

ЖИДКОФАЗНЫЕ РЕАКЦИИ ПРИ КАТАЛИТИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ

Ярошенко Н. Т., Швейкин А.В.

АО "Российский научный центр "Прикладная химия" (ГИПХ)", г. Санкт-Петербург,
n.yaroshenko@giph.su, DrYaroshenkoN@yandex.ru

Ключевые слова: однокомпонентное топливо, гидразин, пористый активный катализатор, двухфазный поток, капиллярные силы, модели.

Однокомпонентные топлива гидразин и пероксид водорода самовоспламеняются при контакте топлива с высокоактивным катализатором при комнатной температуре без предварительного подогрева. Очевидно, что первоначальным актом процесса воспламенения является жидкофазное разложение однокомпонентного топлива на катализаторе. В противном случае топливо просто не могло бы воспламениться и загориться.

Катализаторы самовоспламенения однокомпонентных топлив представляют собой высокопористые гранулы, на внутреннюю поверхность, которых нанесен мелкодисперсный активный компонент. Проникновение и удерживание жидкого топлива внутри гранул катализатора происходит под действием капиллярных сил. Целью настоящей статьи является анализ механизма жидкофазного взаимодействия капель топлива с гранулами катализатора и разработка физической и математической модели протекающих процессов. Экспериментальные исследования проведены на примере разложения гидразина на высокоактивном алюмоиридиевом катализаторе.

При температуре разложения топлива ниже температуры его кипения вокруг гранулы катализатора формируется слой пенообразной газожидкостной пленки. Пленка удерживается на грануле катализатора капиллярными силами. Процесс тепло-массообмена аналогичен процессу пузырькового кипения. При высокой температуре гранул катализатора жидкофазное взаимодействие топлива с катализатором прекращается. Разложение на катализаторе протекает в паровой фазе. Режим аналогичен пленочному кипению.

Предложена физико-химическая модель процесса в камере разложения ракетного двигателя. Топливо поступает в слой катализатора, смачивает его и начинает разлагаться в жидкой фазе. Образование большого количества газов приводит к тому, что уже с первого ряда зерен двухфазный поток топлива следует рассматривать как поток газа несущий отдельные капли жидкой фазы. Гранулы катализатора впитывают топливо, а пузырьки паров и газообразных продуктов разложения барботируют через жидкую фазу, создавая пенообразную пленку, удерживающуюся на поверхности гранулы катализатора капиллярными силами. Тепло, выделяющееся в ходе реакции, расходуется на нагрев и испарение жидкой фазы. Жидкофазное разложение топлива протекает в тонком поверхностном слое гранулы катализатора в кинетическом режиме при температуре кипения топлива.

Капли находящиеся в межгранульных каналах не контактируют с катализатором, они отбрасываются отходящим от поверхности катализатора потоком газовой фазы. Выпадение очередной капли из потока на гранулу катализатора происходит после разложения предыдущей капли. По мере углубления в слой катализатора количество капель в потоке уменьшается и в некотором сечении камеры их становится недостаточно, чтобы смочить все гранулы катализатора. Часть гранул переходит в режим разложения паров топлива и происходит "зажигание" катализатора. Он разогревается до температуры разложения топлива, и процесс переходит в диффузионную область разложения паров топлива.

По мере увеличения полноты разложения топлива возрастает скорость газовой фазы и реализуется условие газодинамического вторичного дробления капель. Резко возрастает поверхность испарения капель и соответственно скорость испарения. Температура потока в

межгранульных каналах резко возрастает и возникает фронт горения и процесс переходит в область гомогенного разложения паров.

Математическая модель в соответствии с предложенной физико-химической моделью процесса разложения состоит из двух систем уравнений для кинетической области жидкофазного разложения и диффузионной области разложения паров.

Для определения условия перехода разложения топлива из кинетической области жидкофазного разложения в диффузионную область разложения паров введены два временных параметра характеризующих поведение капель топлива на катализаторе и в потоке: время разложения одной капли топлива на одной грануле катализатора и период следования капель в потоке в межгранульных каналах. Первое время характеризует скорость разложения топлива в жидкой фазе, а второе время характеризует перенос жидкой фазы к грануле катализатора. Переход процесса из кинетической области жидкофазного разложения в диффузионную область разложения паров происходит при равенстве этих времен.

Исходными данными для расчета являются: секундный расход топлива, давление на входе в слой катализатора, диаметр камеры разложения, размер гранул катализатора, кинетическая активность катализатора в жидкой фазе, теплота реакции разложения и испарения топлива, зависимость давления насыщенного пара от температуры, химическая формула топлива и состав продуктов разложения.

Модель отработана на примере разложения гидразина и показала удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных по описанию профиля температуры катализатора и потока по длине слоя катализатора, влиянию давления, расходонапряженности, размера гранул катализатора на параметры работы двигателя.

Сведения об авторах

Ярошенко Николай Тимофеевич, д.т.н., старший научный сотрудник, главный конструктор направления-начальник отдела. Область научных интересов: однокомпонентные топлива и катализаторы их разложения, процессы воспламенения и горения высокоэнергетических веществ, эксплуатация ракетных топлив.

Швейкин Александр Владимирович, ведущий инженер. Область научных интересов: однокомпонентные топлива и катализаторы их разложения, процессы воспламенения и горения высокоэнергетических веществ, эксплуатация ракетных топлив.

LIQUID-PHASE REACTIONS IN THE CATALYTIC DECOMPOSITION OF SINGLE-COMPONENT ROCKET FUELS

Yaroshenko N. T., Shveykin A. V.

JSC "Russian Scientific Center "Applied Chemistry" (GIPH)", St. Petersburg,
n.yaroshenko@giph.su, DrYaroshenkoN@yandex.ru

Keywords: single-component fuel, hydrazine, model.

The physico-chemical and mathematical model of the catalytic decomposition of single-component fuels is considered. The model is applicable for any fuels and the catalyst must be a capillary porous body that ensures the decomposition of fuels at a temperature below its boiling point.