

УДК 544.478-03

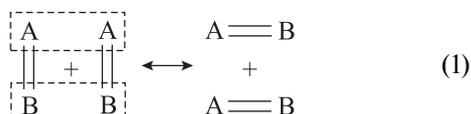
МЕТАТЕЗИС ТРАНС-БУТЕНА-2 И ЭТИЛЕНА В ПРОПИЛЕН НА КАТАЛИЗАТОРАХ НА ОСНОВЕ МОЛИБДЕНА

© 2013 г. **А.В. Гордеев,**
А.С. Князев, О.В. Водянкина

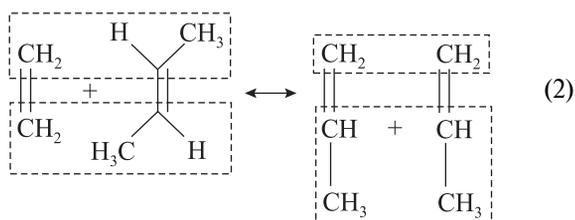
Томский государственный университет

Введение

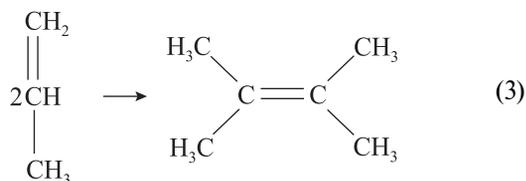
Реакция метатезиса представляет собой процесс перераспределения алкилиденовых фрагментов в молекулах олефинов и протекает по схеме



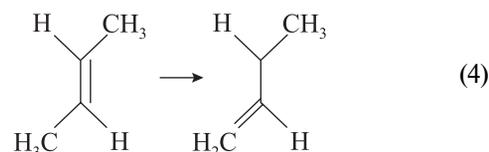
Наибольшее распространение в промышленности нашел процесс переработки этилена и бутена-2 в пропилен, который получил название Olefin Conversion Technology:



Параллельно основной реакции протекают побочные процессы олигомеризации



и изомеризации



Катализаторами для реакции получения пропилена (2) являются оксиды MoO_3 , WO_3 , Re_2O_7 , нанесенные на различные носители, такие как SiO_2 , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, цеолиты [1–3]. Вследствие высокой стоимости Re_2O_7 и его низкой устойчивости к каталитическим ядам промышленное применение нашли катализаторы на основе MoO_3 и WO_3 . Катализаторы на основе MoO_3 проявляют достаточно высокую активность, но быстро дезактивируются продуктами реакции (время работы составляет 15–20 ч) [4, 5]. Катализаторы на основе WO_3 проявляют относительно низкую активность, но обладают длительным временем жизни [6, 7].

Одним из направлений исследований и разработок в области гетерогенных катализаторов метатезиса является поиск носителей, применение которых позволит продлить время жизни катализаторов на основе MoO_3 . В некоторых работах для этого предлагается использовать модифицированные носители — цеолиты с добавкой $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ [8] или силикагель с добавкой $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ [9], а в работе [10] — проводить дополнительную обработку готовых катализаторов, чтобы воздействовать на состояние молибдена на их поверхности.

Использование новых и модифицированных носителей является одним из наиболее простых и доступных в плане промышленной реализации способов, позволяющих продлить время жизни катализатора. Носитель катализатора метатезиса должен обладать высокой удельной площадью поверхности,

Гордеев А.В. – мл. науч. сотрудник Томского государственного университета. Тел.: (3822) 20-04-19. E-mail: chemboy2009@yandex.ru

Князев А.С. – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник того же учреждения. Те. тот же. E-mail: kas854@mail.ru

Водянкина О.В. – д-р хим. наук, проф., ведущий науч. сотрудник того же учреждения. Тел. тот же. E-mail: vodyankina_o@mail.ru

а кислотность поверхности носителя должна быть достаточной, чтобы обеспечивать сорбцию олефинов, но не столь сильной, чтобы ускорять побочные реакции олигомеризации олефинов.

В настоящей работе для решения задачи продления времени жизни катализатора был выбран новый носитель — алюмоуглеродный сорбент ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$), представляющий собой $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, через который при температуре 500 °С была пропущена пропан-бутановая фракция углеводородов. Алюмоуглеродный сорбент сочетает преимущества угольных и алюмооксидных сорбентов: имеет хорошо развитую поверхность, высокую сорбционную емкость и высокую механическую прочность.

Экспериментальная часть

Приготовление катализаторов

Для приготовления катализаторов в качестве носителя использовали $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ фракции 0,25—0,50 мм (ОАО «СКТБ «Катализатор»). Носитель пропитывали 5 %-ным раствором парамолибдата аммония на водяной бане при температуре 70 °С в течение 6 ч до полного выпаривания воды. Затем катализатор сушили при температуре 80 °С в течение 48 ч. Высушенные образцы загружали в реактор, где их прокачивали в токе азота при температуре 550 °С 6 ч. Расчетное содержание оксида молибдена (VI) на поверхности носителя составляло 10 %.

Определение текстурных характеристик

Морфологию поверхности катализаторов изучали методом электронной микроскопии на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 2 LMU при ускоряющем напряжении электронного пучка 20 кВ, фокусном расстоянии 15 мм, вакууме в камере микроскопа менее $9 \cdot 10^{-3}$ Па. Для увеличения контрастности изображения на поверхность образцов наносили углерод, толщина слоя которого составляла 15 нм. Исследовали образцы катализаторов после стадии их сушки (80 °С, 48 ч).

Пористость и удельную площадь поверхности образцов определяли методом низкотемпературной адсорбции азота на сорбционном анализаторе Tristar 3020, обрабатывая экспериментальные данные по уравнению БЭТ. Образцы предварительно дегазировали в вакууме при 300 °С в течение 3 ч.

Определение каталитических свойств

Каталитические свойства приготовленных образцов в реакции метатезиса этилена и бутена-2 в пропилен изучали в проточном реакторе с неподвижным слоем катализатора. Диаметр реактора — 10 мм, объем загружаемого катализатора — 5 см³. Все эксперименты проводили при давлении 10 кгс/м² в температурном интервале 90—150 °С. Компоненты реакционной смеси подавали в реактор со скоростью: этилен — 15 мл/мин, транс-бутен-2 — 3,5 г/ч, азот — 10 мл/мин, что соответствует составу реакционной смеси, об. %: этилен — 37,5, транс-бутен-2 — 37,5, азот — 25. Разбавление азотом необходимо для снижения парциального давления углеводородов, что уменьшает вероятность протекания побочных реакций.

Смесь продуктов анализировали методом газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.2». Разделение смеси происходило на капиллярной колонке Varian CP- Al_2O_3 .

Процесс активации катализаторов изучали с помощью термического анализа на приборе NETZSCH STA 409 PC/PG при нагреве образцов от 25 до 550 °С со скоростью 5 °С/мин в потоке аргона.

Результаты

Морфология и текстура катализаторов

В таблице приведены результаты измерения удельной площади поверхности носителей и катализаторов (после стадии сушки), а на рис. 1 показано распределение пор по размерам для этих же образцов.

Из рис. 1 следует, что пропитка $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ парамолибдатом аммония приводит к уменьшению количества мезопор диаметром от 2 до 6 нм. При пропитке $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ активный компонент преимущественно локализуется в микро- и мезопорах размером до 6 нм.

Удельная площадь поверхности носителей и катализаторов

| Образец | Удельная площадь поверхности, м ² /г |
|--|---|
| $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ | 251 |
| $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ | 432 |
| 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ | 230 |
| 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ | 344 |

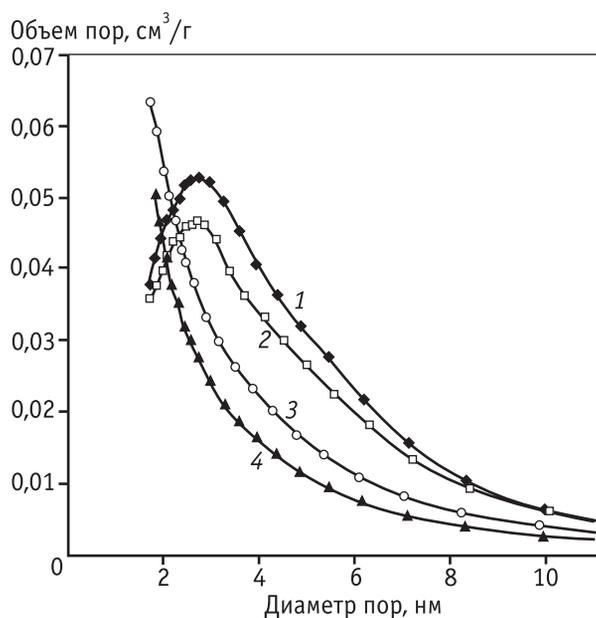


Рис. 1. Распределение пор по размерам для образцов: 1 – $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; 2 – $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$; 3 – 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; 4 – 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$

На рис. 2 приведены РЭМ-снимки поверхности катализаторов 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ (высушенных при 80 °С после пропитки парамолибдатом аммония). Из них видно, что поверхность γ -оксида алюминия равномерно покрыта близко расположенными друг к другу частицами средним размером 1,5 мкм; в катализаторе на $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ частицы парамолибдата аммония имеют средний размер 4 мкм и тоже равномерно покрывают носитель.

Из сравнения рисунков 2, а и 2, б можно сделать

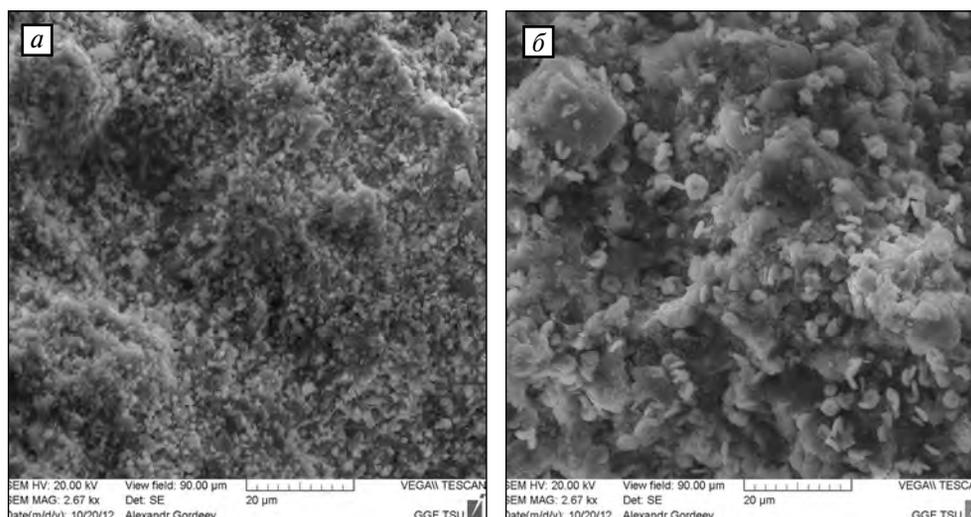
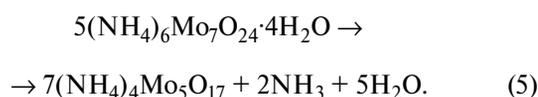


Рис. 2. РЭМ-изображение поверхности просушенных после пропитки катализаторов: 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (а) и 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ (б)

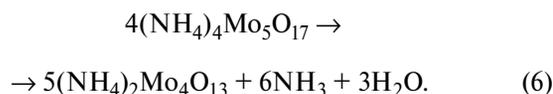
вывод, что наличие углерода на поверхности $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ уменьшает количество центров адсорбции парамолибдата аммония при пропитке носителя, что приводит к формированию более крупных частиц соли.

Активный компонент катализаторов

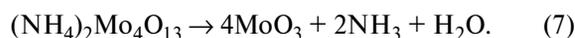
Результаты термогравиметрического анализа парамолибдата аммония (рис. 3) показывают, что для парамолибдата аммония характерно наличие эндотермического пика в области температур 125–130 °С, который, по данным [11], соответствует реакции



Эндотермический пик при 230 °С согласно [11] связан с протеканием процесса разложения пентамолибдата аммония по схеме



Эндотермический пик при 320 °С относится к процессу разложения $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_4\text{O}_{13}$ с образованием оксида молибдена (VI), воды и аммиака по уравнению



Результаты исследования процесса активации нанесенных катализаторов с помощью термического анализа представлены на рис. 4.

Для исследуемых образцов характерно наличие эндотермического пика в области температур 118–122 °С, который согласно [11] соответствует протеканию реакции (5).

Для катализатора 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (см. рис. 4, а) на кривой ДСК фиксируется эндотермический пик при температуре 258 °С. Его наличие может быть обусловлено процессом разложения

соединения $(\text{NH}_4)_4\text{Mo}_5\text{O}_{17}$ по реакции (6). Эндопики при 379, 401 и 418 °С, вероятно, относятся к процессу разложения связанных с поверхностью

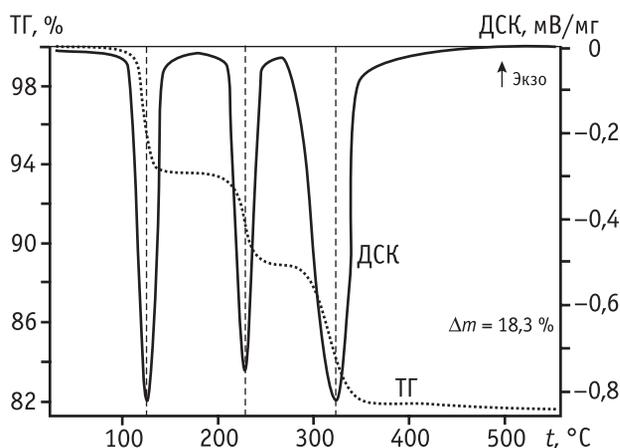


Рис. 3. Результаты термогравиметрического анализа парамолибдата аммония. Измерения проводили в атмосфере аргона со скоростью нагрева 5 °С/мин

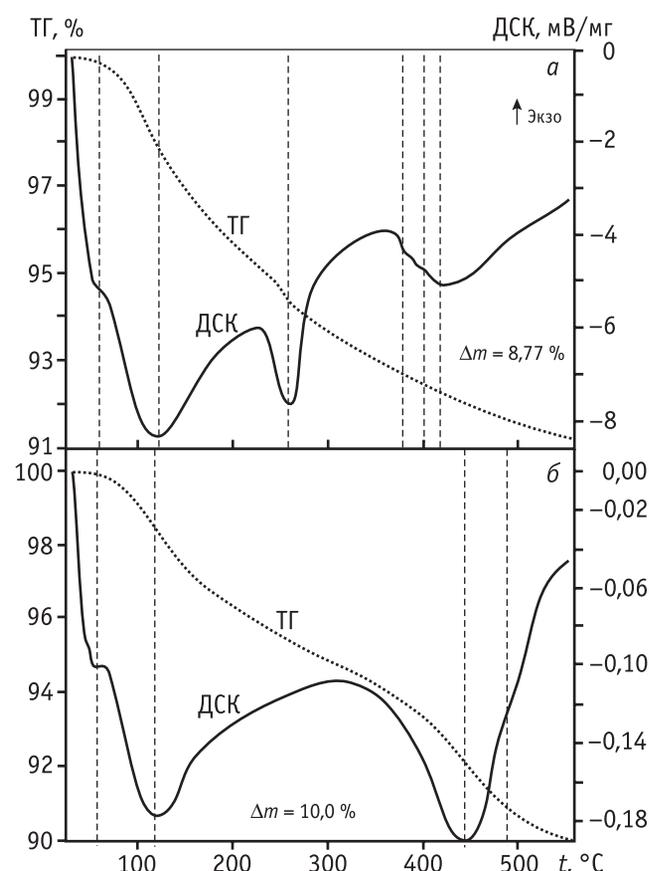
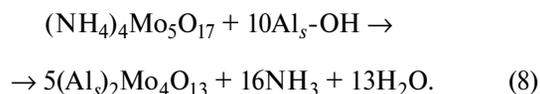
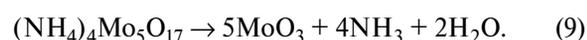


Рис. 4. Результаты термогравиметрического анализа катализаторов (высушенных при 80 °С после пропитки): 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (а) и 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ (б). Измерения проводили в атмосфере аргона со скоростью нагрева 5 °С/мин

носителя частиц $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_4\text{O}_{13}$, протекающему с образованием оксида молибдена (VI), воды и аммиака по реакции (7). По данным [12], смещение пиков разложения соли в сторону более высоких температур обусловлено стабилизацией соли поверхностью носителя в результате протекания процесса



Для катализатора 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ характерен эндопик при температуре 445 °С, который указывает на процесс разложения $(\text{NH}_4)_4\text{Mo}_5\text{O}_{17}$ до MoO_3 по схеме



Использование в качестве носителя $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ позволяет стабилизировать пентамолибдат аммония и избежать взаимодействия соли с поверхностью.

Таким образом, взаимодействие парамолибдата аммония с поверхностью носителя определяется функциональными свойствами поверхности: нанесение углеродсодержащих соединений на поверхность $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ приводит к снижению прочности связи активного компонента с поверхностью углеродсодержащего носителя $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ по сравнению с таковой для немодифицированной поверхности $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, что в свою очередь влияет на размер кристаллов парамолибдата аммония (см. рис. 2).

Каталитические свойства

Результаты испытаний катализаторов 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ в реакции метатезиса этилена и транс-бутена-2 приведены на рис. 5. Из них видно, что на катализаторе 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с повышением температуры процесса до 110 °С конверсия этилена увеличивается до 67,8 %, а транс-бутена-2 — до 55 %. С ростом температуры до 130 °С конверсия этилена повышается до 73 %, а при 150 °С снижается до 70,2 % при одновременном повышении конверсии транс-бутена-2 до 58 %.

На катализаторе 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ при температурах ниже приблизительно 105 °С значения конверсии этилена и транс-бутена-2 ниже, чем на катализаторе 10 % $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (см. рис. 5). Так, при 90 °С конверсия этилена и транс-бутена-2 составляет всего 37 и 28 % соответственно. При повышении температуры процесса до 110 °С конверсия этилена увеличивается до 78 %, а транс-бутена-2 — до 65 %. В области температур 110–150 °С конверсия этилена

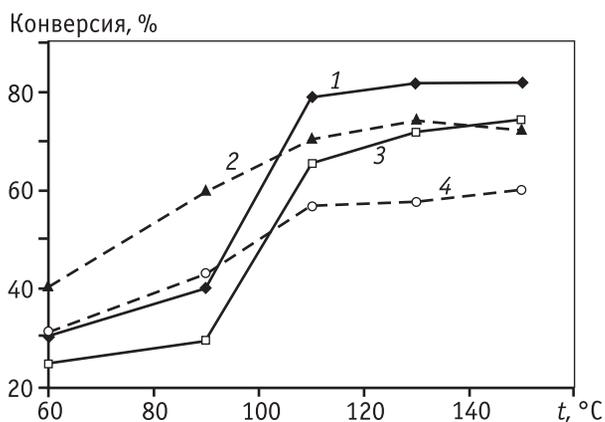


Рис. 5. Зависимости конверсии этилена (1, 2) и транс-бутена-2 (3, 4) от температуры на катализаторах: 10 % MoO₃/Al₂O₃-C (1, 3) и 10 % MoO₃/γ-Al₂O₃ (2, 4). Состав реакционной смеси, об. %: этилен – 37,5, транс-бутен-2 – 37,5, азот – 25

увеличивается незначительно и достигает 82 %, а конверсия транс-бутена-2 возрастает до 73 % при 150 °C.

Зависимость выхода пропилена и жидких продуктов (C₅–C₇) от температуры реакции для изучаемых катализаторов (рис. 6) показывает, что на катализаторе 10 % MoO₃/γ-Al₂O₃ содержание пропилена в продуктах реакции возрастает до 57 % с увеличением температуры реакции до 110 °C (кривая 2), а содержание жидких продуктов увеличивается до 3 % (кривая 4). В температурном интервале от 110 до 150 °C содержание пропилена в продуктах реакции увеличивается незначительно — до 59,7 %, а содержание жидких продуктов реакции увеличивается до 7 %.

На катализаторе MoO₃/Al₂O₃-C при температуре 90 °C выход пропилена составляет 25 % (рис. 6, кривая 1). При повышении температуры до 110 °C выход пропилена возрастает до 64 %; при 130 °C он достигает 70 % и далее практически не изменяется. С повышением температуры содержание жидких продуктов реакции медленно растет до значения 1,7 % при 150 °C (кривая 3).

Образование жидких продуктов в ходе реакции свидетельствует о протекании побочных процессов олигомеризации олефинов на поверхности катализаторов, в результате которых дополнительно образуются тяжелые олефины, блокирующие активные центры катализаторов. Низкий выход жидких продуктов реакции, наблюдаемый на катализаторе 10 % MoO₃Al₂O₃-C (см. рис. 6, кривая 4), может быть обусловлен тем, что часть кислотных центров поверхности носителя Al₂O₃-C, принимающих участие в процессах олигомеризации олефинов, блокирова-

на углеродсодержащими соединениями на стадии приготовления модифицированного алюмооксидного носителя.

На рис. 7 представлена зависимость конверсии этилена от времени работы катализаторов при температуре 110 °C и давлении 10 кгс/м². Катализатор 10 % MoO₃/γ-Al₂O₃ стабильно работает в течение первых 9 ч (конверсия этилена составляет около 70 %), затем конверсия этилена начинает снижаться

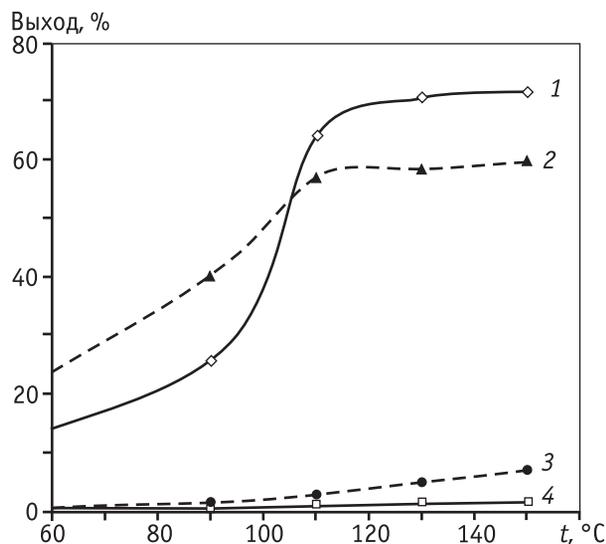


Рис. 6. Зависимость выхода пропилена (1, 2) и жидких продуктов (3, 4) реакции метатезиса этилена и транс-бутена-2 на катализаторах: 10 % MoO₃/γ-Al₂O₃ (2, 3) и 10 % MoO₃Al₂O₃-C (1, 4)

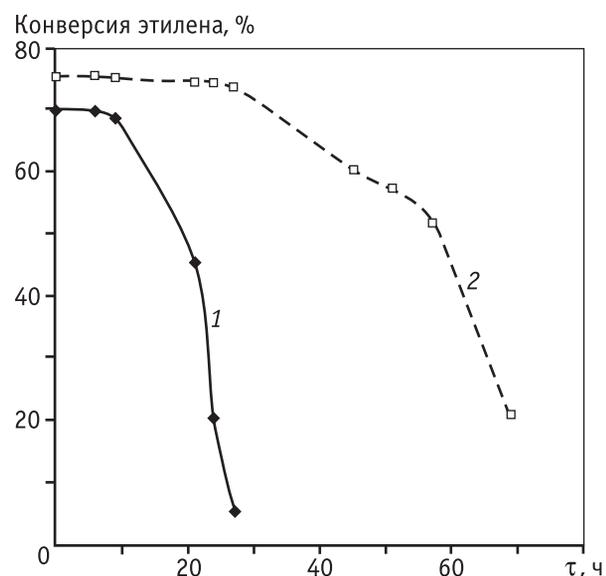


Рис. 7. Зависимость конверсии этилена от времени работы на катализаторах 10 % MoO₃/γ-Al₂O₃ (1) и 10 % MoO₃/Al₂O₃-C (2) при температуре 110 °C и давлении 10 кгс/м²

и после 21 ч работы катализатора составляет 45,5 %, а после 27 ч — 5,7 %.

На катализаторе 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ -С конверсия этилена в течение первых 27 ч работы остается стабильной и не опускается ниже 73,8 %. После 57 ч работы она составляет 51,9 %, а после 69 ч — 20,7 %.

Из данных, приведенных на рис. 6 и 7, можно сделать вывод, что кислотные центры поверхности оксида алюминия, способствуя протеканию побочных реакций олигомеризации олефинов, снижают время жизни катализатора вследствие образования тяжелых олефинов на поверхности. У модифицированного углеродсодержащими продуктами носителя Al_2O_3 -С часть кислотных центров поверхности, способных принимать участие в побочных процессах олигомеризации олефинов, блокирована углеродом, что увеличивает срок жизни катализатора.

Анализ данных РЭМ, термического анализа и каталитических экспериментов позволяет заключить, что кислотные центры $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ участвуют в формировании кристаллитов соли при пропитке носителя. В результате на поверхности $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ образуются частицы парамолибдата аммония разного размера. Взаимодействие частиц парамолибдата аммония с поверхностью носителя отрицательно сказывается на каталитической активности. Использование в качестве носителя Al_2O_3 -С, у которого кислотные центры блокированы углеродсодержащими продуктами, способствует формированию однородных частиц соли, слабо связанных с поверхностью.

Исследованный в настоящей работе катализатор 10 % $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ -С в сравнении с промышленным катализатором WO_3/SiO_2 [3] при одинаковом времени работы (30 ч) характеризуется более высоким выходом пропилена (70 против 60 % на промышленном) и более мягкими условиями проведения процесса (130 °С, 10 кгс/м² против 270 °С, 35 кгс/м² в случае промышленного).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что использование Al_2O_3 -С в качестве носителя молибденоксидного катализатора способствует формированию на его поверхности относительно крупных частиц парамолибдата аммония, не проникающих слишком глубоко в поры носителя и не взаимодействующих с поверхностью носителя. Это приводит к изменению процесса формирования частиц активного компонента на стадии термического разложения соли, в результате чего катализатор

проявляет более высокую активность в процессе метатезиса этилена и бутена-2 в пропилен, увеличивается срок его службы.

Работа выполнена при финансовой поддержке

Министерства образования РФ

в рамках государственного задания (шифр 3.4429.2011).

Литература

1. *Oikawa T., Ookoshi T., Tanaka T., Yamamoto T., Onaka M.* A new heterogeneous olefin metathesis catalyst composed of rhenium oxide and mesoporous alumina // *Microporous and Mesoporous Mater.* 2004. Vol. 74. P. 93—103.
2. *Li X.J., Zhang W.P., Liu S.L., Xu L.Y., Han X.W., Bao X.H.* The role of alumina in the supported Mo/HBeta— Al_2O_3 catalyst for olefin metathesis: A high-resolution solid-state NMR and electron microscopy study // *Journal of Catalysis.* 2007. Vol. 250. P. 55—66.
3. *Mol J.C.* Industrial application of olefin metathesis // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical.* 2004. Vol. 213. P. 39—45.
4. *Fierro J.L.G., Mol J.C.* Metal Oxides: Chemistry and Applications. Taylor & Francis, Boca Raton, 2006. P. 517.
5. *Liu S.L., Huang S.J., Xin W.J., Bai J., Xie S.J., Xu L.Y.* Metathesis of ethylene and butylene-2 to propylene with Mo on H β - Al_2O_3 catalysts // *Catalysis Today.* 2004. Vol. 93—95. P. 471—476.
6. *Grunert W., Staheev A., Morke W., Feldhaus R., Anders K., Shpiro E.S., Minachev K.H.M.* Reduction and metathesis activity of $\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts // *Journal of Catalysis.* 1992. Vol. 135. P. 269—286.
7. *Van Schalkwyk C., Spamer A., Moodley D.J., Dube T., Reynhardt J., Botha J.M.* Application of WO_3/SiO_2 catalysts in an industrial // *Applied Catalysis A: General.* 2003. Vol. 255. P. 121—131.
8. *Shenglin Liu, Xiujie Li, Wenjie Xin, Sujuan Xie, Peng Zeng, Lixin Zhang, Longya Xu.* Cross metathesis of butene-2 and ethene to propene over Mo/MCM-22- Al_2O_3 catalysts with different Al_2O_3 contents // *Journal of Natural Gas Chemistry.* 2010. Vol. 19. P. 482—486.
9. *Debecker D.P., Stoyanova M., Rodemerck U., Eric M. Gaigneaux.* Preparation of $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ metathesis catalysts via wet impregnation with different Mo precursors // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical.* 2011. Vol. 340. P. 65—76.
10. *Shengjun Huang, Huijuan Liu, Ling Zhang, Shenglin Liu, Wenjie Xin, Xiujie Li, Sujuan Xie, Longya Xu.* Effects of acid leaching post-treatment on the catalytic performance of $\text{MoO}_3/\text{mordenite-alumina}$ catalysts for 1-butene metathesis reaction // *Applied Catalysis A: General.* 2011. Vol. 404. P. 113—119.

11. Zhoulan Yin, Xinhai Li, Qiyuan Chen. Study on the kinetics of the thermal decompositions of ammonium molybdates // *Thermochimica Acta*. 2000. Vol. 353. P. 107—110.
12. Thomazeau C., Martin V., Afanasiev P. Effect of support on the thermal decomposition of $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ in the inert gas atmosphere // *Applied Catalysis A: General*. 2000. Vol. 199. P. 61—72.

УДК 66.092.81 + 66.097.3

ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ РИФОРМИНГА ПР-81 И ШПР-81

© 2013 г. М.Д. Смоликов^{1,2},
Д.И. Кирьянов¹,
К.В. Колмагоров¹, И.Е. Удрас¹,
Е.В. Затолокина¹, А.С. Белый^{1,2}

¹ Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, г. Омск

² Омский государственный технический университет

Введение

Более 25 лет в Институте проблем переработки углеводородов СО РАН (до 2004 г. — Омский филиал Института катализа СО РАН) проводятся фундаментальные работы по изучению катализаторов риформинга на основе системного подхода к конструированию катализаторов [1]. Результатом работ явилось создание и внедрение в промышленность серии полиметаллических катализаторов риформинга ПР. Производство катализаторов ПР-50, ПР-51 освоено в промышленном масштабе на технологической линии ЗАО «Промышленные катализаторы» (г. Рязань) в период 1992—1999 гг. в количестве 100 т (4 партии) [2]. В период 2003—2006 гг. в ЗАО «Промышленные катализаторы» на модернизированной технологической линии освоено производ-

ство катализатора марки ПР-71 в количестве 170 т (4 партии) [3], который превзошел предыдущие версии по активности и селективности [4]. Опыт промышленной эксплуатации катализаторов ПР-50, ПР-51 [5—7] и ПР-71 [8] показал, что они обеспечивают производство компонента бензина с октановым числом 95—98 ИМ и выходом 85—89 мас.%. Сравнение катализаторов серии ПР с импортными аналогами, по данным эксплуатации на НПЗ России, продемонстрировало, что они находятся на близком уровне, а по некоторым показателям отечественные катализаторы превосходят импортные.

В настоящей статье представлен опыт промышленного производства и эксплуатации новых отечественных катализаторов риформинга ПР-81 и ШПР-81, разработанных в ИППУ СО РАН.

Освоение технологии промышленного производства катализаторов ПР-81 и ШПР-81

Технология промышленного производства новых катализаторов риформинга осваивалась в период 2010—2012 гг. на технологической линии ОАО «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза» НК «Роснефть». В настоящее время производство катализаторов серии ПР-81 реали-

Смоликов М.Д. — канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник Института проблем переработки углеводородов СО РАН. Тел.: (3812) 67-33-34.
E-mail: smolikov@ihcp.oscsbras.ru

Кирьянов Д.И. — технолог того же института. Тел. тот же.

Колмагоров К.В. — ведущий технолог того же института. Тел. тот же.
E-mail: kolmagorov@ihcp.oscsbras.ru

Удрас И.Е. — мл. науч. сотрудник того же института. Тел. тот же.
E-mail: udras@ihcp.oscsbras.ru

Затолокина Е.В. — мл. науч. сотрудник того же института. Тел. тот же.
E-mail: ezat@ihcp.oscsbras.ru

Белый А.С. — д-р хим. наук, зав. лабораторией того же института.
Тел. тот же. E-mail: belyi@ihcp.oscsbras.ru