

## Отзыв

на автореферат диссертации Лейбо Дениса Владимировича «Разработка метода получения и исследование физико-химических характеристик фазы  $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ » на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (металлургия)

Более 90% процессов современной химической промышленности являются каталитическими. В силу этого разработка новых каталитически активных материалов и управление их физико-химическими свойствами в процессе синтеза является, несомненно, актуальной задачей. Одним из относительно новых классов каталитических катализаторов являются нитриды переходных металлов (см. например, обзор A.B. Dongil *Nanomaterials* 2019, 9, 1111; doi:10.3390/nano9081111), которые показали себя в качестве каталитически активных систем в различных реакциях. В частности нитриды могут иметь широкий спектр применения благодаря уникальным свойствам, сочетающим преимущества металлов и керамических материалов. Вместе с тем, получение нитридов с развитой удельной поверхностью сопряжено с определёнными трудностями, связанными с необходимостью использования высоких температур при синтезе. Работа Лейбо Д.В. направлена на решение данной проблемы в отношении тройного нитрида  $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ .

В представленной работе исследовано влияние условий синтеза и состава исходных компонентов на фазовый состав, удельную поверхность и морфологию частиц получаемых порошков. Автор рассмотрел получение нитрида путём восстановления с одновременным азотированием оксидов никеля и молибдена, а также восстановление комплексных соединений никеля и молибдена, синтезированных различными способами. Использование второго подхода позволило снизить температуру синтеза на  $100^\circ\text{C}$  за счёт более равномерного распределения компонентов системы в объёме образца.

Возможность формирования нитридов была обоснована автором диссертации с использованием термодинамических параметров нитридов методом функционала плотности, а также расчётов зависимости изменения стандартной энергии Гиббса от температуры. При этом установлено, что увеличение силы взаимодействия катионов аммония с анионами комплексной соли приводит к увеличению выхода нитридной фазы за счёт увеличения температуры выделения аммиака при проведении процесса восстановления.

Автором исследованы каталитические свойства полученных нитридов в реакциях гидрирования (восстановления  $\text{CO}_2$ , деоксигенации стеариновой кислоты). Для последней реакции продемонстрировано существенное различие в продуктах реакции по сравнению с традиционными палладиевыми катализаторами. В силу высокой активности исследованных систем в реакции разложения аммиака, представляет интерес также исследование возможности проведения



обратной реакции синтеза аммиака при температурах, пониженных по сравнению с условиями промышленного синтеза.

В качестве замечаний следует отметить:

- 1) Отсутствие данных о состоянии катализаторов после проведения реакций, которые могли бы характеризовать их устойчивость и возможности длительной работы.
- 2) Было бы интересно сравнить каталитические свойства нитридных образцов с катализаторами системы Ni-Mo аналогичного элементного состава.
- 3) В качестве характеристики метода/продукта в таблице 5 используется «Коэффициент использования материалов», однако в тексте автореферата не приведено определения данного термина.

Представленные замечания не снижают общей положительной оценки работы, её научной новизны и практической значимости. Автореферат написан на должном уровне с соблюдением требований. По результатам работы имеются публикации (4) в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Также зарегистрировано ноу-хау и получен патент на изобретение. Работа прошла апробацию на нескольких научных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа Лейбо Дениса Владимировича «Разработка метода получения и исследование физико-химических характеристик фазы  $\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{N}$ » соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней в НИТУ «МИСиС», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (металлургия).

Зав.лабораторией  
наноструктурированных  
углеродных материалов  
ФИЦ Институт катализа  
СО РАН, к.х.н.



ПОДПИСЬ

Кузнецов В. Л.

Подпись заверяю

