

нормальной скорости распространения пламени для углеводородно-воздушных смесей, наблюдаемых в опытах. Поэтому вывод, сделанный в работе [2] о том, что возбуждение колебаний плоскими пламенами в реальных акустических системах вследствие зависимости нормальной скорости распространения пламени от изменения термодинамических параметров смеси в звуковой волне оказывается невозможным, остается в силе для труб указанной геометрии.

Москва

Поступила в редакцию
7/VII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Скляр, В. И. Фурлетов. ПМТФ, 1974, 1.
2. В. И. Фурлетов. ФГВ, 1972, 8, 1.
3. Н. Ф. Дубовкин. Справочник по углеродным топливам и их продуктам сгорания. М., Госэнергоиздат, 1962.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ГОРЕНИЕ ДИНЫ

А. П. Денисюк, В. Г. Хубаев, Ю. Г. Шепелев

Для выяснения закономерностей горения ВВ и порохов в качестве объекта изучения некоторые исследователи используют дину (диэтанолдинитратнитроамин). Интерес к этому ВВ обусловлен, в частности, тем, что дина горит со значительно меньшей скоростью, чем близкие ей по энергетике тэн и гексоген, и даже медленнее, чем тетрил [1—3], и это облегчает изучение процесса горения. Даже визуальные наблюдения при атмосферном давлении, когда скорость горения дины на порядок меньше, чем у баллистических порохов, позволяют сделать интересные выводы о влиянии катализаторов на ее горение [4].

Однако это же обстоятельство и несколько затрудняет интерпретацию экспериментальных данных, в особенности полученных при низких давлениях. Вследствие малой величины скорость горения дины может существенно зависеть от типа бронировки заряда [5]. Например, при горении ВВ в стеклянных трубках на воздухе определенное влияние на скорость горения и его устойчивость оказывает теплоотвод по стенкам трубки: коэффициент теплопроводности стекла $17,8 \cdot 10^{-4}$ кал/(см·с·град) [6], что в 3 раза больше, чем дины ($5,57 \cdot 10^{-4}$ кал/(см·с·град) [7]). Это влияние будет тем существеннее, чем меньше диаметр заряда. Видимо, поэтому значения скорости горения дины при атмосферном давлении, приведенные в работах [5, 8, 9], существенно различаются. Кроме того, теплоотдача по стенкам трубки может сказаться и на действии катализаторов.

Следует отметить, что и в вопросе о ведущей зоне горения дины нет единого мнения. Например, в [8] на основании того, что скорость горения дины в диапазоне 1—100 атм не зависит от величины перегрузок, возникающих в поле массовых сил, сделан вывод о решающей роли процессов, протекающих в газовой фазе. В [9, 10] показано, что скорость горения дины, рассчитанная по формуле, выведенной в предположении о кондуктивном механизме теплопередачи и ведущей зоне в к-фазе с уче-

том теплового потока из газов, хорошо согласуется с экспериментом.

Таким образом, в отношении дины, выбранной для изучения механизма горения и катализа как вещества, горящего с низкой скоростью и поэтому удобного для исследования, имеются неясные и противоречивые моменты.

В связи с этим представлялось необходимым подробно рассмотреть некоторые особенности горения дины и влияния на него катализаторов при атмосферном давлении. Как было показано в [11], при горении баллиститного пороха эффективность действия комбинированного катализатора, состоящего из окиси свинца и сажи, сильно зависит от соотношения его компонентов. Для установления общих закономерностей катализа горения целесообразно было выяснить вопрос о том, характерно ли это и при горении дины. Для этого были проведены опыты в области умеренно повышенных давлений.

Для опытов использовалась техническая дина и перекристаллизованная из ацетона. Скорость горения в обоих случаях была одинаковой. Образцы готовились заливкой расплавленного ВВ в стеклянные трубки диаметром 18 мм для опытов при атмосферном давлении или в трубки из поликарбоната и в кварцевые стаканчики диаметром 7 мм для опытов при повышенных давлениях. Катализаторы — PbO и $Cu(CH_3COO)_2$ с размером частиц около 1 мкм и сажа марки ПМ-50 — вводились в расплав, трубочки с которым для обеспечения равномерного распределения добавки в объеме вращались в горизонтальном положении вокруг продольной оси до полного затвердевания ВВ. Разница в плотности чистой дины и с катализаторами во всех случаях не превышала 5%.

Наблюдения показали, что при горении дины в воздухе происходит значительный разогрев стеклянной трубки ниже поверхности горения. С помощью медь-константовых микротермопар диаметром 10 мкм было установлено, что температура наружной поверхности трубки на расстоянии 1—2 мм ниже поверхности расплавленного слоя достигает $200^\circ C$, что, естественно, влияет на процесс горения. Так, толщина расплавленного слоя у стенок трубки составляла не менее 5—6 мм, в то время как расчетная толщина всего прогретого слоя — около 1 мм.

В воде дина не горит даже в трубках диаметром 50 мм при комнатной температуре, а в трубках диаметром 18 мм — при начальной температуре вплоть до $100^\circ C$. Положение не меняется и при добавлении PbO , сажи или ацетата меди. Лишь при введении тройного катализатора наблюдается устойчивое горение дины в воде. При этом на начальном участке оно идет с малой скоростью, как это и описано в [4], и только после выгорания слоя в несколько миллиметров наблюдается переход на быстрый режим. Это связано, очевидно, не с достижением «критической» концентрации катализатора на поверхности, а с тем, что при воспламенении ВВ нихромовой спиралью образуется жидкий слой высотой 6—8 мм (дина довольно трудно воспламеняется), из которого тяжелые частицы катализатора выпадают на поверхность твердой фазы.

Подобное явление особенно отчетливо наблюдается для дины с PbO . Образец с 5,5% PbO ярко-оранжевого цвета поджигался обычным способом и сразу же после воспламенения гасился. Оказалось, что поверхностный слой (~3 мм) имел бледно-желтую окраску, а последующий слой примерно такой же высоты — окраску гораздо более темную, чем даже у исходного образца. Оседанием тяжелых частиц катализатора из жидкого слоя авторы [12] объясняют относительно небольшое каталитическое влияние соединений свинца на горение некоторых жидких и плавящихся ВВ.

Загущение дины коллоксилином (3%), что препятствует выпадению частиц катализатора из поверхностного слоя, приводит к исчезновению участка медленного горения, и сразу же после воспламенения скорость горения составляет 0,45 мм/с, т. е. даже несколько выше, чем для не-

Таблица 1

Влияние катализаторов на скорость горения дины при атмосферном давлении

Катализатор	На воздухе		В воде	
	u , мм/с	Z	u , мм/с	Z
Без катализатора	0,08	1	Не горит	—
5,5% PbO *	0,04	0,5	»	—
5,5% C *	0,16	2,0	»	—
5,5% Cu(CH ₃ COO) ₂ *	0,15	1,9	»	—
1,5% PbO + +3% Cu(CH ₃ COO) ₂ +1% C	0,45 **	5,5	0,35	4,4

* При помещении в воду зарядов с меньшим содержанием катализаторов горение также не распространяется.

** Дина загущена коллоксилином (3%).

загущенного ВВ с тройным катализатором. Как видно из табл. 1, с наибольшей эффективностью действует тройной катализатор, причем он увеличивает скорость горения значительно сильнее каждого из компонентов, взятого в отдельности. Теплопередача по стенкам трубки в данном случае не имеет решающего значения, поскольку при помещении зарядов в воду скорость горения мало уменьшается.

Таблица 2

Скорость горения дины в стеклянных трубках при атмосферном давлении на воздухе

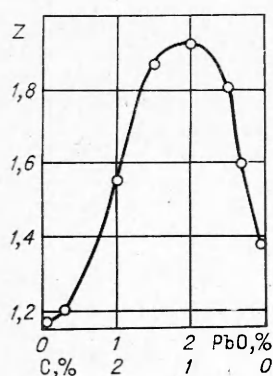
Материал оболочки	Внутренний диаметр трубки, мм	Толщина стенки, мм	u , мм/с
Стекло № 23	16,5—19,0	0,5—0,6	0,10
	16,5—18,0	1—1,5	0,08
	15,5	2	Не горит
Стекло кварцевое	17,2	0,5—1,0	0,10

Некоторое отличие опытных данных от приведенных в [4, 9], где скорость горения дины составила 0,13 мм/с, связано, по всей видимости, с толщиной оболочки заряда. Увеличение толщины стенки от 0,5÷0,6 до 1÷1,5 мм приводит к снижению скорости горения от 0,1 до 0,08 мм/с, а в трубках со стенками 2 мм дина не горит совсем (табл. 2).

Таким образом, эксперименты убедительно показали, что при малом давлении на закономерности горения дины и его катализа существенное влияние оказывают характеристики оболочки заряда и окружающая среда. Распространение горения дины на воздухе в стеклянных трубках во многом обусловлено теплопередачей через стенки трубки. Поэтому такие эксперименты не могут служить надежным основанием для обсуждения вопросов о ведущей стадии горения и механизме действия катализаторов.

Рассмотрим горение дины с катализаторами при повышенном давлении ($p=30$ кг/см², скорость горения дины при этом давлении 3 мм/с).

Сажа и PbO по отдельности в количестве до 3% увеличивают скорость горения не более, чем на 35—40%. Эффективность действия двой-



ного катализатора имеет экстремальную зависимость от соотношения компонентов (см. рисунок), что, в общем, характерно для комбинированных катализаторов [13]. Максимальное увеличение скорости горения наблюдается при соотношении PbO и сажи, равным 2:1, т. е. при том же, что и в случае баллиститного пороха [11]. Следует отметить, что большое влияние на скорость горения при этом соотношении оказывает общее количество катализатора. Так, 4% PbO+2% C действуют значительно эффективнее ($Z=2,05$), чем 0,5% PbO+0,25% C ($Z=1,5$).

Московский химико-технологический институт
им. Д. И. Менделеева

Поступила в редакцию
27/IV 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Глазкова, И. А. Терешкин. ЖФХ, 1961, 35, 7, 1622.
2. A. P. Glaskowa. XIII-th Symposium (Intern.) on Combustion, Abstracts of Papers, Pittsburgh, Pennsylvania, 1970, p. 164.
3. А. П. Глазкова. Докт. дис., ИХФ АН СССР, М., 1972.
4. В. В. Александров, А. В. Болдырева и др. Докл. АН СССР, 1973, 210, 1, 161.
5. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М., «Наука», 1966.
6. Справочник химика. Т. 1, изд. 3. Л., «Химия», 1971.
7. D. Gross, A. V. Amster. 8-th Symposium (Intern.) on Comb., 1962, 728.
8. Э. И. Максимов, Ю. М. Максимов, В. Ф. Чуков. ФГВ, 1971, 7, 2, 197.
9. В. В. Александров, А. В. Болдырева и др. ФГВ, 1973, 9, 1, 140.
10. В. В. Александров, Р. К. Тухтаев и др. ФГВ, 1974, 10, 4, 543.
11. А. П. Денисюк, Т. М. Козырева, В. Г. Хубаев. ФГВ, 1975, 11, 2, 315.
12. D. I. Hewkin, I. A. Hicks a. o. Combustion Science and Technologie, 1971, 2, 307.
13. К. К. Андреев, А. П. Глазкова.— В сб.: Теория взрывчатых веществ. М., «Высшая школа», 1967, 314.