



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
В01J 38/04 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022124699, 20.09.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.09.2022

Дата регистрации:
01.06.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.09.2022

(45) Опубликовано: 01.06.2023 Бюл. № 16

Адрес для переписки:
117041, Москва, ул. Адмирала Лазарева, 43, кв.
40, Борисову Э.В.

(72) Автор(ы):

Шишилов Олег Николаевич (RU),
Гусейн-заде Намик Гусейнага оглы (RU),
Скворцова Нина Николаевна (RU),
Степахин Владимир Дмитриевич (RU),
Ахмадуллина Наиля Сайфулловна (RU),
Борзосеков Валентин Дмитриевич (RU),
Малахов Дмитрий Валерьевич (RU),
Кончиков Евгений Михайлович (RU),
Гусейн-заде Сима Намик кызы (RU),
Флид Виталий Рафаилович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки "Федеральный
исследовательский центр "Институт общей
физики им. А.М. Прохорова Российской
академии наук" (RU)

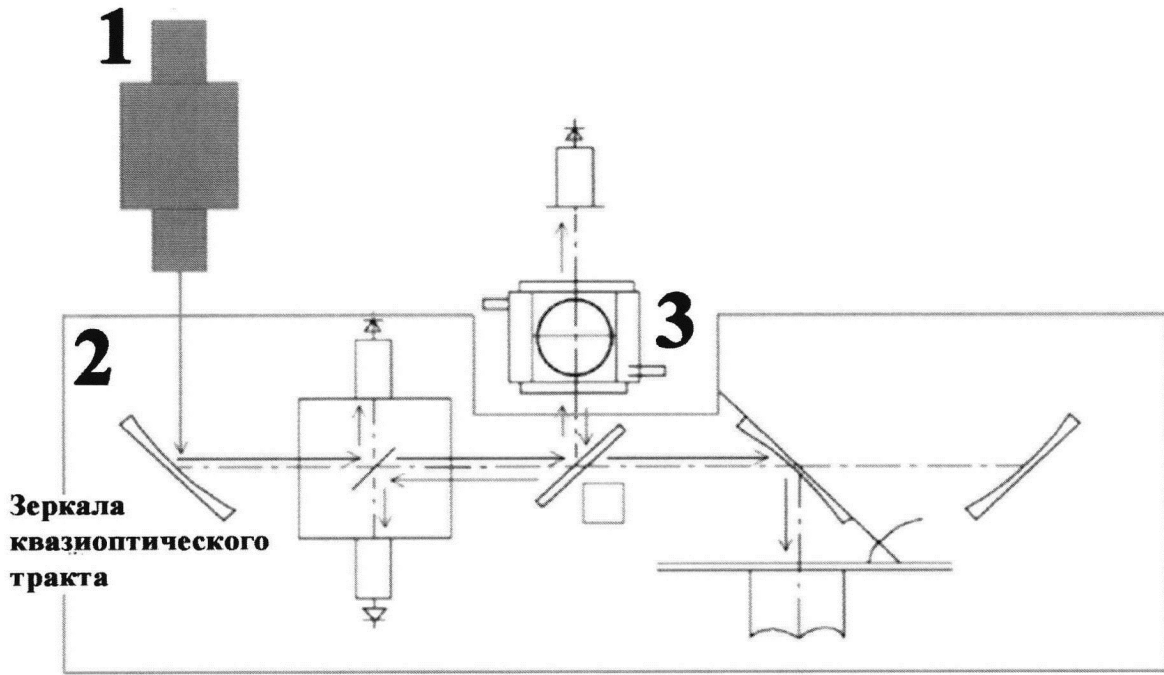
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: JP 2008049282 A, 06.03.2008. KR
2020047288 A, 07.05.2020. RU 2270719 C2,
27.02.2006. RU 2053843 C1, 10.02.1996.

(54) Способ регенерации металлических катализаторов на носителях с использованием микроволнового разряда

(57) Реферат:

Изобретение относится к области микроволновой и плазменной техники и может быть применено для регенерации нанесенных на носители металлических катализаторов с использованием микроволнового разряда. Способ регенерации металлических катализаторов на носителях с использованием микроволнового разряда включает воздействие на металлические катализаторы на носителях импульсным микроволновым излучением частотой 75 ГГц

мощностью 300 кВт с длительностью импульса 6 мс, при этом инициирование микроволнового разряда производят при температуре 20°C в атмосфере, содержащей газы, обладающие окислительными и/или восстановительными свойствами в отношении носителей, и/или инертные газы при давлении в 1 атм, причем содержание металла в катализаторе составляет от 0.001 до 50 мас.% от общей массы катализатора. 7 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 1

RU 2797242 C1

RU 2797242 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B01J 38/04 (2023.02)

(21)(22) Application: **2022124699, 20.09.2022**

(24) Effective date for property rights:
20.09.2022

Registration date:
01.06.2023

Priority:

(22) Date of filing: **20.09.2022**

(45) Date of publication: **01.06.2023** Bull. № 16

Mail address:

**117041, Moskva, ul. Admirala Lazareva, 43, kv.
40, Borisovu E.V.**

(72) Inventor(s):

**Shishilov Oleg Nikolaevich (RU),
Gusejn-zade Namik Gusejnaga ogly (RU),
Skvortsova Nina Nikolaevna (RU),
Stepakhin Vladimir Dmitrievich (RU),
Akhmadullina Nailya Sajfullovna (RU),
Borzosekov Valentin Dmitrievich (RU),
Malakhov Dmitrij Valerevich (RU),
Konchekov Evgenij Mikhajlovich (RU),
Gusejn-zade Sima Namik kyzy (RU),
Flid Vitalij Rafailovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
uchrezhdenie nauki "Federalnyj issledovatel'skij
tsentr "Institut obshchej fiziki im. A.M.
Prokhorova Rossijskoj akademii nauk" (RU)**

(54) **METHOD FOR REGENERATION OF METAL CATALYSTS ON A SUBSTRATE USING A MICROWAVE DISCHARGE**

(57) Abstract:

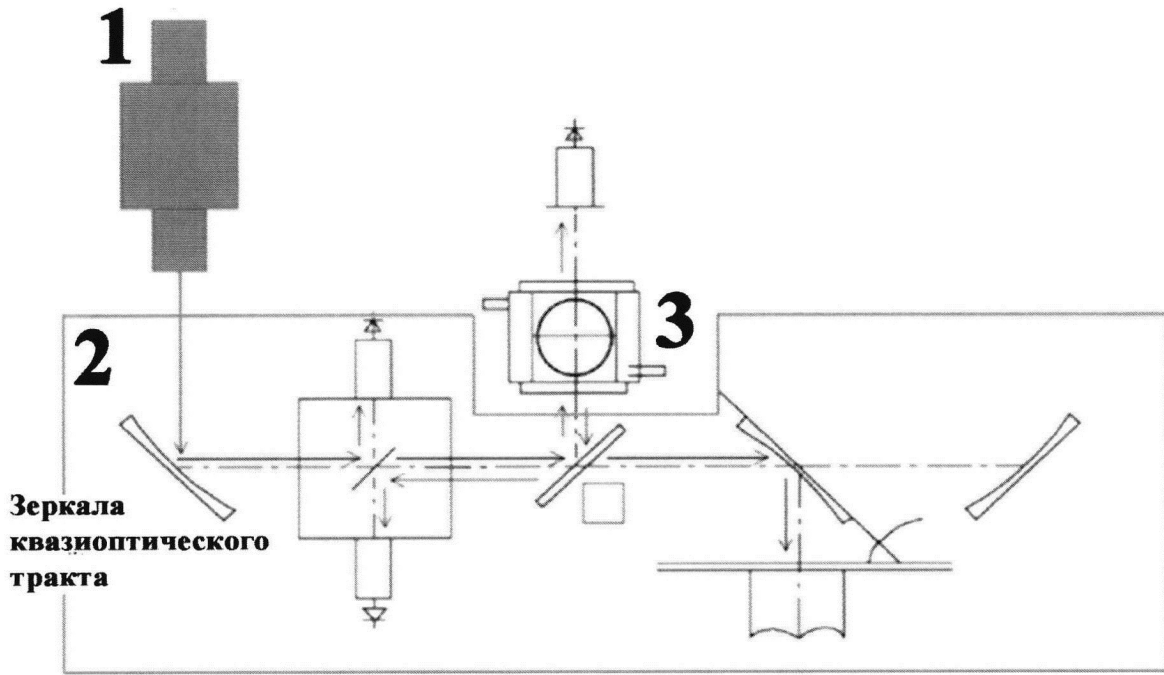
FIELD: microwave; plasma technology.

SUBSTANCE: invention and can be used for regeneration of metal catalysts applied to a substrate using a microwave discharge. A method for regenerating metal catalysts on a substrate using a microwave discharge includes exposing metal catalysts on a substrate to pulsed microwave radiation at a frequency of 75 GHz with a power of 300 kW and a pulse duration of 6 ms, the microwave discharge is

initiated at a temperature of 20°C in an atmosphere containing gases having oxidizing and/or reducing properties with respect to the substrate and/or inert gases at a pressure of 1 atm, the metal content in the catalyst being from 0.001 to 50% by weight of the total catalyst mass.

EFFECT: method of regeneration of metal catalysts is provided.

8 cl, 7 dwg



Зеркала
квазиоптического
тракта

Фиг. 1

RU 2797242 C1

RU 2797242 C1

Изобретение относится к области микроволновой и плазменной техники и может быть использовано для регенерации катализаторов, представляющих собой частицы металлов на поверхности носителей, получаемых, в частности, при очистке катализаторов от поверхностных отложений углеродных соединений, удалении каталитических ядов, восстановлении окисленных катализаторов, окислении восстановленных катализаторов, восстановлении структуры деградировавших катализаторов.

Металлические катализаторы на носителях могут быть разделены на регенерируемые и нерегенерируемые.

Регенерируемые катализаторы, в свою очередь, могут быть разделены на допускающие регенерацию без выгрузки непосредственно по месту использования и требующие выгрузки с последующей регенерацией в отдельном процессе, а также на периодические регенерируемые и непрерывно регенерируемые.

Среди периодически регенерируемых выделяют катализаторы с заданным периодом регенерации, например, менее и более 50 дней.

Способы регенерации катализатора определяются механизмом его деактивации. Если катализатор деактивируется путем окисления частиц металла с формированием соответствующего оксида, то его регенерация осуществляется восстановлением, если катализатор деактивируется путем отравления, то во многих случаях каталитические яды могут быть удалены посредством термической обработки в инертной, восстановительной или окислительной атмосфере, в зависимости от природы каталитического яда, а в случае, когда катализатор деактивируется путем коксообразования, то его регенерация может быть проведена путем выжигания - т.е. термической обработки в окислительной атмосфере.

Известна регенерация катализаторов с использованием плазменных методов. В частности, в [T. Kim et al., ChemCatChem 8 (2016) 685-689], описана плазменная регенерация окисленного медного катализатора на примере восстановления CuO/ZnO, нанесенного на гранулы γ -Al₂O₃, до Cu/ZnO. При этом сравнение катализаторов, восстановленных термической обработкой в токе высокой частоты и обработкой плазмой при таком же токе показало, что при мощности разряда плазменное восстановление обеспечивает полную регенерацию катализатора за меньшее время и с меньшими затратами энергии. Катализаторы, регенерированные этими двумя способами, показали идентичные физико-химические характеристики, такие как распределение пор по размерам и площадь поверхности.

Известен также способ регенерации нанесенных катализаторов на основе благородных металлов [JP 2008049282 A, B01J 23/96, 06.03.2008], включающий применение низкотемпературной плазмы в присутствии кислородсодержащего газа, когда в качестве низкотемпературной плазмы используют разрядную плазму, генерируемую или в виде тихого разряда, или ползучего разряда, или импульсного разряда, или разряда в сегнетоэлектрическом слое или когда эти виды разрядов объединены, а в качестве кислородсодержащего газа используют кислород, озон, монооксида азота или диоксида азота, причем, оптимальное время регенерации катализатора составляет 1 час.

Недостатками этого технического решения является необходимость применения высококоррозионных газов и длительное время обработки.

Известен также способ регенерации цеолитного катализатора реакции карбонилирования диметилового эфира при помощи диэлектрического барьерного разряда [KR 102234215 B1, B01J 29/65, 31.03.2021], согласно которому катализатор

помещают в трубку, изготовленную из диэлектрика, при этом, высоковольтный электрод помещают в центре трубки таким образом, чтобы не соприкасаться со стенками, заземляющий электрод крепят к наружной стороне трубки, а время регенерации составляет 10 мин-2 часа.

5 Недостатком этого способа является относительно низкая эффективность, поскольку удается удалять от 5 до 50% отложившегося кокса.

Кроме того, известен способ [Fan et al., J. Anal. Appl. Pyrolysis 111 (2015) 209-215], который основан на использовании нетепловой плазменной обработки и озона, генерируемого диэлектрическим барьерным разрядом (ДБР) и применен для регенерации
10 HZSM-5, деактивированного в ходе обогащения биомассы, когда возникает закоксовывание, которое объясняется образованием предшественников углерода и ароматических соединений в ядре катализатора и образованием насыщенных алифатических углеводородов и графитоподобного углерода на внешней поверхности. Регенерацию проводят при 200-300°C, при обработке озоном отложения окисляли до
15 CO и CO₂, а нетермическую плазменную обработку проводили при относительно низкой температуре в течение 3-4 часов.

Недостатками этого способа является использование коррозионно высокоактивных газов (озона), необходимость проводить обработку при повышенных температурах и очень длительное время обработки, что существенно увеличивает общие энергетические
20 затраты на регенерацию.

Помимо указанных выше, известны способы регенерации катализатора Au/TiO₂, отравленного за счет адсорбции толуола, с помощью кислородной плазмы и обработкой озоном O₃ [Kim et al., Appl. Catal., A 329 (2007) 93-98], когда обработка кислородной
25 плазмой включала генерацию реактивных частиц, таких как атомарный кислород, электроны и другие возбужденные молекулы, время жизни которых намного меньше, чем у O₃, и поэтому существенно превосходила простую термическую обработку в токе O₃, причем, время плазменной обработки составляло от 20 до 80 мин.

Недостатком этих способов является относительно узкая область применения.
30 К известным можно отнести и способ обработки сверхкритическим CO₂ с добавлением озона и обработку низкотемпературным тлеющим разрядом в кислороде для удаления углеродных отложений с катализатора Pd/TiO₂ [Lokteva et al., J. Supercrit. Fluids 58 (2011) 263-271], при котором плазму генерировали в кварцевом трубчатом
35 проточном реакторе в токе O₂ низкого давления (120 Па), а обработку катализатора проводили в положительном столбе тлеющего разряда при 200°C, причем, для разряда использовали ионно-распылительную установку при частоте переменного напряжения 50 Гц и амплитуде 1500 В, причем, поскольку удаление углеродистых отложений соответствовало их окислению, одновременно наблюдалось глубокое окисление
40 поверхности Pd-катализатора, поэтому для полной регенерации катализатора в дальнейшем проводили восстановление PdO с помощью H₂.

Недостатками этого способа является проведение обработки при повышенной температуре и глубокое окисление поверхности палладиевого катализатора, требующее его последующего восстановления с помощью H₂.

45 Наиболее близким к предложенному является способ регенерации нанесенных на носители металлических катализаторов [JP 2008049282 A, B01J 23/96, 06.03.2008], согласно которому катализатор подвергается обработке низкотемпературной плазмой, генерируемой, в том числе, в виде импульсного разряда в присутствии

кислородсодержащего газа.

Недостатком наиболее близкого технического решения являются существенные временные и, как следствие, энергетические затраты на регенерацию катализатора, так как требуемое время обработки катализатора составляет 1 час или более, а также относительно низкая активность полученных в результате регенерации катализаторов.

Задача, которая решается в изобретении, заключается в разработке способа регенерации нанесенных на носитель металлических катализаторов позволяющего повысить активность катализаторов, полученных в результате регенерации, а также снизить временные и энергетические затраты при минимальном риске побочных процессов с одновременным расширением арсенала технических средств, которые могут быть использованы для регенерации нанесенных на носитель металлических катализаторов.

Требуемый технический результат заключается в повышении активности деактивированных катализаторов при снижении времени воздействия и энергетических затрат.

Поставленная задача решается, а требуемый технический результат достигается тем, что в способе регенерации металлических катализаторов на носителях с использованием микроволнового разряда, согласно изобретению, на металлические катализаторы на носителях воздействуют импульсным микроволновым излучением частотой 75 ГГц мощностью ~300 кВт с длительностью импульса 6 мс, при этом, инициирование микроволнового разряда производят при температуре около 20°C в атмосфере, содержащей газы, обладающие окислительными и/или восстановительными свойствами в отношении носителей, и/или инертные газы при давлении в 1 атм., причем, содержание металла в катализаторе составляет от 0.001 до 50% мас.от общей массы катализатора.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что в качестве металлических катализаторов на носителях используют катализаторы, содержащие щелочной, щелочноземельный, непереходный, переходный, постпереходный или редкоземельный металлы.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что в качестве металлических катализаторов используют катализаторы, содержащие смесь двух или более щелочных, щелочноземельных, непереходных, переходных, постпереходных или редкоземельных металлов.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что в качестве металлических катализаторов на носителях используют катализаторы, содержащие частицы металлов, частицы сплава или твердого раствора металлов и/или частиц со структурой «ядро-оболочка».

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что количество металла в металлических катализаторах на носителях составляет от 0.001 до 50 мас.% от общей массы катализатора.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что используют металлический катализатор на оксидном, нитридном, оксонитридном, сульфидном, боридном, карбидном и/или производном от них носителе.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что регенерируемый катализатор может быть сформован в виде порошка, гранулята, экструдата, таблеток, колец Рашига, блоков и иных форм.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что в качестве носителей используют оксидные, нитридные, оксонитридные, сульфидные, боридные, карбидные и/или производные от них материалы, а в качестве газов, обладающих

окислительными и/или восстановительными свойствами в отношении носителей, используют водород, азот, халькогены, галогены, благородные газы и их соединения, а также оксиды углерода и углеводороды и смеси указанных газов.

На чертеже представлены:

5 на фиг. 1 - функциональная схема плазмохимического стенда для реализации предложенного способа, где обозначены: 1 - гиротрон, 2 - квазиоптический тракт, 3 - плазмохимический реактор;

на фиг. 2 - схема протекания и регистрации параметров процесса в плазмохимическом реакторе при реализации предложенного способа, где обозначены: 4 - кварцевая
10 подложка, 5 - изолирующий слой порошка диэлектрика, 6 - катализатор, 7 - газовая фаза, 8 - плазма, 9 - нижнее смотровое окно реактора, 10 - боковые смотровые окна ректора, 11 - скоростная камера Fastec Imaging IN250M512 (250 fps, синхронизирована со спектрометрами), 12 - стандартная оптическая камера, 13-15 - оптические спектрометры AvaSpec, работающие в диапазонах 370÷920 нм с разрешением 0.7 и 0.3
15 нм и 250÷800 нм с разрешением 0.8 нм, 16 - кварцевый цилиндр;

на фиг. 3 - общая схема экспериментальной установки для определения активности и селективности катализаторов в реакции дегидрирования метилциклогексана;

на фиг. 4 - зависимость скорости выделения водорода от времени при дегидрировании метилциклогексана в присутствии Pt/Al₂O₃ в опытах по деактивации катализаторов;

20 на фиг. 5 - таблица 1, характеризующая степень превращения МЦГ, селективность по толуолу и водороду и скорость выделения водорода в реакции дегидрирования метилциклогексана на катализаторах Pt/Al₃O₃ в стандартных условиях;

на фиг. 6 - таблица 2, характеризующая снижение активности катализаторов Pf/Al₂O₃
25 в реакции дегидрирования метилциклогексана в условиях ускоренной деактивации;

на фиг. 7 - таблица 3, характеризующая степень превращения МЦГ, селективность по толуолу и водороду и скорость выделения водорода в реакции дегидрирования метилциклогексана на регенерированных катализаторах Pt/Al₂O₃ в стандартных условиях.

30 Способ регенерации нанесенных металлических катализаторов с использованием микроволнового разряда реализуется следующим образом.

В изобретении решается проблема регенерации металлических нанесенных катализаторов, представляющих собой частицы одного или более металлов на
поверхности широкого ряда оксидных, нитридных, сульфидных, боридных, карбидных
35 и иных носителей, деактивированных в результате отложения на поверхности углеродных соединений, адсорбции каталитических ядов, изменения состава и/или зарядового состояния частиц металла и/или носителя, изменения структуры частиц металла и/или носителя. При обработке катализаторов короткими (4-8 мс), но мощными (150-350 кВт) импульсами микроволнового излучения наблюдается поглощение
40 микроволнового излучения, в некоторых случаях - возникновение разряда и инициация плазмохимических процессов, включающих, в частности, окислительно-восстановительные процессы, процессы окислительной и термической деструкции, процессы перекристаллизации.

В результате воздействия происходит очищение поверхности частиц металлов и
45 носителей от каталитических ядов, углеродистых отложений и прочих снижающих активность и/или селективность загрязнений за счет их испарения и/или перехода в летучие несвязанные с поверхностью соединения, восстановление состава и/или зарядового состояния частиц и/или восстановление структуры частиц металлов и

носителей в условиях плазмохимического процесса, возникающего в результате иницированного микроволнового разряда при обработке катализаторов короткими мощными импульсами микроволнового излучения.

Примеры реализации предложенного способа.

5 Предложенный способ опробован для регенерации катализаторов Pt/Al₂O₃ для дегидрирования метилциклогексана (МЦГ). Общая схема установки дегидрирования приведена на фиг. 3. Дегидрирование МЦГ проводили в присутствии водорода при мольном соотношении МЦГ:H₂=1.4:1 при температуре 350°C. Катализатор
10 предварительно обрабатывался в токе водорода в течение 3 часов при температуре 300°C. Ускоренную деактивацию катализатора проводили в условиях пониженного содержания водорода в реакционной смеси (соотношение МЦГ:H₂=2.8:1) при температуре 450°C. Катализатор считался деактивированным, когда скорость выделения водорода снижалась до 70±2% от исходной (см. табл. 2).

15 Пример 1. Порошок катализатора Pt/Al₂O₃ с содержанием платины 0.5 мас.%, деактивированного как описано выше, в количестве 1.5 г помещалась в специальный плазмохимический реактор 3, который позиционируется в квазиоптическом тракте 2 гиротрона 1 (рабочая частота 75 ГГц, длительность импульсов до 12 мс, мощность до 550 кВт) таким образом, чтобы обеспечить вертикальное прохождение пучка
20 микроволнового излучения (фиг. 1). Измерение фактической мощности гиротрона осуществляется потоковым калориметром. Параметры прошедшего и отраженного пучков микроволнового излучения измеряются системой микроволновых детекторов, которые также калибруются при помощи потокового калориметра. Порошок катализатора (6) размещалась на кварцевой подложке (4), образуя слой толщиной ~1
25 мм (позиция 2 на фиг. 2 - изолирующий слой диэлектрика, в описываемых здесь опытах не использовался). Слой (6) слегка уплотнялся при помощи кварцевого стекла. При прохождении импульса микроволнового излучения через образец (6) разряда не возникало, однако наблюдалось поглощение микроволнового излучения. Процесс контролировался визуально при помощи высокоскоростной камеры Fastec Imaging
30 IN250M512 (11) и камеры (12), а также трех оптических спектрометров Ava-Spec (13-15), работающих в диапазоне 250-920 нм, через нижнее (1) и боковые (10) смотровые окошки реактора. В стандартном эксперименте спектрометры регистрируют 100 спектров с интервалом в 4 мс после прохождения импульса микроволнового излучения. Для предотвращения разлета частиц порошка катализатора в реактор устанавливался
35 кварцевый цилиндр (16). Смесь подвергалась воздействию 20 импульсов микроволнового излучения мощностью 300 кВт и длительностью 6 мс. Обработанный таким образом катализатор извлекался, после чего определялись его активность и селективность в реакции дегидрирования МЦГ в стандартных условиях. Активность оценивалась как удельная скорость выделения водорода в сравнении с исходной - см.
40 табл. 1 и 3.

Пример 2. Порошок катализатора Pt/Al₂O₃, содержащего 1.0 мас.% платины в количестве 1.5 г помещался в реактор на кварцевую подложку и слегка уплотнялся. Далее катализатор подвергался воздействию импульсов микроволнового излучения длительностью 6 мс и мощностью 300 кВт в количестве 20 штук с интервалом в 10 с.
45 Обработка велась в атмосфере воздуха под давлением 1 атм (открытая система). Обработанный таким образом катализатор извлекался, после чего определялись его активность и селективность в реакции дегидрирования МЦГ в стандартных условиях. Активность оценивалась как удельная скорость выделения водорода в сравнении с

исходной (до деактивации) - см. табл. 1 и 3.

Пример 3. Порошок катализатора Pt/Al₂O₃, содержащего 2.0 мас.% платины в количестве 1.5 г помещался в реактор на кварцевую подложку и слегка уплотнялся. Далее катализатор подвергался воздействию импульсов микроволнового излучения длительностью 6 мс и мощность 300 кВт в количестве 20 штук с интервалом в 10 с. Обработка велась в атмосфере воздуха под давлением 1 атм (открытая система). После прохождения импульса каждый раз фиксировалось развитие плазмохимического процесса. Обработанный таким образом катализатор извлекался, после чего определялись его активность и селективность в реакции дегидрирования МЦГ в стандартных условиях. Активность оценивалась как удельная скорость выделения водорода в сравнении с исходной (до деактивации) - см. табл. 1 и 3.

Таким образом, благодаря предложенному способу, обеспечивается достижение требуемого технического результата, который заключается в повышении активности деактивированных катализаторов после кратковременного воздействия микроволнового разряда. Катализаторы Pt/Al₂O₃ для реакции дегидрирования метилциклогексана после регенерации демонстрируют восстановление активности до 72-88% от исходной и селективность, равную исходной. В предложенном способе обработка микроволновым излучением возможна также в атмосфере различных газов при более низких и высоких давлениях и/или температурах и импульсами большей или меньшей мощности и/или длительности - в зависимости от характера удаляемых загрязнений на поверхности катализатора, а также содержания металла - при большем содержании металла возможно использование более коротких и менее мощных импульсов.

Кроме того, предложенный способ расширяет арсенал технических средств, которые могут быть использованы для регенерации нанесенных на носитель металлических катализаторов.

(57) Формула изобретения

1. Способ регенерации металлических катализаторов на носителях с использованием микроволнового разряда, согласно изобретению, на металлические катализаторы на носителях воздействуют импульсным микроволновым излучением частотой 75 ГГц мощностью 300 кВт с длительностью импульса 6 мс, при этом инициирование микроволнового разряда производят при температуре 20°C в атмосфере, содержащей газы, обладающие окислительными и/или восстановительными свойствами в отношении носителей, и/или инертные газы при давлении в 1 атм, причем содержание металла в катализаторе составляет от 0.001 до 50 мас.% от общей массы катализатора.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве металлических катализаторов на носителях используют катализаторы, содержащие щелочной, щелочноземельный, неперегородный, переходный, постпереходный или редкоземельный металлы.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве металлических катализаторов используют катализаторы, содержащие смесь двух или более щелочных, щелочноземельных, неперегородных, переходных, постпереходных или редкоземельных металлов.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве металлических катализаторов на носителях используют катализаторы, содержащие частицы металлов, частицы сплава или твердого раствора металлов и/или частиц со структурой «ядро-оболочка».

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что количество металла в металлических катализаторах на носителях составляет от 0.001 до 50 мас.% от общей массы катализатора.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что используют металлический катализатор на оксидном, нитридном, оксонитридном, сульфидном, боридном, карбидном и/или производном от них носителе.

5 7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что регенерируемый катализатор может быть сформован в виде порошка, гранулята, экструдата, таблеток, колец Рашига, блоков и иных форм.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве носителей используют оксидные, нитридные, оксонитридные, сульфидные, боридные, карбидные и/или производные от них материалы, а в качестве газов, обладающих окислительными и/или
10 восстановительными свойствами в отношении носителей, используют водород, азот, халькогены, галогены, благородные газы и их соединения, а также оксиды углерода и углеводороды и смеси указанных газов.

15

20

25

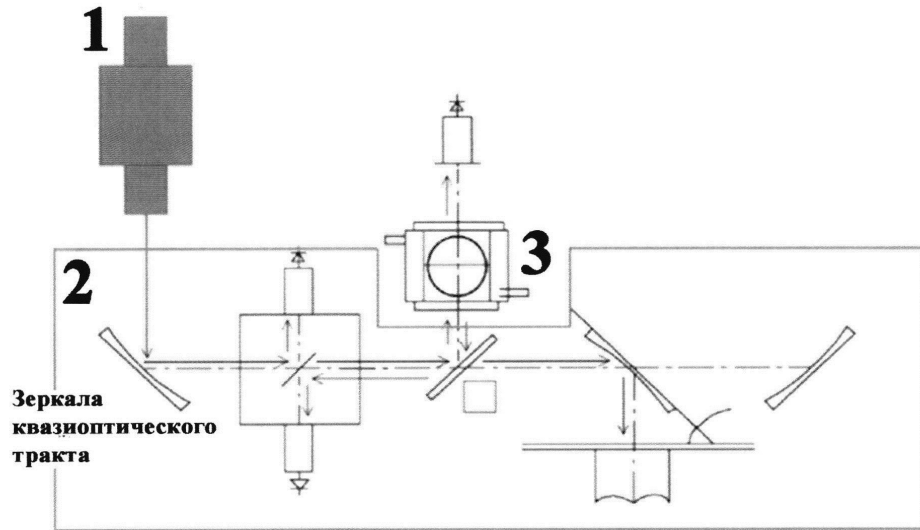
30

35

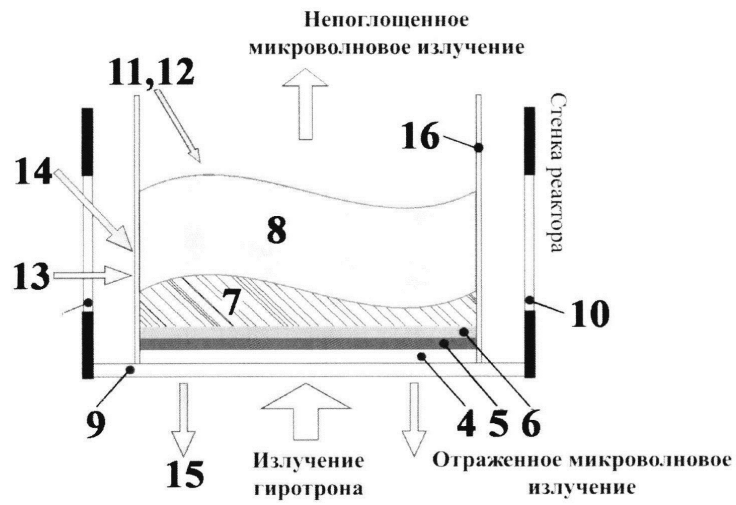
40

45

1



Фиг. 1

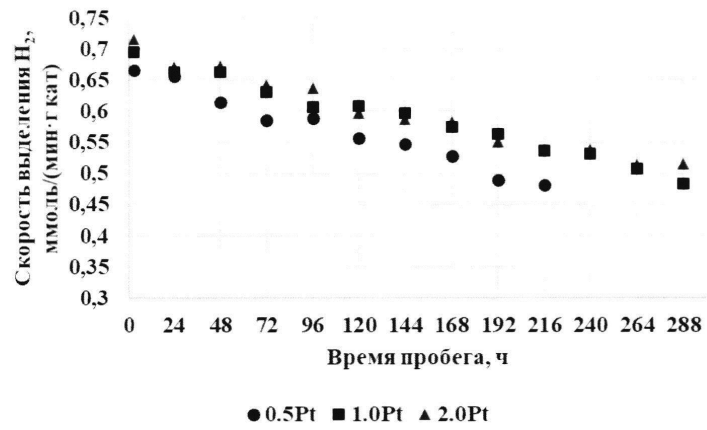


Фиг. 2

2



Фиг. 3



Фиг. 4

Таблица 1

№	Катализатор	Степень превращения МЦГ, мол.%	Селективность по толуолу, мол.%	Селективность по H ₂ , мл.%	Скорость образования H ₂ , ммоль·мин ⁻¹ ·(г кат.) ⁻¹	Скорость образования H ₂ , моль·мин ⁻¹ ·(г Pt) ⁻¹
1	Pt/Al ₂ O ₃ -0.5%	98.0	87.6	87.7	0.667	0.129
2	Pt/Al ₂ O ₃ -1.0%	99.3	89.2	90.0	0.696	0.072
3	Pt/Al ₂ O ₃ -2.0%	99.7	92.1	92.2	0.716	0.039

Фиг. 5

Таблица 2

№	Катализатор	Скорость образования H ₂ через 3 часа в стандартных условиях, ммоль·мин ⁻¹ ·(г кат.) ⁻¹	Время снижения скорости образования H ₂ на 30% в условиях ускоренной деактивации	Скорость образования H ₂ после 30% снижения, ммоль·мин ⁻¹ ·(г кат.) ⁻¹ /% от исходной
1	Pt/Al ₂ O ₃ -0.5%	0.667	216	0.472/70.8
2	Pt/Al ₂ O ₃ -1.0%	0.696	288	0.483/69.4
3	Pt/Al ₂ O ₃ -2.0%	0.716	288	0.514/71.8

Фиг. 6

Таблица 3

№	Катализатор	Степень превращения МЦГ, мол.%	Селективность по толуолу, мол.%	Селективность по H ₂ , мл.%	Скорость образования H ₂ , ммоль·мин ⁻¹ ·(г кат.) ⁻¹	Скорость образования H ₂ , % от исходной
1	Pt/Al ₂ O ₃ -0.5%	68.3	93.0	93.0	0.495	74.2
2	Pt/Al ₂ O ₃ -1.0%	69.8	92.3	92.4	0.502	72.1
3	Pt/Al ₂ O ₃ -2.0%	88.7	91.3	91.2	0.630	88.0

Фиг. 7