

- кание крыльев при отошедшей ударной волне: Препринт № 152. М.: ИПМ АН СССР им. М. В. Келдыша, 1981, 34 с.
5. Гладков А. А. Расчет аэродинамических характеристик летательного аппарата // Тр. ЦАГИ. 1975. Вып. 1648. С. 116–125.
 6. Тимонин А. С. Расчет аэродинамических характеристик комбинации фюзеляжа с несущим крылом в сверхзвуковом невязком потоке // Тр. ЦАГИ. 1975. Вып. 1699. С. 3–9.
 7. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М.: Мир. 1967. 310 с.
 8. Imai I. Application of the M²-Expansion method to the subsonic flow of a compressible fluid past a parabolic cylinder // Proc. 1-st Japan. Nat. Cong. Appl. Mech., 1951. Tokyo: Nat. Communs Theor. and Appl. Mech. Sci. council. Jap., 1952. P. 349–352.

Москва

Поступила в редакцию:
5.XI.1986г.

УДК 533.6.011.72+539.196

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ РЕКОМБИНАЦИИ КИСЛОРОДА С УЧАСТИЕМ АТОМОВ КИСЛОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТРЕТЬЕГО ТЕЛА

ЗАБЕЛИНСКИЙ И. Е., ШАТАЛОВ О. П.

Для расчета течений реального высокотемпературного газа необходима количественная информация о константах скорости физико-химических превращений. Вместе с тем даже для таких важных для охлаждающихся потоков реакций, как реакции рекомбинации азота и кислорода, информация о константах скорости бедна или требует уточнений.

В данной работе, являющейся продолжением работы [1], в сверхзвуковом сопле исследована реакция рекомбинации $O+O+M=O_2+M$, где в качестве третьего тела выступают атомы кислорода, $M=O$. Методика эксперимента по существу повторяет описанную в [1]. Эксперимент проводился на ударной трубе с внутренним диаметром 49,3 см, в торце которой установлено плоское клиновидное сопло с полным углом раствора 15° и высотой критического сечения 4 мм. Параметры газа в отраженной ударной волне рассчитывались стандартными методами [2] в соответствии с начальным давлением, составом газа и скоростью волны и были входными параметрами при проведении и обработке эксперимента. Скорость падающей ударной волны измерялась пленочными датчиками с точностью не хуже 0,5%. В стенках сопла на расстояниях 46 и 126 мм от критического сечения были установлены пьезоэлектрические датчики давления. Одновременно на расстоянии 73 мм от критического сечения измерялось поглощение потоком кислорода зондирующего пучка излучения с длиной волны 230 и 300 нм.

В отличие от [1] эксперименты выполнялись в смесях, содержащих 25% $O_2+75\%$ Ar, в области скоростей ударных волн $V=2195-2747$ м/с, что соответствовало от 70 до 100% степени диссоциации кислорода на входе в сопло и позволило исследовать рекомбинацию для случая $M=O$.

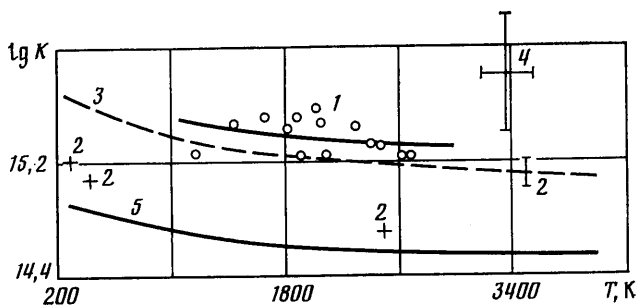
Измеренные в эксперименте значения давления и поглощательной способности рекомбинирующего газа сравнивались с результатами расчета этих величин, выполненного с использованием пробных значений искомой константы скорости рекомбинации k_r ($M=O$). Использованная для этого программа расчета описана в [1, 2].

При обработке эксперимента учитывались также реакции рекомбинации кислорода с $M=Ar$ и $M=O_2$, при этом в качестве констант скорости для реакции рекомбинации кислорода с $M=Ar$ использовалась рекомендация [3], опирающаяся на экспериментальные результаты [4], а в случае $M=O_2$ — верхняя граница рекомендации [5], нашедшая удовлетворительное подтверждение в экспериментах [1]

$$M=Ar: k_r = 1,9 \cdot 10^{13} \exp(900/T) \text{ см}^6/\text{моль}^2 \cdot \text{с} \quad (1)$$

$$M=O_2: k_r = 1,5 \cdot 10^{16} T^{-0,41} \text{ см}^6/\text{моль}^2 \cdot \text{с} \quad (2)$$

В процессе обработки эксперимента пробная константа скорости рекомбинации варьировалась до тех пор, пока не достигалось совпадение полученных в расчете и измеренных в эксперименте характеристик газа. Подобранные с помощью этой процедуры значения константы скорости рекомбинации кислорода k_r ($M=O$) в области температур $T=1190-2650$ К представлены точками на фигуре. Здесь же представлены немногочисленные имеющиеся в литературе данные об этой константе, полученные другими авторами и взятые преимущественно из обзора [3]: 1 — результаты данной работы, 2 — значения k_r ($M=O$), взятые из обзора [3]; 3 — рекомендация работы [6]; 4 — экспериментальный результат [7]. Для сравнения на этой же фигуре (кривая 5) представлена константа скорости рекомбинации кислорода для случая $M=O_2$ (зависимость (2)). Если полученные экспериментальные результаты для



$M=O$ характеризуются той же температурной зависимостью, $k_r \sim T^{-0.41}$, что и в случае $M=O_2$, то с точностью до множителя 1,5 в указанном температурном интервале измеренные значения константы скорости рекомбинации кислорода описываются выражением

$$k_r (M=O) = 5,34 \cdot 10^{16} T^{-0.41} \text{ см}^6/\text{моль}^2 \cdot \text{с} \quad (3)$$

Эта зависимость представлена сплошной линией, проходящей через экспериментальные точки на фигуре.

Интересно отметить, что в пределах указанных авторами точностей (точность $k_r (M=Ar)$ — множитель 1,5–2, точность $k_r (M=O_2)$ — множитель 1,4–1,7) отношение эффективностей частиц O , O_2 и Ar в рекомбинации атомов кислорода при $T \sim 1000\text{--}3000$ К совпадает с отношением эффективностей этих частиц в процессе диссоциации молекул O_2 при $T = 3000\text{--}6000$ К, что дает дополнительное основание связывать константы скорости этих процессов известным соотношением через константу равновесия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Душин В. К., Забелинский И. Е., Шагалов О. П. Рекомбинация кислорода в сверхзвуковом охлаждающемся потоке // Изв. АН СССР. МЖГ. 1987. № 4. С. 160–165.
2. Душин В. К., Шагалов О. П. Исследование течений смеси кислорода с аргоном в соплах с учетом взаимного влияния химической и колебательной неравновесности // Изв. АН СССР. МЖГ. 1981. № 3. С. 87–95.
3. Baulch D. L., Drysdale D. D., Duxbury J., Grant S. J. Evaluated kinetic data for high temperature reactions. V. 3. Homogenous gas phase reactions of the $O_2 - O_3$ system, the $CO - O_2 - H_2$ system, and sulphur-containing species. London: Butterworths, 1976. 593 p.
4. Wray K. L. Shock-tube study of the recombination of O-atoms by Ar catalysts at high temperatures // J. Chem. Phys. 1963. V. 38. № 7. P. 1518–1524.
5. Кондратьев В. Н. Константы скорости газофазных реакций. М.: Наука, 1970. 351 с.
6. Borther M. H. National Bureau of Standards // Technical Note. № 484. 1969.
7. Ионов В. П., Николаев Г. Н. Экспериментальное определение констант скорости рекомбинации кислорода и азота в условиях течения диссоциированных газов в соплах // Изв. АН СССР. МЖГ. 1968. № 6. с. 154–158.

Москва

Поступила в редакцию
10.11.1987