

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 536.7:662.74

**Удаление углекислого газа волластонитом
из газовых смесей**

В.С. Энгельшт¹, В.Ж. Мураталиева²

¹*Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
Бишкек*

²*Кыргызский государственный технический университет, Бишкек*

E-mail: ven.m.j@gambler.ru

Проведен термодинамический анализ (с использованием программы TERRA) синтеза и разложения волластонита. Показано, что синтез волластонита из известняка и кремнезема происходит при минимальном содержании азота (10^{-5}N_2) с выделением углекислого газа. Температура синтеза $T \geq 560 \text{ K}$. Разложение волластонита происходит в присутствии дымового газа (4N_2) с образованием известняка и кремнезема и захоронением углекислого газа в виде $\text{CaCO}_3(\text{с})$. Температура разложения волластонита $T \leq 420 \text{ K}$. Предложен циклический поршневой процесс для полного удаления углекислого газа волластонитом. Представлены четыре такта поршневой системы фиксированной температуры разложения волластонита ($T = 300 \text{ K}$) и его синтеза ($T = 560 \text{ K}$). Полные затраты энергии ($T = 560 \text{ K}$) равны $\Delta I \approx 130 \text{ кДж/моль}$, из них 30 % идет на нагрев, 70 % — на химическую реакцию. Это сопоставимо с теплотой растворения CO_2 в этаноламине.

Ключевые слова: волластонит, синтез, разложение, углекислый газ, захоронение, удаление, циклический поршневой процесс.

Известны многочисленные попытки удаления (или хотя бы ослабления) выброса углекислого газа. Использовались различные методы, включая мембранное разделение, поглощение растворителями и твердыми сорбентами (см., например, работу [1] и приведенные там ссылки).

В работе [1] была предложена технология поглощения углекислого газа сорбентом в виде твердого ранкинита. Показано, что при оптимальной температуре $750 \text{ }^\circ\text{C}$ уровень поглощения составляет 37,42 %. Другими словами, примерно одна треть углекислого газа поглощается, две трети возвращаются в атмосферу. Рассмотрена циклическая процедура реакции разложения–восстановления ранкинита. Оценена продолжительность цикла — 2 мин.

В настоящей работе предлагается использовать волластонит в качестве твердого сорбента углекислого газа. Термодинамический анализ показывает, что возможна полная утилизация углекислого газа при минимальных затратах энергии.

Рассмотрим поршневой циклический процесс синтеза–разложения волластонита и захоронения–удаления углекислого газа (рис. 1).

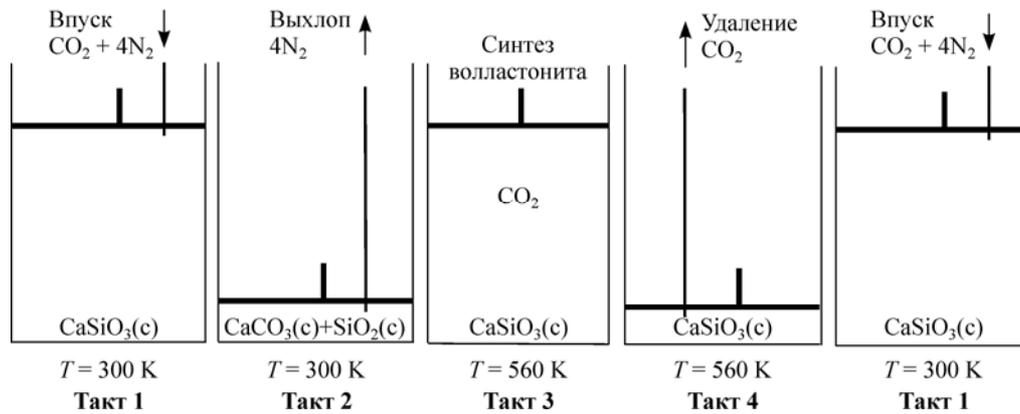


Рис. 1. Поршневые такты наработки волластонита и углекислого газа.

- Такт 1. $T = 300$ К. Впуск $\text{CO}_2 + 4\text{N}_2$. Смешение волластонита с дымовым газом.
 Такт 2. $T = 300$ К. Выхлоп остаточного газа (азот, пары воды, пыль и т. п.) в атмосферу.
 Разложение волластонита: $\text{CaSiO}_3(\text{c}) + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3(\text{c}) + \text{SiO}_2(\text{c})$.
 Захоронение CO_2 в виде $\text{CaCO}_3(\text{c})$.
 Такт 3. $T = 560$ К. Синтез волластонита: $\text{CaCO}_3(\text{c}) + \text{SiO}_2(\text{c}) = \text{CaSiO}_3(\text{c}) + \text{CO}_2$.
 Такт 4. $T = 560$ К. Удаление углекислого газа в дополнительную емкость. Возврат волластонита в процесс.

Цикличность процесса представлена графически на рис. 2.

Термодинамический анализ (с использованием программы TERRA) проведен с исходными составами [2]:

- а) $\text{CaCO}_3(\text{c})$, $\text{SiO}_2(\text{c})$, 4N_2 , дымовой газ при оптимальном содержании азота (4N_2).
- б) $\text{CaCO}_3(\text{c})$, $\text{SiO}_2(\text{c})$, 10^{-5}N_2 , остаточный газ при минимальном содержании азота (10^{-5}N_2) после выхлопа.

Расчет выполнен при пошаговом увеличении температуры. Температура $T = 300\text{--}600$ К, давление $p = 0,095$ МПа. Найдены компоненты реакции ($\text{CaCO}_3(\text{c})$, $\text{SiO}_2(\text{c})$, $\text{CaSiO}_3(\text{c})$, CO_2) и энергии (ΔI — приращение энтальпии, ΔH — теплосодержание, Q_{xp} — теплота химической реакции [3]). Основные результаты приведены на рис. 3.

При оптимальном содержании азота (4N_2) разложение волластонита завершается, если $T \leq 420$ К. При минимальном содержании азота (10^{-5}N_2) волластонит синтезируется, если $T \geq 560$ К.

Полные затраты энергии ($T = 560$ К) равны $\Delta I \approx 130$ кДж/моль, из них 30 % идет на нагрев, 70 % — на химическую реакцию. Это сопоставимо с теплотой растворения CO_2 в этанолаmine [4].

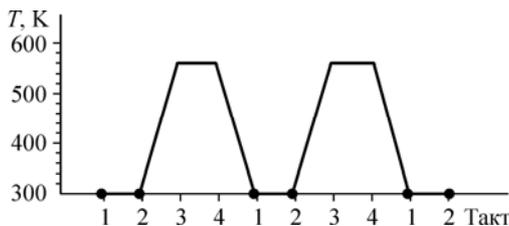


Рис. 2. Последовательность тактов при фиксации температуры.

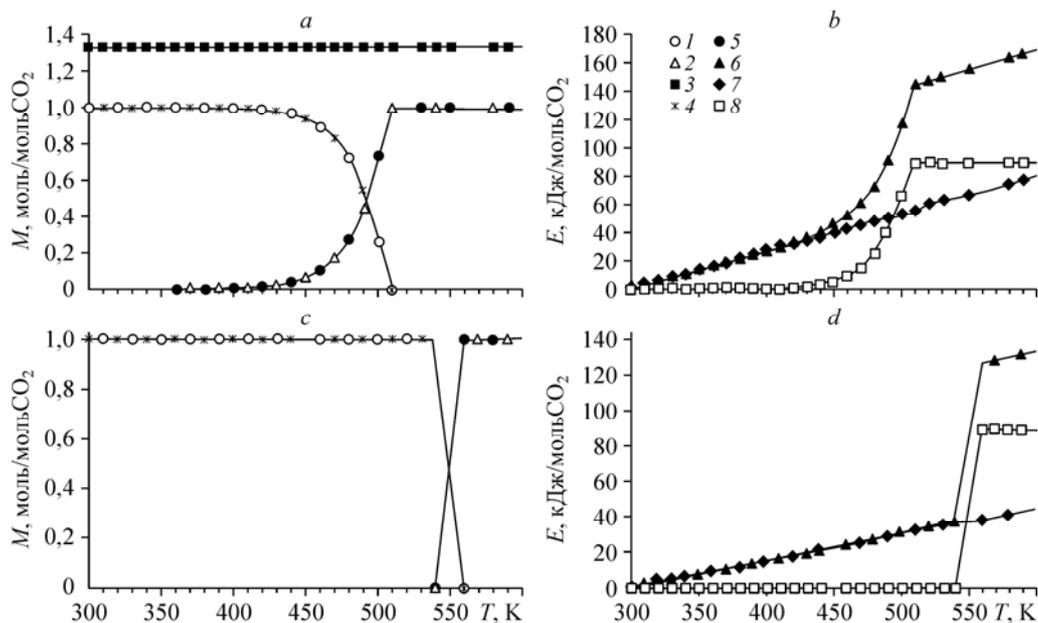


Рис. 3. Компоненты химической реакции (M) и энергии (E). a, b — $\text{CaCO}_3(c) + \text{SiO}_2(c) + 4\text{N}_2$,
 c, d — $\text{CaCO}_3(c) + \text{SiO}_2(c) + 10^{-5}\text{N}_2$.
 1 — $\text{SiO}_2(c)$, 2 — $\text{CaSiO}_3(c)$, 3 — $\text{N}_2/3$, 4 — $\text{CaCO}_3(c)$, 5 — CO_2 , 6 — ΔI , 7 — ΔH , 8 — Q_{xp} .

Термодинамический анализ подтвердил и проиллюстрировал реалистичность предлагаемого процесса.

Заключение

1. Предложен процесс полного удаления углекислого газа волластонитом.
2. Представлены четыре такта поршневой системы фиксированной температуры разложения ($T = 300$ К) и синтеза ($T = 560$ К) волластонита.
3. Оценены затраты энергии на нагрев и синтез волластонита ($\Delta I \approx 130$ кДж/моль).
4. Нарботка волластонита и углекислого газа может иметь и другие приложения.

Список литературы

1. Wang M., Li Ch., Zhai Yu. Sorption-desorption behavior of CO_2 on $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ absorbent // The Second China Energy Scientist Forum. Scientific Research. 2010. P. 315–319
2. Трусов Б.Г. Программная система TERRA для моделирования фазовых и химических равновесий в плазмо-химических системах: сб. материалов. Т. I // Тр. 3-го межд. симп. по теорет. и прикл. плазмохимии. Иваново, 2002. С. 217–220.
3. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справ. изд. / Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев и др. Т. 1, кн. 1. М.: Наука, 1978. 495 с.
4. Хоффман Е. Энерготехническое использования угля. М.: Энергоатомиздат, 1983. 328 с.

Статья поступила в редакцию 12 октября 2012 г.