими источниками газа (ХИГ). Они отличаются от газогенераторов на твёрдых топливах тем, что обеспечивают на выходе из устройства газ с температурой от 500 К до температуры окружающей среды. Эти устройства позволяют получать как чистые газы ($N_2; H_2; O_2; F_2; CO$), так и смеси ($N_2; H_2; H_2O; CO; CO_2$), характерные для продуктов горения твёрдых топлив.

Вид генерируемого газа обеспечивается подбором соответствующих компонентов газогенерирующих составов (ГГС) и новым способом сжигания ГГС [1]. Основными компонентами ГГС являются: основной генерирующий данный газ компонент, окислитель, охлаждающая добавка и связующее, что позволяет получать блоки необходимой геометрической формы и пористости.

Сравнительный анализ ХИГ и устройств на сжатом газе показывает, что ХИГ превосходят последние в 2-5 раз по массогабаритным характеристикам, обес-

печивают автоматическое срабатывание при контакте с водой и позволяют получать газ, состоящий на 100% из N_2 . Наиболее сложной проблемой является задача получения газа с температурой не более 60°C.

Эта проблема может быть решена при условии использования сверхнизкотемпературных ГГС с температурой в зоне реакции ниже 1000 К. С другой стороны, температура в зоне реакции T_s должна быть выше температуры начала интенсивного разложения ($T_{нпр}$) газогенерирующих компонентов: $T_s > T_{нпр}$. В соответствии с этим подбор компонентов осуществляется как по $T_{нпр}$, так и по составу генерируемых газов.

Однако в этом случае ($T_{нпр}=200-400^\circ C$) невозможно организовать устойчивый процесс горения по традиционному механизму. Поэтому все существующие устройства, реализующие традиционный механизм послойного горения с последующим охлаждением газа за счёт эндотермически разлагающихся веществ и аккумуляторов тепла, не позволяют получать газ с температурой ниже 300°C.

Для осуществления генерации газа с определёнными расходно-временными характеристиками необходимо создать такие условия, чтобы реакция в k -фазе была самораспространяющейся при минималь-

ной calorийности. Это возможно в том случае, когда тепловая энергия будет оставаться в зоне реакции и прогревом слое κ -фазы, а не уноситься с продуктами разложения. С этой целью был реализован режим горения, названный режимом вынужденной конвекции продуктов сгорания через пористый состав. Этот режим существенно отличается от линейного пиролиза [2], так как в κ -фазе протекают экзотермические реакции окисления, так и от фильтрационного горения, широко используемого в технологии СВС, когда

окислитель подаётся в виде газа (получение нитридов) [3].

В предлагаемом варианте экзотермическая реакция инициируется воспламенителем с торца донной части пористого блока твёрдого топлива, что создаёт перепад давления, под действием которого газообразные и жидкие продукты сгорания (ПС) проникают в поры и, опережая фронт горения, передают тепло холодным слоям топлива, подготавливая топливо к химическим реакциям и охлаждаясь в пределе до температуры окружающей среды (рис.1).

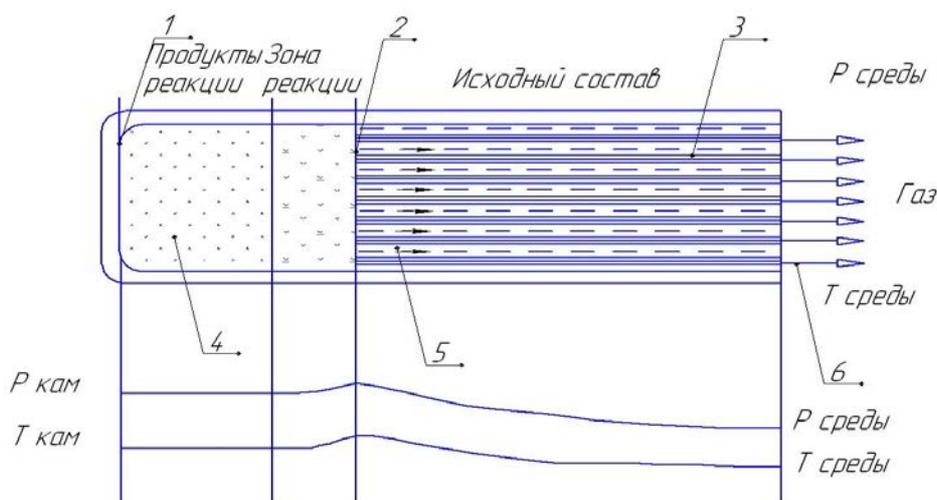


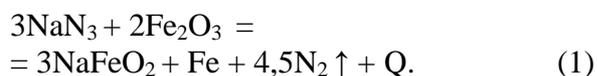
Рис.1. Режим вынужденной конвекции продуктов сгорания (РВКПС):

1 – полузамкнутая оболочка; 2 – фронт горения; 3 – исходный пористый состав; 4 – продукты сгорания; 5 – направление движения фронта горения; 6 – направление истечения газов

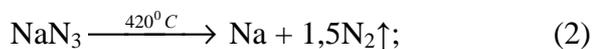
В отличие от классического варианта для организации устойчивого процесса горения в РВКПС необходимо учитывать ряд факторов:

- коэффициент избытка окисляющих элементов или соответственно calorийность состава;
- пористость блока или его газопроницаемость;
- наличие шлаков в ПС.

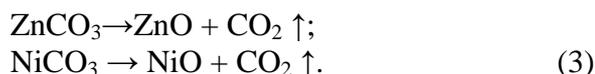
Первый фактор определяет характер течения реакций окисления. Например, применительно к случаю получения азота по реакции:



При этом тепло будет расходоваться на прогрев следующего слоя топлива и разложение избытка NaN_3 (азида натрия):



а также на эндотермически разлагающиеся добавки:



Учёт этих факторов позволяет организовать устойчивый процесс горения топлива при РВКПС, что определяет разработку способа сжигания сверхнизкока-

лорийных топлив и работу на его основе соответствующих устройств [1].

Увеличение компонентов окислителя приводит к росту калорийности, скоро-

сти горения и изменяет характер горения топлива (табл.1) от линейного до объёмного.

Таблица 1. Влияние количества окислителя на характер РВКПС в пористых зарядах

Содержание окислителя, Fe_2O_3 , %	5	7	8	17	33	5
Скорость горения, мм/с	-	8	12	17	78	167
Калорийность состава, кДж/кг	-	439,32	485,34	585,76	794,96	1004,23
Характер горения	Горение отсутствует	Устойчивый режим горения			Резко прогрессивное горение	
Температура газа, $^{\circ}\text{C}$	-	20	20	48	180	600

Составы, способные гореть только в определённом интервале значений калорийности, которые устойчиво горят в РВКПС, были названы сверхнизкокалорийными.

Горение сверхнизкокалорийных составов в РВКПС предполагает наличие блоков со сквозной пористостью, газопроницаемость которых определяет расходные характеристики и термодинамические параметры газа. Такие условия создаются в насыпных и подпрессованных блоках, в монолитных многоканальных и в блоках с фиксированной пористостью.

Недостатками пористых зарядов являются низкий коэффициент заполнения камеры топливом и высокие значения внутрикамерных давлений (20-25 МПа). С целью снижения давления и повышения коэффициента заполнения камеры топливом стали применять монолитные многоканальные блоки с числом каналов от 7 до 30 и диаметром от 0.5 до 2.0 мм, при диаметре заряда 22 мм и плотности ГГС – 1,3 г/см³.

При этом было установлено, что количество каналов, точнее их суммарная площадь, оказывает влияние на рабочие параметры ХИГ (рис.2).

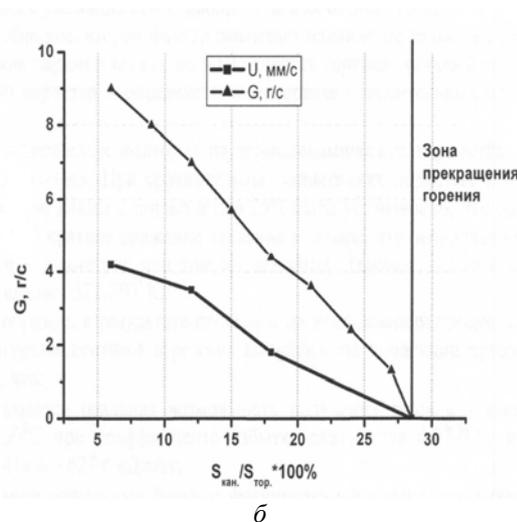
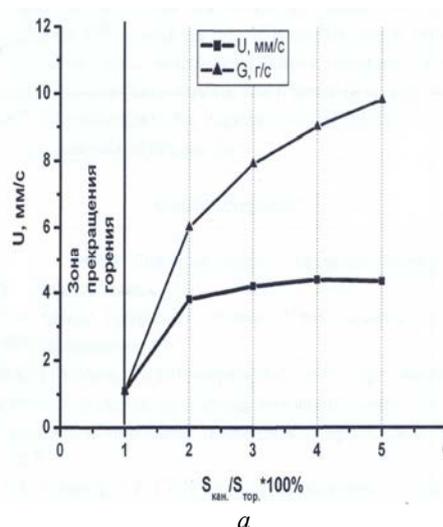


Рис.2. Зависимость скорости горения и секундного расхода от относительной площади сечения каналов

Для исследованных топлив с калорийностью 200-400 кДж/кг увеличение относительной площади сечения каналов от некоторой предельной величины (примерно 1%) приводит к росту скорости горения до её максимального значения при $S_{кан} / S_{тор} \approx 5\%$ (рис.2, а). Это связано с увеличением теплоприхода в κ -фазу. Дальнейшее увеличение $S_{кан}/S_{тор}$ до 27% сопровождается снижением скорости горения в связи с падением давления в донной части генератора вплоть до прекращения горения ГГС, связанного с нарушением условий теплообмена на границе ПС-ГГС и вывода тепла с газом (рис.2, б).

Таким образом относительная площадь каналов оказывает влияние на скорость горения, на расходные и термодинамические параметры газа и носит экстремальный характер в интервале относительных площадей сечения каналов от 2% до 25%.

Кроме отмеченных факторов на термодинамические параметры газа оказывает влияние длина каналов. При сравнительных испытаниях пористых и многоканальных блоков одинаковой длины с пористостью 25% было установлено, что во втором случае имеет место 10-15-кратное снижение давления в камере, что позволяет увеличить длину заряда до десяти диаметров при том же давлении. Температура газа в предсопловом объёме не превышает 373-393 К.

При испытаниях было отмечено, что наличие в камере шлаков обеспечивает более устойчивое горение ГГС, так как они аккумулируют тепловую энергию и стабилизируют процесс горения. Одновременно необходимо подбирать компоненты ГГС так, чтобы шлаки представляли собой твёрдый, пористый каркас, способный фильтровать генерируемый газ от жидкой и конденсированной фазы ПС.

Назначение и влияние компонентов на баллистические характеристики ГГС можно проследить на примере составов на основе азидата натрия (NaN_3), который является основным компонентом для получения азота. Введение в состав оксида же-

леза (III) Fe_2O_3 в качестве окислителя уже в количестве 3% приводит к устойчивому горению в РВКПС и позволяет получить 0,45 – 0,48 м³/кг N_2 . Однако горение носит прогрессивный характер и давление в камере сгорания составляет 20-50 МПа, скорость горения 28 мм/с при 10 МПа и 124 мм/с при 50 МПа, температура азота 55 °С. Замена Fe_2O_3 на 10% пульвербакелита (ПБк) с целью получения фиксированной пористости позволяет увеличить скорость горения до 0,24 м/с при давлении 7 МПа. В этом случае получается смесь N_2 и H_2 с температурой 40 °С.

Совместное использование NaN_3 +ПБк+ Fe_2O_3 в соотношении 90/7/3% позволяет получить топливо со скоростью горения 0,45 м/с, временем горения 0,06 с при давлении 24 МПа и температурой смеси газов ($\text{N}_2 - \text{H}_2$) 35 °С.

Таким образом, в результате проведенных исследований процесса горения сверхнизкотемпературных составов в режиме вынужденной конвекции продуктов сгорания установлено:

- имеется реальная возможность получения азота с температурой менее 60 °С при содержании окислителя Fe_2O_3 от 7 до 17 % и калорийности 430-600 кДж/кг;

- многоканальные блоки с фиксированной пористостью обеспечивают постоянство расходно-временных характеристик;

- при относительных площадях каналов менее 1% и более 25% горение прекращается: в первом случае из-за недостаточного теплоприхода от малых количеств газа, во втором – за счёт быстрого сброса давления в донной части, то есть отвода тепла с продуктами сгорания;

- многоканальные блоки позволяют снизить давление в камере в 10-15 раз и увеличить длину заряда до десяти диаметров;

- скорость горения может регулироваться в широком диапазоне изменением состава ГГС от 8 мм/с до 500 мм/с, скорость изменения давления составляет от 50 до 500 МПа/с;

- температура газов в камере 600 – 800 °С;

- температура газа на выходе из газогенератора с фильтром 30 – 40 °С.

Библиографический список

1. Пат. 2050966 Российская Федерация. Способ получения газов и устройство для его осуществления [Текст] МПК7 Б В 01 J 7/00 / авторы и заявители А.А. Новиков, А.Р. Самборук; патентообладатель

А.А. Новиков — № 5048036/26; заявл. 22.04.92; опубл. 27.12.95. Бюл. № 36.

2. Штейнберг, А.С. Линейный пиролиз [Текст] / А.С. Штейнберг // Теплообмен в процессах горения: сб. ст. – Черноголовка: Изд.-во ОИХФ АН СССР, 1980. – С.138-148.

3. Хайкин, Б.И. Гетерогенное горение [Текст] / Б.И. Хайкин // Теплообмен в процессах горения: сб. ст. – Черноголовка: Изд.-во ОИХФ АН СССР, 1980. – С. 62-66.

CHEMICAL GAS SOURCES

© 2013 A. A. Novikov, N. A. Ershikhin

Samara State Technical University

The paper presents the results of research in developing ways of burning gas-generating compositions (GGC) in combustion products forced convection conditions (CPFCC) and the factors that influence the design of a chemical gas source (CGS). The influence of the oxidant amount on the conditions and rate of fuel combustion in CPFCC is analyzed. The relative area of the channels is shown to affect the character of porous charge combustion. If the number of channels and their area increase up to 5%, the rate of combustion and the gas flow rate increase, while if the former increase from 5% to 25% the latter decrease. It was also found that multi-channel units with fixed porosity ensure constant consumption and time characteristics, make it possible to get 10-15 – fold pressure reduction in the chamber and increase the length of the charge up to ten diameters.

Supertemperature fuels, combustion process, device, characteristics.

Информация об авторах

Новиков Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный технический университет. Область научных интересов: разработка твёрдых газогенерирующих топлив с температурами горения ниже 1000°С и температурой на выходе из газогенератора 25...80°С.

Ершихин Николай Александрович, студент, Самарский государственный технический университет. E-mail: ershikhin@list.ru. Область научных интересов: разработка твёрдых газогенерирующих топлив с температурами горения ниже 1000°С и температурой на выходе из газогенератора 25...80°С.

Novikov Alexander Aleksandrovich, candidate of technical science, associate professor, Samara State Technical University. Area of research: development of solid gas-generating fuels.

Ershikhin Nikolay Aleksandrovich, undergraduate student, Samara State Technical University. E-mail: ershikhin@list.ru. Area of research: development of solid gas-generating fuels.