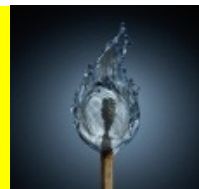




## Беспламенная горелка

В.Н. Витер



Беспламенное горение происходит в результате каталитического окисления органических и некоторых неорганических веществ на поверхности твердых тел. При этом выделяется много тепла, и катализатор нагревается до красного или желтого каления. Реакция идет только на поверхности твердого тела, а не в объеме газа, поэтому появление пламени не наблюдается. Некоторые химики называют такой процесс «горение поверхности». Каталитическое горение широко используется в технике. Уже много лет в промышленности применяются беспламенные газовые горелки для газа или жидкого топлива. Окисление аммиака (которое является важнейшей стадией получения азотной кислоты) проводят на платиново-родиевом катализаторе в режиме «горения поверхности». Небольшие каталитические горелки прекрасно подходят для обогрева во время турпохода или зимней рыбалки.

В качестве катализаторов для таких процессов чаще всего служат платиновые металлы, а также  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , как топливо можно использовать многие органические и некоторые неорганические материалы: природный газ, нефтепродукты, спирт, солому, тирсу, водород и др.

Сделать беспламенную каталитическую горелку можно самому – в этом нет ничего сложного.

### Беспламенная горелка на жидком топливе

Возьмите жестяную банку из-под кофе, консервную банку или что-то подобное. Автор использовал алюминиевую банку из-под пива. В дне банки сделайте несколько отверстий (на расстоянии около 5 мм). Высокую банку из-под пива разрежьте на две части. Внутреннюю часть дна плотно заложите ватой, смоченной горючим жидким топливом – спиртом, бензином, ацетоном, растворителем 647 и др. В нашем случае под рукой оказался бутанол. Теперь зафиксируйте вату, чтобы она не упала, когда мы перевернем банку. Для этих целей прекрасно подошла верхняя часть нашей пивной банки. Дальше переверните банку дном кверху и поставьте ее на огнестойкую поверхность (на всякий случай). На дно банки насыпьте оксид хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ <sup>1</sup> и смочите его несколькими каплями спирта или бензина.

<sup>1</sup> Для всех описанных ниже экспериментов желательно брать оксид хрома, полученный разложением **бихромата аммония** или **хромового ангидрида** – такой  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  наиболее активен.



1



4



2



5



3

### Последовательность сборки каталитической горелки.

Обратите внимание: если вы планируете использовать такую горелку, необходимо также предусмотреть защиту от случайного контакта с раскаленной поверхностью и подачу жидкого топлива в слой ваты.

фото В.Н. Витер

Горелка готова к работе, остается только ее поджечь. Когда топливо загорится, огонь раскалит докрасна катализатор ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и на его поверхности начнется реакция окисления. Примерно после минуты горения аккуратно погасите пламя (задуйте или





Зажигание и работа беспламенной горелки на жидком топливе. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока не сгорит все топливо. фото В.Н. Витер

накройте его на короткое время колпаком). За счет тепла реакции с поверхности ваты будут испаряться все новые порции топлива. Пар через отверстия в банке попадет на раскаленный катализатор. Оксид хрома останется в раскаленном состоянии до тех пор, пока вся горючая жидкость не будет израсходована. Если вы планируете сделать каталитическую горелку с целью ее реального использования, необходимо предусмотреть подачу топлива снизу в слой ваты, а также защиту от случайного прикосновения к горячему оксиду хрома (например, металлическую сетку). Недостатком такой горелки является образование значительного количества продуктов неполного окисления. В нашем случае четко ощущался запах бутаналя.

### Беспламенная горелка на твердом топливе

В качестве топлива можно использовать тирсу, солому, сахар, уголь, масло, нафталин, серу<sup>2</sup> и др. Автор использовал сухую сосновую хвою, собранную в ближайшем лесу и остатки ваты после предыдущего эксперимента. Катализатором также служил  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

На дно жестяной банки насыпьте слой катализатора толщиной 1 см, на него – слой топлива, сверху – опять слой катализатора. Постарайтесь, чтобы слои топлива

<sup>2</sup> Обратите внимание, что два последние вида топлива подходят, разве что для демонстрации эксперимента в лаборатории – сера и нафталин выделяют едкие продукты при горении.



**Беспламенная горелка на твердом топливе (сосновые шпильки)** фото В.Н. Витер

и катализатора слегка перемешались. В случае сосновых шпилек с этим проблем не было. С помощью нескольких капель спирта подожгите горелку. Через минуту аккуратно задуйте пламя (или накройте его на короткое время). В результате будет наблюдаться поверхностное горение с выделением значительного количества тепла. В нашем случае по всей лаборатории распространился характерный запах сосновой хвои. В случае других видов топлива запах может быть не далеко не такой приятный. Продолжительность горения зависит от количества топлива.

В прошлом каталитические горелки разрабатывались по заказам военных. Они были нужны для внешнего разогрева двигателей танков в условиях крайнего севера или как портативный источник тепла – вместо костров – для десантников и диверсионных групп. Любопытно, что массовый выпуск таблеток уротропина «сухой спирт» был налажен с теми же целями. Бледное пламя сухого спирта не дает дыма и почти не видимо с расстояния.



В свое время один мой коллега получил задание найти дешевую замену платиновым металлам, хрому или кобальту в каталитических горелках. Желательно – оксиды железа. Не трудно догадаться, что из этого ничего не получилось. Один раз автор показал этому химику самодельную горелку с использованием оксида хрома. Он заинтересовался, полюбовался, а потом сказал: «Если бы у вас были только оксид алюминия и ржавчина (оксид железа), то вряд ли бы удалось такое сконструировать». Тут ничего не поделаешь: оксид железа по каталитической активности несравним с платиной.

Теперь предлагаем вашему вниманию фотографии каталитической горелки заводского изготовления. Она может работать на многих видах жидкого топлива.





## Беспламенная горелка на пропан-бутановой смеси (или природном газе)

Срежьте верхнюю часть алюминиевой банки из-под пива на уровне 2/3 высоты. В дне сделайте небольшое отверстие из расчета, чтобы туда вошла трубка горелки Бунзена, причем с минимальным зазором. Теперь вставьте в отверстие горелку, про этом ее верхний край должен находиться на 5-10 мм выше дна банки. Сверху накройте выходное отверстие горелки колпачком, который можно сделать из обрезков нашей банки. Диаметр колпачка должен быть не менее половины диаметра банки. Колпачок служит для равномерного распределения потока газа по всей площади. Теперь насыпьте в банку порошок  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , полученный разложением бихромата аммония. Слой катализатора должен составлять не менее половины высоты сосуда (количество порошка оксида хрома – около  $100\text{-}150\text{ см}^3$ ).

Теперь включите слабый ток пропан-бутановой смеси или природного газа, примерно через полминуты подожгите газ на выходе из слоя катализатора<sup>3</sup>. Дайте пламени погореть минуту-полторы – чтобы нагрелся оксид хрома, потом плавно уменьшите подачу газа до тех пор, пока не погаснет огонь. Через несколько секунд опять постепенно откройте газ.

Поверхность катализатора сильно разогреется, и будет светиться красным. Раскаленная зона будет слегка перемещаться и пульсировать. Беспламенное горение продолжается до тех пор, пока подается газ. Если поток газа слишком сильный, возможен унос горячих частичек оксида хрома. При этом можно наблюдать «огненную метель». Подобного эффекта можно добиться и с помощью легкого постукивания по корпусу банки. Необходимо учитывать, что при увеличении подачи газа поверхностное горение может перейти в объемное – появится сильное пламя. Если это произойдет - временно прекратите подачу газа. **Не пытайтесь задуть пламя или накрыть его!**



Внешний вид горелки для беспламенного сжигания пропан-бутановой смеси.

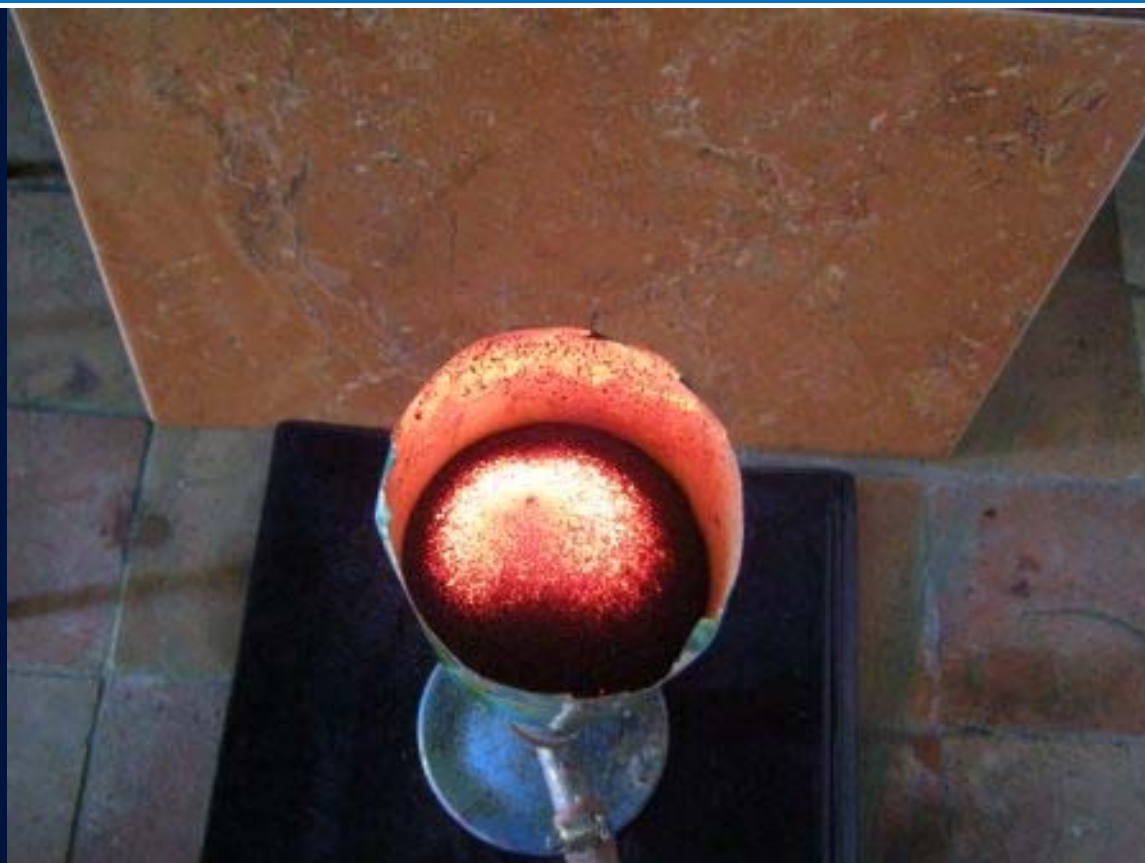
<sup>3</sup> Берегитесь ожога, воспользуйтесь длинной лучинкой или проволочкой.



Интересно, что если горелка успела хорошо нагреться, то каталитическое горение восстанавливается самопроизвольно даже после минутного прекращения подачи газа – не смотря на то, что сверху не остается раскаленных частичек оксида хрома.

Судя по запаху меркаптанов, сгорание газообразного топлива в нашей горелке является неполным, кроме того при ее работе образуется аэрозоль оксида хрома. Поэтому эксперимент необходимо проводить под вытяжкой. Учитывайте также, что описанная модель не рассчитана на долгую работу.





Работа каталитической горелки на пропан-бутановой смеси







Если раскаленные частички оксида хрома уносятся потоком газа, можно увидеть «огненную метель» фото В.Н. Витер



Слишком сильное увеличение потока газа приводит к появлению пламени (объемное горение). В таких случаях следует временно прекратить подачу газа