

О ГОРЕНИИ ДИНЫ С ДОБАВКАМИ СОЕДИНЕНИИ ХРОМА

В. В. Александров, Р. К. Тухтаев, В. В. Болдырев

Результаты, полученные при изучении горения дины в присутствии ряда добавок [1], прямо указывают на то, что для эффективного влияния на скорость горения катализатор должен принять определенную форму (состояние) и занять определенное место в волне горения. Задача настоящей работы заключалась в получении новых экспериментальных данных в подтверждение этого вывода, а также количественных характеристик, касающихся параметров, которые определяют поток тепла в конденсированную фазу от раскаленных тел на поверхности. Процедура приготовления образцов подробно описана в [1]. Скорость горения измерялась с помощью фоторегистратора ФР-11.

В таблице представлены основные результаты по влиянию размера частиц добавок на расстояние l , при котором осуществляется переход горения дины на быстрый режим, и на скорость горения после перехода u . Видно, что с увеличением диаметра частиц переход задерживается, и в случае дины без нитроцеллюлозы (НЦ), начиная с $d=125-160$ мкм, не происходит вообще. На величину скорости горения после перехода размер частиц практически не влияет. Загущение дины нитроцеллюлозой повышает эффективность добавок и заметно сокращает расстояние, на котором осуществляется переход.

Полученные результаты полностью согласуются с высказанным в [2] утверждением, что раскаленные формирования представляют собой агломерированные частицы окиси трехвалентного хрома, образующейся из исходных добавок в процессе горения. Отсутствие влияния дисперсности добавок на величину скорости горения в быстром режиме обусловлено тем, что «каталитически» работают макроскопические тела, размеры которых едва ли связаны непосредственно с размером частиц исходных веществ, из которых они возникли. В то же время, на продолжительность переходного периода, в течение которого происходит формирование катализатора, размеры частиц должны и оказывают существенное влияние. Это объясняется следующими причинами.

| Состав | $d = 20 - 30$ мкм | | $70 - 90$ мкм | | $125 - 160$ мкм | | $250 - 315$ мкм | |
|-------------------------------------------------------|-------------------|------------|---------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | l , мм | u , мм/с | l | u | l | u | l | u |
| Д+2,6% $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 2,5 | 0,54 | 8,5 | 0,54 | Нет перехода | | | |
| Д+3,0% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 4,0 | 0,35 | 25,0 | 0,36 | Нет перехода | | | |
| Д+4,0% K_2CrO_4 | 4,0 | 0,35 | 10,0 | 0,35 | Нет перехода | | | |
| Д+2,0% НЦ+2,6% $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 0 | 0,85 | 1,0 | 0,57 | 2,0 | 0,51 | 3,0 | 0,41 |
| Д+2,0% НЦ+3,0% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 0,5 | 0,37 | 6,5 | 0,37 | 8,5 | 0,42 | 12,0 | 0,45 |
| Д+2,0% НЦ+4,0% K_2CrO_4 | 0,5 | 0,46 | 6,5 | 0,43 | 8,0 | 0,49 | 11,0 | 0,52 |

Примечание. Дина (Д) без добавок горит со скоростью 0,13 мм/с, загущенная дина — со скоростью 0,10 мм/с.

Во-первых, образование окиси хрома в медленном режиме может происходить только в результате окислительно-восстановительного взаимодействия¹ твердых частиц добавки с расплавленной диной или про-

¹ Температура в поверхностном слое дины ($235 \pm 10^\circ\text{C}$ [3, 4]) недостаточна для того, чтобы окись хрома могла образовываться в результате термического разложения исходных добавок. Возможность протекания окислительно-восстановительного взаимодействия показана экспериментально: при выдерживании образцов дины с добавками ($d=50-70$ мкм) в течение 3 ч при $t=140^\circ\text{C}$ средняя степень окисления иона хрома понижается до 3,6—4,0.

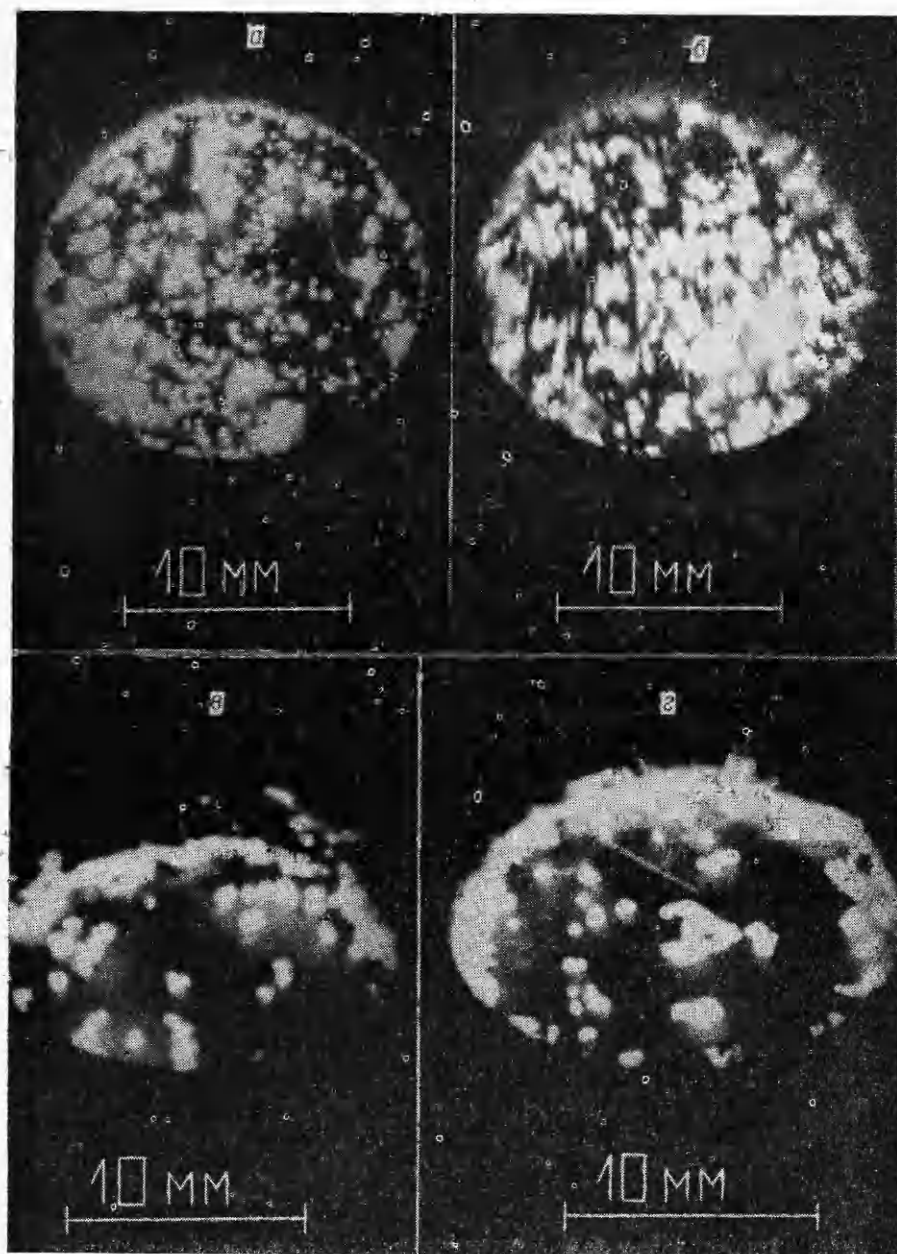


Рис. 1. Фотографии поверхности горящих образцов дини с добавками.
 а) 2,6% $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $d=20-30$ мкм; б) 2,6% $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $d=70-90$ мкм; в) 4,0% K_2CrO_4 , $d=20-30$ мкм; г) 3,0% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $d=20-30$ мкм.

дуктами ее распада, а скорость таких реакций пропорциональна поверхности контакта. Во-вторых, крупные частицы в незагущенной дине осаждаются в расплавленном слое, тем самым задерживается их попадание в высокотемпературную область до тех пор, пока весь расплавленный слой не заполнится ими. Загущение дини нитроцеллюлозой препятствует осаждению, что приводит к сокращению продолжительности медленного режима горения.

Переход на быстрый режим горения всегда происходит одновременно с возникновением на поверхности светящихся тел. Поэтому естественно было предположить, что прирост скорости горения обуславлива-

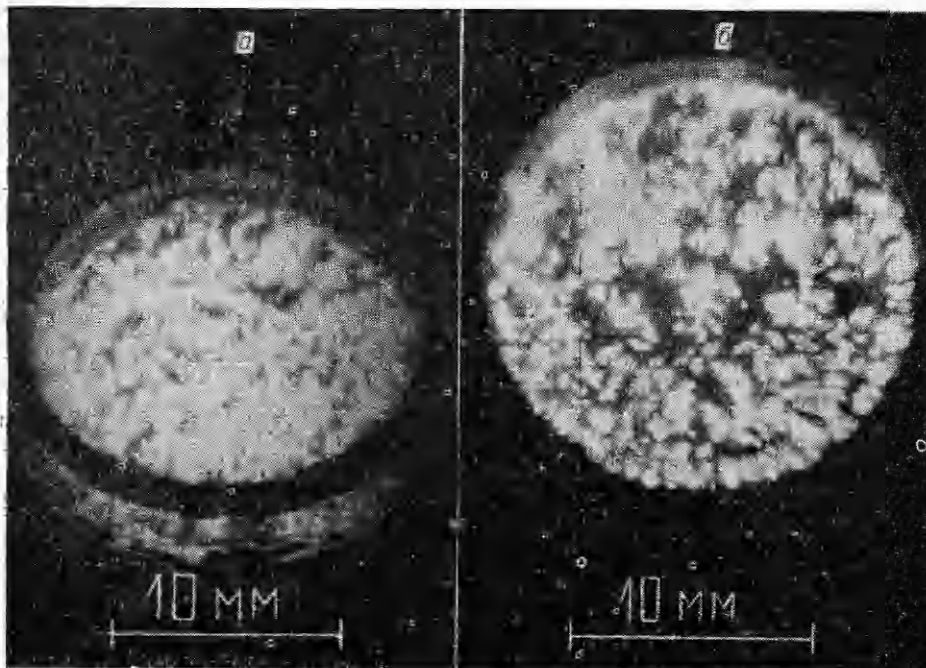


Рис. 2. Фотографии поверхности горящих образцов загущенной динны с добавками: а) 2,6% $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $d=20-30$ мкм; б) 2,6% $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; $d=70-90$ мкм.

ется дополнительным тепловым потоком (теплопроводностью и излучением) от раскаленных частиц в конденсированную фазу [1]. Этот вывод, основанный главным образом на визуальных наблюдениях за развитием процесса горения, получил количественное подтверждение.

1. Существует корреляция между степенью покрытия горячей поверхности раскаленными телами α и яркостью их свечения (или что то же — их температурой), с одной стороны, и увеличением скорости горения, характеризуемым отношением $Z = u_1/u_2$ (u_1 — горение с добавкой; u_2 — горение без добавки), с другой: Z больше в тех случаях, где эти характеристики выше. Так, фотографирование поверхности горящих образцов показало, что для динны с добавкой бихромата аммония ($d = 20-30$ мкм) $\alpha = 55-60\%$ (рис. 1, а). Температура раскаленных тел, измеренная вольфрам-рениевыми термопарами, оказалась равной $1150 \pm 50^\circ\text{C}$. При введении в дину эквивалентных количеств (в расчете на содержание хрома) хромата или бихромата калия такой же дисперсности эти величины составляют соответственно $35-40\%$ (рис. 1, в, г) и $1050 \pm 50^\circ\text{C}$. Бихромат аммония увеличивает скорость горения в 4,1 раза, а соли калия — в 2,7 (см. таблицу).

Увеличение размера частиц добавок до $70-90$ мкм не влияет ни на величину α (рис. 1, б), ни на скорость горения (см. таблицу). Если дополнительно к этим добавкам в дину вводится нитроцеллюлоза, степень покрытия в случае мелкозернистого бихромата аммония составляет $\sim 90\%$, а при $d = 70-90$ мкм — $\sim 60\%$ (рис. 2, а, б). В соответствии с этими величинами изменяется и скорость горения.

2. На примере загущенной динны с добавкой бихромата аммония ($d = 20-30$ мкм) показано, что наблюдаемое увеличение скорости горения неплохо согласуется с увеличением теплового потока в конденсированную фазу за счет раскаленных частиц.

Суммарный тепловой поток в конденсированную фазу складывается из кондуктивного потока и потока лучистой энергии.



Рис. 3. Микрофотография приповерхностной зоны при горении загущенной дины с добавкой бихромата аммония ($d=20-30$ мкм).

в разные моменты времени, колеблются от 0,2 до 0,3 мм. Исходя из этих данных, может быть оценена величина градиента температуры: $\Delta T/\Delta x \sim 3 \div 4,5 \cdot 10^4$ град/см. Если принять коэффициент теплопроводности газовой фазы равным $2 \cdot 10^{-4}$ кал/(град·см·с) [5], величина кондуктивного потока тепла в конденсированную фазу получается равной $6 \div 9$ кал/(см²·с). Зная температуру раскаленных тел, можно оценить и величину потока лучистой энергии по формуле Стефана — Больцмана. Она составляет $\sim 5,5$ кал/(см²·с). Подстановка этих значений в формулу для скорости горения [6—7] (аналогично тому, как это было сделано в [4]) дает $u \sim 0,9 \div 1,1$ мм/с (экспериментальное значение скорости — 0,85 мм/с). При этом вклад в скорость горения тепловыделения от реакций в конденсированной фазе ($2\lambda\Phi RT_{\text{ст}}^2/E \sim 1$ кал²/(см⁴·с²) [4]) становится пренебрежимо мал по сравнению с вкладом теплового потока от раскаленных частиц ($\varphi^2 \sim 130 \div 210$ кал²/(см⁴·с²)).

Если исходить из представления о наличии ведущей зоны в волне горения [8], то влияние добавок на скорость горения может осуществляться:

- 1) через воздействие на объемную скорость тепловыделения в ведущей зоне;
- 2) за счет дополнительного прогрева вещества перед ведущей зоной (в зоне прогрева) теплом от низкотемпературных реакций;
- 3) в результате смены ведущей стадии вследствие ускорения реакций в одной из зон, где до введения добавки они протекали медленно.

Обычно экспериментальные результаты объясняются с использованием первого из этих механизмов. Возможность реализации второго была показана в [9]. Очевидно, что в случае с горением дины при 1 атм реализуется третий из перечисленных механизмов, а именно: переход от режима, когда скорость горения определяется тепловыделением в конденсированной фазе и сравнительно небольшим потоком тепла из газовой фазы [4, 2], к режиму, задаваемому тепловым и лучистым потоком из дымогазовой зоны от раскаленных частиц окиси хрома.

Для нахождения величины кондуктивного потока необходимо знать значение градиента температуры в приповерхностной области. Прямыми термометрическими измерениями градиент определить не удается из-за эффекта увлечения термометры силами поверхностного натяжения [4]. Поэтому для его оценки был применен термометрический метод в сочетании с микрофотографированием приповерхностной зоны. Фотографирование проводилось через горизонтальный микроскоп МГ-2, установленный так, что фокальная плоскость объектива была параллельна направлению распространения фронта пламени.

С помощью термометров были измерены температуры раскаленных тел ($\sim 1150^\circ\text{C}$) и горячей поверхности ($\sim 240^\circ\text{C}$), а по микрофотографиям (рис. 3) было определено расстояние от поверхности до нижней границы раскаленных тел. Средние значения его на фотографиях, полученных

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Александров, А. В. Болдырева и др. Докл. АН СССР, 1973, **210**, 1, 161.
2. В. В. Александров, Р. К. Тухтаев и др. ФГВ, 1974, **10**, 4, 543.
3. Э. И. Максимов, Ю. М. Максимов, В. Ф. Чуков. ФГВ, 1971, 7, 2, 197.
4. В. В. Александров, А. В. Болдырева и др. ФГВ, 1973, 9, 1, 140.
5. А. А. Зенин. ФГВ, 1966, 2, 3, 67.
6. С. С. Новиков, Ю. С. Рязанцев. ПМТФ, 1965, 3, 43.
7. Э. В. Конев, С. С. Хлевной. ФГВ, 1966, 2, 4, с. 33.
8. А. Д. Марголин. Докл. АН СССР, 1961, **141**, 5, 1131.
9. А. А. Ковальский, Э. В. Конев, Б. В. Красильников. ФГВ, 1967, 3, 4, 547.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАМУФЛЕТНЫХ ПОЛОСТЕЙ С ГЛАДКИМИ СТЕНКАМИ ПРИ ВЗРЫВЕ В ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ

А. Л. Исаков, В. П. Коковкин, В. Х. Ротт

При камуфлетном взрыве в большинстве неводонасыщенных грунтов вокруг полости образуется система радиальных трещин. Однако в некоторых случаях требуется получить каверну с гладкими стенками. Различными авторами были предприняты неоднократные попытки практического решения этой задачи. Например, в [1] при создании колодцев предложено помещать заряд ВВ в водяную оболочку, что позволяло избежать появления трещин вокруг взрывной полости. Для решения аналогичной задачи в [2] был использован тот же способ, но вместо воды в качестве оболочки был применен раствор цемента, хорошо укреплявший стенки полости после взрыва. Но ни в том, ни в другом случае полученный эффект объяснен не был.

С целью выяснения причин, влияющих на образование радиальных трещин при взрыве в пластическом грунте, был поставлен следующий опыт.

Между двумя текстолитовыми пластинами 1 и 2 (рис. 1) размерами $220 \times 220 \times 40$ мм зажата рамка 7200×200 мм с высотой стенок 10 мм и толщиной 3 мм, заполненная глинистым грунтом 3. В центре рамки расположен заряд тэна 5 диаметром 4 мм (расход ВВ 0,13 г/см длины заряда), заключенный в пластилиновую оболочку 4 диаметром 20 мм. Для подвода высоковольтного разрядника 6 к заряду тэна в пластине 2 просверлено отверстие по диаметру заряда. Вся конструкция стянута стальными болтами.

После взрыва образуется полость с гладкими стенками. Радиальные трещины отсутствуют. На рис. 2, а приведен результат взрыва в глине с влажностью 9%, а на рис. 2, б — результат аналогичного взрыва в той же глине, но без пластилиновой оболочки. При более тонком слое пластилина наблюдается появление отдельных трещин, но только в тех местах, где оболочка оказывалась прорванной газами. Во всех случаях (при различной влажности глины) размеры полостей от взрыва с пластилином были больше, чем при аналогичных взрывах в обычных условиях (без пластилина).

На основании изложенных выше результатов можно утверждать, что наличие прослойки, изолирующей газы от соприкосновения с грун-

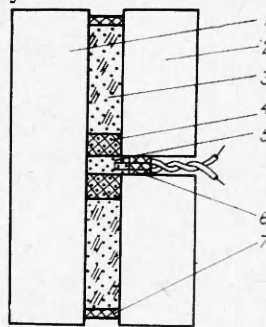


Рис. 1.