

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ПРОМОТОРОВ В СТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗООКСИДНОГО КАТАЛИЗАТОРА ДЕГИДРИРОВАНИЯ

© 2012 г. **Л.Г. Аниканова,**
Н.В. Дворецкий

ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»

Введение

Цезий наряду с калием [1, 2] является эффективным промотором активности железооксидных катализаторов дегидрирования олефиновых и алкилароматических углеводородов. В условиях реакционной среды катализатор представляет собой ферритную систему, состоящую из β'' -полиферрита калия, моноферритов калия и цезия и магнетита [3]. Основным каталитически активным компонентом является полиферрит со структурой β'' -глинозема. Нами получены данные по области его устойчивости [4], выяснена взаимосвязь с другими компонентами системы [5], разработана методика синтеза химически индивидуального соединения [6] и многофазных композиций заданного состава. В связи с тем, что железокалиевый оксидный катализатор, модифицированный цезием, многофазен, значительный практический интерес представляло выяснение характера распределения Cs между компонентами ферритной системы. Эта информация необходима для научно обоснованного расчета рецептуры катализаторов подобного вида.

Экспериментальная часть

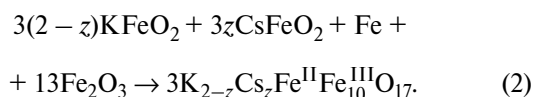
Моноферриты щелочных металлов получали прокаливанием при 970 К смеси карбоната щелочного металла с гематитом согласно реакции



где М — К, Cs.

Ферритные системы готовили прокаливанием таблетированных смесей моноферритов щелочных

металлов, металлического железа и гематита высокой чистоты при температурах 920—970 К. Термообработку таблеток, помещенных в порошкообразную засыпку того же состава, что и образцы, проводили в атмосфере инертного газа. В результате твердофазного взаимодействия исходных компонентов получали смешанные калий-цезиевые полиферриты типа β'' -глинозема в соответствии с реакцией:



В зависимости от задач исследования готовили ферритные системы, содержащие заданное количество фаз, варьируя состав исходных смесей и молярное соотношение калия и цезия. Смешение исходных компонентов, синтез и анализ образцов проводили в условиях, предотвращающих контакт продуктов ферритообразования с кислородом и влагой воздуха.

Рентгенографический анализ образцов полиферрита проводили на приборе ДРОН-УМ1; излучение $Co_{K\alpha}$ ($\lambda = 0,17902$ нм). Съемку осуществляли по точкам с шагом $0,02^\circ$ в углах 2θ , экспозиция в каждой точке 10 с. Ширина горизонтальной щели 1 мм, ширина антирассеивающей щели 0,5 мм, ширина щели перед счетчиком 0,25 мм. Параметр c_0 элементарной ячейки решетки β'' -полиферрита рассчитывали по абсциссе максимума пика для рефлексов (003) и (006) [6].

Испытания каталитической активности модельных ферритных систем в реакции дегидрирования этилбензола в стирол проводили в лабораторном реакторе проточного типа на образцах катализатора фракции 2—3 мм при атмосферном давлении, при $t = 600^\circ C$; объемная скорость подачи этилбензола — 1 ч^{-1} , массовое соотношение этилбензол : водяной

Аниканова Л.Г. — канд. хим. наук, доцент. Тел.: (4852) 44-13-69.
E-mail: anikanova@mail.ru

Дворецкий Н.В. — канд. хим. наук, доцент. Тел. тот же.
E-mail: dvoretskiin@mail.ru

пар 1 : 3. Удельную скорость образования стирола W (моль·с⁻¹·м⁻²) рассчитывали по формуле:

$$W = \frac{\varpi B_{\text{СТ}} \rho_{\text{СТ}}}{M_{\text{ЭБ}} \rho_{\text{кат}} S_{\text{эфф}} \cdot 3600 \cdot 100},$$

где ϖ — объемная скорость подачи этилбензола, ч⁻¹; $B_{\text{СТ}}$ — выход стирола на пропущенный этилбензол, мол.%; $\rho_{\text{СТ}}$ — плотность стирола, г/см³; $M_{\text{ЭБ}}$ — молярная масса этилбензола, г/моль; $\rho_{\text{кат}}$ — насыпная плотность катализатора, г/см³; $S_{\text{эфф}}$ — удельная поверхность эффективных пор, м²/г.

Анализ компонентов реакционной смеси осуществляли методом газожидкостной хроматографии на приборе ЛХМ-8МД с пламенно-ионизационным детектором; колонка — 2000×3 мм, твердая фаза — сферохром-1, жидкая фаза — апиэзон Д.

Удельную поверхность эффективных пор определяли методом ртутной порометрии. Для данного класса катализаторов эффективными считаются поры диаметром не менее 70 нм [7].

Обсуждение результатов

Учитывая изоморфизм β'' -полиферритов калия и цезия, можно предположить, что указанные соединения образуют смешанные фазы с неограниченным соотношением щелочных металлов.

Первым объектом исследования был смешанный полиферрит калия и цезия со структурой типа β'' -глинозема.

Элементарная ячейка β'' -полиферрита содержит три шпинелеподобных блока состава $\{\text{Fe}_1^{\text{II}}\text{Fe}_{10}^{\text{III}}\text{O}_{16}\}$ (рис. 1), связанных с помощью винтовой оси третьего порядка. Правильнее было бы описывать состав $\text{K,Cs-}\beta''\text{-Fe}_2\text{O}_3$ формулой $\text{M}_6\text{Fe}_3^{\text{II}}\text{Fe}_{30}^{\text{III}}\text{O}_{51}$, но мы будем придерживаться обозначения $\text{M}_2\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}_{10}^{\text{III}}\text{O}_{17}$, характеризующего простейший состав. Каждый блок образован четырьмя плотноупакованными слоями ионов кислорода. Часть тетраэдрических и октаэдрических пустот в блоке заняты ионами Fe^{3+} . Ионы Fe^{2+} располагаются в октаэдрических пустотах, примыкая непосредственно к плоскостям, разделяющим блоки. По данным Мёссбауэровской спектроскопии, происходит интенсивный электронный обмен между ионами Fe^{2+} и Fe^{3+} [6].

Смешанный полиферрит калия и цезия со структурой типа β'' -глинозема имеет состав $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$. Увеличение содержания цезия в полиферрите (коэффициент z) сопровождалось ростом параметра c_0 элементарной ячейки полифер-

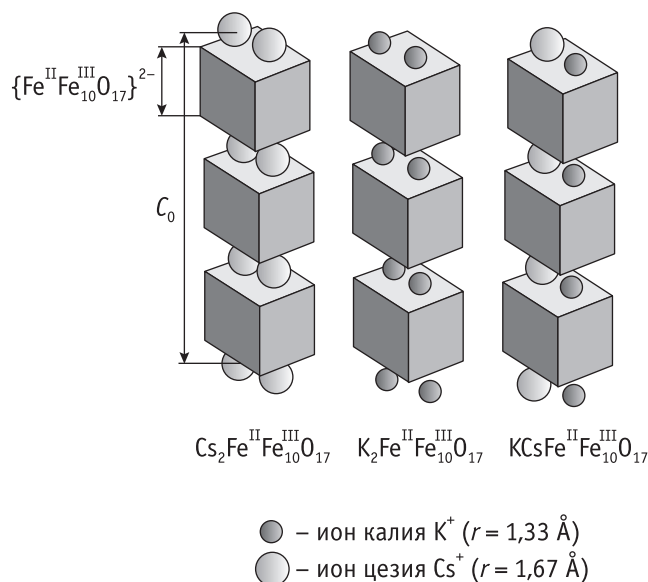


Рис. 1. Элементарные ячейки полиферритов со структурой типа β'' -глинозема различного состава

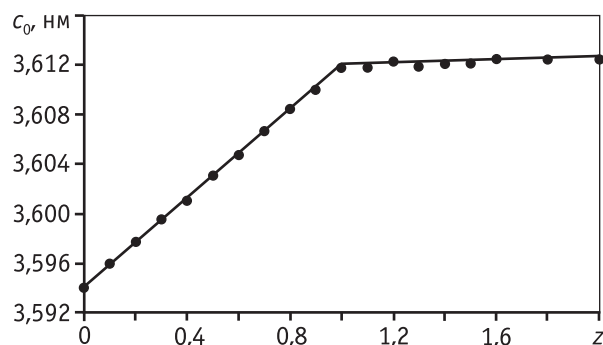


Рис. 2. Зависимость параметра c_0 элементарной ячейки полиферрита состава $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$ от содержания цезия (z)

рита (рис. 2), причем наблюдалось отклонение от ожидаемой линейной зависимости, построенной в соответствии с правилом Вегарда (пунктирная линия на рис. 3) [8].

Параметр c_0 для реальных калий-цезиевых полиферритов увеличивался быстрее и достигал почти максимальной величины при значении коэффициента $z = 1$. Это свидетельствует о том, что цезий равномерно распределяется по смешанной фазе, образуя β'' -полиферрит калия-цезия $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$, а не чередующиеся блоки индивидуальных полиферритов $\text{K-}\beta''\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и $\text{Cs-}\beta''\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Параметр c_0 полиферрита начинает расти, как только в калиевую ферритную систему вводят цезий. Это указывает на то, что ион цезия входит в межблочное пространство калиевой β'' -фазы. Заметный рост параметра c_0

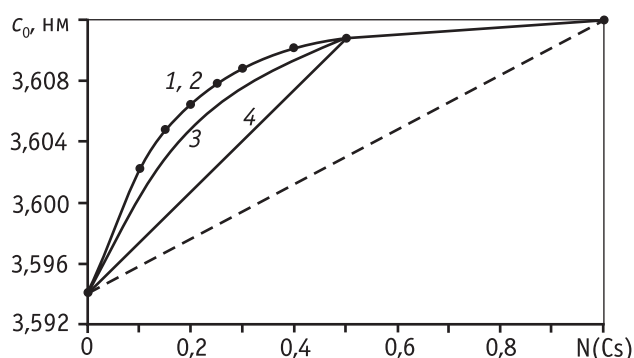


Рис. 3. Зависимость параметра c_0 элементарной ячейки полиферрита от мольной доли цезия $N(\text{Cs})$ в калий-цезиевой ферритной системе, $N(\text{Cs}) = v(\text{Cs}) / (v(\text{Cs}) + v(\text{K}))$

1, 2 – трехфазные системы состава $a\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17} + b\text{KFeO}_2 + e\text{CsFeO}_2$; 3 – четырехфазная система состава $a\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17} + b\text{KFeO}_2 + e\text{CsFeO}_2 + d\text{Fe}_3\text{O}_4$ (состав соответствует точкам 1, 2, 3 на рис. 5); 4 – однофазная система состава $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$. Пунктирная линия – линейная зависимость, построенная в соответствии с правилом Вегарда

продолжается до достижения коэффициентом z значения 1 в формуле $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$ (см. рис. 2), т.е. при $z = 1$ каждая плоскость, разделяющая блоки калий-цезиевого β'' -полиферрита, содержит хотя бы один ион цезия, задающий ширину межблочного пространства и поддерживающий параметр c_0 элементарной ячейки полиферрита. При дальнейшем увеличении параметра z рост размера элементарной ячейки прекращается, c_0 остается практически неизменным вплоть до $z = 2$.

Обращает на себя внимание факт, что экспериментально наблюдаемое увеличение параметра решетки $\Delta c_0 = 0,018$ нм существенно меньше того значения, которое можно было бы ожидать, исходя из разницы в размерах ионов цезия и калия $\Delta c_r = (0,167 - 0,133) \cdot 2,3 = 0,204$ нм. Можно утверждать, что большой ион цезия, располагаясь в межблочном пространстве, практически не увеличивает его ширину.

Значительный практический интерес представляло определение количества цезия, которое обеспечит равномерное распределение его ионов по β'' -фазе. Элементарный расчет показывает, что максимальное соотношение $\text{Cs} : \text{Fe}$ не должно превышать 0,09. В то же время для обеспечения присутствия цезия во всех каталитически активных кластерах не требуется такого высокого содержания этого иона. Теоретически учесть долю ионов цезия, принадлежащих поверхностным кластерам дегидрирования, затруднительно.

Каталитические испытания полиферритных систем с различным содержанием цезия показали (рис. 4), что максимальная удельная скорость образования стирола достигается уже при соотношении $\text{Cs} : \text{Fe}$, отвечающем интервалу 0,023–0,027, что соответствует коэффициенту $z = 0,26–0,30$ в формуле $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$.

Учитывая равномерность распределения цезия по объему модельного катализатора, можно предположить, что для обеспечения оптимального промотирующего воздействия достаточно присутствия одного иона цезия на элементарную ячейку типа β'' -глинозема. Указанное распределение отвечает формуле $\text{K}_5\text{CsFe}_3^{2+}\text{Fe}_{30}^{3+}\text{O}_{51}$.

Таким образом, введение в катализатор большего количества цезия, имеющего высокую стоимость, нецелесообразно как с позиции технологии, так и с точки зрения экономики.

Выяснив особенности формирования смешанной β'' -полиферритной фазы, мы перешли к изучению характера распределения цезия между моноферритной и полиферритной фазами. Эти исследования проводили для более сложных систем $\{a\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17} + b\text{KFeO}_2 + e\text{CsFeO}_2\}$, состав которых соответствует точкам 1, 2 на диаграмме, показанной на рис. 5 [5, 9].

Трехфазную систему готовили из гематита, металлического железа, моноферритов калия и цезия, взятых в избытке по сравнению с количеством, необходимым для получения однофазного смешанного β'' -полиферрита.

Мольную долю цезия увеличивали в ходе экс-

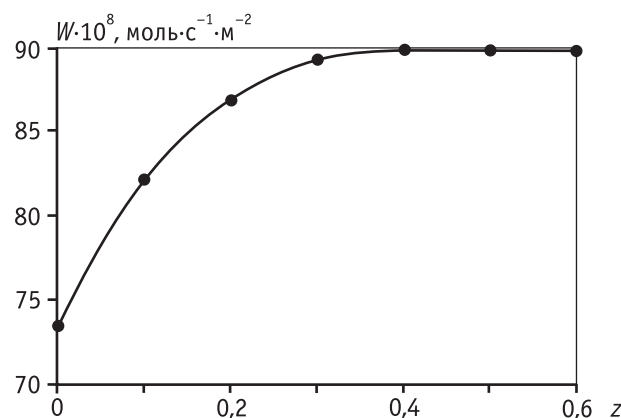


Рис. 4. Зависимость удельной скорости образования стирола (W) на ферритных системах состава $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$ от содержания цезия

Условия: $P = 0,1$ МПа, $t = 600$ °С, $\omega = 1$ ч⁻¹, этилбензол : водяной пар 1 : 3 по массе

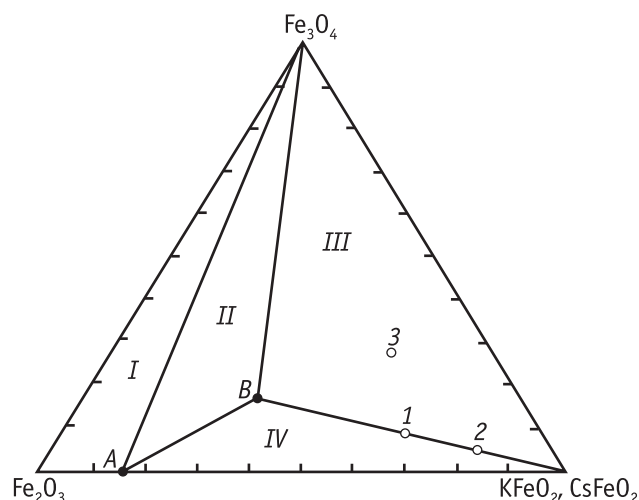


Рис. 5. Диаграмма состава образцов для изучения распределения цезия между компонентами многофазной ферритной системы

Диаграмма содержит четыре области: I – (гематит + магнетит + β -полиферрит); II – (β -полиферрит + магнетит + β'' -полиферрит); III – (магнетит + β'' -полиферрит + моноферрит); IV – (β -полиферрит + β'' -полиферрит + моноферрит)

перимента и измеряли параметр c_0 элементарной ячейки полиферрита. Измеряемый параметр начал расти при появлении в системе цезия, причем наблюдалось аномально быстрое возрастание c_0 при увеличении $N(\text{Cs})$ от 0 до 0,25 (см. рис. 3). Полученные кривые 1, 2 отклоняются от прямолинейного участка 4, соответствующего формированию однофазного калий-цезиевого β'' -полиферрита. Последующее увеличение продольного параметра элементарной ячейки происходило медленнее.

Такое поведение было отмечено в случае трехкомпонентных систем с различным соотношением полиферритной и моноферритной фаз: точки 1 и 2 на рис. 5 и кривые 1, 2 на рис. 3. Кривые 1 и 2, описывающие изменение параметра c_0 при изменении мольной доли цезия для трехфазных систем, состав которых описывается точками 1 и 2 на диаграмме 5, накладываются.

По-видимому, для ионов цезия предпочтительно расположение в составе β'' -полиферритной фазы.

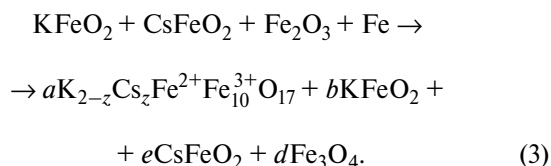
Полиферриты щелочных металлов типа β'' -глинозема кристаллизуются в слоистых структурах. В β'' -полиферрите шпинелеподобные блоки повернуты на 120° относительно друг друга. Плоскости, разделяющие блоки, не являются плотноупакованными и заполнены ионами щелочных металлов лишь на 70 %, ионами кислорода — на 82 % из числа доступных позиций. Столь малое заполне-

ние плоскости и большая ширина межблочного пространства являются причиной чрезвычайно высокой подвижности ионов щелочных металлов, которые могут свободно перемещаться в двух направлениях в пределах проводящей плоскости. Для данного типа соединений выделяют три участка, доступных для передвижения ионов щелочных металлов. Им даны названия Beevers-Ross (BR), midoxygen (mO) и anti-Beevers-Ross (aBR) [10]. В β'' -глиноземе BR и aBR эквивалентны. Участки mO имеют большую ширину. Принимая во внимание наличие в структуре полиферрита ионов различного размера, а именно K^+ и Cs^+ , и учитывая размер каналов, доступных для передвижения ионов щелочных металлов, можно предположить, что большие ионы Cs^+ будут занимать позиции в кристаллической решетке смешанного полиферрита, в то время как ионы калия, меньшего размера, будут свободно преодолевать участки BR, aBR и mO до тех пор, пока не образуется барьер для передвижения, состоящий из крупных ионов цезия. Таким образом, при образовании смешанного калий-цезиевого β'' -полиферрита в состав данного соединения в первую очередь входить будут ионы цезия. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока у цезия есть возможность занимать положения, характерные для ионов щелочных металлов в кристаллической решетке β'' -полиферрита, что соответствует величине $z = 1$ в формуле $\text{K}_{2-z}\text{Cs}_z\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}\text{O}_{17}$, и только после этого в систему войдет значительное количество калия.

Моноферрит цезия крайне неустойчив [11], поскольку размер Cs^+ близок к верхнему пределу изоморфной замещимости в орторомбической элементарной ячейке $\text{Cs}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$.

Полиферрит $\text{Cs}-\beta''\text{Fe}_2\text{O}_3$ устойчив в восстановительной атмосфере.

Для проверки результатов, полученных для составов, описываемых точками 1, 2, провели исследование распределения цезия в четырехфазных системах, полученных по схеме (точка 3 на диаграмме 5):



Рентгенографический анализ показал, что и в более сложных (четырефазных) системах наблюдался быстрый рост параметра c_0 (кривая 3, см. рис. 3), что

свидетельствует о вхождении цезия преимущественно в состав смешанной полиферритной фазы.

Установлено, что чистый $K-\beta''Fe_2O_3$ не образуется, если в системе присутствует цезий. Образование смешанного калий-цезиевого моноферрита не отмечено. Моноферрит цезия в ферритной системе отсутствует до тех пор, пока у Cs есть стехиометрическая возможность занимать положение в полиферритной фазе. Исследование влияния количества моноферритов калия и цезия на распределение щелочных металлов между фазами смешанной ферритной системы показало, что малое содержание моноферрита цезия в исходном образце приводит к образованию смешанной β'' -полиферритной фазы, включающей практически весь цезий, имеющийся в системе, при этом часть калия остается связанной в моноферрит. При увеличении содержания вводимого моноферрита цезия в системе присутствует смешанный калий-цезиевый β'' -полиферрит, а также моноферриты калия и цезия. Количество моноферрита калия и содержание цезия в β'' -полиферритной фазе изменяются симбатно. Можно предположить, что калий создает высокий химический потенциал щелочного металла в ферритной системе и способствует предпочтительному вхождению цезия в межблочное пространство полиферрита. Выявленная закономерность может рассматриваться как базовая для разработки способа доставки и размещения цезия в составе заданного компонента многофазной системы.

Таким образом, основываясь на данных по фазовому составу контакта в условиях реакции дегидрирования и учитывая многофазность ферритной системы, включающей полиферрит, моноферрит и магнетит, можно рассчитать оптимальное содержание дорогостоящих соединений цезия в рецептуре катализатора.

Выводы

1. Установлено, что цезий равномерно распределяется по смешанной фазе, образуя β'' -полиферрит калия-цезия $K_{2-z}Cs_zFe^{2+}Fe_{10}^{3+}O_{17}$, а не чередующиеся блоки индивидуальных полиферритов $K-\beta''Fe_2O_3$ и $Cs-\beta''Fe_2O_3$. Показано, что для обеспечения присутствия Cs во всех каталитически активных кластерах отношение Cs:Fe в смешанном $K,Cs-\beta''$ -полиферрите должно отвечать интервалу 0,023—0,027.

2. Выяснен характер распределения щелочных металлов между фазами многофазной ферритной системы. Ионы цезия располагаются в β'' -полифер-

ритной фазе до тех пор, пока у цезия есть стехиометрическая возможность занимать положения в структуре β'' -полиферрита, при этом часть калия остается связанной в моноферрит. Такая закономерность может рассматриваться как базовая для разработки способа доставки и размещения цезия в составе заданного компонента многофазной системы.

Литература

1. Ламберов А.А., Гильманов Х.Х., Дементьева Е.В., Шатохина Е.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Катализаторы дегидрирования метилбутиленов на основе железоксидных пигментов с различными физико-химическими свойствами // Катализ в промышленности. 2008. № 2. С. 42—49.
2. Ламберов А.А., Гильманов Х.Х., Шатохина Е.В., Дементьева Е.В., Гильмуллин Р.Р., Герасимов Д.Н. Влияние промышленной эксплуатации и окислительной регенерации на активность, элементный и фазовый составы железоксидного катализатора дегидрирования метилбутиленов // Катализ в промышленности. 2008. № 1. С. 20—26.
3. Дворецкий Н.В., Степанов Е.Г., Юн В.В., Котельников Г.Р. Фазовый состав промотированных железоксидных катализаторов в условиях реакции дегидрирования // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1990. Т. 33. № 8. С. 3—9.
4. Дворецкий Н.В., Аниканова Л.Г. Устойчивость полиферритов калия и цезия // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2011. Т. 54. № 9. С. 64—66.
5. Дворецкий Н.В., Степанов Е.Г., Юн В.В. Фазовая диаграмма системы $Fe_2O_3-Fe_3O_4-KFeO_2$ // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1991. Т. 27. № 6. С. 1265—1268.
6. Дворецкий Н.В., Малышева З.Г., Аниканова Л.Г. Синтез полиферритов цезия // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. № 1. С. 76—79.
7. Котельников Г.Р. Технологии катализаторов дегидрирования и некоторые проблемы оптимизации // Журнал прикладной химии. 1997. Т. 70. № 2. С. 276—283.
8. Nariki S., Ito S., Uchinokura K., Yoneda N. Formation of β -, β'' - and β''' -alumina type ferrites in $Rb_2O-Fe_2O_3$ and $Cs_2O-Fe_2O_3$ systems and ionic conduction of β and β'' phases // J. Ceram. Soc. Jap. 1988. V. 96. № 2. P. 186—192.
9. Дворецкий Н.В., Аниканова Л.Г. Фазовая диаграмма тройной системы $Fe_2O_3-Fe_3O_4-CsFeO_2$ // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2011. Т. 54. № 8. С. 52—54.
10. Watarai H., Fujimoto K., Ito S. Distribution of K^+ and

Cs⁺ Ions in the Alkali Layer of (K⁺, Cs⁺)- β -Ferrite // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2011. V. 18. № 2. P. 022022.

11. Молчанов В.В., Плясова Л.М., Андрушкевич М.М. Ус-

тойчивость фазового состава и роль отдельных компонентов катализаторов на основе ферритов щелочных металлов // Кинетика и катализ. 1991. Т. 32. № 4. С. 1008—1013.

УДК 54.057

ТЕМПЛАТНЫЙ СИНТЕЗ 3-D СТРУКТУРИРОВАННЫХ МАКРОПОРИСТЫХ ОКСИДОВ И ИЕРАРХИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ

© 2012 г. **Е.В. Пархомчук**^{1,2},
К.А. Сашкина², **Н.А. Рудина**¹,
Н.А. Куликовская¹,
В.Н. Пармон^{1,2}

¹ Институт катализа СО РАН, Новосибирск

² Новосибирский государственный университет

Введение

Многие каталитические процессы, такие как глубокая переработка тяжелых нефтей и нефтяных остатков, получение биотоплив и тонкий органический синтез фармацевтических препаратов, происходят с участием высокомолекулярных соединений. Относительно большой размер молекул реагентов приводит к низкой эффективности использования поверхности и быстрой дезактивации гетерогенного катализатора, а также к значительным диффузионным затруднениям для протекания гетерогенных реакций на традиционных катализаторах. Особые трудности возникают при использовании таких высокоактивных катализаторов, как

микропористые цеолиты, у которых величина внешней поверхности, доступной для крупных молекул, оказывается чрезвычайно низкой. В связи с этим современная химическая технология требует разработки и использования крупнопористых носителей и катализаторов, в том числе так называемых иерархических цеолитов, имеющих, помимо микропор ($r < 2$ нм), дополнительную развитую систему мезо- ($2 \text{ нм} < r < 50 \text{ нм}$) и/или макропор ($r > 50 \text{ нм}$). Традиционные и широко используемые способы получения мезо- и макропористости заключаются в создании дефектов решетки носителя, например путем термохимической активации, гидротермальной обработки [1—3] или обработкой кислотами и щелочами [4, 5]. Однако в таких случаях в конечном продукте образуются поры с неконтролируемым размером и широким распределением по размерам [6].

С 1997 г. стал развиваться альтернативный метод синтеза макропористых носителей с использованием наноразмерных темплатов, удаляемых из конечного продукта посредством выжигания или растворения [7, 8]. Данный подход, названный темплатным синтезом, позволяет получать контролируемую текстуру материала: заданное распределение пор по размерам и 3-D структурированную пористость с характерным размером пор от нескольких нанометров до нескольких микрометров, без изменения химического состава и свойств поверх-

Пархомчук Е.В. – канд. хим. наук, науч. сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН, доцент Новосибирского государственного университета. Тел./факс: (383) 333-16-17. E-mail: ekaterina@catalysis.ru

Сашкина К.А. – студентка Новосибирского государственного университета. Тел./факс тот же. E-mail: sashkina_kseniya@mail.ru

Рудина Н.А. – канд. хим. наук, науч. сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН. Тел./факс: (383) 326-95-34. E-mail: rudina@catalysis.ru

Куликовская Н.А. – вед. инженер-технолог того же института. E-mail: kulik@catalysis.ru

Пармон В.Н. – академик РАН, директор того же института, зав. кафедрой Новосибирского государственного университета. Тел./факс: (383) 330-82-69. E-mail: parmon@catalysis.ru