

ИССЛЕДОВАНИЕ СВС-ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В. В. Александров, М. А. Корчагин, Б. П. Толочко, М. А. Шеромов
(Новосибирск)

Впервые вопрос об исследовании динамики фазовых превращений при СВС-процессах методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре синхронного излучения (СИ) был поставлен на предыдущем симпозиуме по горению и взрыву [1]. При достигнутом тогда временном разрешении (10 с набор рентгенограммы + 3 с промежуток между кадрами) получены первые результаты для системы $3\text{Ni} + \text{Al}$ (I). На сегодня временное разрешение улучшилось более чем на порядок [2, 3], а число исследованных систем достигло пяти ($\text{Ni} + \text{Al}$ (II) [2, 3], $\text{PbO}_2 + 1,4\text{WO}_2$ (III), $\text{Ti} + \text{C} + 0,25\text{TiC}$ (IV), $\text{Hf} + 2\text{B}$ (V)).

В этой связи представляется полезным рассмотреть полученные результаты с единой точки зрения, например путем сопоставления того, что можно было ожидать, с тем, что получено.

По-видимому, без особых возражений можно указать следующие возможности:

- 1) получение данных о динамике фазовых превращений при СВС-процессах;
- 2) обнаружение нестабильных, а поэтому и неизвестных (не описанных в литературе) промежуточных фаз;
- 3) обнаружение жидких фаз;
- 4) уточнение представлений о структуре волны;
- 5) получение данных о кинетике образования каждой из фаз, участвующих в процессе синтеза.

Получено:

1. При существующем временном разрешении изучена динамика фазовых превращений в зонах догорания и структурообразования перечисленных выше пяти систем. Однако наибольший интерес, безусловно, представляют данные о динамике фазовых превращений в зоне, определяющей скорость горения. Для их получения необходимо повысить временное разрешение на 2—3 порядка, доведя его до 10^{-2} — 10^{-3} с. Это вполне реально и, по-видимому, будет достигнуто в самое ближайшее время.

2. В двух системах $\text{Ni} + \text{Al}$ и $\text{PbO}_2 + 1,4\text{WO}_2$ зарегистрированы промежуточные фазы неустановленной пока природы. Последнее представляется естественным, поскольку с помощью стандартной рентгеновской аппаратуры зафиксировать их образование невозможно.

3. В системе $\text{PbO}_2 + 1,4\text{WO}_2$ зафиксировано образование промежуточной жидкой фазы. Этот факт служит подтверждением выводов работы [4], сделанных на основе специальных модельных экспериментов.

4. Согласно классификации А. Г. Мержанова [5], возможны два вида структуры волны СВС.

А. «Неравновесная адиабатическая», при которой в волне имеет место метастабильное состояние вещества, а образование фазы конечного продукта идет со значительным запаздыванием. Предполагается, что взаимодействие реагентов в этом случае может идти через образование пересыщенного раствора (твердого или жидкого) с последующим его распадом [6].

Б. «Равновесная адиабатическая», когда зоны пост-процессов сливаются с зоной тепловыделения, определяющей линейную скорость горения. Считается, что для этого случая характерно взаимодействие реагентов по механизму «реакционной диффузии» через разделяющий их слой продуктов. В волне имеет место локально-равновесное состояние, поэто-

му для таких СВС-процессов должны быть существенными все особенности равновесной диаграммы состояния.

Эксперименты показали, однако, что во всех исследованных системах наблюдается значительное запаздывание в образовании фазы конечного продукта. Наибольшее запаздывание зарегистрировано в системе Ni + Al [2, 3], где фаза конечного продукта (моноалюминид никеля) начинает образовываться спустя ~ 70 с после прохождения фронта, и продолжается этот процесс затем еще ~ 70 с. Для смеси 3Ni + Al [1] структурные превращения продолжают не менее 1 мин после прохождения через точку регистрации фронта; в системе $PbO_2 + 1,4WO_2$ запаздывание составляет 10—15, в смеси Ti + C + 0,25TiC — 5—7 и в случае Hf + 2B образование конечного продукта закапчивается через 3—5 с.

Принимая во внимание весьма высокие значения скоростей горения исследованных систем, по-видимому, на сегодня можно сделать вывод, что наиболее типичной для СВС-процессов является «неравновесная адиабатическая структура» волны горения. Это подтверждается также результатами, полученными с помощью модельной электронно-микроскопической методики на образцах частица — пленка: образование конечных продуктов при взаимодействии компонентов исследованных систем происходит посредством кристаллизации из расплава или пересыщенного раствора [7].

5. Строгих кинетических измерений пока что не выполнено. Кинетические кривые, полученные для системы Ni + Al [2, 3], носят предварительный характер. И хотя для большинства исследованных систем имеющегося временного разрешения достаточно для изучения кинетики образования конечного продукта, необходимо провести одновременное измерение температурных профилей.

Кроме изучения динамики изменения площади пиков конечного продукта заслуживают внимания еще два способа получения кинетических данных:

1) по расходованию неплавкого реагента (например, никеля в системе 3Ni + Al);

2) по изменению параметра решетки, как это имеет место, например, по мере увеличения содержания углерода в нестехиометрическом карбиде титана TiC_x.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Корчагин, С. Н. Гусенко, Б. П. Толочко, В. В. Александров и др.— В кн.: Горение конденсированных и гетерогенных систем. Черноголовка, 1980, 93.
2. В. В. Болдырев, В. В. Александров, М. А. Корчагин, Б. П. Толочко и др. Докл. АН СССР, 1981, 259, 5, 1127.
3. В. В. Александров, М. А. Корчагин, В. В. Болдырев, Б. П. Толочко и др.— В кн.: Проблемы технологического горения. Т. 1. Черноголовка, 1981.
4. В. В. Александров, В. П. Смирнов, В. В. Болдырев. ФГВ, 1979, 14, 3, 53.
5. А. Г. Мержанов. Вестн. АН СССР, 1976, 40, 76.
6. П. П. Боровинская.— В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1977, 138.
7. М. А. Корчагин. Канд. дис. Новосибирск, ИХТИМС СО АН СССР, 1982.

УДК 536.462

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ БАЛЛИСТИТНЫХ ПОРОХОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Ю. С. Иващенко, В. М. Зенченко, Т. С. Бондаренко

(Красноярск)

В работе [1] изложены принципы термофлуктуационной спектроскопии, позволяющей исследовать температурные и ионизационные явления в газовой фазе вблизи поверхности горения баллиститных порохов.

Измерение температуры газовой фазы основано на использовании известного выражения Найквиста, связывающего величину активного