

молекул, возникающих в зоне горения в возбужденном электронном состоянии, либо возбуждение в зоне горения примесей (Fe, Cu и их окислов), присутствующих в промышленном воздухе, с их последующим высвечиванием. Введение очень небольшого количества топлива, приводящего к повышению температуры воздуха всего на $\Delta T \approx \approx 100$ К, было достаточно, чтобы сделать сверхзвуковой поток видимым.

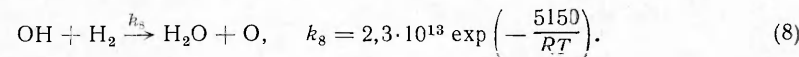
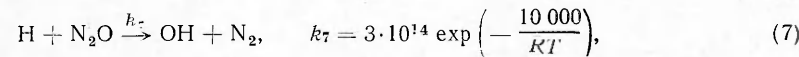
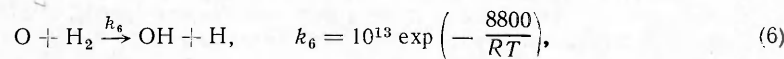
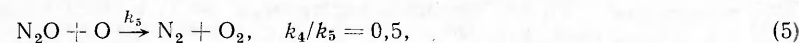
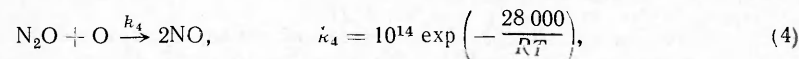
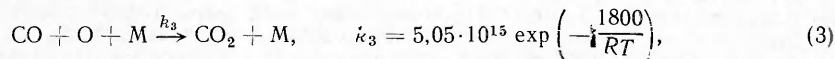
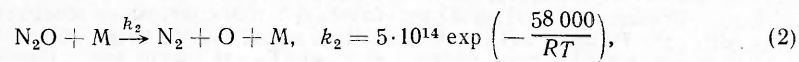
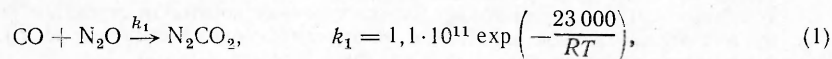
ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ CO₂ В ГДЛ НА ПРОДУКТАХ РЕАКЦИИ CO+N₂O

Н. Н. Кудрявцев, С. С. Новиков, И. Б. Светличный
(Москва)

Химически реагирующие смеси широко применяются для создания рабочей среды CO₂-лазера [1]. Возможность использования в ГДЛ реагирующей смеси CO+H₂+N₂O изучалась в [2]. В данной работе на основе экспериментального определения колебательных температур углекислого газа [3] проведено исследование образования инверсной заселенности в CO₂-лазере на тройной реагирующей смеси CO+H₂+N₂O.

Воспламенение CO+N₂O характеризуется периодом индукции $\Delta\tau_i = [N_2O] \cdot 3,5 \cdot 10^{13} \exp(-25600/RT)$, где концентрация N₂O выражена в см³/(моль·с). Введение в смесь CO+N₂O молекул водорода вызывает сокращение периода индукции в 5÷10 раз [5].

Кинетика химических превращений в смеси CO+H₂+N₂O может быть описана следующими основными элементарными стадиями:



Здесь приведены значения констант скоростей, рекомендованные в [6—8]. Размерность константы k_3 — см⁶/(моль²·с), остальных — см³/(моль·с). В результате протекания реакций (1)—(3) и (6)—(8) происходит образование основных компонентов рабочей среды CO₂-лазеров — молекул CO₂, N₂, H₂O. В реакциях (4) и (5) образуются молекулы O₂ и NO, снижающие инверсную заселенность в CO₂-лазерах [1]. Концентрация окиси азота и кислорода в продуктах реакции определяется отношением скоростей расходования атомарного кислорода в реакциях (4)—(5) и (3)—(6): $\Delta = (d[O]_4 + d[O]_5)/(d[O]_3 + d[O]_6)$.

Условие $\Delta \ll 1$ соответствует малым концентрациям молекул O₂ и NO в продуктах реакции. Значения Δ в реакциях (4), (5) и (3)—(6) в зависимости от температуры и начального содержания водорода $\xi_{H_2}^0 = [H_2]_{t=0}/[M]$, где $[M]$ — общая плотность частиц, при $p=10$ атм, $\xi_{CO}^0 = 0,1$ и $\xi_{N_2O}^0 = \xi_{CO}^0 + \xi_{H_2}^0$ приведены в таблице. Видно, что при увеличении содержания молекулярного водорода в пределах 0—0,1 температурная граница выполнения неравенства $\Delta \ll 1$ увеличивается с 1750 до 2200 К. Таким

$\xi_{\text{H}_2}^0$	T, K				
	1500	1750	2000	2250	2500
0	0,10	0,45	1,30	3,10	3,4
0,01	0,09	0,32	0,92	1,90	3,1
0,10	0,04	0,10	0,39	0,65	1,1

образом, добавление к смеси $\text{CO}+\text{N}_2\text{O}$ молекул водорода приводит к снижению концентрации NO и O_2 в продуктах реакции. Данные таблицы свидетельствуют о возможности получения состава продуктов реакции $\text{CO}+\text{H}_2+\text{N}_2\text{O}$, разбавленных азотом, близкого к оптимальному для CO_2 -лазера.

Исследование влияния добавок молекулярного водорода к смеси $\text{CO}+\text{N}_2\text{O}$ на колебательные температуры CO_2 приведено на примере смесей $0,05\text{N}_2\text{O}+0,25\text{CO}+0,7\text{N}_2$ (1) и $0,75\text{N}_2\text{O}+0,25\text{CO}+0,25\text{H}_2+0,65\text{N}_2$ (2).

Эксперименты проводились на установке типа импульсного ГДЛ на ударной трубе, описанной в [9]. Химические реакции осуществлялись за отраженной ударной волной. Измерения проводились в двух сечениях сверхзвукового потока, расположенных на расстояниях $L=140$ и 350 мм от горловины сопла. Температура газа в предсопловом объеме T_0 рассчитывалась по измеренной скорости падающей ударной волны с учетом энергосодержания в реакциях $\text{CO}+\text{N}_2\text{O}—87,3$ ккал/моль и $\text{H}_2+\text{N}_2\text{O}—73,8$ ккал/моль. При расчетах предполагались постоянство давления за отраженной ударной волной и полнота завершения химических превращений.

Полученные в эксперименте значения коэффициента усиления для смесей 1,2 приведены в зависимости от температуры газа перед соплом T_0 на рис. 1 ($p_0=5,2\pm\pm 0,5$ атм). Видно, что усиление наблюдалось лишь при введении в смесь $\text{CO}+\text{N}_2\text{O}$ водорода. В исследованном диапазоне температур ($T_0=1800\div 2700$ К) коэффициент усиления K_0 в первом сечении потока для смеси 2 уменьшается от $\sim 0,25$ до $\sim 0,15$ м⁻¹ (см. рис. 1, 2). Величина коэффициента усиления во втором сечении потока ($L=350$ мм) приблизительно вдвое ниже, чем в первом сечении (см. рис. 1, 2'), и практически не зависит от температуры перед соплом.

Результаты измерений колебательной температуры асимметричной моды углекислого газа T_3 при $L=140$ мм представлены на рис. 2. Штриховыми линиями показаны температуры в критическом сечении сопла T_* для смесей 1 и 2. Наблюдается возрастающая зависимость T_3 от T_0 . Наибольшие значения колебательной температуры T_3 зарегистрированы для смеси 1, которая не содержит водорода (см. рис. 2, 1). Введение в смесь $\text{CO}+\text{N}_2\text{O}$ 2,5% водорода приводит к значительному (~ 100 К) снижению колебательной температуры T_3 (см. рис. 2, 2).

Результаты измерений колебательной температуры симметричной моды CO_2 (T_2) представлены для $L=140$ мм на рис. 3. Штриховой линией показана поступательная температура в потоке. Колебательная температура T_2 в смеси 1 характеризуется высокими значениями и более чем вдвое превышает поступательную температуру (см. рис. 3, 1). Добавление к смеси $\text{CO}+\text{N}_2\text{O}$ водорода приводит к резкому снижению T_2 (см. рис. 3, 2). При этом в области высоких температур ($T_0 \geq 2500$ К) зарегистрирована практически полная термализация нижнего лазерного уровня. Таким образом, усиление,

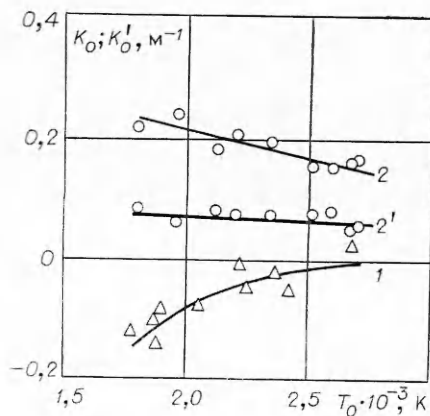


Рис. 1.

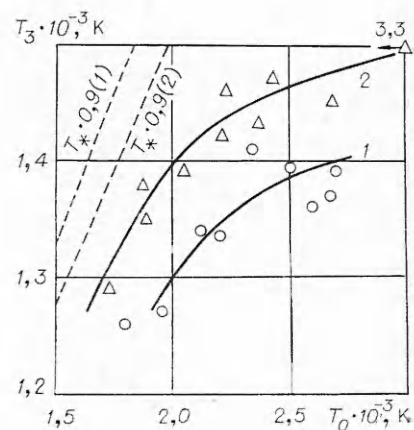


Рис. 2.

наблюдаемое для смеси 2, обусловлено эффективной дезактивацией нижнего лазерного уровня CO_2 молекулами воды, образующимися в реакции (8).

Снижение коэффициента усиления в смеси 2 при $L=350$ мм (см. рис. 1, 2') определяется, по-видимому, эффективной релаксацией асимметричной моды CO_2 в сверхзвуковом потоке, содержащем молекулы воды, так как колебательная температура нижнего лазерного уровня T_2 близка к поступательной уже при $L=140$ мм. Приведенные исследования колебательных температур T_3 и T_2 позволяют объяснить результаты полученные в [2]. Наблюдавшееся в этой работе увеличение коэффициента усиления при повышении содержания водорода в исходной смеси в пределах $\xi_{\text{H}_2}^0 = 0,00 \rightarrow \div 0,05$ ($\xi_{\text{H}_2\text{O}}/\xi_{\text{CO}_2} = 0 \div 0,5$), по-видимому, определяется снижением T_2 до $\bar{T}_2 \approx \bar{T}$ аналогично смесям 1 и 2. Дальнейшее повышение содержания водорода должно приводить к уменьшению коэффициента усиления K_0 вследствие снижения заселенности верхнего лазерного уровня. Наблюдавшееся в [2] снижение K_0 при $\xi_{\text{H}_2}^0 < 0,05$ ($\xi_{\text{H}_2\text{O}}/\xi_{\text{CO}_2} > 0,5$), по-видимому, определяется этим эффектом.

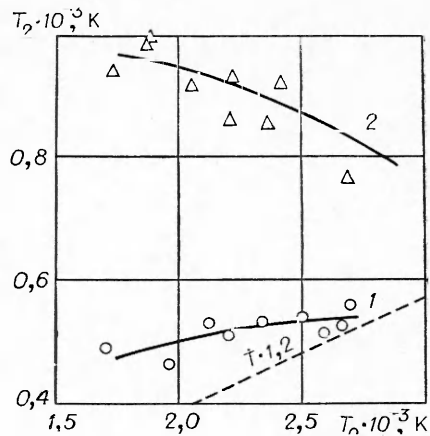


Рис. 3.

Поступила в редакцию
18/VII 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Лосев. Газодинамические лазеры. М., «Наука», 1977.
2. Н. Н. Кудрявцев, С. С. Новиков, И. Б. Светличный. ПМТФ, 1974, 5.
3. Н. Н. Кудрявцев, С. С. Новиков, И. Б. Светличный. Докл. АН СССР, 1976, 231, 6.
4. Р. И. Солоухин. Докл. АН СССР, 1970, 194, 1.
5. L. R. Dugimond. Austz. J. Chem., 1968, 21, 2631.
6. В. И. Головичев, Р. И. Солоухин. ФГВ, 1975, 11, 5, 790.
7. M. C. Lin, S. H. Bauer. J. Chem. Phys., 1969, 50, 33, 77.
8. В. Н. Кондратьев. Константы скоростей газофазных реакций. М., «Наука», 1970.
9. Н. Н. Кудрявцев, С. С. Новиков, И. Б. Светличный. Докл. АН СССР, 1976, 231, 5.

О НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗГОНА ТОНКИХ ПЛАСТИН В РЕЖИМЕ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДА ВВ

О. Б. Дреннов, А. Л. Михайлов
(Москва)

Процесс разгона пластин в режиме скользящей детонации заряда ВВ обычно описывают скоростью ω_n полета пластины в направлении, перпендикулярном начальному положению, и скоростью детонации заряда ВВ D , которые совместно определяют угол отгиба метаемой пластины $\varphi = \arctg(\omega_n/D)$. Принято считать, что процесс разгона зависит от приведенной массы на единицу поверхности $R = m_{\text{ВВ}}/m_{\text{пл}}$, базы разгона d и не зависит от материала метаемой пластины.

Основные экспериментальные данные получены с использованием малых количеств ВВ ($R \leq 1,2$) [1, 2]. В работе [1] на основании эксперимента и из геометрических построений выведены зависимости для определения ω и φ после завершения стадии разгона пластины:

$$\omega = 1,2D \cdot (\sqrt{1+1,18R} - 1)/(\sqrt{1+1,18R} + 1), \quad (1)$$

$$\varphi = \arcsin(\omega/D), \quad (2)$$