

Мураталиева В.Ж.

СЖИГАНИЕ КРЕМНЕЗЕМА В ИЗВЕСТИ

V.Zh. Muratalieva

BURNING OF SILICA IN LIME

УДК:536.7:662.74

Проведен термодинамический анализ (программа TERRA) взаимодействия извести с кремнеземом. Вычислены продукты реакции, теплота химической реакции, теплосодержание, адиабатическая температура. Протекает экзотермическая реакция с выделением тепла и повышением температуры. Максимальная адиабатическая температура достигается при соотношении $8\text{SiO}_2+1.5\text{CaO}$ и равна $T_{ad}=1150\text{K}$. Сжигание кремнезема (топливо) в извести (окислитель) можно рассматривать как пример силикатной энергетики.

The thermodynamic analysis (program TERRA) interactions of lime with silicon dioxide is carried out. Resultants of reaction, warmth of chemical reaction, heat content, adiabatic temperature are calculated. Exothermal reaction with heat production and rise in temperature proceeds. The maximum adiabatic temperature is reached at interrelation $\text{SiO}_2+1.5\text{CaO}$ and $T_{ad}=1150\text{K}$ is equal. Burning of silicon dioxide in limes (oxidant) can be considered (fuel) as an example of silicate power.

ВВЕДЕНИЕ

Известны многочисленные экзотермические реакции. Например, горение кремния в кислороде [1] и горение кремния в азоте [2], с образованием конденсированных оксида кремния и нитрида кремния. При огненном обжиге получается цемент из природного сырья известняка и глинозема при этом, проявляются экзотермические реакции в твердом состоянии [3]. Здесь рассматривается горение кремнезема в извести, когда и исходное сырье и продукты реакции находятся в конденсированном состоянии, т.е. речь идет о бездымном горении.

Цель работы заключается в проведении термодинамического анализа химически чистых кремнезема и извести при отсутствии внешнего тепла и спе-

цифических добавок, путем проведения экзотермических реакций.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет адиабатической температуры и продуктов сгорания проводился по универсальной программе TERRA [4].

Рассмотрим методику расчета химической реакции $\text{SiO}_2(\text{c})_{\text{исх}} + \alpha\text{CaO}(\text{c})_{\text{исх}}$ при $\alpha=0.5$, (с) – конденсированное состояние. В состав вводится минимальное количество азота $\text{N}_2=10^{-5}\%$, что необходимо для программы TERRA в присутствии газовой компоненты. Давление $p=0.095\text{ МПа}$. Исходный состав $\text{SiO}_2=1\text{ моль}$, $\text{CaO}=0.5\text{ моля}$, нормируется в программе TERRA на массу 1 кг и имеет компоненты $\text{SiO}_2(\text{c})_{\text{исх}}=11.348\text{ моль/кг}$, $\text{CaO}(\text{c})_{\text{исх}}=5.674\text{ моль/кг}$.

Вычисляем энтальпию образования исходного сырья

$$I_{\text{исх}} = M_{\text{SiO}_2(\text{c})_{\text{исх}}} \cdot \Delta_f h_{\text{SiO}_2(\text{c})}^0 + M_{\text{CaO}(\text{c})_{\text{исх}}} \cdot \Delta_f h_{\text{CaO}(\text{c})}^0$$

где $\Delta_f h^0$ - энтальпия образования вещества при стандартных условиях, [кДж/моль]

$$I_{\text{исх}} = 11.348 \cdot [-910.701] + 5.6738 \cdot [-635.091] = -13938.2\text{ кДж/кг}$$

Вводим в программу TERRA энтальпию образования, исходные компоненты, давление. Получаем адиабатическую температуру $T_{ad}=820\text{K}$ и продукты реакции $\text{SiO}_2(\text{c})=5.6738\text{ моль/кг}$, $\text{CaSiO}_3(\text{c})=5.6738\text{ моль/кг}$. Вычисляем энтальпию продуктов реакции

$$I_{\text{прод}} = M_{\text{SiO}_2(\text{c})} \cdot \Delta_f h_{\text{SiO}_2(\text{c})}^0 + M_{\text{CaSiO}_3(\text{c})} \cdot \Delta_f h_{\text{CaSiO}_3(\text{c})}^0$$

$$I_{\text{прод}} = 5.6738 \cdot [-910.701] + 5.6738 \cdot [-1634.940] = -14443.5\text{ кДж/кг}$$

Продукты реакции и результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1

Продукты реакции и результаты анализа.
 $\alpha=0.5$, $I_{\text{исх}}=-13938.2\text{ кДж/кг}$, $T=820\text{ K}$, $p=0.095\text{ МПа}$

Вещество	M моль/кг	Δh_{820} кДж/моль	$\Delta H=M \cdot \Delta h_{820}$ кДж/кг	$\Delta_f h^0$ кДж/моль	$\Delta_j H^0=M \cdot \Delta_j h^0$ кДж/кг	Q_{xp} кДж/кг
SiO ₂ (c)	5.6738	32.307	183.3	-910.701	-5167.14	-505.3
CaSiO ₃ (c)	5.6738	56.737	321.9	-1634.940	-9276.32	
Σ			505.2	-1074.641	-14443.46	

Здесь M - мольные доли компонентов, Δh_{820} - теплосодержание вещества при температуре T=820K, Q_{xp} - теплота химической реакции, $\Delta_j H^0$ и ΔH - соответствующие величины с учетом мольной доли вещества. Найдем теплоту химической реакции Q_{xp} [5]

$Q_{xp}=5.6738 \Delta_f h_{\text{SiO}_2(\text{c})}^0+5.6738 \Delta_f h_{\text{CaSiO}_3(\text{c})}^0-11.348 \Delta_f h_{\text{SiO}_2(\text{c})_{\text{исх}}}^0-5.6738 \Delta_f h_{\text{CaO}(\text{c})_{\text{исх}}}^0=-505.3\text{ кДж/кг}$. Теплосодержание системы вычисляется по вспомогательной программе TERRA (см таб. 1)

$$\Delta H = \sum_i M_i \Delta h_{i(820)} = 505.2\text{ кДж/кг}$$

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

На рис.1 показаны компоненты химической реакции $\text{SiO}_2+\alpha\text{CaO}$: исходное сырье $\text{CaO}(\text{c})_{\text{исх}}$, $\text{SiO}_2(\text{c})_{\text{исх}}$, продукты реакции $\text{SiO}_2(\text{c})$, $\text{CaO}(\text{c})$, $\text{CaSiO}_3(\text{c})$, $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7(\text{c})$, адиабатическая температура T_{ad} .

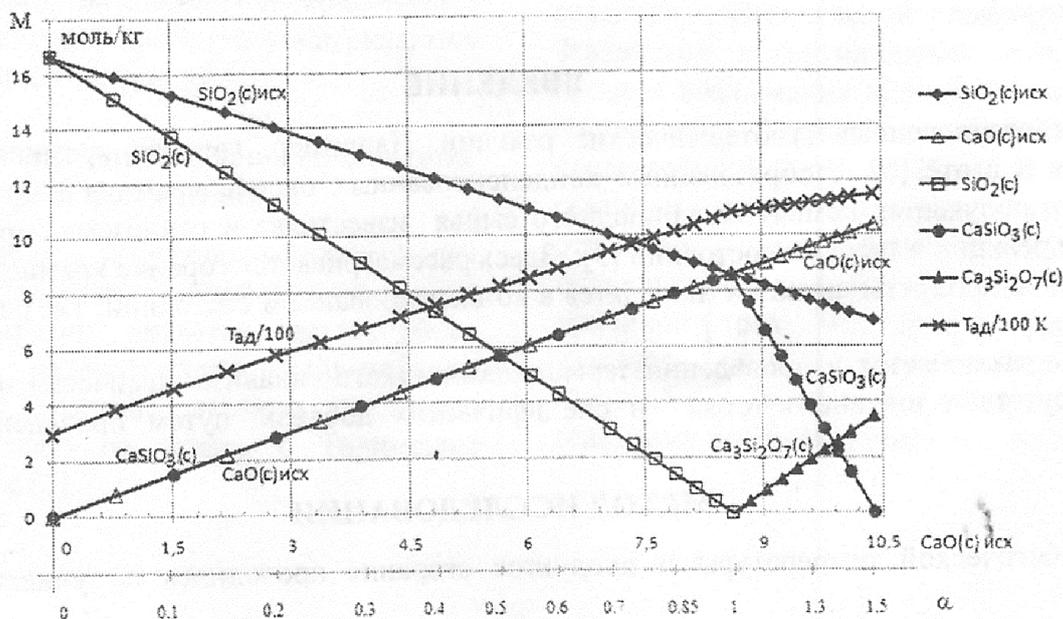


Рис.1 Компоненты химической реакции $\text{SiO}_2 + a\text{CaO}$

Последовательно образуются стехиометрическое стекло ($\alpha = 0.5, T_{\text{ад}} = 820\text{K}$), волластонит ($\alpha=1, T_{\text{ад}}=1084\text{K}$), ранкинит ($\alpha=1.5, T_{\text{ад}}=1150\text{K}$). На рис.2 показана энергетика химических реакций.

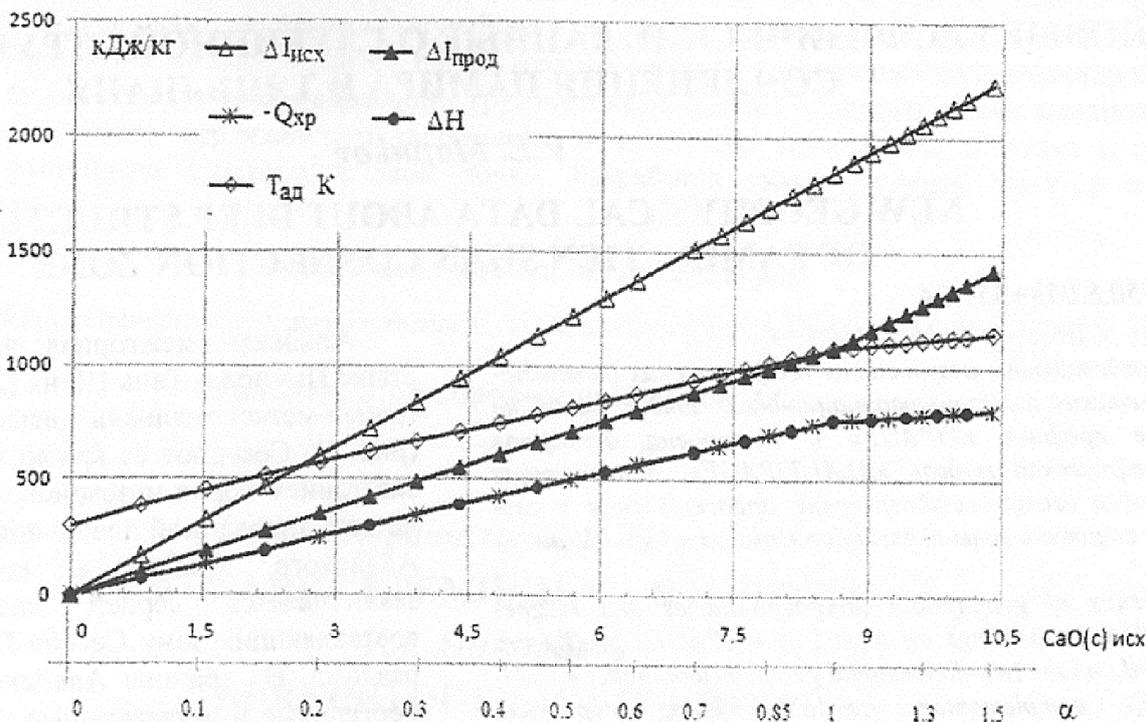


Рис. 2 Баланс энергии химической реакции $\text{SiO}_2 + a\text{CaO}$

По мере увеличения a синхронно возрастают теплота химической реакции $Q_{\text{кр}}$, теплосодержание ΔH , адиабатическая температура $T_{\text{ад}}$, и достигают максимального значения при $a = 1.5$. Теплосодержание системы равно теплоте химической реакции $\Delta H = |Q_{\text{кр}}|$.

ВЫВОДЫ

1. При сжигании кремнезема в извести проявляется экзотермический эффект с выделением тепла и повышением температуры.

2. Адиабатическая температура синтеза стехиометрического стекла составляет $T_{\text{ад}}=820\text{K}$ ($\alpha=0.5$), волластонита $T_{\text{ад}}=1084\text{K}$ ($\alpha=1$), ранкинита $T_{\text{ад}}=1150\text{K}$ ($\alpha=1.5$).

Автор признателен профессору Энгельшту В.С. за научное руководство работой.

Литература:

1. Энгельшт В.С., Балан Р.К. Экзотермический эффект при взаимодействии азота с кремнием. Международный семинар «Проблемы моделирования и развития технологии получения керамики». КРСУ, Бишкек, 2005. С.53-61
2. Энгельшт В.С., Балан Р.К., Антонова Н.М. Термодинамический анализ сжигания кремния//Вестник КНУ им. Ж.Баласагына. Серия 3. Вып.3. Бишкек.2005.С.43-48.
3. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Портландцемент (минералогический и гранулометрический составы, процессы модифицирования и гидратации). М.: Стройиздат, 1974. 328 с.
4. Трусов Б.Г. Программная система TERRA для моделирования фазовых и химических равновесий в плазмохимических системах. 3-й международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии. Сб. материалов - Т.1. - Иваново, 2002.С. 217-220
5. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: Т.1,Кн1. -/ Гурвич Л.В., Вейц И.В., Медведев В.А. и др - М.: НаукаД 978-1982

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Бекташов Б.