

АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО СВС

Климчук Е.Г., Парахонский А.Л.
ИСМАН, ИФТТ РАН, 2015

Как показано нашими исследованиями, при ОСВС (рис. 1а) происходят следующие процессы движения реагирующей среды, сопровождающиеся акустической эмиссией: образование и исчезновение трещин (6-20 кГц), газовая эмиссия через сквозные поры (0.1-6 кГц), поро- и пузырькообразование (0.02-0,5 кГц) как во время горения, так и при формировании конечной структуры продукта (рис. 1, б-ж).

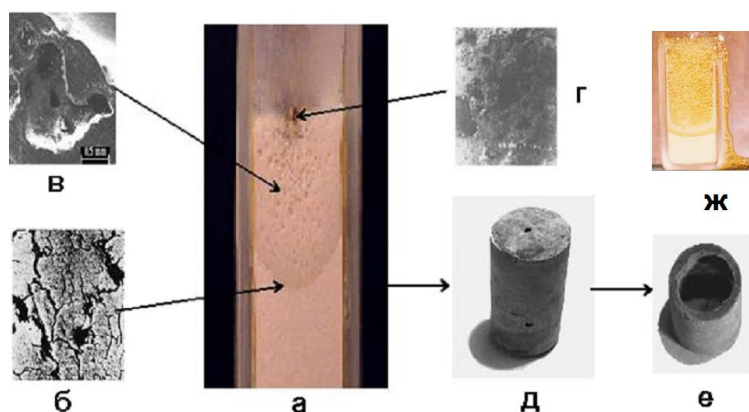


Рис. 1: Процессы движения реакционной среды при ОСВС: а) процесс ОСВС (образец 2х5 см); б) образование трещин (х600); в) образование пузырьков; г) порообразование (х100); д) образование полого продукта; е) полый продукт в разрезе; ж) образование пены

С помощью экспериментальной установки, включающей реакционную ячейку для проведения ОСВС – цилиндрический стеклянный реактор и систему инициирования; многослойную звукоизолирующую камеру (35х35х35 см); параболический концентратор звуковых волн (d10х20 см); чувствительные акустические детекторы (-62 dB) и регистратор сигналов - были зарегистрированы акустические сигналы и их спектры (рис. 2, а,б).

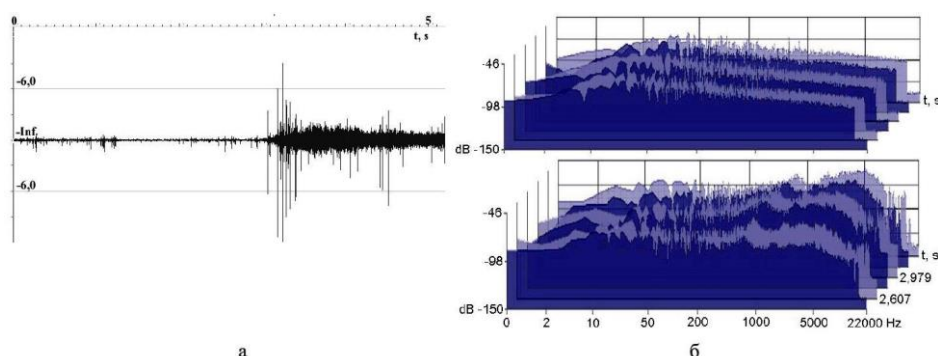


Рис. 2 Акустограмма (а) и акустический спектр (б).

Применение методов нелинейной динамики позволило обобщенно охарактеризовать эти сигналы, одновременно дополнив исследования полезными формальными параметрами для более полного описания процесса горения. Это автокорреляционные функции (рис.3, а), их Фурье-спектры (рис. 3, б), в которых лучше разрешаются спектральные полосы, и аттракторы (рис. 3, в,г).

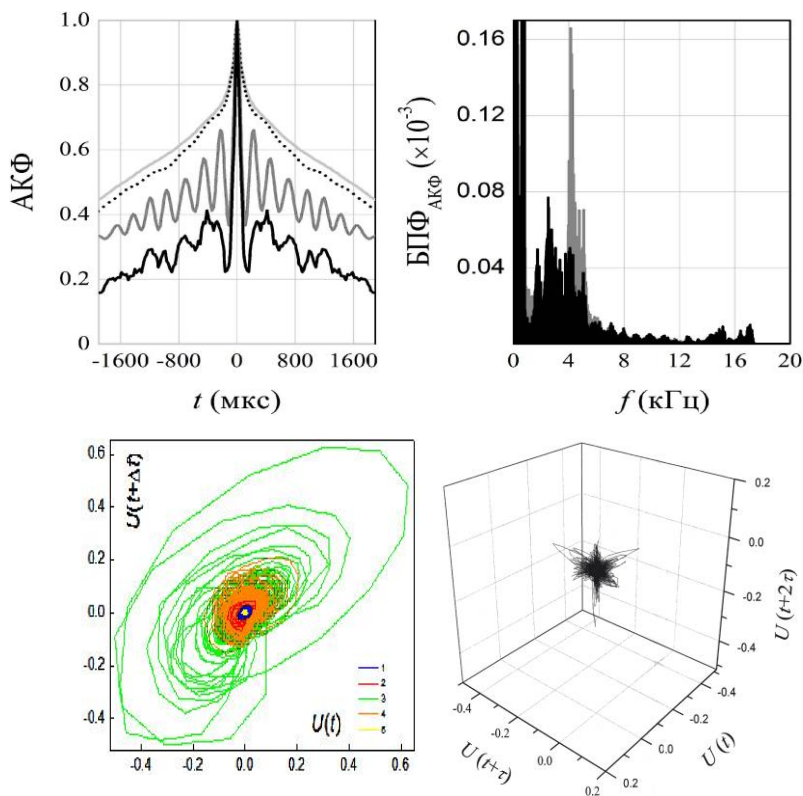


Рис. 3 Акустические характеристики процесса ОСВС согласно автокорреляционному анализу: а) эволюция АКФ (вверху слева) в процессе ОСВС (сверху-вниз): фон, сигнал шихты, начало горения, середина горения; б) - Фурье-спектрограмма АКФ (вверху справа) начала (светлая кривая) и середины горения (темная кривая), видна смена режима горения; в) динамика фазовых траекторий (внизу слева) согласно стадиям горения по рис. 1,а (пронумерованы и выделены цветом); г) динамика фазовых траекторий (внизу справа) согласно стадиям горения по рис. 1,ж.

Проведенные расчеты показали смену акустического режима горения (рис. 2, а), позволили отразить энергетический вклад частот в процесс формирования структуры продукта (рис. 3,б). Аттракторы, рассчитанные в фазовом пространстве состояний системы, позволили отразить динамику различных стадий горения и структуру продуктов (рис. 3, в-г). Их эволюция (форма, размерность, структура, вид и др.) согласуется с особенностями механизма процесса ОСВС и отражает наблюдаемые структурно-динамические процессы.

Так, пустая камера имеет бесструктурный набор траекторий (рис. 3в, 1). Начальная «твердофазная» стадия ОСВС характеризуется фазовой траекторией, близкой к предельному циклу, и периодическую АКФ (рис. 3, а). По мере формирования волны ОСВС область фазовых траекторий многократно увеличивается (рис. 3в, 3-4), что связано с растрескиванием кристаллов и увеличением мощности эмиссии, а также - фазовыми превращениями реагентов и продуктов.

Изменение формы эволюционирующего аттрактора и ее спиральный характер отражает периодические структурно-динамические процессы в координационной сфере частиц смеси, а искажение и усложнение его структуры - появление пор, пузырьков и др. (рис. 1). Формирование и остывание конечного продукта реакции характеризуется возвратом к бесструктурному набору траекторий (рис. 3в, 5).

Совершенно иначе выглядит фазовая диаграмма процесса, сопровождающегося вспениванием (рис. 3, г). Строгое описание и выяснение информационного потенциала аттракторов составляет задачу последующих исследований.