

4. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999. – 518 с.

5. Чавлиева Ф.Б. [и др.] Зависимость выхода гидроксида калия от плотности тока в мембранном электролизере // Республиканская научно-практическая конференция с участием зарубежных ученых. 13–14 декабря 2022 г. – Ташкент.

6. Turakulov B.B., Erkayev A.U., Kucharov B.X., Toirov Z.K. Physical-chemical and Technological Bases of Producing Pure Potassium Hydroxide in Combined Method. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Volume 29. – Issue. – 6. – p. 1126–1134.

7. Патент. 2064432 Россия. Способ получения чистого гидроксида калия. // Канель М.З., Коноплев Е.В., Шестеркин И.А. [и др.] Опубл. 21 марта 2013 г.

УДК: 546.06

А.А. Курагин, асп.;

В.Ю. Долуда, д-р хим. наук

(Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия)

КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОСТРОЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЦЕОЛИТОВ

Введение

Цель данного исследования – изучить механизмы образования цеолитов и предложить пути оптимизации их синтеза. Важное внимание уделено реакционной сети и кинетическим особенностям процесса, так как тщательное управление этими аспектами может улучшить качество конечного продукта. Настоящая работа предлагает рассмотреть возможности применения новых аналитических подходов для наблюдения и оптимизации синтетических стадий, что может значительно повысить управляемость и прогнозируемость процессов, лежащих в основе формирования цеолитов.

Механизмы синтеза цеолитов

Процесс синтеза синтетических цеолитов включает в себя множество разнообразных химических реакций, что делает его весьма сложным в понимании и интерпретации. Ключевым этапом в процессе синтеза синтетических цеолитов является метилирование и разложение адсорбированных алкенов и ароматических соединений, что подчеркивает значимость химического состава реагентов и их взаимосвязей в синтетических условиях [1].

Структура цеолитов играет критическую роль в определении их функциональных характеристик и применений. Основу архитектуры составляет шестиугольные призмы и канкритовые клетки, которые обеспечивают устойчивость и целостность материалов. Эти структурные единицы взаимодействуют друг с другом, формируя более крупные суперклетки [2].

Учитывая все вышесказанное, понимание механизма синтеза цеолитов требует глубинного изучения как химических реакций, так и уникальных структурных особенностей, таких как суперклетки и канкритовые единицы. Эти аспекты не только влияют на скорость и эффективность синтеза, но и на последующее использование цеолитов в промышленных процессах.

Кинетические модели процесса образования цеолитов

Процесс создания кинетических моделей для синтеза цеолитов представляет собой сложную задачу, поскольку необходимо учитывать множество химических реакций и влияющих факторов. Эти модели должны быть достаточно детализированными, чтобы адекватно отражать происходящие процессы, но, одновременно, простыми в использовании для анализа и проектирования. Как подчеркивается, «естественная тенденция и основная проблема заключается в упрощении моделей и в том, чтобы сделать их адекватными для анализа, проектирования и управления» [3]. Это упрощение позволяет моделям сохранять практическую применимость и быть полезными в контексте реальных промышленных условий.

Успешное построение моделей требует применения соответствующих математических методов. При этом использование стохастических и нечетких подходов становится целесообразным решением для упрощения сложных кинетических моделей, рассматривается возможность их использования для получения сокращенных моделей конверсии метанола в олефины [3]. Эти методы позволяют учитывать множество неопределенностей и динамику процессов, эффективно сокращая количество необходимых расчетов, что делает анализ более управляемым.

Таким образом, для достижения оптимальных результатов в проектировании и управлении процессами синтеза цеолитов, актуальной задачей остается балансирование между комплексностью моделей и их прикладной ценностью. Внедрение стохастических и нечетких методов становится ключевым в процессах упрощения, позволяя моделям оставаться полезными, даже несмотря на многофакторность и сложность базовых химических механизмов.

Влияние условий на синтез цеолитов

Температура и давление играют ключевую роль в процессе синтеза цеолитов, непосредственно влияя на кинетику реакции и распределение продуктов. Например, «увеличение температуры приводит к изменению распределения продуктов в конверсии метанола на катализаторах HZSM-5, что аналогично увеличению интервала времени при постоянной температуре» [1]. Это явление подчеркивает важность тонкого контроля условий реакции для достижения оптимальной эффективности синтеза. Изменение температуры может привести к появлению более активных реакционных компонентов, что усиливает взаимодействия между реагентами и способствует развитию потенциально более быстрых или альтернативных реакционных путей.

Кроме того, условия синтеза, такие как давление и температура, могут вызывать физические изменения в структуре катализаторов, что существенно влияет на их активность и стабильность. В экстремальных условиях, какими являются высокие температуры (необходимые для МТО-процесса), цеолиты могут подвергаться деалуминации из-за воды, что значительно снижает их каталитическую активность [4]. Таким образом, регулирование как температуры, так и влажности стало ключевой задачей в области оптимизации процессов синтеза цеолитов.

Отдельное внимание следует уделить тому, как изменения в температуре и давлении могут быть использованы для достижения контроля над скоростью и селективностью процесса.

Важно отметить, что чрезмерные значения этих параметров могут привести к возникновению нежелательных побочных реакций и усугублению проблем с долговечностью катализаторов.

В то же время, тщательный подход к регулированию и мониторингу температуры и давления может позволить снизить затраты на производство и достичь более совершенных материалов с уникальными физическими и химическими свойствами. Это делает их контроль важнейшей задачей для исследователей и инженеров, работающих в области синтеза цеолитов.

Заключение

Нами рассмотрена сложная и многогранная задача синтеза синтетических цеолитов, которая требует понимания как химических реакций, так и уникальных структурных особенностей этих материалов. Процесс синтеза включает ключевые реакции метилирования и разложения адсорбированных алкенов и ароматических соединений, что подчеркивает значение состава реагентов в синтетических условиях. Структурная организация цеолитов – с характерными шестиугольны-

ми призмами и канкритовыми клетками – обеспечивает их устойчивость и функциональные возможности, включая катализ и адсорбцию.

Анализ показал, что успешное управление процессами синтеза и улучшение функциональных характеристик цеолитов возможно через глубокое понимание реакционной сети и структурных особенностей. Кинетика и организация цеолитов играют критическую роль в определении их приложений.

Эти аспекты становятся особенно актуальными при разработке эффективных методов синтеза, которые позволяют создавать цеолиты с заданными свойствами, востребованными в промышленности.

Заметное внимание уделено роли математического моделирования, включая стохастические и нечеткие методы, в упрощении и анализе процессов, что делает эти модели более приемлемыми для практического применения. Эта синергия между теорией и практикой способствует созданию более эффективных моделей и улучшению производственных процессов.

Таким образом, исследование синтеза синтетических цеолитов демонстрирует не только сложность, но и значительные возможности для оптимизации процесса, имея потенциал для значительных улучшений в химической промышленности.

Дальнейшие исследования должны акцентировать внимание на улучшение контроля параметров синтеза и внедрение новых подходов, что позволит создать цеолиты с оптимальными характеристиками для удовлетворения современных требований технологий и производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Janssens V.W. Ton, Svelle S., Olsbye U. Kinetic modeling of deactivation profiles in the methanol-to-hydrocarbons (MTH) reaction: A combined autocatalytic–hydrocarbon pool approach // *Journal of Catalysis*. – 2013. – Т. 308. – С. 122–130.
2. Froment G. F., Dehertog W. J. H., Marchi A. J. Zeolite Catalysis in the Conversion of Methanol into Olefins // [Электронный ресурс]. – URL: <http://pubs.rsc.org> | doi:10.1039/9781847553218-00001.
3. Iordache O. M., Maria G. C., Pop G. L. Lumping Analysis for the Methanol Conversion to Olefins Kinetic Model // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 1988. – Т. 27. – С. 2218–2224.
4. Gayubo A. G., Aguayo A. T., Olazar M., Vivanco R., Bilbao J. Kinetics of the irreversible deactivation of the HZSM-5 catalyst in the MTO process // *Chemical Engineering Science*. – 2003. – Т. 58. – С. 5239–5249.
5. Kumar P., Thybaut J.W., Teketel S., Svelle S., Beato P., Olsbye U.,

Marin G.B. Single-Event MicroKinetics (SEMK) for Methanol to Hydrocarbons (MTH) on H-ZSM-23 // *Catalysis Today*. – 2013. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2013.02.017>.

6. Liang Q., Wei Y., Xu L., Liu Z. M. Reaction Behaviors and Kinetics during Induction Period of Methanol Conversion on HZSM-5 Zeolite // *ACS Catal.* – 2015. – DOI: 10.1021/acscatal.5b00654.

7. Li N., Meng C., Liu D. Deactivation kinetics with activity coefficient of the methanol to aromatics process over modified ZSM-5 // *Fuel*. – 2018. – Т. 233. – С. 283–290. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.044>.

8. Müller S., Liu Y., Kirchberger F. M., Tonigold M., Sanchez-Sanchez M., Lercher J. A. Hydrogen transfer pathways during zeolite catalyzed methanol conversion to hydrocarbons // *J. Am. Chem. Soc.* – 2016. – Just Accepted Manuscript. – DOI: 10.1021/jacs.6b09605.

9. Park T.-Y., Froment G. F. Analysis of Fundamental Reaction Rates in the Methanol-to-Olefins Process on ZSM-5 as a Basis for Reactor Design and Operation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2004. – Т. 43, № 3. – С. 682–689. – DOI: 10.1021/ie030130r.

10. Park T.-Y., Froment G. F. Kinetic Modeling of the Methanol to Olefins Process. 1. Model Formulation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2001. – Vol. 40, No. 20. – С. 4172–4186.

11. Park T.-Y., Froment G. F. Kinetic Modeling of the Methanol to Olefins Process. 2. Experimental Results, Model Discrimination, and Parameter Estimation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2001. – Т. 40, № 20. – С. 4187–4196.

12. Renb Bos A. N., Tromp P. J. J. Conversion of Methanol to Lower Olefins. Kinetic Modeling, Reactor Simulation, and Selection // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 1995. – Т. 34. – С. 3808–3816.

13. Schipper P. H., Krambeck F. J. A reactor design simulation with feversidle and irreversidle catalyst deactivation // *Chemical Engineering Science*. – 1986. – Vol. 41. – No. 4. – С. 1013–1019.

14. Aguayo T.A., Mier D., Gayubo A.G., Gamero M., Bilbao J. Kinetics of Methanol Transformation into Hydrocarbons on a HZSM-5 Zeolite Catalyst at High Temperature (400–550 °C) // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2010. – Т. 49, № 24. – С. 12371–12378.

15. Benito L.P., Gaybo A.G., Aguayo T.A., Castilla M., Bilbao J. Concentration-Dependent Kinetic Model for Catalyst Deactivation in the MTG Process // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 1996. – Т. 35, № 1. – С. 81–89.

16. Ilias S., Bhan A. Mechanism of the Catalytic Conversion of Methanol to Hydrocarbons // *ACS Catalysis*. – 2013. – Т. 3. – С. 18–31.

17. Mihall Raul - Kinetic Model for Methanol Conversion to Olefins

// Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. – 1983. – Т. 22, № 3. – С. 532–538.

18. Sedran U. - Modelling methanol conversion to hydrocarbons: alternative kinetic models // Chemical Engineering Journal. – 1990. – Т. 45. – С. 33–42.

19. Keil J. Frerich - Methanol-to-hydrocarbons process technology // Microporous and Mesoporous Materials. – 1999. – Т. 29. – С. 49–66.

УДК 669.333:669.054.8

С.С. Муталибхонов, ст. преп. кафедры «Металлургия»;
Ш.Т. Хожиев, Ph.D, доц. кафедры «Металлургия»;
Ш.Б. Каршибоев, Ph.D, зав. кафедрой «Металлургия»;
И.И. Шайманов, докторант кафедры «Металлургия»;
(АФ ТГТУ, г. Алмалык, Узбекистан)

ПЕРЕРАБОТКА МЕДНЫХ ШЛАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРООКСИДА НАТРИЯ

Существующие запасы меди, находящиеся в эксплуатации, можно считать законной частью мировых запасов меди. При надлежащем управлении переработка отходов может привести к увеличению использования ресурсов и минимизации энергопотребления, выбросов и утилизации отходов. Замыкание металлических цепей за счет более широкого повторного использования и рециркуляции повышает общую производительность ресурсов. Исследование переработки шлаков медного производства имеет важное значение по нескольким причинам. Шлаки медного производства содержат множество токсичных веществ, таких как тяжёлые металлы (например, кадмий, свинец, цинк), а также соединения серы и хлора. Их накопление и неправильная утилизация могут привести к загрязнению окружающей среды, включая водоемы и почву. Шлаки содержат значительное количество меди и других полезных металлов, которые могут быть извлечены с использованием современных технологий переработки.

Множество ученых и исследователей разработали технологии переработки шлаков медного производства. Китайскими учеными предложено двухстадиальное выщелачивание аммиачным раствором, осуществляемое в системе серной кислоты и перекиси водорода. Применение статистических и математических методов к процессу выщелачивания дополнительно поможет в оптимизации параметров выщелачивания меди [1–2]. С помощью трехстадийного пирометаллургического процесса из медного шлака были получены высококачественные стальные шары для измельчения и пропанты [3]. Ученые из Индии предлагают производство щелочно-активированного медно-шлакового цемента методом низкотемпературного обжига гидрадации