

Как очистить выбросы промышленных предприятий, сохранив благородные металлы для ювелиров

Катализаторы служат стратегически важным ресурсом, по которому можно судить об уровне развития экономики. Сегодня без них не обходится ни одно крупнотоннажное химическое производство, от переработки нефти до получения полимерных материалов и удобрений: около 70–90% всех химических реакций, используемых сегодня в промышленности, – каталитические. К сожалению, в России с помощью каталитических технологий производится лишь около 15% валового национального продукта, тогда как в других развитых странах этот показатель вдвое выше, а применяемые в химической промышленности катализаторы практически на 100% импортные.

Я пришла в Институт катализа СО РАН студенткой 3-го курса Новосибирского государственного университета, выбрала именно этот институт, потому здесь можно заниматься и фундаментальной, и прикладной наукой. Придумывать и внедрять – такая возможность есть далеко не везде. Я работаю в очень фундаментальном отделе института: лаборатория структурных методов исследования занимается изучением различных аспектов формирования катализаторов гетерогенных каталитических реакций. Так как скорость этих реакций определяется не только химическим составом, но и пространственной структурой катализатора, такие исследования нужны для понимания процессов, происходящих на всех стадиях его приготовления и эксплуатации. Таким образом, одна из моих рабочих задач – установление связи между способом приготовления катализатора и его структурой, и в итоге с его каталитической активностью.

Стипендиат престижного конкурса «Для женщин в науке» L'OREAL–UNESCO 2015 года, кандидат химических наук, научный сотрудник Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
Ольга Булавченко рассказывает о фундаментальных исследованиях, направленных на разработку катализаторов для таких актуальных областей, как очистка газовых выбросов промышленных производств, облагораживание бионефти и создание компактных водородных энергоустановок

В случае гомогенного катализа сам катализатор, реагенты и продукты реакции находятся в одной фазе (жидкость или газ), а гетерогенного – в разных фазах. В гетерогенных каталитических реакциях катализатор чаще всего является твердым телом, при этом активным каталитическим центром служит не отдельная молекула или атом, а целый участок, включая поверхность и подповерхностные слои, представляющий собой упорядоченную структуру из многих молекул (атомов).

Катализаторы переходят в активное, «рабочее» состояние в условиях реакционной среды. И современные методы исследования, такие как рентгенодифракционный анализ, просвечивающая сканирующая и электронная микроскопия позволяют следить за их поведением

Ключевые слова: катализ, L'Ореаль—ЮНЕСКО, «Для женщин в науке», бионефть, промышленные выбросы, окружающая среда.

Key words: catalysis, l'Oreal—UNESCO, "For Women in Science", catalytic hydrolysis of hydrides, biofuel, industrial emissions, environmental protection

В СССР изучением каталитических процессов и разработкой новых катализаторов занимались почти 90 отраслевых и академических институтов, а в современной России – всего три научно-исследовательских учреждения, в том числе созданный в 1958 г. Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (Новосибирск)

in situ, т.е. непосредственно в ходе реакции. К примеру, с помощью уникального для СО РАН рентгеновского дифрактометра, установленного в лаборатории структурных методов исследования, можно проследить за изменением сразу множества параметров кристаллической структуры и размера частиц катализатора. Специальное оборудование позволяет в ходе одного эксперимента проводить *in situ*-исследования в различных газах, а также в широком интервале температур и в двух геометриях съемки – геометрии параллельного пучка и фокусировке по Бреггу–Брентано.

Одно из важнейших направлений наших исследований – создание новых алюмо-марганцевых катализаторов глубокого окисления. Еще в конце 1990-х–начале 2000-х гг. Институт катализа СО РАН наладил производство оксидного катализатора с уникальной термостабильностью, предназначенного для очистки газовых выбросов промышленных производств от летучих органических соединений и оксида углерода, а также для сжигания топлива без образования оксидов азота.



Ольга Булавченко, сотрудник лаборатории структурных методов исследования ИК СО РАН, лауреат премии L'OREAL–UNESCO «Для женщин в науке» 2015 г.

На сегодняшний день разработано довольно много катализаторов окисления углеводородов и угарного газа – все они используются для дожигания промышленных выбросов, которые иначе бы попали в атмосферу. Чаще всего такие катализаторы создаются на основе дорогих благородных металлов – платины и палладия. Задача ученых – найти менее затратную и при этом достойную альтернативу. Алюмо-марганцевые катализаторы – один из таких компромиссов: они менее активны, но зато более стабильны термически и устойчивы к действию разрушающих веществ (в частности, к сере).

Исследования механизмов формирования активного Mn-Al-катализатора показали, что в кислородсодержащей среде происходит расслоение



Как сообщил заместитель главы Федерального агентства научных организаций А. В. Лопатин на европейском конгрессе EuroCat-2015 в Казани, принято решение о создании на базе новосибирского Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН федерального научного центра (ФНЦ). Такое структурное образование позволит в сжатые сроки обеспечить высококачественными и доступными катализаторами промышленность, а также наладить связь между исследованиями, бизнесом и производством

Катализаторы серии ИК-ГО предназначены для глубокой гидроочистки дизельных фракций нефти и вакуумного газойля. *Разработка ИК СО РАН*

из возобновляемого растительного сырья может занять пятую часть мирового топливного рынка.

Одним из наиболее перспективных способов переработки биомассы является ее быстрый пиролиз – очень быстрое (за считанные секунды) нагревание при 450–550 °С в бескислородной атмосфере. При этом образуются газообразные, твердые и жидкие продукты – бионефть. В такой «нефти», в отличие от обычной, содержится много воды и кислородсодержащих веществ, поэтому перерабатывать ее с помощью традиционных технологий затруднительно. Для улучшения свойств бионефти ее нагревают при температуре 200–400 °С и повышенном давлении в присутствии водорода и катализаторов. В результате происходит каталитическое гидрирование, т. е. удаление кислорода и насыщение межуглеродных связей водородом.

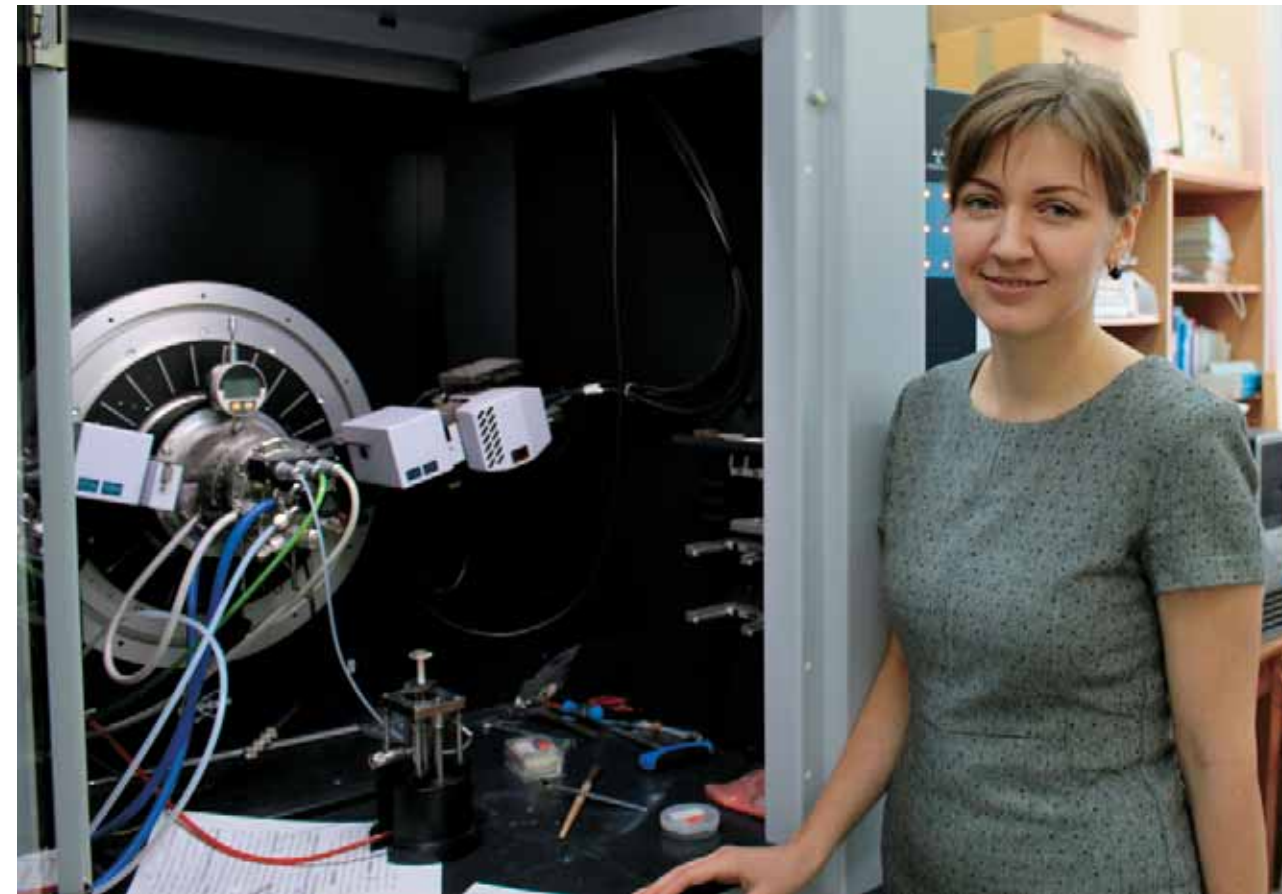
Изучив влияние различных модифицирующих добавок (меди, молибдена, фосфора) на структуру предшественников никелевых катализаторов, формирование промежуточных соединений и, наконец, на структуру и состав активного компонента, исследователи смогли улучшить эксплуатационные характеристики катализатора, в том числе его износостойкость.

Еще одна актуальная тенденция в современной энергетике – создание компактных водородных источников энергии, которые будут работать при температуре окружающей среды. Речь идет о так называемой «водородной» таблетке, состоящей из смеси гидрида и предшественника катализатора. Для получения энергии планируется использовать химический процесс окисления молекулярного водорода, который будет выделять таблетка, если ее опустить в воду. Для более равномерного выделения водорода реакцию гидролиза можно проводить в проточном режиме, когда свежеприготовленный водный или воднощелочной раствор

предшественника катализатора (смешанных оксидов алюминия и марганца) в результате его окисления. Тем самым в катализаторе «запасается» слабосвязанный кислород, необходимый для протекания окислительной каталитической реакции. Целенаправленное регулирование условий приготовления и активации позволило химикам получить катализаторы с разными параметрами наноструктуры и содержанием кислорода и, соответственно, с различной каталитической активностью.

Ученые протестировали несколько способов получения алюмо-марганцевых катализаторов, подтвердив общий характер влияния кислорода на процесс формирования активного компонента. При этом выяснилось, что с помощью механохимической активации исходных реагентов в производстве катализатора его эффективность может быть увеличена вдвое по сравнению с традиционными промышленными технологиями.

Еще одна область исследований, в которой работают сотрудники лаборатории, заключается в разработке никелевых катализаторов для облагораживания биотоплива «второго поколения», которое получают не из пищевого сырья, а из отходов сельского хозяйства, опилок и т. п. Согласно прогнозам, уже в 2030 г. топливо



Кандидат химических наук Ольга Булавченко рядом с рентгеновским дифрактометром *D8 Advance (DAVINCI Design)*

Ольга Булавченко: «Недавно я вспоминала, в каком году пришла в лабораторию института – оказалось, что с тех пор прошло уже десять лет. Правда, для нашей профессиональной среды это небольшой срок – только-только начинаешь мыслить как серьезный ученый и получать удовольствие не только от самих научных занятий, но и от сознания того, что твоя работа нужна и будет востребована обществом»

гидрида подается на гранулы или блоки каталитического слоя.

Источником водорода могут служить комплексные боргидриды (NaBH_4 , NH_3BH_3), а перспективным катализатором – бориды кобальта, которые образуются в водном растворе в результате реакции предшественника (соединений кобальта) и самого боргидрида. Задача нашей лаборатории – исследовать особенности формирования кристаллических боридов кобальта непосредственно в ходе гидролиза боргидридов.

В наше время особое внимание уделяется боридам кобальта как дешевым и эффективным катализаторам гидролиза комплексных гидридов – источника водорода в портативных энергоустановках. Процессы кристаллизации аморфных боридов кобальта хорошо изучены, но причины многообразия образующихся при этом кристаллических фаз пока не выяснены. В ИК СО РАН нам удалось с помощью метода рентгенофазового анализа установить, что на процессы кристаллизации этих соединений влияют кислородсодержащие примеси.

Впрочем, перед тем, как эти разработки будут внедрены в производство, им нужно пройти еще долгий путь. В частности, необходимы исследования стабильности катализаторов в условиях длительной и непрерывной работы, разработка схем утилизации отработанных катализаторов, заводские испытания. Для всего этого требуется активная поддержка государства и бизнеса. Ярким примером сотрудничества науки и промышленности служит специальное конструкторско-технологическое бюро катализаторов (ныне ОАО «Катализатор»), созданное еще во времена академика М. А. Лаврентьева для реализации его идеи о «поясе внедрения».