

Экспериментальное определение температуры возгорания натрия и калия

В. А. ПОЛЫХАЛОВ, В. Ф. ПРИСНЯКОВ

УДК 621.039.534.63

Известно, что при взаимодействии щелочного металла с воздухом скорость реакции окисления зависит не только от температуры щелочного металла и воздуха, но и от толщины окисной пленки. Следовательно, температура возгорания щелочного металла зависит от предьстории процесса, поэтому теория теплового взрыва [1] неприменима для определения температуры возгорания щелочных металлов.

В работе [2] для определения температуры возгорания щелочных металлов применяется аналитическое решение, однако вследствие отсутствия необходимых данных по скорости окисления воспользоваться им не представляется возможным. Поэтому экспериментальный способ определения температуры возгорания щелочного металла можно считать наиболее пригодным.

В настоящей работе описываются эксперименты по определению температуры возгорания чистого натрия ТУ 1604—50, технического натрия ГОСТ 3272—63 и технического калия ГОСТ 10588—68 при следующих условиях: 1) медленный нагрев со скоростью 1,5—2 и 2,5—4 град/сек в среде воздуха; 2) бросание щелочного металла в экспериментальный участок, предварительно разогретый до температуры возгорания на воздухе; 3) нагревание щелочного металла до температуры возгорания в среде аргона с последующим возгоранием на воздухе и в кислороде.

Исследования в воздушной среде проводились при атмосферном давлении, относительной влажности 50—60%, измеренной психрометром, и температуре 18—24° С (при этих условиях в 1 м³ воздуха содержится 5—9 г влаги [3]). Исследования в среде кислорода проводились при давлении кислорода 1,05 ата; согласно ГОСТ 5583—58, содержание влаги в кислороде составляет при этом не более 0,005 вес. %.

Натрий и калий очищали отстаиванием. В результате химического анализа было установлено следующее содержание кислорода: в натрии 0,007—0,008 вес. %, в калии 0,12—0,15 вес. %. Вес образцов щелочного металла составлял 5—10 г.

Опытная установка представляла собой сосуд высотой 60 мм, изготовленный из трубы с наружным диаметром 37 мм и толщиной стенки 3,5 мм с приваренным дном толщиной 5 мм; материал сосуда — сталь Х18Н10Т. Для теплоизоляции боковой поверхности экспериментального участка использовалась стеклоткань. Нагрев осуществлялся торцовым нихромовым нагревателем. Для подвода воздуха и аргона на боковой поверхности сосуда были приварены два штуцера с внутренним диаметром 4 мм, а для измерения температуры к дну

сосуда приваривали хромель-копелевую термопару в чехле из стали Х18Н10Т. При проведении исследований для первого и третьего вариантов эксперимента термопару приваривали к дну экспериментального участка так, что спай термопары находился на расстоянии 6 мм от дна. Толщина слоя металла при проведении экспериментов над поверхностью спаи изменялась в пределах 2—5 мм. При проведении исследований для второго варианта спаи термопары приваривали непосредственно к дну экспериментального участка. Визуальное наблюдение за процессами осуществляли через крышку, изготовленную из стекла пирекс. Показания термопары фиксировались потенциометром ПП63, а при медленном нагреве на воздухе — потенциометром ЭПП-09. Для определения погрешности измерения температуры вводилась контрольная термопара на уровне металла при медленном нагреве натрия со скоростью 2,5—4 град/сек в среде воздуха до температуры возгорания. Разность показаний основной и контрольной термопар составляла не более 2° С. Ввиду значительной теплопроводности щелочного металла и существования конвективных токов погрешность измерения температуры не превышала 3%.

Температура возгорания натрия при медленном нагреве на воздухе существенным образом зависит от скорости нагрева. В таблице приведены температуры возгорания чистого натрия при скорости нагрева 1,5—2 и 2,5—4 град/сек. Скорость нагрева регулировалась изменением теплового сопротивления экспериментального участка.

Медленный нагрев калия на воздухе со скоростью 2,5—4 град/сек приводит к его энергичному окислению

Температура возгорания натрия и калия, °С

Нагрев натрия на воздухе		Предварительный нагрев в защитной среде аргона		
1,5—2 град/сек	2,5—4 град/сек	натрия при продувке воздухом	калия при продувке воздухом	натрия при продувке кислородом
454	420	334	428	285
447	414	335	420	286
437	405	347	428	293
462	415	349	416	290

при температуре 260—270° С, и возгорание не происходит. При бросании щелочного металла в предварительно нагретый на воздухе экспериментальный участок возгорание технического и чистого натрия происходит при температуре 390—400° С, а калия при 450—460° С. Возгорание наблюдалось через 40—60 сек после попадания металла в экспериментальный участок. При изменении размеров образцов натрия и калия от 5×5×5 до 30×30×30 мм температура их возгорания оставалась в указанных пределах.

Температура возгорания натрия и калия при нагревании в защитной среде аргона с последующей продувкой воздухом или техническим кислородом ГОСТ 5583—58 приведена в таблице.

Температура возгорания определялась методом последовательных приближений с интервалом температуры 5° С.

Вторичное возгорание натрия в воздухе, горение которого прекращено продувкой аргона, происходит при температуре 90—150° С. Таким образом, темпера-

тура вторичного возгорания натрия значительно ниже первичного возгорания.

По нашему мнению, температура возгорания уменьшается вследствие образования двуоксида натрия.

При сравнении температуры возгорания чистого натрия (ТУ 1604—50) и технического натрия (ГОСТ 3273—63), предварительно очищенного отстаиванием, разброс температуры возгорания для каждого из указанных выше вариантов сохранялся в одних и тех же пределах.

Поступило в Редакцию 16/II 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., «Наука», 1967.
2. Хайкин Б. И., Бложенко В. Н., Мержанов А. Г. «Физика горения и взрыва», 1970, т. 6, № 4, с. 474.
3. Перри Дж. Справочник инженеров-химиков. Т. I. Л., «Химия», 1969.

Безытерационный метод решения сопряженных уравнений критического реактора

Б. П. КОЧУРОВ

УДК 621.039.51.134

При численной реализации оптимизационных алгоритмов итерационного типа [1] значительные затраты машинного времени на каждом шаге итераций приходится на поиск сопряженных функций, количество которых зависит от числа и типа ограничений задачи и может достигать нескольких десятков. При известном максимальном собственном числе основного (и сопряженного) уравнения можно отказаться от малоэкономичного метода погрупповой итерации источников и находить решение за один шаг прямой и обратной прогонки, если применить матричную факторизацию. На первый взгляд, вырожденность уравнения и обращение вектор-потока нейтронов на краю реактора в нуль не позволяют выполнить обратную прогонку, однако это затруднение вполне преодолимо.

Пусть

$$\tilde{L}_\lambda \equiv \nabla \tilde{D} \nabla - \tilde{S} + \tilde{F} / \lambda$$

дифференциальное выражение G -групповой диффузионной задачи, где L_λ — его конечно-разностное представление (обозначаемое без тильды) для некоторого фиксированного разбиения реактора; матрицы D , S , F определяют соответственно диффузию, захват с рассеянием и размножение нейтронов, а λ и N_0 — максимальное собственное число и дискретный собственный G -вектор-поток задачи

$$L_\lambda N_0 = 0; \varphi_0(N_0) = 0; N_{0,K} = 0. \quad (1)$$

Здесь функционал φ_0 определяет граничное условие на левой границе или в центре реактора, и K -я точка разбиения находится точно на краю реактора, где поток обращается в нуль. При заданном разбиении введем скалярное произведение, в соответствии с которым определяем сопряженную к (1) задачу (знак $+$ у S и F означает транспонирование).

$$L_\lambda^+ \equiv \nabla D \nabla - S^+ + F^+ / \lambda; L_\lambda^+ N_0^+ = 0; \varphi_0(N_0^+) = 0; \quad (2)$$

$$N_{0,K}^+ = 0.$$

Значения N_0 , N_0^+ и λ могут быть найдены итерационным методом матричной факторизации с использованием приведенных ниже формул (6)–(8), где G_λ зависит от S или S^+ , а B_λ — от $FN_0^{(m)}$ или $F^+N_0^{+(m)}$, каждый шаг которого соответствует обращению операторов $P \equiv -\nabla D \nabla + S$, $P^+ \equiv -\nabla D \nabla + S^+$ (с соответствующими граничными условиями):

$$N_0^{(m+1)} = P^{-1} F N_0^{(m)}, \quad N_0^{+(m+1)} = (P^+)^{-1} F^+ N_0^{+(m)}. \quad (3)$$

Здесь N_0 и N_0^+ — собственные функции операторов $A \equiv P^{-1} F$ и $A^+ \equiv (P^+)^{-1} F^+$, а λ — их максимальное собственное число. Очевидно, что сопряженным к A является не совпадающий с A^+ оператор $K^+ \equiv F^+ (P^{-1}) = F^+ (P^+)^{-1}$, а сопряженной к N_0 функцией $F^+ N_0^+$. Поэтому определением (см. [2]), обеспечивающим второй порядок малости ошибки в λ по ошибкам в N_0 , N_0^+ и тем самым быструю сходимость последовательностей $\lambda^{(m)}$ и $\lambda^{+(m)}$ ($\lim \lambda^{(m)} = \lim \lambda^{+(m)}$ при $m \rightarrow \infty$), служит совокупность соотношений

$$\lambda^{(m+1)} = \frac{\langle F^+ N_0^{+(m)}, N_0^{(m+1)} \rangle}{\langle F^+ N_0^{+(m)}, N_0^{(m)} \rangle}; \quad \lambda^{+(m+1)} = \frac{\langle F N_0^{(m+1)}, N_0^{+(m+1)} \rangle}{\langle F N_0^{(m)}, N_0^{+(m+1)} \rangle}. \quad (4)$$

Пусть в результате решения задач (1) и (2) методом (3), (4), обозначаемым I, известны λ и N_0 и требуется найти решения однородной N_0^+ при $Q^\perp = 0$ (излагаемый ниже метод вычисления N_0^+ обозначим II) и неоднородной N^+ сопряженных задач:

$$L_\lambda^+ N^+ = -Q^\perp; \varphi_0(N^+) = 0; N_{K}^+ = 0. \quad (5)$$

Решение N^+ , определенное с точностью до N_0^+ , существует, если только вектор-функция Q^\perp ортогональна