

**ПРЯМОЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ SO₂ СИНТЕЗ ГАЗОМ
НА Fe-Mn ГРАНУЛИРОВАННЫХ И БЛОЧНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ**
Н. В. Шикина, С. Р. Хайрулин, С. А. Яшник, А. А. Гаврилова, З. Р. Исмаилов

**DIRECT CATALYTIC REDUCTION OF SO₂ BY SYNTHESIS GAS OVER GRANULATED
AND MONOLITHIC Fe-Mn CATALYSTS**
N. V. Shikina, S. R. Khairulin, S. A. Yashnik, A. A. Gavrilova, Z. R. Ismagilov

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках реализации Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы», по Соглашению № 14.583.21.0004 о предоставлении субсидии от 16 июля 2014 г. Уникальный идентификатор научных исследований (проекта) RFMEFI58314X0004.

Разработаны методы приготовления гранулированных и блочных Fe-Mn катализаторов на основе руды железомарганцевых конкреций. Исследованы текстурные, структурные и прочностные свойства катализаторов. Показано, что катализаторы характеризуются развитой пористой структурой и высокой механической прочностью. Катализаторы испытаны в реакции DeSOx синтез-газом при стехиометрическом соотношении SO₂/(CO+H₂)=0,5. Исследовано влияние предварительного сульфидирования катализаторов, влияние геометрической формы образцов (гранулы и блок) на каталитические характеристики. Показано, что Fe-Mn катализаторы с оксидной и сульфидной формой активных компонентов активны в реакции DeSOx синтез-газом и могут селективно восстанавливать SO₂ с конверсией более 90 %.

Preparation methods of granulated and monolithic Fe-Mn catalysts on the base of ferromanganese nodules were developed. The textural, structural and strength properties of catalysts were studied. It was shown that the catalysts have a developed pore structure and high mechanical strength. The catalysts were tested in the DeSOx reaction with synthesis gas at a stoichiometric ratio SO₂/(CO+H₂)=0,5. The effect of the preliminary catalysts sulfidizing and geometric shape of samples (granules and monolith) on the catalytic properties were investigated. The testing showed that Fe-Mn catalysts with the oxide or sulfide form of active components are active in DeSOx reaction with synthesis gas and can selectively reduce SO₂ with a conversion above 90 %.

Ключевые слова: катализаторы, блоки, приготовление, DeSOx, синтез-газ.

Keywords: catalysts, monoliths, preparation, DeSOx, synthesis gas.

Введение

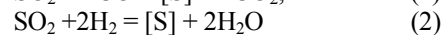
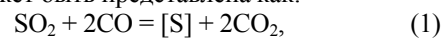
Диоксид серы, выделяемый в атмосферу, преимущественно как компонент дымовых газов тепловых электростанций, является опасным атмосферным загрязнителем, вызывающим серьезный экологический вред и проблемы здоровья [3; 4; 12]. В последнее время из-за экологических проблем и для поддержания баланса между предложением и потреблением в энергетической индустрии большое внимание исследователей во всем мире направлено на разработку чистых и эффективных энергетических технологий.

Основными направлениями снижения эмиссии SO₂ в атмосферу являются сорбционные методы [2; 6; 8; 13; 15; 18]; каталитическое окисление до триоксида серы с дальнейшим получением серной кислоты [16, 17, 21, 23] и селективное каталитическое восстановление до элементарной серы [10; 11; 21]. Каждый из применяемых методов десульфуризации имеют свою технологическую нишу, а использование конкретного способа определяется исходя из множества критериев, основными из которых являются: эффективность очистки, технико-экономические показатели процесса (капитальные и текущие затраты), влияющие на себестоимость конечного продукта (для ТЭЦ – стоимость выработанной тепловой и электрической энергии).

Методы каталитического восстановления диоксида серы до элементарной серы с использованием различных восстановителей (CO, H₂, CH₄, синтез-газ) являются наиболее перспективными, поскольку обеспечивают

превращение диоксида серы в элементарную серу на одну стадию. Процесс десульфуризации синтез-газом является наиболее приемлемым для очистки высококонцентрированных газовых смесей, поскольку CO и H₂ являются компонентами дымовых газов и могут быть использованы в качестве восстановителя SO₂ без дополнительных финансовых затрат.

Принципиальная реакция восстановления SO₂ смесью CO и H₂ может быть представлена как:



где [S] обозначает различные состояния серы (S₁, S₂, ... S₈) в газовой фазе. По данным термодинамических расчетов наиболее вероятным является существование серы в состоянии двухатомной молекулы при температуре > 600°C [14].

Процесс СКВ SO₂ вышеперечисленными восстановителями осуществляется на различных типах катализаторов: смесь оксидов Sn и Zr [9], сульфиды Mo и переходных металлов [19; 20], модифицированный оксид церия [7; 21; 22] и др.

Данная работа посвящена оценке возможности использования недорогих и безопасных природных материалов, содержащих оксидные и гидроксооксидные соединения переходных металлов в качестве катализаторов для процесса СКВ SO₂ синтез-газом. В связи с этим большой интерес представляют шельфовые железомарганцевые конкреции, залежи которых в больших количествах обнаружены в акваториях российских мо-

рей. Рудная составляющая конкреций на 50 % объема представлена гидроксидами и оксидами Mn и Fe сложной композиции [1]. Однако использование природных материалов для очистки дымовых газов в промышленных масштабах сопряжено с решением проблемы прочности таких катализаторов.

Целью данной работы является разработка гранулированных и блочных катализаторов на основе железомарганцевых конкреций, исследование их физико-химических свойств и активности в реакции селективного каталитического восстановления SO_2 синтез-газом.

Экспериментальная часть

Материалы

Для приготовления сорбентов SO_2 использовали порошкообразный материал «Руда железомарганцевых конкреций Финского залива» ТУ 0731-001-50855050-2005».

Приготовление катализаторов

Катализаторы в форме цилиндров и блоков сотовой структуры были приготовлены методом экструзии пластической массы, состоящей из порошка ЖМК со связующим. Для приготовления цилиндрических гранул исходные компоненты смешивали в Z-образном смесителе и затем формовали с помощью пневматического устройства через фильеру диаметром 4 мм. Влажные экструдаты разрезали на фрагменты, провяливали на воздухе в течение суток и прокаливали при 500°C в течение 4-х часов. Приготовлено 2 типа катализаторов, содержащих 80 мас.% ЖМК и 20 мас.% связующего. В качестве связующего в одном случае использовали золь гидроксида алюминия (катализатор Fe-Mn(Al)), в другом случае влажную пасту Самонтмориллонита (катализатор Fe-Mn(Ca-M)). Для приготовления блоков сотовой структуры была приготовлена формовочная масса, содержащая 70 мас.% ЖМК и 30 мас.% Ca-M. Формование осуществляли на пневмопрессе с помощью специального формующего устройства. Сформованные блоки разрезали на фрагменты, провяливали на воздухе в течение суток, сушили при 110°C в течение 4 часов и прокаливали при 700°C (катализатор Fe-Mn(Ca-M)-Бл). Фотография блочных катализаторов приведена на рис. 1.



Рис. 1. Фотография блочных катализаторов на основе ЖМК

Методы исследования

Исследования фазового состава

Фазовый состав образцов изучали на основании анализа дифракционной картины, полученной на дифрактометре HZG-4 с монохроматизированным Cu K_α излучением. Наблюдаемые фазы идентифицировали в соответствии с данными рентгенографической картотеки JCPDS.

Измерение удельной поверхности и объема пор

Пористую структуру образцов изучали методом низкотемпературной адсорбции азота на приборе ASAP-2400 ("Micromeritics", США) при температуре жидкого азота 77 K после предварительной тренировки образцов при 150°C и остаточном давлении менее 0.001 мм рт. ст. и проводили их стандартную обработку по методам БЭТ и Баррет-Джойнер-Халенда (BJH-метод).

Определение насыпной плотности

Для определения насыпной плотности высушенный образец помещали в мерную емкость объемом в 100 см^3 и уплотняли методом утряски. Затем определяли массу образца в этом объеме. Насыпную плотность (ρ), выраженную в г/см^3 , вычисляли по формуле: $\rho = m/V$, где m – масса навески образца, г; V – объем навески образца, см^3 .

Измерение механической прочности

Измерения механической прочности проводили на приборе МП-9С в статических условиях. Сущность метода заключается в измерении усилия разрушения, приложенного к образующей линии каждой гранулы пробы катализатора, между двумя параллельными плоскостями. Для испытаний из пробы отбирали не менее 30 гранул.

Исследование активности в реакции восстановления SO_2 синтез-газом

Для проведения экспериментов использовалась фракция катализатора размером 0.5 – 1.0 мм или фрагмент блока. Навеска катализатора объемом 1 см^3 помещалась в реактор. Реакционная смесь, содержащая SO_2 , CO и H_2 подавалась на вход в реактор. Устанавливались необходимые начальные концентрации реагентов, скорость потока и необходимое отношение SO_2 /синтез-газ при комнатной температуре реактора. Для экспериментов было выбрано отношение SO_2 /синтез-газ = 1/2 в соответствии с уравнениями реакций 1 и 2.

Условия проведения экспериментов по исследованию активности катализаторов в модельной реакции восстановления SO_2 синтез-газом:

Загрузка катализатора – 1 см^3 .

Объемная скорость – 1200 ч^{-1} .

Исходная концентрация SO_2 – 67 об. %.

Отношение SO_2 /синтез-газ = 1/2.

Состав синтез-газа: 25% CO + 75 %.

Диапазон температур – $200 - 600^\circ\text{C}$.

Контроль за концентрациями SO_2 , CO и H_2 осуществлялся путем измерения концентраций веществ с помощью газового хроматографа.

Обработка экспериментальных данных

На основании полученных экспериментально значений концентраций реагентов и продуктов реакции проводился расчет степени превращения SO_2 , синтез-газа, CO и H_2 , селективности в отношении к образо-

ванию элементарной серы, сероводорода и COS, а также выходов элементарной серы, сероводорода, COS.

Поскольку реакция протекает с изменением объема, расчет степеней превращения и выходов производился через объемные расходы компонентов до реактора и после. Значения объемных расходов компонентов реакции вычислялись на основании экспериментальных данных о суммарном расходе и составе газовой смеси после реактора.

Результаты

Свойства катализаторов

Основные физико-химические характеристики катализаторов: насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$, удельная поверхность ($S_{\text{ВЕТ}}$), объем пор ($V_{\text{пор}}$), влагоемкость (V_{Σ}), диаметр пор (D), механическая прочность (P), фазовый состав приведены в таблице.

Таблица

Физико-химические свойства катализаторов на основе ЖМК

Образец	$\rho_{\text{нас}}$ г/см ³	$S_{\text{ВЕТ}}$ м ² /г	$V_{\text{пор}}$ см ³ /г	V_{Σ} H ₂ O, см ³ /г	D , Å	P , кг/см ²	Фазовый состав
Fe-Mn(Al)	0.63	87	0.32	0.53	157	9.0	α -SiO ₂ ; высокодисперсный гематит –Fe ₂ O ₃ ; неидентиф. фазы Ф1 с максимумами на 25.5 и 32.45 град и Ф2 с максимумом на 31.95 град;
Fe-Mn(Ca-M)	0.77	37	0.13	0.23	132	30.0	α -SiO ₂ ; высокодисперсный гематит –Fe ₂ O ₃ ; Са-монтмориллонит; неидентиф. фазы Ф1 с максимумами на 25.5 и 32.45 град и Ф2 с максимумом на 31.95 град;
Fe-Mn(Ca-M)-Бл	не опред.	19	0.12	0.23	251	27.6 (по образующей)	α -SiO ₂ ; Са-монтмориллонит; неидентиф. фаза Ф1 с максимумами на 25.5 и 32.45 град; неидент. фаза Ф2 с максимумом на 31.95 град; грубодисперсный гематит –Fe ₂ O ₃

Показатели пористой структуры катализаторов имеют наиболее важное значение для эффективного проведения процесса, т. к. определяют дисперсность активных компонентов на поверхности и обеспечивают доступ реагентов к активным центрам. Использование гидроксида алюминия в качестве связующего для приготовления катализатора позволяет получить образец Fe-Mn(Al) с высокой удельной поверхностью и развитой пористой структурой. При этом удельная поверхность и влагоемкость образца Fe-Mn(Al) имеют близкие значения с характеристиками исходного порошка ЖМК, прокаленного при 500°C, а по показателям объема пор даже превосходит исходный материал [5]. Катализатор Fe-Mn(Ca-M), приготовленный с использованием Са-монтмориллонита в качестве связующего, уступает по текстурным показателям катализатору Fe-Mn(Al), но при этом характеризуется более высокой механической прочностью. Блочный катализатор сотовой структуры Fe-Mn(Ca-M)-Бл имеет приблизительно одинаковый химический и фазовый состав с катализатором Fe-Mn(Ca-M), но вследствие прокалывания при более высокой температуре уступает ему по показателям удельной поверхности из-за спекания тонких пор. При этом значения объема пор и влагоемкости этих катализаторов идентичны. Выбранная температура прокалывания блочного образца является компромиссным вариантом, обеспечиваю-

щим катализатору достаточно хорошие показатели удельной поверхности, пористой структуры и механической прочности.

Фазовый состав приготовленных катализаторов определяется химическим составом образцов и температурой прокалывания. Дифракционные картины образцов различаются из-за присутствия фаз связующих различной природы. Фаза гематита, присутствующая во всех образцах, характеризуется различной дисперсностью, которая ниже в образце блока, прокаленного при 700°C.

Восстановление SO₂ синтез-газом

На катализаторах Fe-Mn(Al) и Fe-Mn(Ca-M) была исследована зависимость каталитической активности от фазового состояния активного компонента. Катализаторы испытывались после прокалывания на воздухе при 500°C (оксидная форма) и после сульфидирования в атмосфере сероводорода при 400°C в течение 2 часов (сульфидная форма). Блочные катализаторы в виде фрагментов блока диаметром 10 мм, высотой 20 мм с толщиной стенки 0,5 мм испытывались в сульфидной форме.

Каталитические характеристики (конверсия SO₂, CO и H₂ и выход основных продуктов реакции) образцов Fe-Mn(Al) и Fe-Mn(Ca-M) в оксидной и сульфидной форме приведены на рисунках 2 и 3. Характер каталитических характеристик в восстановлении ди-

оксида серы синтез-газом оксидных образцов Fe-Mn(Al) и Fe-Mn(Ca-M) идентичен в области температур выше 400 °C. Конверсия SO_2 составляла 75 % при 500 °C и 95 – 98 % при 600 °C, выход серы – 70 – 72 % и 94 %, соответственно. В области температур до 400 °C, несколько более активным был образец Fe-Mn(Al). Уже при температуре 300 °C, указанный образец обеспечивал конверсию SO_2 и выход серы на уровне 25 %. Более высокая активность образца может быть следствием его более высокой удельной поверхности, по сравнению с образцом Fe-Mn(Ca-M). При температуре 400 °C на обоих образцах наблюдалось образование COS, с выходом до 10 – 12 %.

Предварительное сульфидирование приводит к существенному улучшению каталитических характе-

ристик обоих образцов. Наблюдается смещение всех измеряемых каталитических характеристик в низкотемпературную область, за исключением точки 200 °C. Так, если сульфидированный катализатор Fe-Mn(Al) обеспечивает 75 %-ную конверсию диоксида серы уже при 300 °C, то для достижения такой же конверсии SO_2 на оксидном катализаторе требуется температура 470 °C. Можно полагать, что поверхность оксидного катализатора также сульфидируется в условиях реакции, однако недостаток сероводорода затрудняет процесс сульфидирования, что приводит к сдвигу каталитической активности в высокотемпературную область.

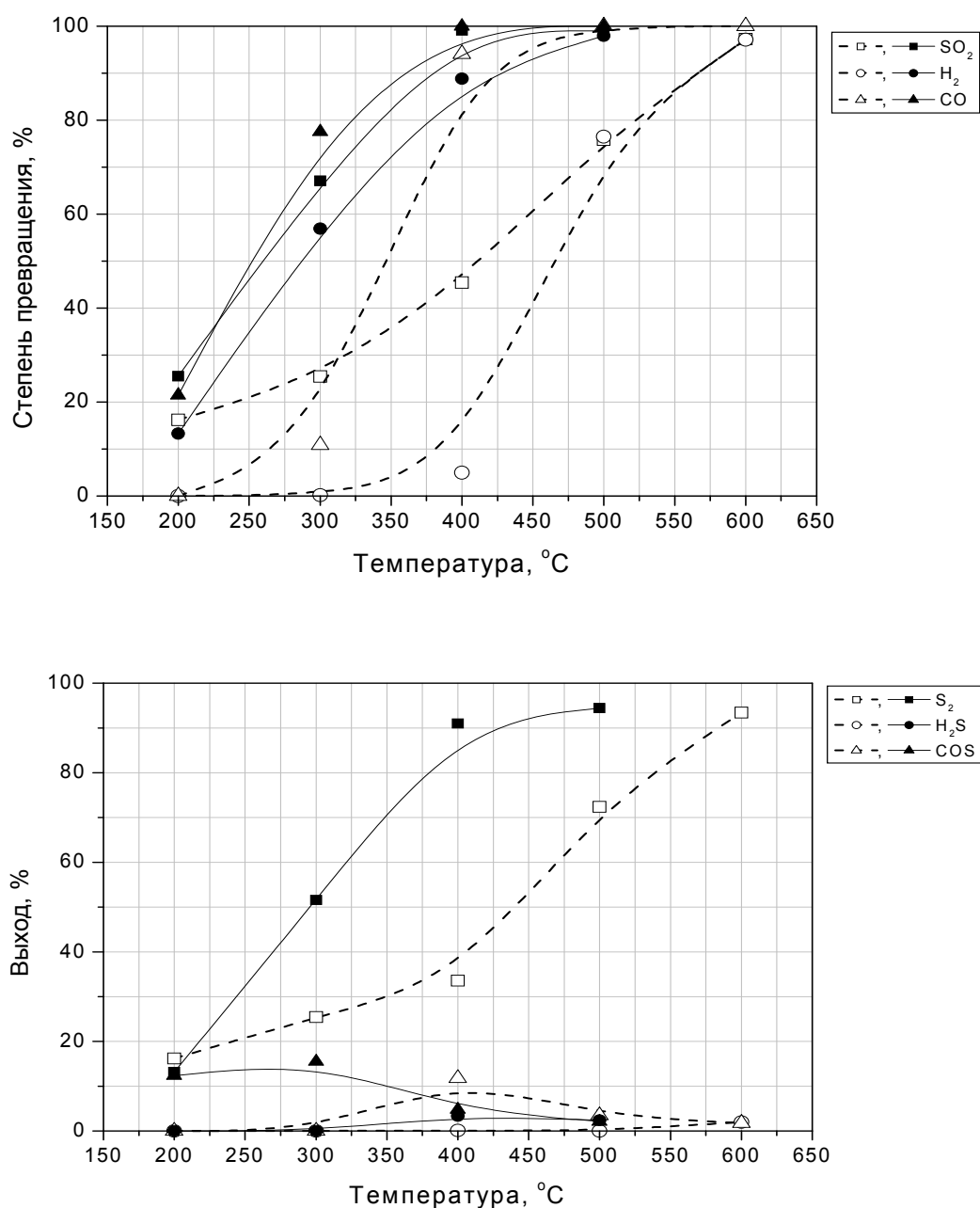


Рис. 2. Влияние предварительного сульфидирования на каталитические характеристики образца Fe-Mn(Al) в реакции восстановления диоксида серы синтез-газом

Открытые символы – образец в оксидной форме, закрытые символы – образец в сульфидной форме (в токе H_2S при 400°C , 2 ч).

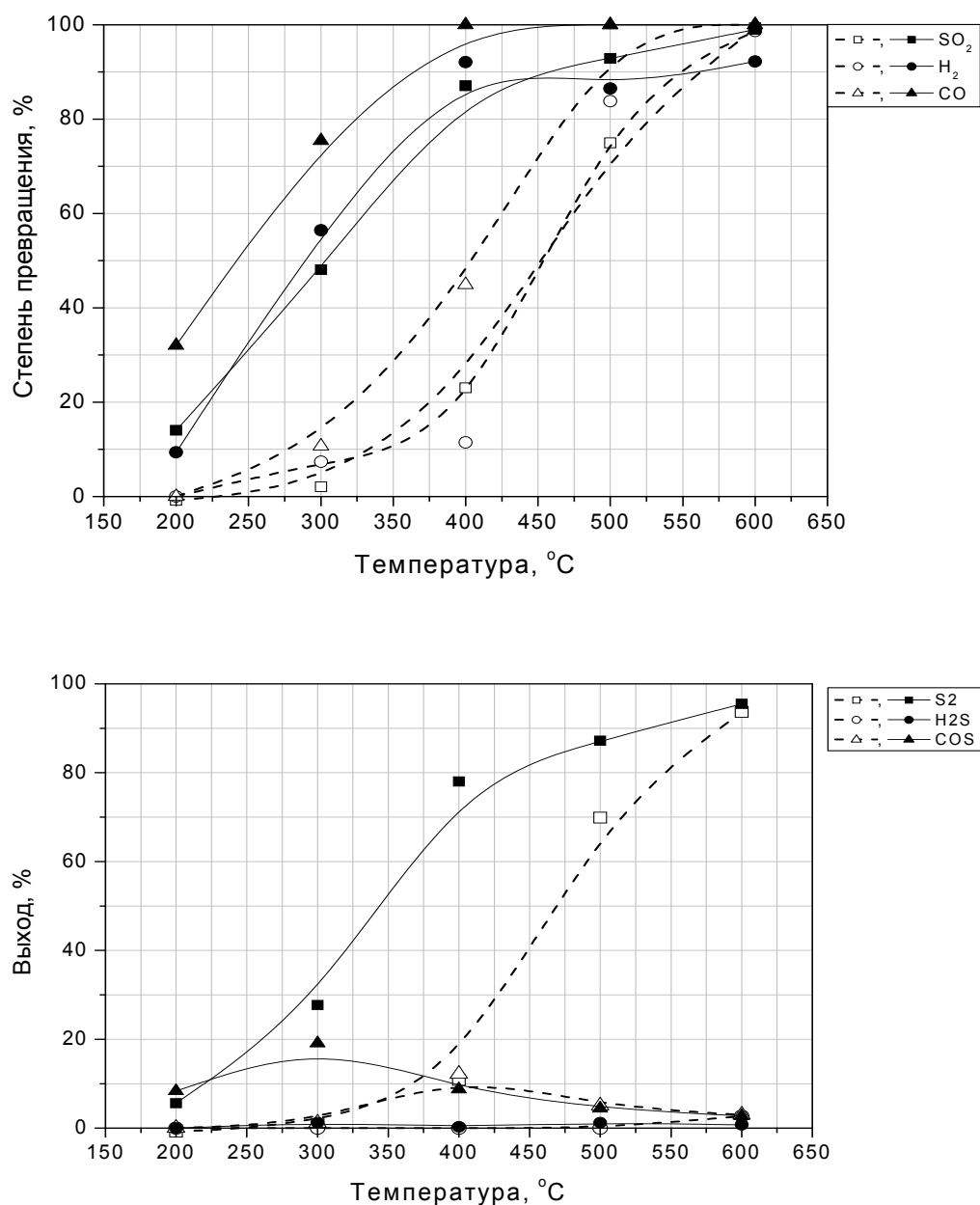


Рис. 3. Влияние предварительного сульфидирования на каталитические характеристики образца $\text{Fe-Mn}(\text{Ca-M})$ в реакции восстановления диоксида серы синтез-газом

Открытые символы – образец в оксидной форме, закрытые символы – образец в сульфидной форме (в токе H_2S при 400°C , 2 ч).

На рис. 4 приведены результаты испытаний сульфидированного блочного катализатора $\text{Fe-Mn}(\text{Ca-M})$ -Бл. Каталитические характеристики этого образца

сравнивались с характеристиками сульфидированного гранулированного катализатора $\text{Fe-Mn}(\text{Ca-M})$, приготовленного в виде фракции. Установлено, что по каталитическим характеристикам (конверсия SO_2 и выход продуктов) блочный катализатор не уступает гранулированному катализатору аналогичного состава.

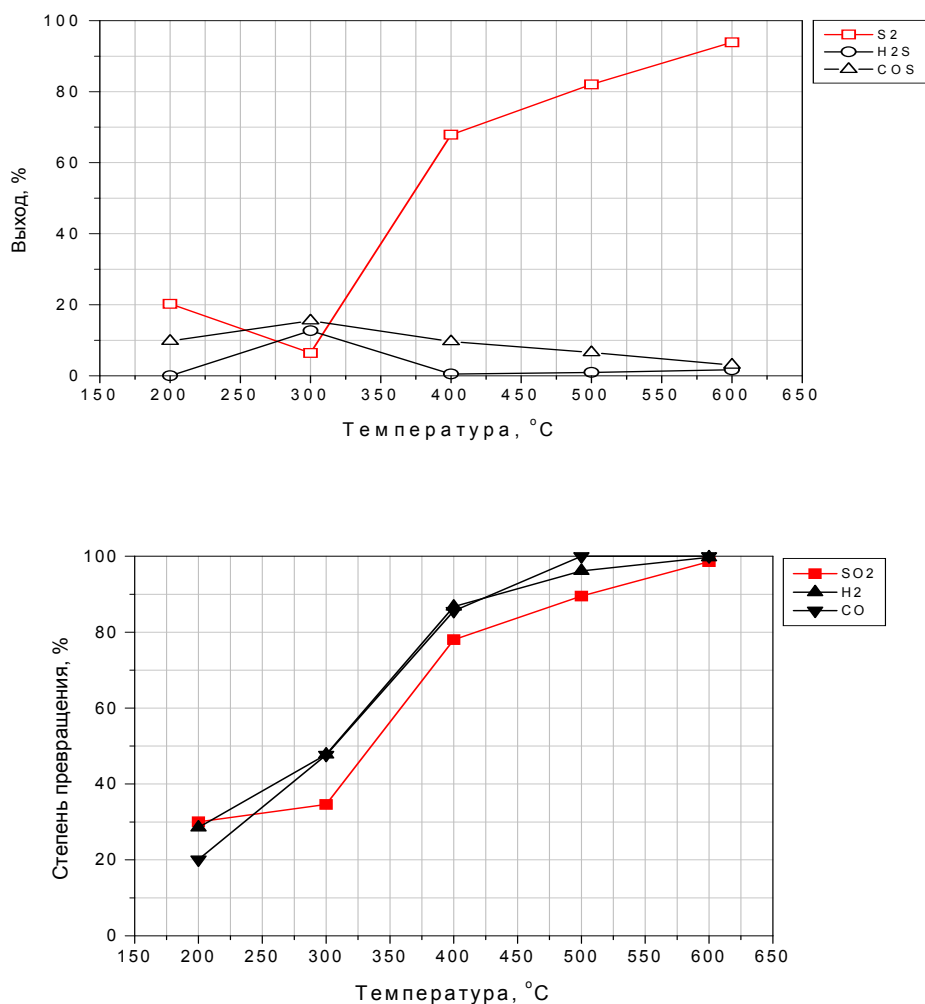


Рис. 4. Активность в восстановлении SO_2 синтез-газом сульфидированного блочного образца Fe-Mn(Ca-M)-Бл. $\text{GSHV} = 1200 \text{ ч}^{-1}$. $\text{SO}_2/(\text{CO}+\text{H}_2)=0.5$. Загрузка образца – 1 см^3

Литература

1. Иванова А. М., Смирнов А. Н., Рогов В. С., Мотов А. П., Никольская Н. С., Пальшин К. В. Шельфовые железомарганцевые конкреции – новый вид минерального сырья // Минеральные ресурсы России. 2006. № 6. С. 14.
2. Исмагилов З. Р., Керженцев М. А. Экологически чистое сжигание топлив и каталитическая очистка дымовых газов ТЭС от оксидов азота: состояние и перспективы // Ж. Всес. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1990. Т. 35. № 1. С. 43 – 54.
3. Исмагилов З. Р., Керженцев М. А., Хайрулин С. Р. Каталитическая очистка геотермального пара от сероводорода // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. № 4. С. 443 – 449.
4. Исмагилов З. Р., Керженцев М. А., Хайрулин С. Р., Кузнецов В. В. Одностадийные каталитические методы очистки кислых газов от сероводорода // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. № 4. С. 375 – 396.
5. Шикина Н. В., Хайрулин С. Р., Кузнецов В. В., Исмагилов З. Р. Разработка и исследование адсорбентов на основе рудных материалов для очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. № 23. С. 199 – 208.
6. Dou B., Pan W., Jin Q., Wang W., Li Y. Prediction of SO_2 removal efficiency for wet Flue Gas Desulfurization // Energy Convers. Manage. 2009. Vol. 50. P. 2547 – 2553.
7. Flytzani-Stephanopoulos M., Zhu T., Li Yu. Ceria based catalysts for the recovery of elemental sulfur from SO_2 -laden gas streams // Catal. Today. 2000. Vol. 62. P. 145 – 158.
8. Gomez A., Fueyo N., Tomas A. Detailed modelling of a flue-gas desulfurization plant // Comput. Chem. Eng. 2007. Vol. 31. P. 1419 – 1431.
9. Han G. B., Park N.-K., Lee J. D., Ryu S. O., Lee T. J. A study on the characteristics of the SO_2 reduction using coal gas over $\text{SnO}_2\text{-ZrO}_2$ catalysts // Catal. Today. 2006. Vol. 111. P. 205 – 211.
10. Han G. B., Park N. K., Yoon S. H., Lee T. J. Catalytic reduction of sulfur dioxide with carbon monoxide over tin dioxide for direct sulfur recovery process // Chemosphere. 2008. Vol. 72. P. 1744 – 1750.

11. Han G. B., Park N. K., Yoon S. H., Lee T. J., Yoon K. J. Synergistic catalysis effect in SO₂ reduction by CO over Sn-Zr-based catalysts // *Applied Catalysis A: General*. 2008. Vol. 337. P. 29 – 38.
12. Ismagilov Z. R., Kerzhentsev M. A. Catalytic fuel combustion – away of reducing emission of nitrogen-oxides // *Catal. Rev. Scie. Eng.* 1990. Vol. 32. № 1–2. P. 51 – 103.
13. Kallinikos L. E., Farsari E. I., Spartinos D. N., Papayannakos N. G. Simulation of the operation of an industrial wet flue gas desulfurization system // *Fuel Process. Technol.* 2010. Vol. 91. № 12. P. 1794 – 1802.
14. Kaloidas V. E., Papayannakos N. G. Hydrogen production from the decomposition of hydrogen sulphide. Equilibrium studies on the system H₂S/ H₂/Si, (*i* = 1,...,8) in the gas phase // *Int. J. Hydrogen Energy*. 1987. Vol. 12. P. 403 – 409.
15. Kameda T., Kodama A., Yoshioka T. Simultaneous removal of SO₂ and NO₂ using a Mg-Al oxide slurry treatment // *Chemosphere*. 2013. Vol. 93. P. 2889 – 2893.
16. King M. J., Davenport W. G., Moats M. S. Wet sulfuric acid process fundamentals // *Sulfuric Acid Manufacture (Second Edition). Analysis, Control and Optimization*. Copyright © 2013 Elsevier Ltd. P. 295 – 311.
17. Koutsopoulos S., Rasmussen S. B., Eriksen K. M., Fehrmann R. The role of support and promoter on the oxidation of sulfur dioxide using platinum based catalysts // *Appl. Catal. A: General*. 2006. Vol. 306. P. 142 – 148.
18. Scala F., Solimene R., Montagnaro F. Conversion of solid fuels and sorbents in fluidized bed combustion and gasification // *Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification*. 2013. P. 319 – 387.
19. Wiltowski T. S., Sangster K., O'Brien W. S. Catalytic reduction of SO₂ with methane over molybdenum catalyst // *J. Chem. Tech. Biotech.* 1996. Vol. 67. № 2. P. 204 – 212.
20. Zhang X., Hayward D. O., Lee C., Mingos D. M. P. Microwave assisted catalytic reduction of sulfur dioxide with methane over MoS₂ catalysts // *Appl. Catal. B: Environmental*. 2001. Vol. 33. P. 137 – 148.
21. Zhu T., Dreher A., Flytzani-Stephanopoulos M. Direct reduction of SO₂ to elemental sulfur by methane over ceria-based catalysts // *Appl. Catal. B: Environmental*. 1999. Vol. 21. P. 103 – 120.
22. Zhu T., Kundakovic L., Dreher A., Flytzani-Stephanopoulos M. Redox chemistry over CeO₂-based catalysts: SO₂ reduction by CO or CH₄ // *Catal. Today*. 1999. Vol. 50. P. 381 – 397.
23. Xiao Y., Liu Q., Liu Zh., Huang Zh., Guo Y., Yang J. Roles of lattice oxygen in V₂O₅ and activated coke in SO₂ removal over coke-supported V₂O₅ catalysts // *Appl. Catal. B: Environmental*. 2008. Vol. 82. P. 114 – 119.

Информация об авторах:

Шикина Надежда Васильевна – ведущий инженер Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН), г. Новосибирск, shikina@catalysis.ru.

Nadezhda V. Shikina – leading engineer at Boreskov Institute of Catalysis of SBRAS, Novosibirsk.

Хайрулин Сергей Рифович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН), г. Новосибирск, sergk@catalysis.ru.

Sergey R. Khairulin – Candidate of Chemistry, Senior Research Associate at Boreskov Institute of Catalysis of SBRAS, Novosibirsk.

Яшник Светлана Анатольевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН), г. Новосибирск, yashnik@catalysis.ru.

Svetlana A. Yashnik – Candidate of Chemistry, Senior Research Associate at Boreskov Institute of Catalysis of SBRAS, Novosibirsk.

Гаврилова Анна Алексеевна – инженер Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН), г. Новосибирск, gavraa@catalysis.ru.

Anna A. Gavrilova – engineer at Boreskov Institute of Catalysis of SBRAS, Novosibirsk.

Исмагилов Зинфер Ришатович – член-корреспондент РАН, директор Института углехимии и химического материаловедения СО РАН (ИУХМ СО РАН), г. Кемерово, заведующий Лабораторией экологического катализа Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН), г. Новосибирск, zinfer1@mail.ru

Zinfer R. Ismagilov – corresponding member of the Academy of Sciences of Russia, Director of the Institute of Coal Chemistry and Material Science of SB RAS, Kemerovo; Head of the Laboratory of Environmental Catalysis, Boreskov Institute of Catalysis of SBRAS, Novosibirsk.

Статья поступила в редколлегию 21.09.2015 г.