

должен быть выбор критерия, позволяющего однозначно определить направление образующейся несимметричной струи, как в случае нарушения геометрической симметрии, так и при соударении пластин из разных материалов. Имеется еще ряд нерешенных проблем, например (см. [6]) диаметр пробиваемого отверстия, фокусное расстояние, которые, по нашему мнению, также могут быть решены при соответствующем учете прочностных факторов.

Поступила в редакцию  
11/VII 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Е. Мипгое. Scribners Mag., 1883, 3, 563.
2. Neumann Zeitschrift f. d. ges. Schies — und Sprengstoffwessen, 1914, 9, 183.
3. М. А. Лаврентьев. УМН, 1957, 12, 4 (76).
4. G. Birkhoff, D. MacDougal, a. o. J. Phys., 1948, 19, 6.
5. Физика быстропротекающих процессов. Т. II. М., «Мир», 1971.
6. М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М., «Наука», 1973.
7. J. Walsh, R. Shreffler, F. Willig. J. Appl. Phys., 1953, 24, 3.
8. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер. Физика взрыва. М., Госфизматиздат, 1959.
9. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
10. В. И. Мали. Канд. дисс. Новосибирск, 1974.
11. А. А. Ильюшин. Ученые записки МГУ, Механика, 1940, т. 11, вып. 39.
12. С. М. Попов. Инженерный сборник, 1941, 1, 1.
13. С. К. Годунов, А. А. Дерибас и др. ФГВ, 1971, 7, 1.
14. С. К. Годунов, А. А. Дерибас. Докл. АН СССР, 1972, 202, 5.
15. А. Д. Сахаров, Р. М. Зайдель и др. Докл. АН СССР, 1964, 159, 5.
16. В. Н. Минеев, Е. А. Савинов. ЖЭТФ, 1967, 52, 3.
17. W. Klein. Third International Conference of the Center for High Energy Forming. Juli 12—16, 1971, Vail, Colorado.
18. С. К. Годунов, А. Ф. Демчук и др. ПМТФ, 1974, 4.
19. Я. И. Френкель. Кинетическая теория жидкостей. Л., Изд-во АН СССР, 1945.
20. Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе. Теоретическая гидродинамика. Т. II. М., Физматгиз, 1963.
21. S. K. Godunov, A. A. Degibas, a. o. Comp. Phys., 1970, 5, 3.
22. В. И. Мали, В. В. Пай, А. И. Сковпин. ФГВ, 1974, 10, 5.
23. Г. Биркгоф, Э. Сарантонелло. Струи, следы и каверны. М., «Мир», 1964.
24. В. А. Симонов. ФГВ, 1971, 7, 2.
25. Jishii, Onsawa, a. o. J. Japan Welding Society, 1971, 40, 6.

УДК 662.215.1 : 541.128

#### О РОЛИ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ КАТАЛИЗЕ ГОРЕНИЯ БАЛЛИСТИЧНЫХ ПОРОХОВ

A. С. Андро́сов, A. П. Денисюк, H. П. Токарев, K. Г. Фоминов  
(Москва)

Известно, что многие соединения меди почти не влияют на скорость горения порохов при умеренно повышенном давлении, но весьма существенно усиливают влияние свинецсодержащих катализаторов [1, 2]. Однако некоторые отдельные опыты показали, что по влиянию на скорость горения нитроцеллюлозы (НЦ) мелкодисперсная CuO почти не уступает влиянию свинецсодержащих катализаторов. Причины различного влияния соединений меди на скорость горения порохов и НЦ и значительного усиления влияния на горение порохов свинцовых катализаторов в их присутствии не ясны.

Для выяснения этих вопросов целесообразно прежде всего исследовать влияние свинец- и медьсодержащих добавок на горение некоторых отдельных компонентов порохов и различных двухкомпонентных систем. С этой целью было рассмотрено горение НЦ ( $\sim 12\%$  N) и систем: нитроцеллюлоза — динитротолуол (ДНТ), нитроцеллюлоза — нитроглицерин (НГЦ) с различным количеством мелкодисперсных (1 мкм)  $\text{CuO}$ ,  $\text{PbO}_2$  и  $\text{PbO}$ . Систему НЦ — ДНТ получали следующим образом: нитроцеллюлозу помещали в воду (1:7) и при  $90^\circ\text{C}$  по каплям прибавляли расплавленный динитротолуол. После этого смесь перемешивали в течение трех часов, постепенно понижая температуру до комнатной.

Нитроцеллюлозу и системы с ДНТ, а также с 10% НГЦ сушили в течение 6—7 часов при  $96^\circ\text{C}$  и затем запрессовывали под давлением  $\sim 5000 \text{ кГ/см}^2$  в поликарбонатные трубочки с внутренним диаметром 7 мм. (Потери НГЦ и ДНТ при сушке составляли не более 1,5÷2% от вводимого количества.) Скорость горения определяли в бомбе постоянного давления. Эффективность добавки оценивали величиной  $z = \frac{u_k}{u_e}$ , где  $u_k$  и  $u_e$  — линейные скорости горения катализированного и эталонного образцов соответственно.

На рис. 1. представлена зависимость эффективности действия добавок от их содержания ( $C$ ) в НЦ. Увеличение содержания  $\text{PbO}_2$  и  $\text{CuO}$  до 7% повышает скорость горения. При дальнейшем увеличении  $C$  на

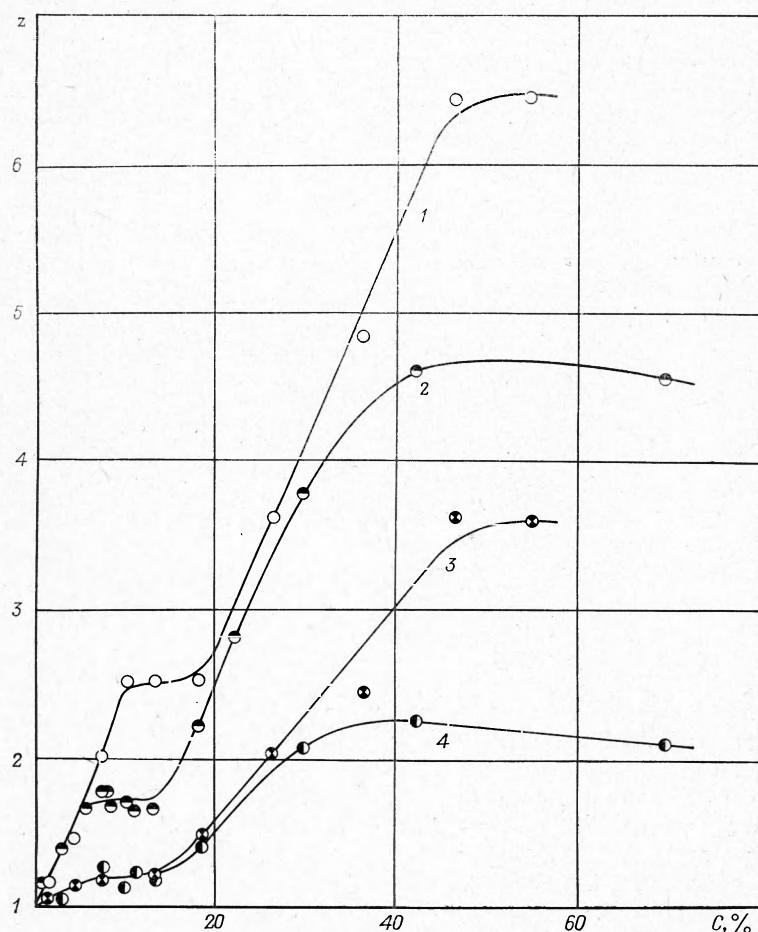


Рис. 1. Влияние окислов свинца (1, 3) и меди (2, 4) на горение нитроцеллюлозы при  $10 \text{ кГ/см}^2$  (1, 2) и  $45 \text{ кГ/см}^2$  (3, 4).

Таблица 1  
Влияние различных количеств  $\text{PbO}$  на скорость горения НЦ

Содержание $\text{PbO}$ , вес. %	$z$ при $p$ , кг/см <sup>2</sup>	
	10	45
5	1,67	1,14
10	1,84	1,23
20	2,14	1,29
40	2,76	1,28

Таблица 2  
Скорость горения образцов НЦ с 69,4%  $\text{CuO}$  при  $p=10$  кг/см<sup>2</sup>

Отток газов	$u_{\text{ср}}$ , мм/с	$z = \frac{u}{u_s}$
Вверх	13,7	4,34
Вниз	14,0	4,45

После горения нитроцеллюлозы с повышенным содержанием добавок (более 10%) в трубочке остаются сплавленные металлические частицы свинца и меди. Они, по-видимому, могут накапливаться на горящей поверхности и, возможно, влиять на скорость горения.

Для выяснения этого обстоятельства были проведены опыты по сжиганию образцов снизу вверх, когда, как можно полагать, удаление порошков с поверхности происходит более легко. Оказалось, что в этом случае в трубке не оставалось агломератов металла, но скорость горения образцов не изменилась (табл. 2).

Большой интерес представляет горение НЦ с комбинированным катализатором (табл. 3). При изменении в довольно широком диапазоне соотношения между окислами свинца и меди последняя не усиливает влияние  $\text{PbO}_2$  и скорость горения образцов с комбинированным катализатором приблизительно аддитивна, в отличие от горения пороха, где отчетливо наблюдается усиление влияния  $\text{PbO}_2$  при добавлении  $\text{CuO}$ .

Было исследовано влияние катализаторов на скорость горения НЦ при давлениях ниже атмосферного (табл. 4). Оказалось, что в вакууме наблюдаются более существенные различия между влиянием окислов свинца и меди, чем при давлениях выше атмосферного.

В области низкого давления обе добавки практически одинаково снижают минимальное остаточное давление, начиная с которого горение НЦ происходит без затухания, при этом скорость горения образцов с  $\text{PbO}_2$  и  $\text{CuO}$  одинакова ( $\sim 0,6$  мм/с) и равна скорости горения НЦ без добавок в области критического ( $\sim 450$  мм рт. ст.) давления. Однако при остаточных давлениях выше критического эффективность действия  $\text{PbO}_2$  значительно выше, чем  $\text{CuO}$ . При этом увеличение кон-

кривой  $z(C)$  появляется «плато» (при концентрации  $10 \div 20\%$  для  $\text{PbO}_2$  и  $7 \div 14\%$  для  $\text{CuO}$ ). На этом участке влияние  $\text{PbO}_2$  выше, чем  $\text{CuO}$ . Последующее повышение концентрации добавок увеличивает скорость горения, которое достигает значительной величины (при  $10$  кг/см<sup>2</sup>  $z=4,5 \div 6,0$ ). При  $C=20 \div 40\%$  влияние  $\text{CuO}$  и  $\text{PbO}_2$  практически одинаково. Затем на кривых  $z(C)$  появляется второе «плато» (для  $\text{CuO}$  оно начинается раньше), на котором, как и на первом, эффективность действия  $\text{PbO}_2$  выше, чем  $\text{CuO}$ . При повышенных давлениях отмеченные закономерности принципиально не меняются, но влияние добавок на скорость горения снижается.

Аналогичное качественное влияние на скорость горения НЦ оказывает и окись свинца (табл. 1). Введение больших количеств добавок не вносит существенного вклада в кислородный баланс ( $\alpha$ ) НЦ. Действительно, при введении 30%  $\text{PbO}_2$  величина  $\alpha$  изменяется с 0,62 до  $\sim 0,64$  даже при условии, что  $\text{PbO}_2$  восстанавливается до свинца. Поэтому увеличение скорости горения НЦ при наличии большого количества добавок, по-видимому, мало связано с их непосредственно окислительным действием.

Таблица 3  
Влияние различного количества свинцово-медных катализаторов на скорость горения нитроцеллюлозы

Содержание катализат., вес. %	$u$ , мм/с при $p$ , кг/см <sup>2</sup>		
	10	45	90
$\text{PbO}_2$	$\text{CuO}$		
0	0	3,1	9,9
6,4	0	6,0	13,2
0	6,4	5,9	13,0
5,6	0,8	5,9	13,1
3,2	3,2	5,9	13,2
0,8	5,6	5,7	13,2
16,0	0	8,5	14,7
0	16,0	7,6	14,5
14,0	2,0	8,5	14,6
8,0	8,0	8,5	14,5
			18,8

Таблица 4  
Влияние окислов свинца и меди на горение нитроцеллюлозы при различных давлениях

Содержание катализаторов вес. %	Катализатор	Критическое давление, мм рт. ст.	$u$ , мм/с при $p$ , мм рт. ст.				
			50	100	300	500	700
—	—	450	—	—	—	0,8	0,9
	PbO <sub>2</sub>	50	0,6	0,8	1,7	2,2	2,6
	CuO	50	0,6	0,8	1,3	1,6	1,9
7,3	PbO <sub>2</sub>	30	0,8	1,3	2,3	3,2	4,1
	CuO	30	0,8	0,9	1,4	1,7	2,2
22,0	CuO	200	—	—	1,1	1,3	1,6
	Сажа	230	—	—	1,1	1,3	1,6
	SiO <sub>2</sub>	260	—	—	0,7	1,1	1,2
6	—	—	—	—	—	—	—

центрации CuO с 7 до 22% влияет довольно слабо, а PbO<sub>2</sub> — гораздо сильнее. Таким образом, наибольшее различие во влиянии этих добавок на скорость горения НЦ в вакууме проявляется при их большой концентрации.

Закономерности влияния изучаемых катализаторов существенно не изменяются при введении в нитроцеллюлозу 17% динитротолуола

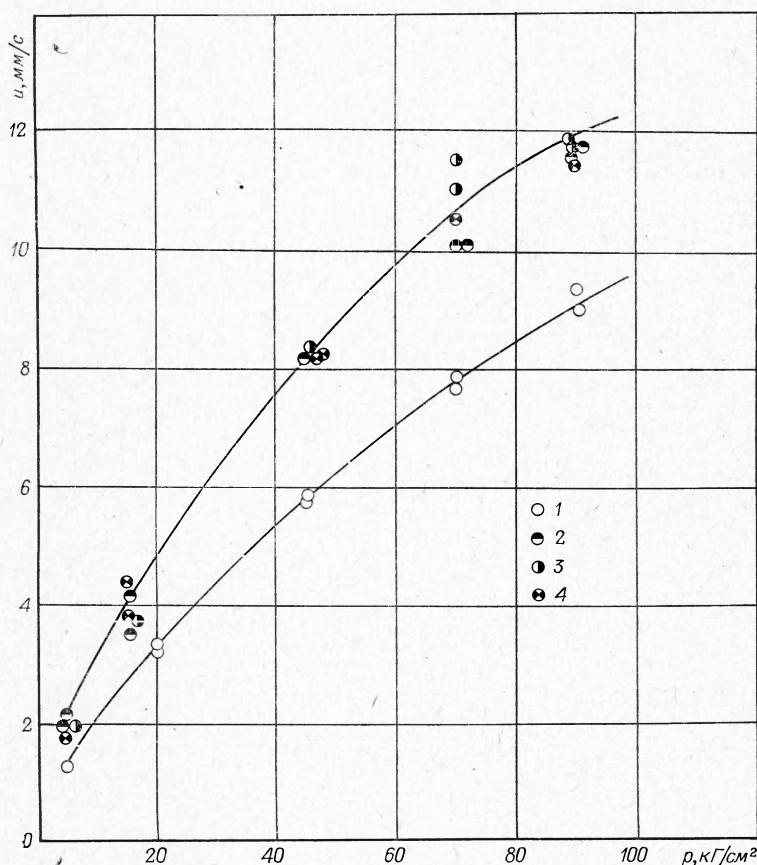


Рис. 2. Влияние 3% PbO<sub>2</sub>, CuO и их смеси (1% PbO<sub>2</sub> и 2% CuO) на зависимость  $u$  ( $p$ ) системы НЦ—ДНТ.

1 — эталон; 2 — эталон+CuO; 3 — эталон+PbO<sub>2</sub>; 4 — эталон+CuO+PbO<sub>2</sub>.

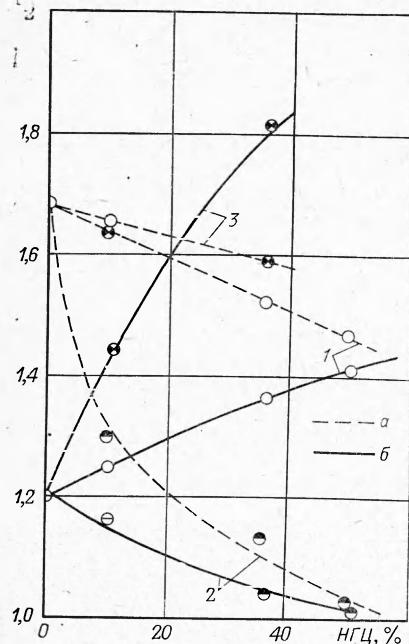


Рис. 3. Влияние катализаторов на скорость горения двойных систем с различным содержанием НГЦ при  $10 \text{ кГ/см}^2$  (а) и  $45 \text{ кГ/см}^2$  (б).  
 1 — 5,6%  $\text{PbO}_2$ ; 2 — 5,6%  $\text{CuO}$ ; 3 — 1%  $\text{PbO}_2$   
 и 4,6%  $\text{CuO}$ .

45 кГ/см<sup>2</sup> на 40%, на НЦ — лишь на 10÷15%, при 10 кГ/см<sup>2</sup> эффективность добавок одинакова ( $z=1,43$ ).

Другая картина наблюдается при горении систем НЦ+НГЦ. При введении НГЦ в нитроцеллюлозу каталитические свойства окиси меди резко снижаются (рис. 3) вплоть до почти полного ее отключения при всех изученных давлениях. Так, на скорость горения системы с 36% НГЦ и выше добавка 5,6% окиси меди оказывает слабое влияние (прирост скорости даже при низком давлении не превышает 15%).

Эффективность  $PbO_2$  при введении в НЦ НГЦ при низких давлениях не изменяется, а при умеренно повышенных даже несколько возрастает. Указанная закономерность характерна для широкого диапазона концентраций добавок (табл. 5). В двухкомпонентной системе начинает проявляться эффект усиления влияния  $PbO_2$  в присутствии  $CuO$  при преобладающем содержании последней. Чем выше содержание НГЦ (в ин-

Таблица 6

Система	Катализатор, вес. %		z при p, кГ/см <sup>2</sup>		
	PbO <sub>2</sub>	CuO	10	45	90
НЦ	2,0	—	1,24	1,10	1,04
НЦ+НГЦ	2,0	—	1,22	1,16	1,10
Н	2,0	—	2,24	1,36	1,10
НЦ	1,0	4,6	1,68	1,20	1,08
НЦ+НГЦ	1,0	4,6	1,65	1,82	1,45
Н (НЦ+НГЦ+ +ДНТ)	1,0	4,6	3,0	3,7	3,0

Таблица 5

## Влияние $PbO_2$ и $CuO$ на скорость горения двойных систем нитроцеллюлоза — нитро-глицерин

%	Добавка	z при 10 кГ/см <sup>2</sup> и содержании катализатора, вес. %			
		2	5	8	12
10	CuO	1,00	1,26	1,37	1,47
	PbO <sub>2</sub>	1,45	1,64	1,70	1,78
36	CuO	1,00	1,17	1,20	1,20
	PbO <sub>2</sub>	1,22	1,46	1,61	1,61
50	CuO	1,00	1,00	—	—
	PbO <sub>2</sub>	1,10	1,37	—	—

(количество ДНТ взято из расчета получения такого же соотношения НЦ: ДНТ, как и в порохе Н).

Окись меди и двуокись свинца и смесевой катализатор практически однаково ускоряют горение этой композиции в изученном интервале давлений (рис. 2). При повышении давления эффективность их действия снижается, однако не так резко как для НЦ. Так, например, 3% добавки увеличивают скорость горения системы с ДНТ при  $10 \div 15\%$  при  $10 \text{ кГ/см}^2$  эффектив-

в интервале 10—36%), тем более четко он проявляется (рис. 3, 4). Так, система 36% НГЦ+1% PbO<sub>2</sub> в сочетании с 4,6% CuO при 70 кГ/см<sup>2</sup> горит в 1,25 раза быстрее, чем образец с 5,6% PbO<sub>2</sub>.

Необходимо отметить еще одно очень важное для катализа горения порохов обстоятельство. Если сравнить влияние катализаторов на скорость горения пороха Н (57%)

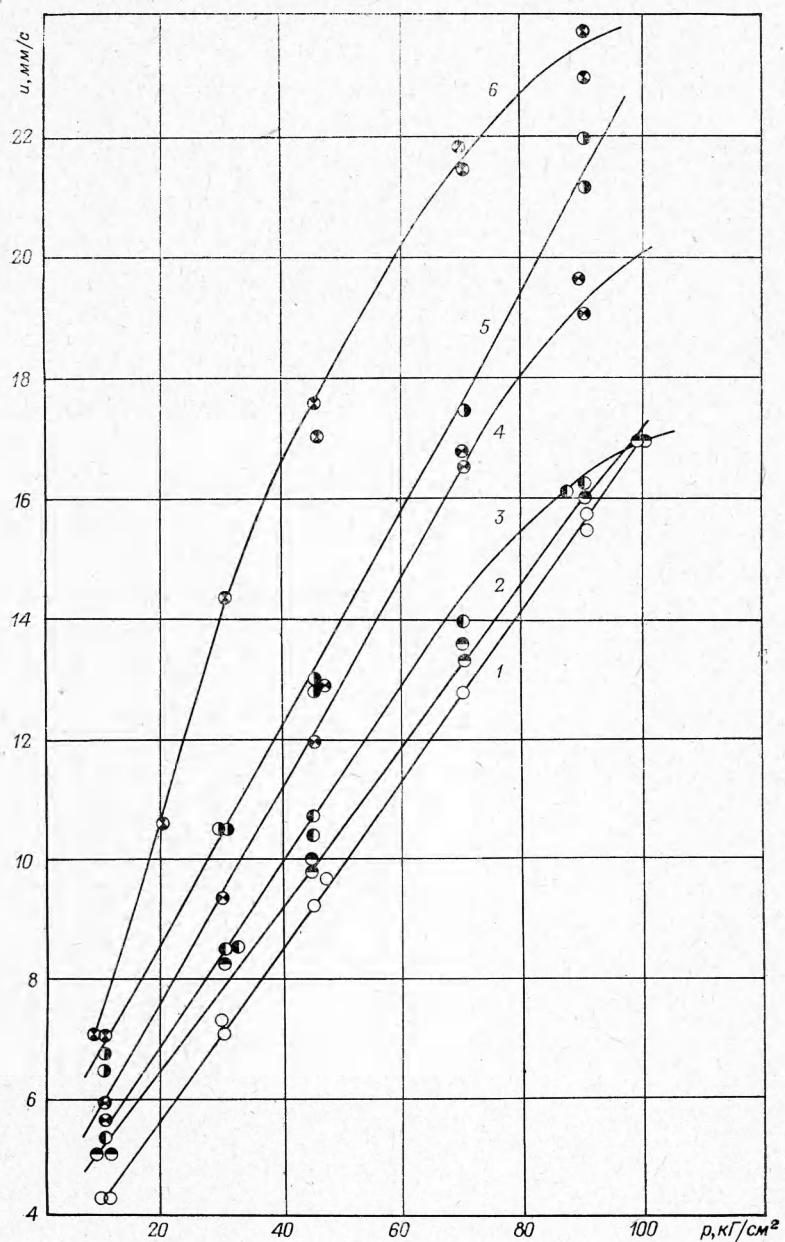


Рис. 4. Влияние окислов свинца и меди и их смеси на зависимость  $u(p)$  двойной системы (64% НЦ + 36% НГЦ).

1 — эталон; 2 — 5,6% CuO; 3 — 1% PbO<sub>2</sub>; 4 — 2,8% PbO<sub>2</sub> и 2,8% CuO; 5 — 5,6% PbO<sub>2</sub>; 6 — 1% PbO<sub>2</sub> и 4,6% CuO.

НЦ+28% НГЦ+12% ДНТ) и на скорость горения нитроцеллюлозы или двойной системы НЦ—НГЦ с тем же соотношением, что и в порохе, то в первом случае оно проявляется гораздо сильнее (табл. 6).

Более высокая эффективность действия катализаторов на скорость горения и зависимость  $u(p)$  пороха Н связана в основном с присутствием в его составе динитротолуола.

### Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что во влиянии  $PbO_2$ ,  $PbO$ ,  $CuO$  и их смеси на скорость горения нитроцеллюлозы и порохов имеются существенные качественные и количественные различия.

1. Двуокись свинца в небольшом количестве ( $1\div4\%$ ) на скорость горения НЦ оказывает меньшее влияние, чем в случае пороха. Так, 2%  $PbO_2$  ускоряют горение пороха Н при  $p=10 \text{ кГ/см}^2$  в 2,2 раза, а нитроцеллюлозы — лишь в  $1,2\div1,4$  раза. Кроме того, для порохов  $PbO_2$  гораздо более существенно уменьшает зависимость  $u(p)$ , чем в случае НЦ.

2. Окись меди при малых количествах ( $1\div4\%$ ) более слабо влияет на скорость горения порохов, чем  $PbO_2$ . В случае же нитроцеллюлозы в области умеренно повышенных давлений ( $5\div100 \text{ ат}$ ) их влияние одинаково.

Как уже отмечалось, кривые эффективности действия  $PbO_2$  и  $CuO$  на скорость горения в зависимости от их концентрации  $z(C)$  имеют одинаковый характер и состоят из четырех участков.

Вначале при увеличении количества  $CuO$  ( $0\div7\%$ ) и  $PbO_2$  ( $0\div12\%$ )  $z$  возрастает, затем на кривой появляется плато, более четко выраженное при малом давлении, после которого наблюдается дальнейший рост  $z$  в широком диапазоне концентрации добавок, после чего вновь наблюдается плато. Можно считать, что увеличение скорости горения при введении относительно небольших (до  $\sim 7\div12$ ) количеств  $PbO_2$  и  $CuO$  в основном связано с катализитическим, а не с окислительным влиянием. Механизм действия катализаторов, в частности  $CuO$ , может осуществляться через стадии отдачи кислорода с поверхности с последующим окислением металла окислителями ( $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ).

Рост  $z$  после первого плато, по-видимому, обусловлен как катализитическим<sup>1</sup> влиянием добавок, так, вероятно, и их окислительным действием. Последнее, однако, вряд ли может быть очень значительным. Как было показано выше, кислородный баланс НЦ при введении больших количеств добавок изменяется незначительно. Кроме того, скорость окисления твердыми добавками ( $PbO_2$  и  $CuO$ ) продуктов в к-фазе не может быть высокой, так как на поверхности окисла будет образовываться металл, через который должны диффундировать восстановители. К тому же объемная доля добавок намного меньше (в 5,9 раза при  $PbO_2$  и в 4,0 при  $CuO$ ), чем весовая. На основании этого и принимая во внимание малое ( $10^{-3}\div10^{-4} \text{ с}$ ) время существования реакционного слоя при горении НЦ, можно предположить, что добавки в к-фазе при относительно невысокой температуре поверхности могут отдать кислород только с поверхностных слоев, что вряд ли внесет существенный вклад в скорость тепловыделения к-фазы и, следовательно, в увеличение скорости горения. Следует отметить, что после сгорания зарядов с большим коли-

<sup>1</sup> При этом не исключено, что механизм катализитического воздействия добавок при малом (до первого плато) и большом их количестве может быть различным. Вероятно, в случае небольших количеств добавок увеличение скорости горения может происходить за счет реализации гетерогенно-гомогенного катализа [3]. С увеличением содержания катализаторов и, следовательно, с ростом их поверхности, доля непосредственно гетерогенных реакций будет, по-видимому, возрастать.

чеством  $PbO_2$  и  $CuO$  на трубках остается много металлических частиц свинца и меди, что указывает на восстановление окислов. Но это, по-видимому, происходит в высокотемпературных зонах, почти не влияющих на скорость горения.

Подтверждением того, что увеличение скорости горения при введении  $PbO_2$  и  $CuO$  происходит во многом за счет их катализитического воздействия служат результаты опытов по влиянию  $PbO$ , обладающей значительно более слабыми окислительными свойствами, чем  $PbO_2$  и  $CuO$  [4]. При давлениях ниже атмосферного влияние  $PbO_2$  на скорость горения НЦ значительно сильнее чем  $CuO$ , при этом последняя увеличивает скорость горения довольно слабо и мало зависит от количества добавок. Можно предположить, что рост скорости горения НЦ с  $CuO$  в вакууме связан в основном не с катализитическим влиянием, а с аккумуляцией тепла твердой добавкой на поверхности горения [5]. В пользу этого говорит то, что почти аналогичное действие на горение НЦ оказывает сажа (ПМ-15) и двуокись кремния (см. табл. 3), которые при умеренно повышенных давлениях понижают скорость горения (на 10—20% при 30—100 кГ/см<sup>2</sup>).

На основании этого, а также принимая во внимание, что  $CuO$  в отличие от  $PbO_2$  не влияет на скорость горения пороха Н, можно полагать, что почти одинаковое увеличение скорости горения НЦ окислами свинца и меди при давлениях выше атмосферного (10÷100 кГ/см<sup>2</sup>) обусловлено различными механизмами их действия. Исходя из современных представлений о ведущей роли к-фазы при горении НЦ и порохов, можно полагать, что увеличение скорости горения при введении добавок происходит за счет их влияния в реакционном слое к-фазы.

Сильная зависимость активности воздействия окиси меди от внешнего давления дает основание считать, что она катализирует взаимодействие промежуточных продуктов в реакционном слое к-фазы. В вакууме, когда степень разложения конденсированной фазы НЦ невелика [6—8], она оказывает более слабое влияние на скорость горения, чем  $PbO_2$ . Можно считать, что влияние двуокиси свинца на скорость горения проявляется в основном на первичные процессы в к-фазе, как это и предполагается в [2], мало зависящие от внешнего давления.

При введении в нитроцеллюлозу нитроглицерина катализитические свойства окиси меди резко понижаются. Это может быть обусловлено изменением состава продуктов в реакционном слое к-фазы. Одним из объяснений этого явления может быть, например, следующее. В работе [9] показано, что при разложении нитроцеллюлозы преимущественно образуется двуокись, а нитроглицерина — окись углерода. Известно также, что  $CuO$  является одним из лучших катализаторов окисления CO до  $CO_2$  [10, 11], причем механизм ее действия описывается через стадии отдачи кислорода решетки и последующего реокисления меди окислителем [12, 13]. Однако окись углерода может сорбироваться на металлической меди в двух формах — низкотемпературной и высокотемпературной, появляющейся дополнительно при температуре 150°C и выше [14]. Вторая форма хемосорбции CO не окисляется кислородом до  $CO_2$ . Следовательно, можно предположить, что на части образующейся после первого акта катализа меди в атмосфере, содержащей повышенное количество CO (и окислитель в основном в виде инертной NO), может быть хемосорбирована высокотемпературная форма CO, которая «отравляет» поверхность катализатора.

3. Коротко остановимся еще на следующем обстоятельстве.  $CuO$  слабо изменяет скорость горения порохов, но значительно увеличивает влияние свинецсодержащих катализаторов. В случае нитроцеллюлозы такого взаимодействия наблюдать не удалось. Однако оно начинает проявляться при добавлении к НЦ даже относительно небольшого (10%) количества НГЦ. Это может быть связано как с изменением со-

ства продуктов распада в к-фазе, что создает условия для взаимного усиления влияния добавок, так и с облегчением, в виду наличия пластификатора, диффузационного взаимодействия в к-фазе продуктов превращения, образующихся на различных добавках.

Проведенные исследования убедительно показали, что НГЦ и продукты его разложения активно участвуют в каталитических процессах, протекающих в реакционном слое к-фазы при горении пороховых систем.

Кроме того, необходимо отметить, что при катализе горения пороха Н весьма существенную роль играет динитротолуол. Как уже отмечалось, на порох катализаторы действуют гораздо сильнее, чем на двухкомпонентную систему НЦ—НГЦ.

Повышение эффективности действия катализаторов в присутствии ДНТ может быть связано, по-видимому, с тем, что он частично разлагается в к-фазе, образуя промежуточные углеродсодержащие продукты, которые могут выполнять роль, аналогичную роли сажи, которая [15] усиливает влияние катализаторов<sup>1</sup>.

В заключение авторы выражают благодарность профессору Б. С. Светлову за ценные критические замечания, высказанные при обсуждении статьи.

Поступила в редакцию  
11/III 1794

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США № 3138499; пат. США № 3102834.
2. В. М. Мальцев, М. Саммерфильд. ФГВ, 1973, 9, 1.
3. Н. Н. Бахман, И. Н. Лобанов и др. Докл. АН СССР, 1972, **202**, 5.
4. В. М. Латимер. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах. М., ИЛ, 1954.
5. В. Э. Анников. Канд. дисс. МХТИ, 1969.
6. П. Ф. Похил. Сб. «Физика взрыва», № 2. Изд. АН СССР, 1953.
7. А. Д. Марголин, П. Ф. Похил. Докл. АН СССР, 1963, **150**, 6.
8. П. Ф. Похил. ФГВ, 1969, 5, 3.
9. Б. С. Светлов. Докт. дисс. МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1970.
10. Г. К. Боресков. Кинетика и катализ, 1973, 14, 1.
11. О. В. Крылов. Кинетика и катализ, 1962, 3, 4.
12. Б. Трепнел. Хемосорбция. М., ИЛ, 1958.
13. А. В. Фесенко, Г. П. Корнейчук, В. Г. Высоченко. Кинетика и катализ, 1972, 13, 1.
14. Л. М. Роев. Катализ и катализаторы, 1971, 8.
15. D. I. Hewkin, J. A. Hicks a. o. Combustion Science and Technology, 1971, 2.

УДК 662.58

#### ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ТИТАНА В АЗОТЕ

C. Л. Харатян, Ю. М. Григорьев, А. Г. Мержанов  
(Москва)

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования закономерностей воспламенения титановых нитей в азоте, представляющие интерес в связи с разработкой количественной теории воспламенения металлов [1], а также для объяснения механизма высокотемпературного синтеза нитридов [2—4].

<sup>1</sup> Более подробные исследования роли ДНТ проведены А. П. Денисюком, В. М. Кувшиновым и В. Г. Хубаевым.