

УДК 542.943.7 + 66.074.48

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ И КАТАЛИЗАТОРОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ

© 2008 г. *И.И. Диденкулова*<sup>1</sup>, *Е.И. Цыганова*<sup>1</sup>, *В.М. Шекунова*<sup>1</sup>, *А.И. Кириллов*<sup>2</sup>,  
*И.А. Пищурова*<sup>3</sup>, *Ю.А. Александров*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт химии  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup> Институт металлоорганической химии РАН

<sup>3</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

vestnik@unn.ru

Поступила в редакцию 06.05.2008

Физико-химическими методами термогравиметрического анализа (ТГВ), рентгенофазового анализа (РФА), ИК-спектроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа (РФС) исследовано окисление СО в СО<sub>2</sub> на каталитических системах, содержащих композиционные покрытия, полученные методом газофазного термического разложения (CVD) β-дикетонатов переходных металлов на синтетической пенокерамике. Исследован фазовый и элементный состав катализаторов. Показано участие кислорода кристаллической решетки синтетической пенокерамики в каталитическом окислении СО.

*Ключевые слова:* термогравиметрический анализ, рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ.

### Введение

Ранее нами были изучены [1–7] каталитические системы окисления СО в СО<sub>2</sub>, содержащие композиционные покрытия Со-, Zr-, Fe-, Mn-, Cr-, Ni-, Cu, полученные методом CVD ацетилацетонатов и гексафторацетилацетонатов металлов на синтетической пенокерамике (СПК) различного состава. Изучена их относительная активность, определены кинетические и активационные параметры окисления монооксида углерода. Показано влияние способа формирования катализаторов на каталитическую активность.

Данная работа является продолжением этих исследований. В ней методами ТГВ, РФА, ИК- и РФС-спектроскопии изучены процессы формирования керамического состава, являющегося носителем для катализаторов, и ряда катализаторов до и после окисления СО в СО<sub>2</sub>. Показана эффективность данного подхода к разработке гетерогенных катализаторов, которая заключается в установлении взаимосвязи структура – активность методами, используемыми в науке о поверхности.

### Экспериментальная часть

*Приготовление синтетической пенокерамики. Керамический носитель I* для катализаторов на основе синтетической пенокерамики готовили согласно методике, описанной в ТУ-5759-010-10657190-97. Сухую шихту, со-

стоящую из 89.0 мас.% глины типа «монтмориллонит», 9.0 мас.% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, и 2 мас.% алюминиевой пудры, тщательно ретитировали в ступке до получения однородной, мелкодисперсной массы. Раствор, состоящий из 20.4 мас.% ортофосфорной кислоты, 22.5 мас.% серной кислоты и 57.1 мас.% воды добавляли к сухой шихте при постоянном перемешивании при комнатной температуре. Полученную массу выкладывали в форму и оставляли сушиться на воздухе при комнатной температуре на сутки и при 100–180°C 3 ч, затем прокаливали в муфельной печи при 600°C в течение 4 ч. Полученный таким образом носитель I измельчали и отбирали фракцию 0.3 ÷ 0.5 мм.

*Керамический носитель II* получали аналогично, при этом вместо глины использовали отходы гальванического производства Нижегородского автозавода ОАО ГАЗ, содержащие компоненты, мас.%. Cr<sup>3+</sup> 0.017; Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 4.5; Mn<sup>2+</sup> 0.01; Zn<sup>2+</sup> 4.5; Cu<sup>2+</sup> 0.01; Ni<sup>2+</sup> 0.87; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 22.37; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16.72; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 0.9; Si 0.9. Для получения катализаторов отбирали фракцию 0.3 ÷ 0.5 мм.

*Приготовление катализаторов на основе синтетической пенокерамики.* Для приготовления катализаторов были взяты образцы керамики I, II и методом газофазного разложения β-дикетонатов переходных металлов (Со-, Ni-, Cu-) в вакууме синтезированы каталитические системы окисления СО в СО<sub>2</sub>. Для получения

катализатора, содержащего один металл, брали 2 г носителя фракции  $0.3 \div 0.5$  мм и смешивали с такой навеской  $M(\text{асас})_n$ , чтобы в пересчете на металл было 3%. Далее смесь помещали в стеклянную ампулу объемом 60 мл, которую вакуумировали, запаивали и помещали в печь, нагретую до температуры, соответствующей оптимальным условиям термораспада  $\beta$ -дикетонатов [8, 9]. Затем катализаторы отжигали на воздухе в течение 1 ч при  $600^\circ\text{C}$ .

Для получения катализатора, содержащего два металла, брали на 2 г носителя две навески  $M(\text{асас})_n$ , каждая из которых в пересчете на металл составляла 3%. Все дальнейшие действия аналогичны вышеописанным.

Полученные катализаторы были испытаны в реакции окисления CO до  $\text{CO}_2$  кислородом воздуха импульсным вариантом газо-хроматографического метода. Соотношение  $\text{CO}:\text{O}_2$  составляло 1:8, в качестве газа-носителя использовали гелий. Результаты каталитических экспериментов подробно изложены в работах [1–7].

*Физико-химические методы исследования полученных катализаторов.* Термогравиметрический анализ проводили на установке Perkin-Elmer PYRIS 6 TGA. Навески образцов массой 24 мг помещали в платиновые тигли. Для анализа был выбран режим линейно-политермического нагрева со скоростью  $5^\circ\text{C}/\text{мин}$  в атмосфере воздуха. Скорость воздуха 80 мл/мин. Максимальная температура нагрева  $900^\circ\text{C}$ . Чувствительность прибора – 1 мкг, погрешность  $\pm 0.2\%$ .

Рентгенографические исследования проводили на дифрактометре ДРОН-3М с использованием  $\text{CuK}_\alpha$ -излучения, с графитовым монохроматором на дифрагированном пучке. Регистрация велась в пошаговом режиме в интервале углов  $2\theta = 10^\circ\text{--}60^\circ$  шагом  $0.05^\circ$  по  $2\theta$  при экспозиции 2 с на точку. Обработку полученных данных проводили с использованием стандартных пакетов программ.

ИК-спектры прессованных, предварительно измельченных с КВг образцов носителей I, II и катализаторов на их основе регистрировали на инфракрасном Фурье-спектрометре IRPrestige-21 фирмы Shimadzu.

Элементный анализ по активным металлам на катализаторах Co-Cu/I, Co/I, Cu/I осуществляли методом рентгенофлуоресцентного анализа на энергодисперсионном спектрометре EDX-900 фирмы Шимадзу методом градуировочного графика в вакууме. Условия записи спектров: энергия флуоресцентного излучения в диапазоне  $6.72\text{--}7.12$  кэВ ( $\text{CuK}_\alpha$ ) для катализаторов Co/I, Cu/I и  $7.84\text{--}8.24$  кэВ ( $\text{CuK}_\alpha$ ) для катализатора Co-Cu/I, напряжение на родиевой трубке 50 кВ.

Удельную поверхность носителей I и II определяли по методике [10] по адсорбции ПАВ ( $n\text{-BuOH}$ ) при комнатной температуре.

Испытания на влагостойкость проводили кипячением керамики в воде не менее 12 ч; при испытании на влагонасыщаемость мелко растолченный образец керамики помещали в эксикатор, на дно которого была налита вода (100%-ная влажность) при комнатной температуре. Влагонасыщаемость рассчитывали по формуле  $\Delta m/m$ , где  $\Delta m$  – изменение массы образца за время  $t$ ,  $m$  – первоначальная масса.

## Результаты и их обсуждение

Состав носителей и результаты их испытаний на влагонасыщаемость приведены в табл. 1. Все использованные носители обладали удовлетворительной прочностью на сжатие, влагостойкостью и влагонасыщаемостью.

Для предварительного анализа максимально возможных рабочих температур катализаторов была изучена стабильность керамических носителей I и II. В интервале температур  $35\text{--}900^\circ\text{C}$  на приборе Perkin-Elmer Pyris 6 TGA сняты термограммы свежеприготовленных образцов носителей I и II.

Таблица 1

Состав и свойства керамических носителей

№ носителя	Состав керамики	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влагонас. за 10 сут., %	Удельная поверхность $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	Мех. прочн. на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	$\Gamma^b$ , %	Средний размер пор $\Gamma_{ср}$ , нм
I	СПК <sup>a</sup>	0.51	3.5	60.0	30.0	76	51
II	Шлам ГАЗ/СПК <sup>b</sup>	0.65	2.5	41.4	10.8	67	50

<sup>a</sup> СПК – синтетическая пенокерамика.

<sup>b</sup> Шлам ГАЗ – отходы гальванического производства Нижегородского автозавода (ОАО ГАЗ) в мас. %:  $\text{Cr}^{3+}$  – 0.017;  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  – 4.5;  $\text{Mn}^{2+}$  – 0.01;  $\text{Zn}^{2+}$  – 4.5;  $\text{PO}_4^{3-}$  – 22.37;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 16.72;  $\text{Cu}^{2+}$  – 0.01;  $\text{Ni}^{2+}$  – 0.87;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 0.9;  $\text{Cl}^-$  – 0.9.

<sup>b</sup> П – пористость.

На рис. 1, 2 представлены термограммы свежеприготовленных образцов керамических носителей I и II. Из термограмм видно, что образцы I и II в интервале температур 36–200° С теряют воду, которую добавляют в исходный материал при формовке структуры носителя. Это сопровождается убылью массы (15–16%) в соответствующих интервалах температур, причем в I образце наблюдалось заметное количество

капиллярной воды, а во II образце ее практически нет. Нагрев до температуры 530°С сопровождается незначительным уменьшением массы I образца (3%). В интервале температур 530–750°С наблюдается уменьшение массы I образца (8%). Появление двух больших пиков при 586°С и 730°С на дифференциальной кривой связано с разложением сульфатов алюминия и железа, которые содержатся в составе носите-

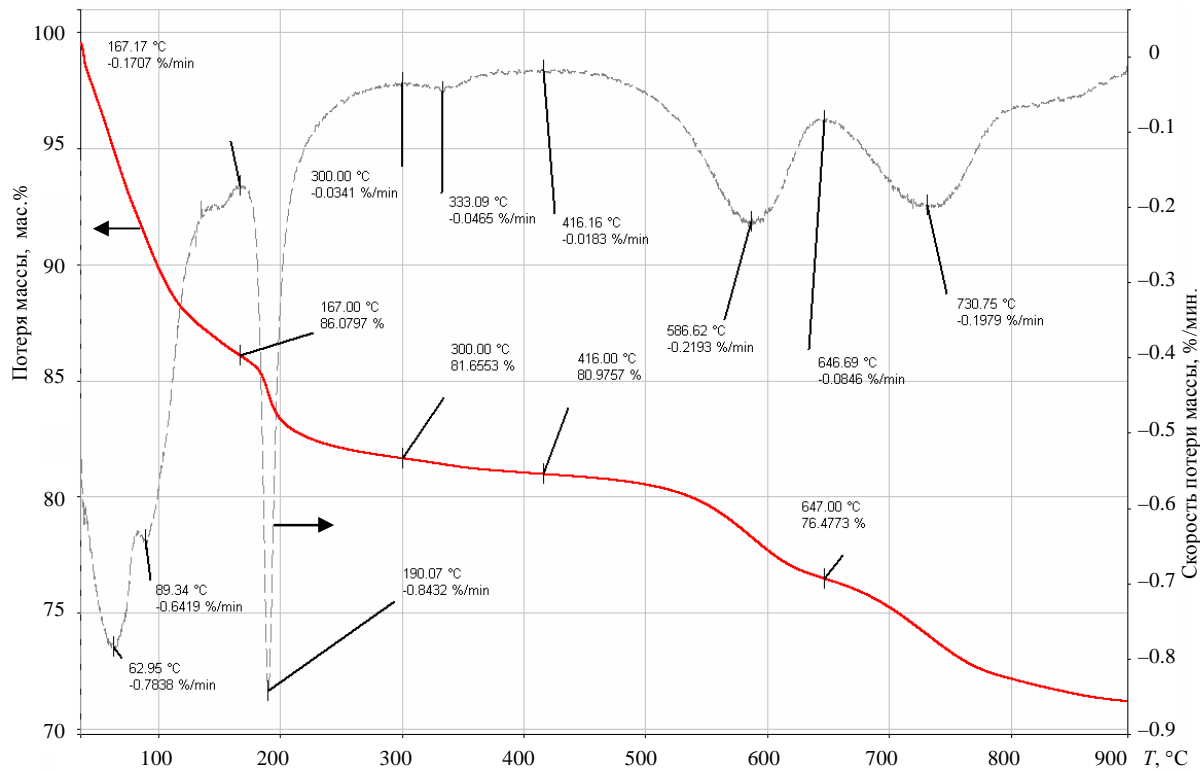


Рис. 1. Термограмма свежеприготовленного керамического носителя I

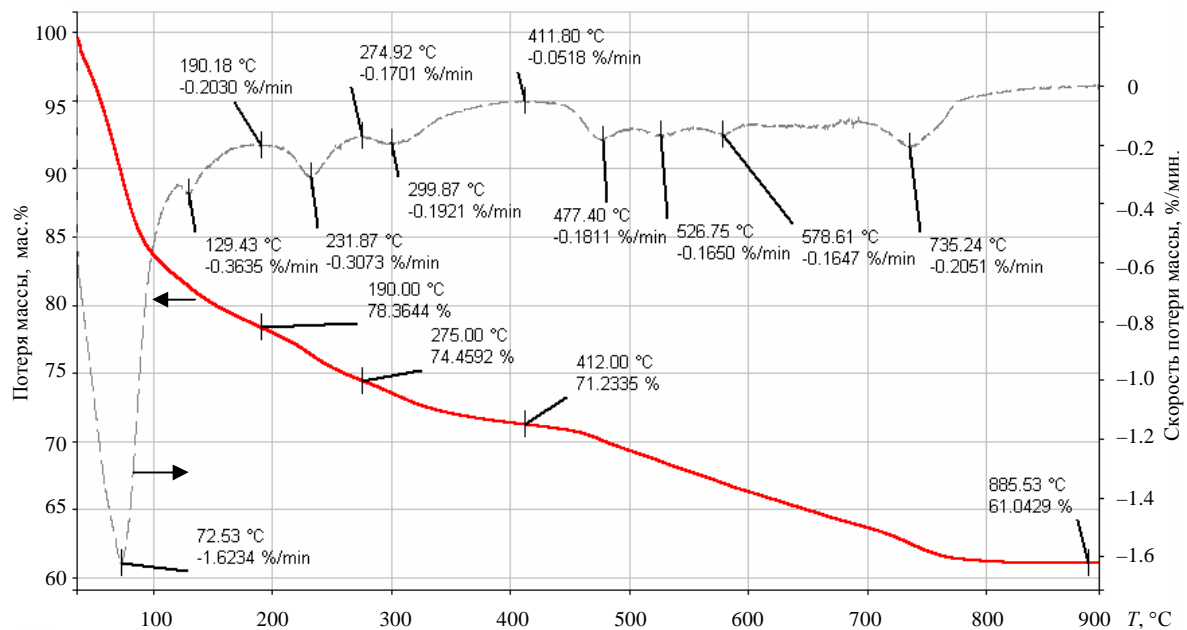


Рис. 2. Термограмма свежеприготовленного керамического носителя II

лей I и II. Известно, что  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  при температурах выше  $580^\circ\text{C}$  разлагается до  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SO}_3$  [11], а  $\text{FeSO}_4$  разлагается с высокой скоростью до  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  при температурах выше  $700^\circ\text{C}$  [12]. При температурах выше  $800^\circ\text{C}$  кривая изменения массы образца I выходит на плато, сохраняющееся до  $900^\circ\text{C}$ . Общая потеря массы образца I при нагревании его от  $35$  до  $900^\circ\text{C}$  составляет 28%. В процессе анализа образец I не претерпевает существенных морфологических изменений.

Образец II (рис. 2) после потери влаги в интервале температур  $36\text{--}200^\circ\text{C}$  при дальнейшем нагреве до  $750^\circ\text{C}$  равномерно терял массу (25%), после  $750^\circ\text{C}$  на кривой изменения массы наблюдается плато, сохраняющееся до  $900^\circ\text{C}$ . Общая потеря массы образца II за время проведения анализа составляет 40%. На дифференциальной кривой образца II (рис. 2) видны те же два пика при  $578^\circ\text{C}$  и  $735^\circ\text{C}$ , как в случае образца I (рис. 1). Появление слабых пиков на дифференциальной кривой в интервале температур  $200\text{--}570^\circ\text{C}$  может быть связано с разложением сульфатов металлов, которые входят в состав носителя II. Появление этих пиков можно также объяснить уменьшением поверхности образца в процессе плавления.

Термограмма керамического носителя I, отожженного при  $600^\circ\text{C}$  в течение 2 ч (рис. 3), показала, что во всем интервале температур ( $35\text{--}800^\circ\text{C}$ ) убыль массы не превышала 0,25%, что свидетельствует о завершении процесса формирования структуры керамики и правильности выбранного режима термообработки синтезированных керамических носителей для ка-

тализаторов, работающих при температурах  $800^\circ\text{C}$  и ниже. Таким образом, термогравиметрическим методом показано, что процесс формирования структуры керамического носителя происходит при  $600^\circ\text{C}$ .

Для установления фазового состава был проведен рентгенофазовый анализ отожженного при  $600^\circ\text{C}$  носителя I и катализатора на его основе Co-Cu/I. Дифрактограммы этих образцов, а также теоретические дифрактограммы для ряда твердых растворов приведены на рис. 4.

Дифрактограмма отожженного керамического образца I представляет из себя набор пиков, свидетельствующих о высокой степени кристалличности выбранного носителя [13]. Основные рефлексы керамического носителя I относятся к тригонально-ромбоэдрической решетке  $\text{SiO}_2$  ( $\alpha$ -кварца) и гексагональной решетке тридимита  $\text{SiO}_2$ , решеткам алюмосиликата, муллита, оксида железа и фосфата алюминия.

На рис. 4 схематически изображены теоретические дифрактограммы соединений по данным базы ICSD. Полученные данные хорошо согласуются с составом керамического носителя I, так как при его синтезе используется природная глина и кристаллические фазы алюмосиликата, кварца, тридимита и муллита входят в ее состав, а кристаллические фазы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{AlPO}_4$  образуются в керамике I при ее синтезе.

На дифрактограмме катализатора Co-Cu/I помимо основных рефлексов, соответствующих керамическому носителю I, присутствуют слабые неидентифицированные пики, не относящиеся ни к металлам Co, Cu, ни к их оксидам и представляющие собой промежуточные угле-

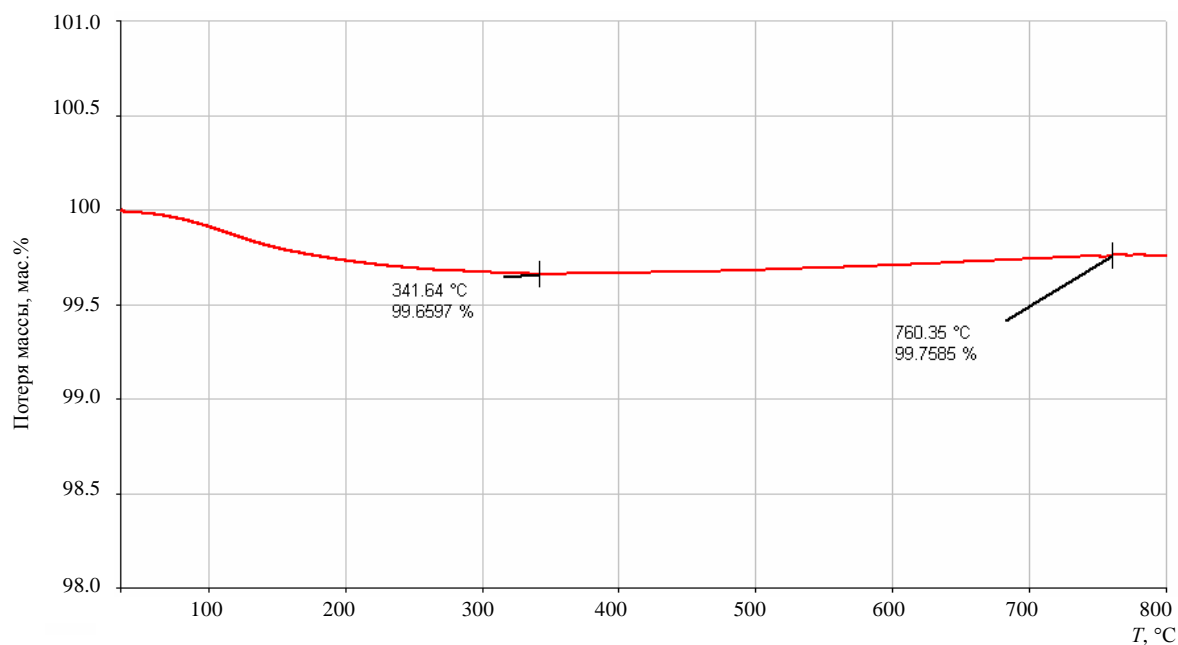


Рис. 3. Термограмма отожженного при  $600^\circ\text{C}$  керамического носителя I

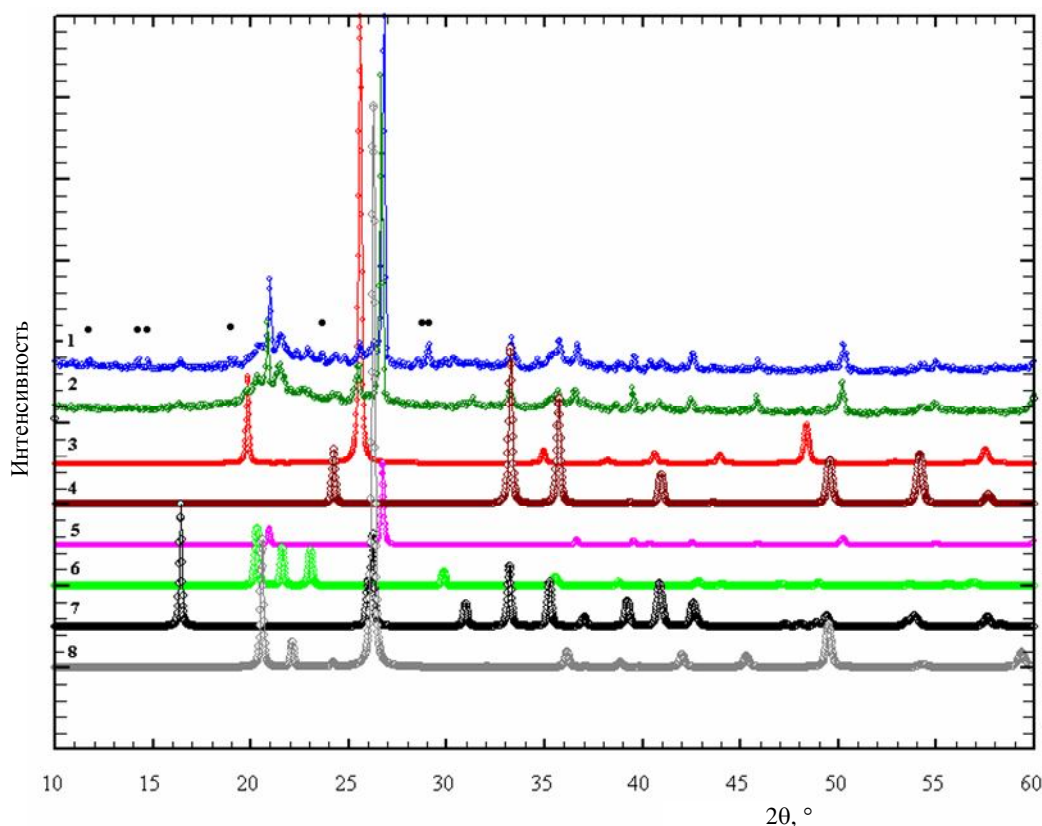


Рис. 4. Дифрактограмма катализатора Co-Cu на керамическом носителе I (1) и просто керамического носителя I (2). Теоретические дифрактограммы по данным базы ICSD: 3 – алюмосиликат  $\text{HAlSi}_2\text{O}_6$ , 4 –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 5 –  $\text{SiO}_2$  ( $\alpha$ -кварц), 6 –  $\text{SiO}_2$  (тридимит), 7 –  $\text{Al}_{2,35}\text{Si}_{0,64}\text{O}_{4,82}$  (муллит), 8 –  $\text{AlPO}_4$ . Знаком • помечены неидентифицированные пики

родсодержащие продукты разложения ацетил-ацетонатов этих металлов.

Дифрактограмма носителя II, ввиду сложности химического состава, представляет собой большой набор пиков, свидетельствующих о смеси кристаллических веществ.

С целью установления состава катализаторов окисления CO в  $\text{CO}_2$ , а также возможного механизма протекающих на поверхности реакций, проведен анализ ИК-спектров носителей I и II и двух наиболее активных катализаторов Co-Cu/I и Co-Ni/II до и после реакции окисления кислородом матрицы.

ИК-спектры прессованных, предварительно измельченных с KBr образцов носителей I, II и катализаторов на их основе представлены на рисунках 5–7.

Чтобы убедиться в том, что в составе носителя I присутствует кварц, о чем свидетельствует дифрактограмма РФА, был получен ИК-спектр кварца, который затем сопоставили с ИК-спектрами отожженных при  $600^\circ\text{C}$  носителей I и II. Из табл. 2 видно, что все полосы поглощения, соответствующие кварцу, присутствуют в ИК-спектре носителя I и отсутствуют в спектре носителя II [14].

Таблица 2

**Сравнение характеристических областей интенсивного поглощения в ИК-спектрах кварца [14] и керамических носителей I и II**

Отнесение частот	Частота максимумов поглощения, $\text{cm}^{-1}$		
	Кварц, $\text{SiO}_2$	Носитель I	Носитель II
a)	1381.03	1384.42	–
$\nu_{\text{as}}\text{SiOSi}$	1105.21	–	1105.7
$\nu_{\text{as}}\text{O}^-\text{SiO}^-$			
$\nu_{\text{s}}\text{O}^-\text{SiO}^-$			
$\nu_{\text{as}}\text{SiOSi}$	989.33	989.97	–
$\nu_{\text{as}}\text{O}^-\text{SiO}^-$			
$\nu_{\text{s}}\text{O}^-\text{SiO}^-$			
б)	879.54	–	865.56; 896.42
$\nu_{\text{as}}\text{SiOSi}$	802.39	798.05	–
$\nu_{\text{as}}\text{O}^-\text{SiO}^-$			
$\nu_{\text{s}}\text{O}^-\text{SiO}^-$			
$\nu\text{SiO}_4$			
$\delta'_{\text{as}}\text{PO}_3$	605.29	595.04	–
$\delta'_{\text{s}}\text{PO}_3$			
$\nu\text{M}^{2+\dots}\text{O}$			
$\delta\text{SiO}_2$	470.63	472.56	–

*Примечание.* Малоинтенсивную полосу с максимумом на  $1381.03 \div 1384.42 \text{ cm}^{-1}$  (а), проявляющуюся лишь в спектрах кварца и носителя I, а также полосу поглощения с максимумом на  $865.56 \div 896.42 \text{ cm}^{-1}$  (б), проявляющуюся в спектрах кварца и носителя II, идентифицировать не удалось.

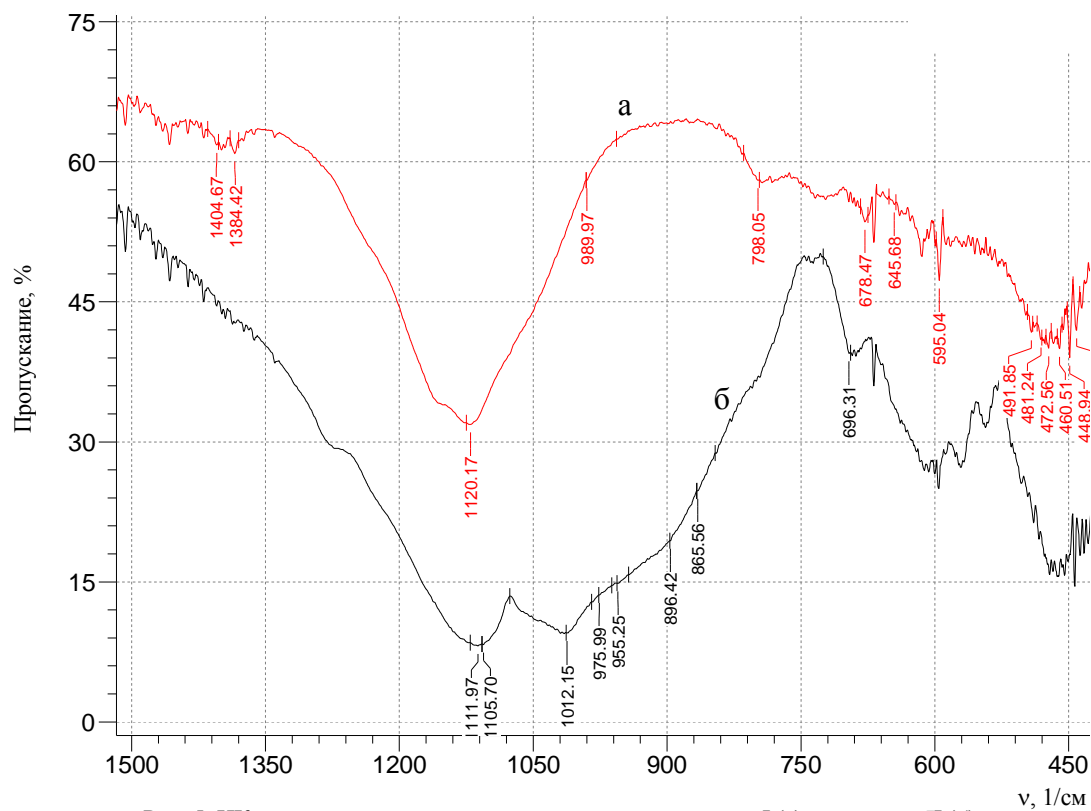
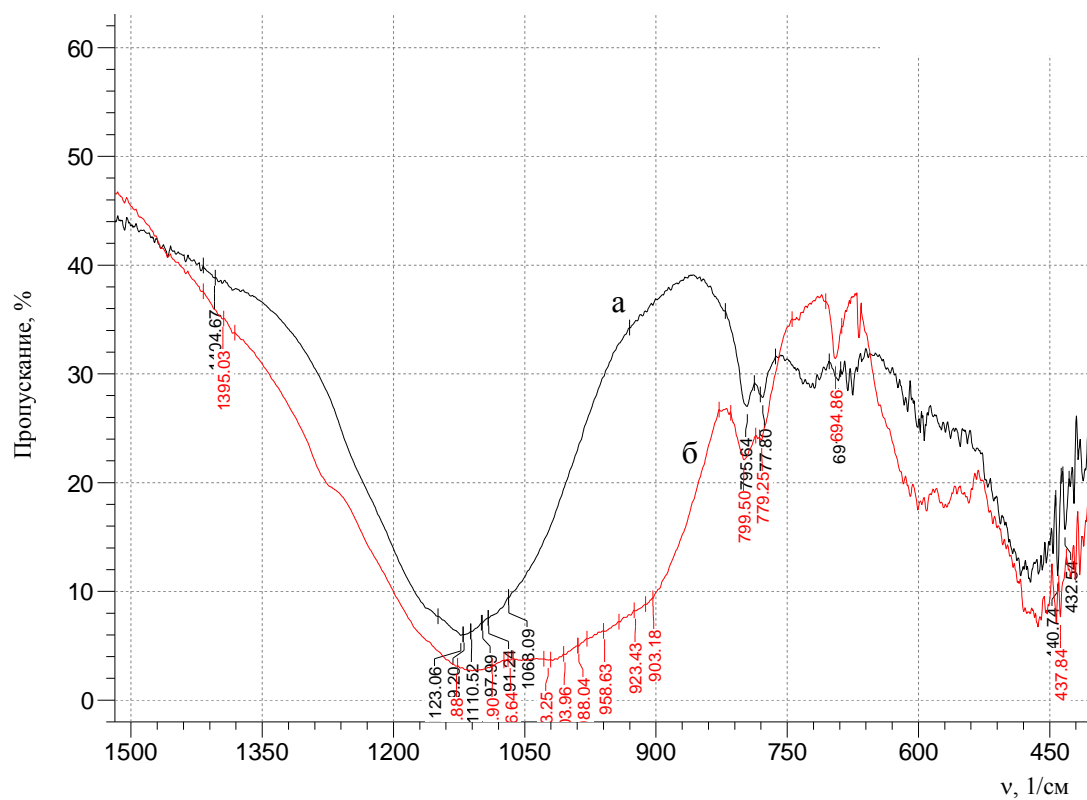


Рис. 5. ИК-спектры синтетической пенокерамики: носителя I (а) и носителя II (б)

Рис. 6. ИК-спектры образцов катализатора Co-Cu/I до окисления (а) и после окисления (б) СО в СО<sub>2</sub> в отсутствие кислорода в реакционной смеси при  $T = 750^\circ\text{C}$

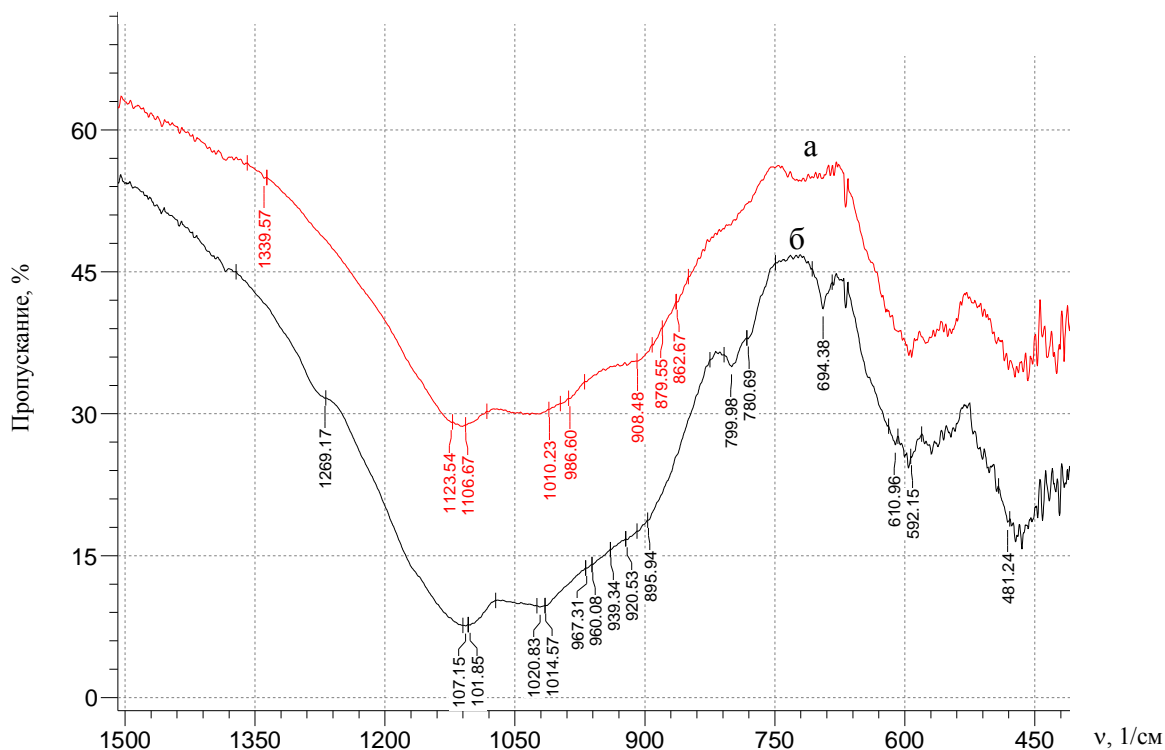


Рис. 7. ИК-спектры образцов катализатора Co-Ni/II до реакции окисления (а) и после реакции (б) окисления CO в CO<sub>2</sub> в отсутствие кислорода в реакционной смеси при  $T = 750^{\circ}\text{C}$

ИК-спектры носителя I и носителя II (рис. 5) содержат интенсивную широкую полосу и несколько малоинтенсивных полос в диапазоне частот  $450 \div 800 \text{ см}^{-1}$ , которые могут быть отнесены к колебаниям связей силикатных и сульфатных групп, входящих в состав носителя I, а в спектре носителя II эти полосы принадлежат только колебаниям сульфатных групп, поскольку кремний в его составе отсутствует [15, 16]. Широкие размытые полосы в ИК-спектрах (рис. 5) в интервале  $1200 \div 1500 \text{ см}^{-1}$  относятся к колебаниям связей фосфатных групп [15], интенсивная широкая полоса в диапазоне  $900 \div 1220 \text{ см}^{-1}$  в спектре носителя I получена наложением колебаний связей фосфатных, силикатных и сульфатных групп, а для носителя II является наложением колебаний только фосфатных и сульфатных групп. Наличие сильного поглощения в ИК-спектре носителя II при  $1012.15 \text{ см}^{-1}$  и слабого при  $975.99 \text{ см}^{-1}$  и  $955.25 \text{ см}^{-1}$  указывает на колебания групп P-O. Лучшее разрешение спектра носителя II (рис. 5) связано с его меньшей пористостью, чем у носителя I.

Для исследования ИК-спектров катализаторов были выбраны наиболее активные каталитические системы в реакции окисления CO в присутствии кислорода в реакционной смеси. Нанесение металлов на носители I и II не изме-

няло вида ИК-спектров (рис. 3, 4), что является следствием их низкого содержания (менее 5%). Поэтому ИК-спектры катализаторов Co-Cu/I (рис. 6) и Co-Ni/II (рис. 7) повторяют ИК-спектры самих носителей, на которые были нанесены металлы. Для более детального изучения механизма каталитического окисления были сняты ИК-спектры этих катализаторов до реакции и после реакции окисления CO до CO<sub>2</sub> в отсутствие кислорода в реакционной смеси. Известно, что в отсутствие кислорода в смеси идет окисление CO кислородом решетки [17]. Экспериментально установлено [1–7], что в отсутствие кислорода окисление на катализаторах, полученных на основе носителя I, идет намного активнее, чем на основе носителя II. Так, при  $750^{\circ}\text{C}$  конверсия CO на катализаторе Co-Ni/II не превышала 10%, в то время как на том же катализаторе на носителе I достигала 60%.

ИК-спектр катализатора Co-Ni/II, полученный на носителе II, после реакции окисления (рис. 7б) мало отличался от спектра до реакции (рис. 7а). ИК-спектр катализатора Co-Cu/I, полученный на носителе I, до реакции окисления в отсутствие кислорода в реакционной смеси, значительно отличался от ИК-спектра после реакции (рис. 6а,б). Это связано с тем, что окисление осуществлялось за счет кислорода кристаллической решетки носителя I. Из сопостав-

ления спектров на рис. 6 видно, что пропускание монооксида углерода без кислорода через катализатор Co-Cu/I при 750°C приводит к уменьшению площади полосы, отвечающей колебаниям связи группы Si-O. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что окисление CO протекает за счет кислорода из SiO<sub>2</sub>, который присутствует в кристаллической решетке носителя I и отсутствует в кристаллической решетке носителя II.

Элементный анализ по активным металлам на катализаторах Co-Cu/I, Co/I, Cu/I осуществляли методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Определенные концентрации активных металлов на поверхности катализаторов на основе носителя I, полученных методом CVD, составили (ат.%) для Co-Cu/I: Cu – 0.526, Co – 1.669; Cu/I: Cu – 2.383; Co/I: Co – 1.902.

Таким образом, результаты проведенного исследования показывают, что в процессе формирования керамики формируются кристаллические фазы SiO<sub>2</sub> ( $\alpha$ -кварца), тримита, алюмосиликата, муллита, оксида железа и фосфата алюминия. РФА показывает высокую степень кристалличности синтетической пенокерамики и катализаторов на ее основе. Данные ТГВ свидетельствуют о том, что СПК, отожженная при 600°C в течение 2 ч, в дальнейшем при более высоких температурах не претерпевает существенных изменений. ИК-спектры керамического носителя I подтвердили наличие кварца в его составе. Нанесение металлов на керамику не изменяло вида ИК-спектров. ИК-спектры катализатора Co-Cu/I до и после реакции окисления CO до CO<sub>2</sub> в отсутствие кислорода показывают, что в реакции окисления принимает участие кислород кристаллической решетки синтетической пенокерамики. Методом ИК-спектроскопии показано, что активность катализаторов окисления CO до CO<sub>2</sub> в отсутствие кислорода в реакционной смеси в большей степени определяется не природой нанесенного металла, а природой самого керамического носителя. Определена концентрация металлов на поверхности катализатора Co-Cu/I (ат.%) : Cu – 0.526; Co – 1.669; катализатора Cu/I (ат.%) : Cu – 2.383 и катализатора Co/I (ат.%) : Co – 1.902.

#### Список литературы

1. Цыганова Е.И., Диденкулова И.И., Шекунова В.М., Александров Ю.А. // ЖОХ. 2004. Т. 74. Вып. 5. С. 742–746.
2. Диденкулова И.И., Цыганова Е.И., Шекунова В.М., Александров Ю.А. // Сб. статей IV сессии научной школы-семинара «Промышленная и экологическая безопасность». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2004. С. 15–17.
3. Диденкулова И.И., Цыганова Е.И., Шекунова В.М., Александров Ю.А. // Вестник ННГУ. 2007. Вып. 3. С. 257–266.
4. Цыганова Е.И., Диденкулова И.И., Шекунова В.М., Александров Ю.А. // Вестник ННГУ. 2007. Вып. 2. С. 95–101.
5. Цыганова Е.И., Диденкулова И.И., Шекунова В.М., Александров Ю.А. // ЖОХ. 2005. Т. 75. Вып. 10. С. 1678–1680.
6. Цыганова Е.И., Диденкулова И.И., Шекунова В.М., Фаерман В.И., Александров Ю.А. // ЖОХ. 2004. Т. 74. Вып. 11. С. 1770–1774.
7. Цыганова Е.И., Диденкулова И.И., Шекунова В.М., Александров Ю.А. // ЖОХ. 2005. Т. 75. Вып. 9. С. 1426–1430.
8. Суворова О.Н., Варюхин В.А., Кутырева В.В. Применение металлоорганических соединений для получения неорганических покрытий и материалов / Под ред. Г.А. Разуваева. М.: Наука, 1986. С. 68–72.
9. Цыганова Е.И., Дягилева Л.М. // Усп. хим. 1996. Т. 69. № 2. С. 177.
10. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова, А.С. Гродского, В.В. Назарова. М.: Химия, 1986. С. 214.
11. Химическая энциклопедия / Под ред. И.Л. Кнунянц. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1988. С. 218.
12. Химическая технология неорганических веществ / Под ред. Т.Г. Ахметова. М.: Высшая школа, 2002. С. 430.
13. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 148.
14. Лазарев П.Н. Колебательные спектры и строение силикатов. Л.: Изд-во «Наука», 1967. 346 с.
15. Накамото К. ИК-спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1966. С. 151.
16. Белами Л.В. Инфракрасные спектры сложных молекул / Под ред. М. Пентина. М., 1963. 532 с.
17. Guglielminotti E., Boccuzzi F., Manzoli M., Pinna F., Scarpa M. // J. Catal., 2000. V. 192. No. 1. P. 149–157.

#### PHYSICO-CHEMICAL INVESTIGATION OF SYNTHETIC FOAMED CERAMICS AND CATALYSTS MADE FROM IT

*I.I. Didenkulova, E.I. Tsyganova, V.M. Shekunova, A.I. Kirillov,  
I.A. Pishurova, Yu.A. Alexandrov*

New catalytic systems for oxidation of CO to CO<sub>2</sub> have been investigated by physico-chemical methods (TGA, XRPA, IR, and XRF). The systems contain composite coatings obtained by gas-phase thermolysis of transitional metal acetylacetonates on synthetic foamed ceramics. Phase and elemental composition of catalysts has been studied. Oxygen of synthetic foamed ceramics crystal lattice has been shown to take part in catalytic oxidation of CO.