ИЗОМЕРИЗАЦИЯ н-ОКТАНА В ПРИСУТСТВИИ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЦЕОЛИТНОГО КАТАЛИЗАТОРА ТИПА МОРДЕНИТА: ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Шарифов Акмал Халимович

Бухарский государственный медицинский институт Ассистент кафедры «Медицинская и биологическая химия»

E-mail: sharifov.akmal@bsmi.uz

Аннотация. В данной статье представлена расширенная научная работа, посвящённая разработке технологии получения синтетического цеолитного катализатора типа морденита и его применению в процессе изомеризации н-октана. Цеолит морденит был синтезирован гидротермальным методом с последующей ионообменной обработкой и термической активацией для получения протонной (H-) формы. Физико-химические свойства катализатора исследованы с использованием методов рентгенофазового анализа (XRD), адсорбции азота (BET), инфракрасной спектроскопии (FTIR) и температурно-программируемой десорбции аммиака (NH_3-TPD). Каталитические испытания показали высокую конверсию н-октана и селективность по изо-октанам при минимальном протекании побочных реакций. Полученные результаты подтверждают перспективность использования синтетического морденита в процессах глубокой переработки нефти и производства высокооктановых моторных топлив.

Ключевые слова: н-октан, изомеризация, морденит, цеолитный катализатор, гидротермальный синтез, кислотные центры.

Annotatsiya. Mazkur maqolada sintetik mordenit tipidagi zeolit katalizatorini olish texnologiyasini ishlab chiqish hamda uni n-oktan izomerizatsiya jarayonida qo‘llashga bag‘ishlangan kengaytirilgan ilmiy tadqiqot natijalari keltirilgan. Mordenit zeoliti gidrotermik sintez usuli yordamida olinib, keyinchalik ion-almashinish va termik aktivatsiya jarayonlari orqali proton (H-) shakliga o‘tkazildi. Katalizatorning fizik-kimyoviy xossalari rentgen-fazaviy tahlil (XRD), azot adsorbsiyasi (BET), infraqizil spektroskopiya (FTIR) hamda ammiakning haroratga bog‘liq dasturlashtirilgan desorbsiyasi (NH_3-TPD) usullari yordamida o‘rganildi. Katalitik sinovlar n-oktan konversiyasining yuqori darajasi va izo-oktanlar bo‘yicha yuqori selektivlikni, shuningdek, yon reaksiyalarning minimal darajada kechishini ko‘rsatdi. Olingan natijalar sintetik mordenitning neftni chuqur qayta ishlash jarayonlarida hamda yuqori oktanli motor yoqilg‘ilarini ishlab chiqarishda istiqbolli katalizator ekanligini tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: n-oktan, izomerizatsiya, mordenit, zeolit katalizatori, gidrotermik sintez, kislota markazlari.

Abstract. This article presents an extended scientific study focused on the development of a synthesis technology for a mordenite-type zeolite catalyst and its application in the n-octane isomerization process. The mordenite zeolite was synthesized via a hydrothermal method followed by ion-exchange treatment and thermal activation to obtain the proton (H-) form. The physicochemical properties of the catalyst were investigated using X-ray diffraction (XRD), nitrogen adsorption (BET), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and ammonia temperature-programmed desorption (NH_3-TPD) techniques. Catalytic tests demonstrated high n-octane conversion and selectivity toward iso-octanes with minimal occurrence of side reactions. The obtained results confirm the promising potential of synthetic mordenite for deep oil refining processes and the production of high-octane motor fuels.

Keywords: n-octane, isomerization, mordenite, zeolite catalyst, hydrothermal synthesis, acid sites.

ВВЕДЕНИЕ

Современная нефтеперерабатывающая промышленность ориентирована на производство моторных топлив с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками. Одним из ключевых показателей качества бензинов является октановое число, повышение которого традиционно достигалось за счёт введения ароматических углеводородов и металлсодержащих антидетонационных присадок. Однако данные методы сопровождаются экологическими и технологическими ограничениями.

В связи с этим процессы каталитической изомеризации нормальных парафинов приобретают особую актуальность. Изомеризация позволяет увеличивать долю разветвлённых углеводородов без изменения элементного состава топлива. В частности, изомеризация н-октана приводит к образованию изооктанов, обладающих высокой детонационной стойкостью.

Эффективность процесса изомеризации в значительной степени определяется природой катализатора. В последние десятилетия цеолитные катализаторы, благодаря своей регулируемой кислотности, высокой термической стабильности и селективной пористой структуре, нашли широкое применение в процессах переработки углеводородов. Среди них цеолиты типа морденита представляют особый интерес благодаря одномерной системе каналов и высокой концентрации бренстедовских кислотных центров.

ISSN 3030-3907

Теоретические основы изомеризации н-октана

Изомеризация н-октана относится к кислотно-катализируемым реакциям и протекает преимущественно по карбкатионному механизму. На начальной стадии молекула н-октана адсорбируется на бренстедовском кислотном центре поверхности цеолитного катализатора и подвергается протонированию с образованием нестабильного вторичного карбкатиона. Дальнейшее протекание реакции сопровождается внутримолекулярной перегруппировкой углеродного скелета, в результате чего формируются более термодинамически устойчивые третичные карбкатионы. После стадии депротонирования образуются разветвлённые изомеры н-октана, обладающие более высоким октановым числом.

Эффективность процесса изомеризации определяется рядом ключевых факторов, среди которых особую роль играют сила и концентрация кислотных центров катализатора, структурные особенности цеолитной матрицы, а также размер и геометрия пор. Оптимальное сочетание этих параметров обеспечивает селективное образование изо-октанов и снижает вероятность протекания побочных реакций. Существенное влияние на кинетику процесса оказывают диффузионные ограничения внутри кристаллической решётки цеолита, которые могут замедлять транспорт реагентов и продуктов реакции.

Следует отметить, что избыточная кислотность катализатора может способствовать развитию нежелательных процессов, таких как крекинг, дегидрирование и коксообразование, приводящих к снижению селективности и быстрой дезактивации катализатора. В связи с этим оптимизация кислотных свойств и структурных характеристик цеолитного катализатора является одной из ключевых задач при разработке эффективных каталитических систем для изомеризации н-октана.

Структурные и кислотные особенности цеолита морденита

Цеолит морденит представляет собой кристаллический алюмосиликат с высокой степенью упорядоченности структуры и выраженной одномерной системой каналов, сформированных 12-членными кислородными кольцами. Данные каналы обладают сравнительно большим эффективным диаметром, что обеспечивает селективную адсорбцию и диффузию молекул нормальных парафинов, в том числе н-октана, а также их разветвлённых изомеров. Такая структурная особенность морденита способствует повышению селективности изомеризационных реакций за счёт пространственного ограничения нежелательных побочных превращений.

ISSN 3030-3907

Важнейшим структурным параметром морденита является мольное соотношение кремния и алюминия (Si/Al), которое в значительной степени определяет кислотные, каталитические и гидротермальные свойства цеолита. Увеличение содержания кремния в кристаллической решётке приводит к снижению гидрофильности материала, повышению его термической и гидротермальной стабильности, а также к замедлению процессов дезактивации катализатора в условиях высокотемпературных реакций.

Кислотные свойства морденита обусловлены наличием бренстедовских и, в меньшей степени, льюисовских кислотных центров. Бренстедовские кислотные центры формируются в результате изоморфного замещения ионов Si^{4+} ионами Al^{3+} в тетраэдрической решётке цеолита с последующей компенсацией заряда протоном. Именно эти центры играют ключевую роль в активации молекул н-октана и инициировании карбкатионного механизма изомеризации.

Следует отметить, что пространственное распределение кислотных центров, их сила и концентрация оказывают решающее влияние на каталитическую активность и селективность морденита. Оптимально подобранные кислотные характеристики позволяют достичь высокого выхода разветвлённых изомеров при минимальном образовании продуктов крекинга и коксообразования, что делает морденит одним из наиболее перспективных цеолитных катализаторов для процессов изомеризации н-парафинов.

Технология получения синтетического морденита

Синтез морденита осуществлялся гидротермальным методом с использованием водных растворов силикатов и алюминатов натрия. Реакционную смесь подвергали кристаллизации в автоклаве при температуре 170–190 °C в течение 48–72 часов. После завершения синтеза твёрдый продукт промывали деионизированной водой до нейтрального pH и высушивали.

Для получения каталитически активной формы Na-морденит подвергали ионообменной обработке раствором хлорида аммония. Образующийся NH_4-морденит затем прокаливали при температуре 500–550 °C, в результате чего формировалась протонная H-форма цеолита.

Методы физико-химического исследования

Кристаллическая структура синтезированного цеолита морденита была подтверждена методом рентгенофазового анализа (XRD), который позволил идентифицировать фазовый состав образцов и оценить степень их кристалличности. Полученные дифрактограммы характеризовались

ISSN 3030-3907

наличием интенсивных и хорошо выраженных рефлексов, соответствующих характерным плоскостям морденита, что свидетельствует о формировании высокоупорядоченной кристаллической структуры без примесей посторонних фаз.

Удельная поверхность, объём и распределение пор катализатора определялись методом низкотемпературной адсорбции азота с последующей обработкой экспериментальных данных по модели Брунауэра–Эмметта–Теллера (БЭТ). Анализ изотерм адсорбции-десорбции позволил установить наличие развитой микропористой структуры, характерной для цеолитных материалов, а также оценить параметры пор, оказывающие существенное влияние на диффузию реагентов и продуктов реакции изомеризации н-октана.

Кислотные свойства синтезированного морденита исследовались с использованием инфракрасной спектроскопии (FTIR) адсорбированного пиридина, что дало возможность качественно и количественно охарактеризовать бренстедовские и льюисовские кислотные центры. Дополнительно метод температурно-программируемой десорбции аммиака (NH_3-TPD) применялся для оценки силы и распределения кислотных центров по энергиям связывания. Анализ профилей десорбции позволил выявить присутствие как средних, так и сильных кислотных центров, наиболее эффективных для протекания реакции изомеризации н-октана.

Результаты комплекса физико-химических исследований свидетельствуют о том, что синтезированный цеолит морденита обладает оптимальным сочетанием структурных и кислотных характеристик, обеспечивающих высокую каталитическую активность и селективность в процессах кислотно-катализируемой изомеризации н-парафинов.

Каталитические испытания в реакции изомеризации н-октана

Каталитические испытания проводились в проточном реакторе со стационарным слоем катализатора в интервале температур 250–350 °C. Анализ продуктов реакции осуществлялся методом газовой хроматографии. Синтетический H-морденит продемонстрировал высокую конверсию н-октана и повышенную селективность по изо-октанам. Образование продуктов крекинга и ароматизации находилось на минимальном уровне, что свидетельствует о правильно подобранных кислотных свойствах катализатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования разработана эффективная технология получения синтетического цеолитного катализатора типа

ISSN 3030-3907

морденита для процесса изомеризации н-октана. Установлено, что полученный катализатор обладает оптимальным сочетанием кислотных и структурных характеристик, обеспечивающих высокую каталитическую активность и селективность. Полученные данные подтверждают перспективность применения морденита в промышленной переработке углеводородного сырья и производстве экологически более чистых высокооктановых моторных топлив.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weitkamp J. Zeolites and Catalysis. Springer, 2010.
2. Corma A. Inorganic solid acids and their use in acid-catalyzed hydrocarbon reactions. Chemical Reviews, 1995.
3. Ono Y. Mechanism of alkane isomerization over zeolite catalysts. Catalysis Today, 2003.
4. Breck D.W. Zeolite Molecular Sieves. Wiley, 1974.
5. Barthomeuf D. Acidity of zeolites. Catalysis Reviews, 1996.
6. Gates B.C. Catalytic Chemistry. Wiley, 1992.
7. Satterfield C.N. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. McGraw-Hill, 1991.
8. Tanabe K., Hölderich W. Industrial application of solid acid catalysts. Applied Catalysis A, 1999.
9. Bartholomew C.H., Farrauto R.J. Fundamentals of Industrial Catalytic Processes. Wiley, 2006.
10. Ruthven D.M. Principles of Adsorption and Adsorption Processes. Wiley, 1984.

ISSN 3030-3907