

В 84-10  
33

801-88  
8882-0

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
АКАДЕМИЯ НАУК КАЗССР  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ КАЗССР  
ВСЕСОЮЗНОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО ИМЕНИ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

---

ПЕРВЫЙ  
ВСЕСОЮЗНЫЙ СИМПОЗИУМ  
ПО МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ  
КИНЕТИКЕ И ХИМИЧЕСКОЙ  
ГАЗОДИНАМИКЕ

*Октябрь 1984 года*

АЛМА-АТА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Том II

Часть вторая

Черноголовка 1984

различных участков свободной поверхности клинового образца. Изменения проведены с использованием известного метода оптического рычага.

Полученные для стали 3 количественные данные по изменению напряжений на фронте упругого предвестника, фронте первой и второй пластических волн по мере их прохождения по образцу представлены в таблице.

Погрешность определения напряжений во фронте зарегистрированных волн оценивается равной  $\pm 3\%$ .

Наилучшее описание экспериментальных данных по релаксации напряжений на фронте второй волны в рамках однопараметрической кинетической модели в виде  $p_2 = p_{2eq} + (p_3 - p_{2eq}) \exp\left(-\frac{r}{2u_2\tau}\right)$  получено при  $p_{2eq} = 130$  кбар,  $p_3 = 250$  кбар,  $u_2 = 5,1$  км/с и  $\tau = 0,05$  мкс.

Значение характерной временной постоянной  $\tau$  позволяет оценить начальную скорость  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  превращения  $\frac{dZ}{dt} = \frac{Z_{eq} - Z}{\tau}$  при взрывном нагружении, как  $2 \cdot 10^7$  1/с. Здесь  $Z \equiv (v - v_1)/(v_2 - v_1)$  и  $Z_{eq} \equiv (v - v_c)/(v_2 - v_1)$ ,  $v$  — текущий удельный объем;  $v_1, v_2$  — удельные объемы  $\alpha$ - и  $\varepsilon$ -фаз при нормальном давлении,  $v_c$  — значение, соответствующее равновесной границе между  $\alpha$ -фазой и областью смеси фаз.

УДК 518.12:534.222.2

В. А. БЫЧЕНКОВ, В. Ф. КУРОПАТЕНКО

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

Челябинск

Разработан однородный разностный метод счета детонационных волн в одномерной и двумерной постановках с учетом кинетики физико-химического превращения ВВ и произвольности уравнений состояния ВВ и ПВ при простейших условиях замыкания уравнений смеси.

Поведение инертного ВВ описывается уравнением состояния Ми-Грюнайзена. Уравнение состояния ПВ в форме  $P = P(V, E)$  считается произвольным. В зоне химической реакции уравнение энергии представлено в форме  $\dot{E} = -P\dot{V} - Q\dot{\xi}$ , где  $Q$  — калорийность ВВ;  $\xi$  — массовая концентрация ВВ; точка обозначает субстанциональную производную. Закон изменения  $\xi$  имеет вид  $\dot{\xi} = -\xi/\tau_0$ . Условие возбуждения детонации связывается с воздействием на ВВ ударной волны:  $E = E_a$ . Принимается гипотеза о механическом равновесии смеси, а замыкание системы уравнений в зоне химической реакции осуществляется с помощью условия  $E_{вв} = E_a$ , соответствующего критерию возбуждения реакции.

Разработаны одномерный и двумерный разностные методы сквозного счета детонационных волн, в которых детонационная волна может рассматриваться как ударная, на фронте которой выделяется энергия. В их основе лежит явная разностная схема в координатах Лагранжа, с учетом упругопластических свойств материалов. Параметр  $\tau_0$  принимается пропорциональным времени прохождения счетного интервала нормальной детонационной волной, а коэффициент пропорциональности зависит от типа уравнения состояния ПВ. Метод позволяет проводить расчеты движения ударных волн слабой интенсивности по ВВ и легко адаптируется к введению новых типов уравнений состояния ПВ.

Представлены численные решения ряда одномерных задач с тремя типами уравнений состояния ПВ и различными режимами распростра-



нения детонации. Получено их хорошее согласие с аналитическими и численными решениями, полученными по методике с выделением точных фронтов детонационных волн.

Рассматривается двумерная задача о метательном действии ВВ. Тонкая стальная пластинка разгоняется продуктами взрыва в режиме скользящей детонации ВВ. Получено удовлетворительное согласие численного решения с данными эксперимента по скорости полета пластинки и углу ее разворота.

УДК 662.612.32

Н. М. ЦИРУЛЬНИЧЕНКО, В. И. БЫКОВ, В. С. СЛАВИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГАЗИФИКАЦИИ КОКСОВОГО ОСТАТКА ИРШАБОРОДИНСКОГО БУРОГО УГЛЯ ВОДЯНЫМ ПАРОМ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Красноярск

Одним из традиционных способов использования низкосортного твердого топлива является сжигание или предварительная газификация в движущемся восходящем факеле. Особенность организации таких систем состоит в использовании пылевидного топлива и высокотемпературного газообразного реагента-теплоносителя. Резкая интенсификация процессов межфазного обмена, проходящая в этих условиях, приводит к существенно неравномерному температурному полю, в результате чего возникает характерная проблема неизотермичности. Влага и летучие вещества твердого топлива выделяются сравнительно быстро, и весь процесс газобразования лимитируется выгазовыванием углерода коксового остатка.

Экспериментальные исследования механизма газификации углерода топлива проводили в секционированном проточном реакторе с внешним подводом тепла. Угольные частицы потоком перегретого водяного пара подавались в предварительно разогретую реакционную камеру. Анализ газообразных продуктов реакции и измерение температуры потока осуществлялись в девяти сечениях по длине трубы реактора. Температура газового потока варьировалась от 500 до 1000°C, скорость газового потока — от 4,0 до 12 м/с. Средняя расчетная скорость нагрева угольных частиц составляла более 1000°C/с.

В качестве объекта исследования использовали коксовый остаток бурого ирша-бородинского угля с средними размерами частиц 96 мкм, полученный при одноразовой прогонке пылевидного топлива в потоке перегретого водяного пара через разогретый до 1100°C реактор. Элементный состав коксового остатка характеризуется следующими данными (в % на сухую массу): А=15,41; С=73,06; Н=2,61; О=8,92. Остаточный выход летучих веществ на горючую массу составляет 8,0%. Применение термически обработанного угля с минимальным содержанием влаги и летучих веществ позволяет выделить и изучить реакцию газификации углерода топлива.

Понимая под реакцией газификации комплекс физико-химических превращений углерода топлива в газообразные продукты, динамику этого процесса можно описать дифференциальным уравнением изменения концентрации водяного пара в неизотермическом потоке, содержащем углеродные частицы. Для расчета скорости реакции газификации было принято уравнение  $n$ -го порядка аррениусовского вида, определяющей температурой в котором является температура твердой фазы.

С целью повышения точности расчета кинетических констант были составлены дифференциальные уравнения энергии движущейся двухфазной системы *газ — твердые частицы*. При этом предполагалось, что