

<https://doi.org/10.3176/phys.math.tech.1965.4.15>

С. САЛУСТЕ, И. КЛЕСМЕНТ, О. ЭЙЗЕН

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ В УСЛОВИЯХ МИКРОРЕАКТОРНОГО ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В последнее время при газо-жидкостном хроматографическом анализе все чаще применяют метод, при котором исследуемые вещества предварительно подвергаются каталитическому воздействию.

Так, например, названный метод применялся при дегидрировании нафтенов в ароматические углеводороды, при гидрировании олефинов в парафины, а также при гидрировании различных гетеросоединений в соответствующие парафины или ароматические углеводороды [1-9].

Металлы никель, платина и палладий, известные как селективные катализаторы гидрирования-дегидрирования, редко применяют без носителя [10]. Носитель — окись алюминия, силикагель — необходим для увеличения площади металла. Распространено мнение, что носитель также участвует в катализе (изомеризирующее действие), обуславливая бифункциональность катализатора [11].

У чистых и нейтральных силикагелей и окиси алюминия, как носителей металла, отсутствует изомеризирующее свойство, и катализатор является монофункциональным [12-14]. Если же к ним добавить соответственно 1% SiO_2 или Al_2O_3 , катализатор превращается в бифункциональный [12].

В литературе высказывается также мнение, что металл и носитель имеют самостоятельные функции — при применении механической смеси металла и носителя результаты получаются те же, что и при нанесении металла на носитель [15, 16].

В промышленности прибавляют SiO_2 или галогены (Cl, F) к носителю металла — окиси алюминия, для придания катализатору кислотных (изомеризирующих) свойств. Катализаторы такого типа использованы в микрореакторно-газохроматографической установке при дегидрировании нафтенов [1].

Настоящая работа относится к серии работ по исследованию кислородных соединений. Отщеплением кислорода получают соответствующий углеводород [17-19]. Для аналитических работ необходим катализатор, на котором нежелательные реакции деалкилирования и изомеризации протекали бы минимально, т. е. чтобы катализатор обладал монофункциональными свойствами.

Применяемый в газовой хроматографии в качестве носителя металла диатомит не обуславливает бифункциональности [3]. В качестве носителя металла применялись также предварительно обработанные газохроматографические носители кислотного, основного и нейтрального характера, однако данные относительно их воздействия на катализатор отсутствуют [9].

Так как целью настоящей работы было получение монофункциональных катализаторов, то старались выбрать инертные носители. Из металлов применялись палладий и платина.

Большинство катализаторов изготовляли с таким расчетом, чтобы единица объема каждого из них содержала одинаковое количество металла (25 мг/мл).

Применявшиеся носители катализаторов охарактеризованы в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика носителей катализаторов

Носитель катализатора			Содержание металлов (Pt, Pd), %
Название	Размер зерен, мμ	Объемный вес, г/см ³	
Целит 545	0,125—0,200	0,346	7,2
Хромосорб W	0,246—0,336	0,259	9,6
Силоцель С-22	0,191—0,246	0,387	6,5
Диатомит ТЗК	0,200—0,315	0,524	4,8
Силикагель марки ШСК	0,160—0,250	0,443	5,6
Окись алюминия	0,160—0,200	0,971	2,6
Порошок алюминия	0,160—0,200	1,010	2,5
Пористое стекло	0,200—0,315	0,640	3,9
Хлористый натрий	0,250—0,315	1,009	2,5
Медная трубка \varnothing 3,5/1,8 мм, длина 1,85 м	—	—	Содержание металла 75 мг

Для получения сравнительных данных все катализаторы готовились в одинаковых условиях. Носитель пропитывали раствором PdCl_2 или H_2PtCl_6 , сушили при 110° С и восстанавливали в токе водорода в микропористой газохроматографической установке при температуре 350° в течение трех часов. При изготовлении катализатора Pt — хлористый натрий H_2PtCl_6 растворяли в хлороформе.

Микрореактор, содержащий 2 мл катализатора, устанавливали в хроматограф УХ-1 вместо первой колонки [3]. Исследуемое вещество (2 мкл) вводилось в ток водорода, с которым оно проходило микрореактор, и продукты каталитической реакции направлялись далее в газохроматографическую колонку, где проходило их аналитическое разделение.

Так как состав катализата зависит в известной степени от количества исследуемого вещества, то пробу старались дозировать как можно точнее, пользуясь микрошприцем Гамильтона объемом 10 мкл.

Активность катализатора оценивалась при температурах 250—350° соответственно по реакциям гидрирования — дегидрирования бензола-циклогексана, dealкилирования изопропилбензола и разрыва — гидрогенолиза циклопентанового кольца индана.

Основной целью работы было изучение свойств катализаторов в отношении отщепления кислорода, в частности — дегидроксилирования фенолов.

Дегидроксилирование фенолов проверялось при помощи чистых эталонов: *m*-крезола, *o*-этилфенола, *o*-изопропилфенола и α -нафтола. Параллельно проводились опыты с соответствующими им ароматическими углеводородами — толуолом, этилбензолом, изопропилбензолом и нафталином. Следили также за отравлением катализатора.

Для анализа ароматических углеводов катализата применялась 6 м колонка, наполненная 20% полигликоля 4000 на диатомите при температуре 150°. Оставшиеся при процессе дегидроксилирования фенолы исследовались на 2 м колонке, наполненной 15% силиконового масла

марки ВКЖ 94В фракции 240—260°/3 мм рт. ст. на хромосорбе W при температуре 170—200°. Скорость водорода во всех опытах была 60 мл/мин.

В свойствах катализаторов проявилось различие.

Восстановленный на поверхности медной трубки металл (Pt) оказался инертным.

Особую группу образовали катализаторы с «хорошими» газохроматографическими твердыми носителями: хромосорбом W, силоцелем С-22, целитом 545 и силикагелем марки АСМ, которые оказались инертными или гидрировали—дегидрировали весьма слабо.

Инертными катализаторами были металлы на хромосорбе W. На катализаторах с силоцелем С-22 и целитом 545 при температуре 350° подверглось дегидрированию только 13—19% циклогексана. Слабыми оказались также гидрирующие свойства этих катализаторов; Pd-силоцелю С-22 почти совсем не гидрировал, на других катализаторах подверглось гидрированию при 250° всего 7—24% бензола. На этих пассивных катализаторах при более высоких температурах изопропилбензол не разлагался, фенолы не дегидроксилировались.

Анализы, проведенные в работе, показали, что химический состав этих газохроматографических носителей не отличается существенно от состава обработанного соляной кислотой диатомита: SiO_2 — 88,24, Al_2O_3 — 6,79, Fe_2O_3 — 1,95, CaO — 0,73, MgO — 1,18 и потери при прокаливании — 1,11%.

Так как катализатор, приготовленный на обычном диатомите, обладает достаточной активностью, то пассивность других названных носителей, в том числе и силикагеля марки АСМ, обуславливается, очевидно, дополнительной химической обработкой.

Диатомит содержит помимо SiO_2 различные элементы, которые, согласно данным литературы, должны обусловить бифункциональные свойства катализатора. Отсутствие последних объясняется, видимо, различной структурой диатомита и катализаторов каталитического крекинга.

Вторую группу образовали более активные катализаторы.

У катализаторов Pd-окись алюминия и Pt-пористое стекло состояние, близкое к равновесному в реакции гидрирования—дегидрирования (циклогексан \rightleftharpoons бензол), достигается при всех температурах опыта, для большинства же катализаторов это достигается только при более высоких температурах. Выяснить причину этого различия не удалось.

Одним из лучших носителей катализаторов оказался силикагель. Катализатор на силикагеле становится активным уже после кратковременного восстановления (10—20 мин).

В табл. 2 приведены данные об изменении индивидуальных фенолов и ароматических углеводородов в интервале температур 250—350° на катализаторе 5,6% Pd на силикагеле (марки ШСК) в условиях микроаналитического гидрирования—дегидрирования.

При всех температурах реакция шла гладко — фенолы дегидроксилировались полностью в соответствующие углеводороды.

Как видно из таблицы, ароматические углеводороды более стабильны, чем фенолы, в отношении гидрирования на катализаторе в производные циклогексана. Из последних при всех температурах образуется больше циклогексанов, чем при той же температуре из индивидуальных ароматических углеводородов. Различие увеличивается с понижением температуры.

Известно, что гидроксильная группа фенолов способствует деалкилированию боковых цепей, особенно когда последние находятся в *n*-положении [20]; самыми стабильными также и в условиях термического крекинга

Таблица 2

Результаты катализа фенолов и ароматических углеводородов на катализаторе Pd-силикагель

Соединение	Температура катализатора, °С	Выход ароматических соединений, %	Выход производных циклогексана, %	Выход продуктов деалкилирования, %
Бензол	350	92,0	8,0	—
	325	73,9	26,1	—
	300	60,1	39,9	—
	275	30,0	70,0	—
	250	—	100,0	—
Циклогексан	350	90,3	9,7	—
	325	58,7	41,3	—
	300	14,0	86,0	—
	275	—	100,0	—
м-Крезол	350	98,0	2,0	—
	325	75,2	24,8	—
	300	66,3	33,7	—
	275	22,5	79,5	—
	250	—	100,0	—
Толуол	350	99,8	0,2	—
	325	92,0	8,0	—
	300	80,0	20,0	—
	275	70,0	30,0	—
	250	55,5	44,5	—
о-Этилфенол	350	71,3	9,5	19,2
	325	70,0	18,0	12,0
	300	66,0	27,8	6,2
	275	64,0	36,0	—
	250	58,0	42,0	—
Этилбензол	350	94,3	0,9	4,8
	325	94,5	5,5	—
	300	77,1	22,9	—
	275	66,0	34,0	—
	250	54,0	46,0	—
о-Изопропилфенол	350	56,9	5,3	37,8
	325	65,0	20,7	14,3
	300	51,8	43,5	4,7
	275	36,0	64,0	—
	250	—	100,0	—
Изопропилбензол	350	93,0	—	7,0
	325	92,2	4,5	3,3
	300	81,4	18,6	—
	275	78,5	21,5	—
	250	4,8	95,2	—
Индан	350	88,1	1,7	10,2
	325	88,7	2,9	8,4
	300	88,7	3,6	7,7
α-Нафтол	350	100,0	—	—
	325	100,0	—	—
	300	79,2	20,8	—
Нафталин	350	100,0	—	—
	325	100,0	—	—
	300	68,8	31,2	—

являются *m*-изомеры [21]. Эта же закономерность подтвердилась и в настоящей работе. Из данных табл. 2 видно, что из *o*-этилфенола и *o*-изопропилфенола образуется больше соединений с деалкилированным скелетом, чем из соответствующих им ароматических углеводородов. Например, при 350° из *o*-этилфенола образовалось 8,8% толуола, из *o*-изопропилфенола — 25,1% этилбензола и 4,9% бензола; углеводородные ске-

леты крезолов оказались при всех температурах исследования стабильными.

Из вышеизложенного следует, что и боковая цепь рвется с конца, а не у ароматического кольца, как можно было ожидать. Разрыв связи С-С циклопентанового кольца индана происходит с образованием 1-метил-2-этилбензола. Ни на одном из исследованных катализаторов не образуется пропилбензола.

На катализаторе Pt-NaCl в интервале температур 300—370° дегидрировалось циклогексана 10,2—91,7%; бензола в интервале 275—350° гидрировалось в циклогексан 40,3—0,8%. Изопропилбензол не разлагался при 350°, а индановое кольцо разложилось при указанной температуре на 12,3%.

Несмотря на то, что катализатор обладает гидрирующими—дегидрирующими свойствами, ~80% фенолов все же остались на катализаторе неизменными, вследствие чего указанный катализатор не подходит для дегидроксилирования фенолов. Вообще данные, полученные на катализаторе Pt-NaCl, относительно колеблющиеся. Очевидно, при достаточно высокой температуре часть хлористого натрия летит, что вызывает изменение состава катализатора и его свойств.

Использованное в качестве носителя катализатора пористое стекло было получено из размельченного лабораторного стекла (№ 23) путем спекания при 450—500° и последующего дробления [22].

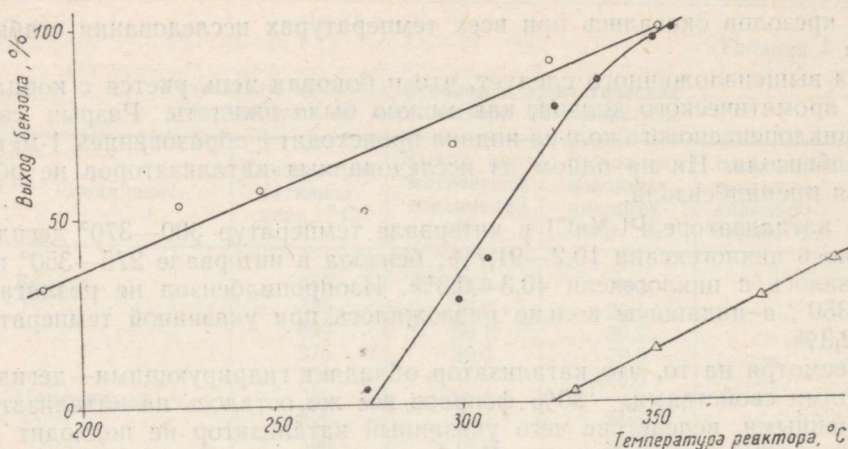
Гидрирующие—дегидрирующие свойства катализатора на пористом стекле являются почти такими же, как на силикагелевом катализаторе, но первый катализатор обладает несколько более сильной крекирующей способностью, чем второй. Так, например, на катализаторе Pd-пористое стекло при температуре 350° деалкилировалось *o*-этилфенола и этилбензола соответственно 26,7 и 7%, а *o*-изопропилфенола и изопропилбензола соответственно 100 и 61,4%. По сравнению с силикагелевым катализатором на пористом стекле фенолы адсорбируются несколько сильнее.

Катализатор на окиси алюминия с содержанием металла 0,5—1% широко применяется в промышленности, а также в аналитических работах. Установлено, что он обладает изомеризирующим действием [11]. Из опытов данной работы следует, что дегидрирующая способность катализатора на Pd-окиси алюминия выше, чем у силикагелевого катализатора. Основным недостатком его является сильная адсорбция фенолов, из-за чего ухудшаются хроматограммы катализата.

Силикагель, как и окись алюминия, является, как известно, сильным адсорбентом, однако «хвосты» на хроматограммах катализата от силикагелевого носителя появляются лишь при низких температурах; при более высокой температуре адсорбции фенолов не наблюдается. Адсорбция фенолов на окиси алюминия и на пористом стекле обусловлена, по-видимому, их щелочным характером.

Катализаторы, нанесенные на порошок алюминия, после восстановления водородом оказались пассивными. Только после продувания воздухом катализатор Pd-порошок алюминия приобрел активные гидрирующие—дегидрирующие свойства. Характеристика этих свойств до и после продувания воздухом представлена на рисунке. Дегидрирующая способность указанного катализатора была близка к свойствам катализатора палладий на окиси алюминия; на нем также наблюдалась сильная адсорбция фенолов.

Катализаторы Pd и Pt на диатомите применялись в ряде аналитических работ [3]. В отличие от нескольких отмеченных выше катализаторов (обработанные диатомиты), катализаторы на необработанном диа-



Активность катализатора 2,4% Pd на порошке алюминия по реакции гидрирования-дегидрирования бензола-циклогексана

Выход бензола: Δ — из циклогексана до продувки воздухом;
 • — из циклогексана после продувки воздухом;
 о — из бензола после продувки воздухом.

томите активны и монофункциональны. Их свойства весьма близки к свойствам силикагелевого катализатора.

В процессе работы сравнивались также металлы. Данные о влиянии металла и носителя катализатора на процессы, протекающие при катализе, представлены в табл. 3. Катализу подвергались *o*-изопропилфенол, соответствующий ароматический углеводород и индан. В таблице показан выход продуктов гидрирования, а именно — производных циклогексана и продуктов деалкилирования. Если при более высокой температуре дегидрирующая способность обоих металлов (Pd и Pt) близка, то при более низкой температуре (300°) эта способность у платины выше. Это известно и из литературы [12]. Несколько большей является также разрушающая способность Pt.

Отравляюще действует на бифункциональные катализаторы вода, вымывая из катализатора галоген — «кислую» функцию катализатора [12]. В настоящем случае, где целью является получение монофункциональных катализаторов, вода, образующаяся при дегидроксилировании фенолов, не отравляет катализатора. В то же время фенолы с большим молекулярным весом действуют отравляюще. Активность катализатора проверялась после каждого опыта, проведенного с фенолами, причем мерой активности было количество бензола, образовавшегося при 350° (или рабочей температуре) из циклогексана. Катализатор считали в рабочем состоянии в случае, когда он дегидрировал при 350° из циклогексана не менее 75—80%. Отравленный катализатор можно регенерировать пропусканьем через него в течение нескольких минут воздуха при рабочей температуре. Катализатор не теряет своей пригодности даже после многочисленных циклов использования — регенерация.

Микрореактор, расположенный перед хроматографической колонкой, имеет определенный объем, и вещества могут задерживаться на катализаторе, в связи с чем ухудшается четкость их хроматографического разделения. Для установления такого влияния микрореактора вещество пропускали параллельно прямо через хроматографическую колонку, а также предварительно через микрореактор. Разделяющая способность

Таблица 3

Процессы гидрирования и деструкции на различных катализаторах

Носитель катализатора	Pd		Pt	
	Выход производных циклогексана, %	Выход продуктов dealкилирования и гидрогенолиза, %	Выход производных циклогексана, %	Выход продуктов dealкилирования и гидрогенолиза, %
	o-Изопропилфенол 300° С			
Силикагель	43,5	4,7	47,6	17,8
Пористое стекло	23,1	0,6	35,8	6,5
Окись алюминия	Сильная адсорбция фенолов		Сильная адсорбция фенолов	
Порошок алюминия	"	"	Инертный катализатор	
Диатомит ТЗК	"	"	49,3	10,9
	Изопропилбензол 300° С			
Силикагель	18,6	—	36,3	—
Пористое стекло	17,9	—	32,9	—
Окись алюминия	34,8	—	50,0	—
Порошок алюминия	—*	18,6*	Инертный катализатор	
Диатомит ТЗК	7,2	—	40,5	0,7
	Индан 325° С			
Силикагель	2,9	8,4	3,7	52,1
Пористое стекло	—	10,2	2,4	18,2
Окись алюминия	6,6	13,2		
Порошок алюминия	15,0	—	Инертный катализатор	
Диатомит ТЗК	5,3	5,7	—	9,4

* При температуре 350° С.

установки выражается как число теоретических тарелок прибора в одном или другом случае. Так, например, разделяющая способность колонки (6 м, 20% полигликоль 4000 на диатомите, 150°) в отношении толуола была 2200 теоретических тарелок. Для большинства катализаторов разделяющая способность установки при 350° по отношению к пропущенному через микрореактор—хроматограф толуолу составляет 1900—2100 теоретических тарелок. Пропускание *m*-крезола через микрореактор дало число теоретических тарелок по отношению к толуолу, полученному при дегидроксилировании, для большинства катализаторов 1700—1900. Отсюда следует, что микрореактор не оказывает существенного влияния на разделяющее действие хроматографической колонки.

Обсуждение результатов

По данным вышеописанных опытов носитель металла оказывает существенное влияние на активность катализатора. Инертные газохроматографические носители, которые кроме кислотной промывки были подвергнуты другой химической обработке (действие щелочей и других реактивов), оказали на катализатор пассивирующее действие.

Особенно интересен опыт с катализатором на порошке алюминия, ставшим активным при пропуске воздуха, в результате чего образовалась Al_2O_3 . По-видимому, присутствие такого окисного компонента

необходимо, чтобы металл был активным. Отсюда можно заключить, что механическая смесь металла и носителя не является таким же катализатором, как металл, нанесенный на носитель. То, что некоторые свойства носителя влияют на активность катализатора, показали неудачи с опытом, проведенным с металлом, осажденным на медную трубку.

Было замечено, что реакции деалкилирования шли сильнее на катализаторах, в качестве носителей которых применялись стекло и окись алюминия, чем на других носителях. Это может быть обусловлено их основными свойствами.

Наиболее подходящим монофункциональным катализатором оказался катализатор Pd-силикагель (марки ПСК). Близкими к нему свойствами обладает катализатор Pd-диатомит. Активными являются также некоторые другие катализаторы, но из-за некоторых недостатков использование их ограничено.

С точки зрения дегидроксилирования фенолов лучшим из металлов является палладий, так как на последнем образуется меньше, чем на платине, производных циклогексана. Оптимальную температуру для дегидроксилирования фенолов следует подбирать опытным путем. В большинстве случаев она отвечает 330—340°, т. е. температурному интервалу, в котором не протекают реакции деалкилирования и образование производных циклогексана минимально.

В результате исследования было также установлено, что ароматическое ядро фенола гидрируется легче, чем у ароматических соединений. Этот результат находится в известном противоречии с результатами более ранней работы, где было установлено, что циклогексаноны дегидрируются в ароматические углеводороды легче, чем соответствующие производные циклогексана [17]. Очевидно, что влияние карбонильной группы в каталитических процессах гидрирования-дегидрирования иное, чем гидроксильной группы фенола.

Опыт настоящей работы использован в аналитических исследованиях [17—19].

ЛИТЕРАТУРА

- Keulemans A. J. M., Voge H. H., J. Phys. Chem., **63**, No. 4, 476 (1959).
- Rowan R., *Anal. Chem.*, **33**, No. 6, 658 (1961).
- Клесмент И. Р., Ранг С. А., Эйзен О. Г., *Нефтехимия*, **3**, № 6, 864 (1963).
- Thompson C. J., Coleman H. J., Hopkins R. L., Ward C. C., Rall H. T., *Anal. Chem.*, **32**, No. 4, 424 (1960).
- Thompson C. J., Coleman H. J., Ward C. C., Rall H. T., *Anal. Chem.*, **34**, No. 1, 151 (1962).
- Thompson C. J., Coleman H. J., Ward C. C., Rall H. T., *Anal. Chem.*, **34**, No. 1, 154 (1962).
- Beroza M., *Anal. Chem.*, **34**, No. 13, 1801 (1962).
- Beroza M., Sarmiento R., *Anal. Chem.*, **35**, No. 10, 1353 (1963).
- Struppe H. G., *Chem. Techn.*, **14**, No. 2, 114 (1962).
- Keulemans A. J. M., Schuit G. C. A., *Bifunctional catalysis. The mechanism of heterogenous catalysis*, Elsevier P. C., Amsterdam, 1960, p. 159.
- Emmett P. H., *Catalysis*, Vol. VI, Reinhold P. C., New York, 1958, pp. 522, 622, 642.
- Houdry Process Corp., German Patent 1033641; H. Connor, *Chemistry and Industry*, No. 48, 152 (1960).
- Houdry Process Corp., U. S. Patent 2908654; H. Connor, *Chemistry and Industry*, No. 48, 152 (1960).
- Weisz P. B., Swegler E. W., *Science*, **126**, 31 (1957).
- Mills G. A., *Advances in Catalysis*, **9**, 639 (1957).
- Клесмент И., *Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук*, **13**, № 4, 297, 305 (1964).
- Клесмент И., Эйзен О., *Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук*, **14**, № 1, 147 (1965).

19. Салусте С., Клесмент И., Эйзен О., Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук, 14, № 1, 141 (1965).
 20. Шуйкин Н. И., Эриванская Л. А., Успехи химии, 24, № 5, 648 (1960).
 21. Jones B. W., Newworth M. B., Ind. Eng. Chem. 45, 2704 (1953).
 22. Кестнер А. И., Ж. физ. хим., 37, № 3, 707 (1963).

Институт химии
 Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
 31/III 1965

S. SALUSTE, I. KLESMENT, O. EISEN

PALLADIUM- JA PLAATINAKATALÜSAATORITE OMADUSED MIKROREAKTOR-GAASIKROMATOGRAAFILISE ANALÜÜSI PUHUL

Uuriti katalüsaatorite omadusi erinevatel kandjatel hapniku eraldamise korral hapnikühenditest, eriti fenoolide dehüdroksüleerimisel. Uhtlasi uuriti aromaatsse tuuma hüdreerimise, külgahelate dealküleerimise ja hüdrogenolüüsi protsesse.

Tehti kindlaks, et katalüsaatori kandja omadused avaldavad mõju katalüsaatori aktiivsusele: inertsel kandjal on passiivne ka katalüsaator.

Sobivaimaks monofunktsionaalseks katalüsaatoriks osutus Pd-silikageelkatalüsaator (mark ШСК).

Tehti kindlaks, et fenoolid hüdreeritakse tsükloheksaani derivaatideks kergemini kui aromaatsed ühendid.

Indaani tsüklopentaaniring katkeb 1-metüül-2-etüülbensooli tekkega.

Dealküleerimisprotsessil toimub külgahela katkemine ahela otsast, mitte aromaatsse tuuma kõrvalt.

S. SALUSTE, I. KLESMENT, O. EISEN

PROPERTIES OF PALLADIUM AND PLATINUM CATALYSTS IN CONDITIONS OF MICROREACTOR-GASCHROMATOGRAPHIC ANALYSIS

The properties of catalysts on the various supporters at the separation of oxygen from oxy-compounds, especially at the dehydroxylation of phenols were investigated.

The hydrogenation of aromatic cycles, dealkylation of side chains and hydrogenolysis were observed as well. It was found that the properties of the supporter influenced the activity of the catalyst: in the case of an inert supporter, the catalyst is also passive.

The most convenient monofunctional catalyst was Palladiumsilicagel (ШСК).

It was established that phenols were hydrogenated to cyclohexanes more easily than aromatic compounds. The cyclopentane cycle of indan decomposes with the formation of 1-methyl-2-ethylbenzene.

In the dealkylation process the side chain decomposes at the end of the chain, and not next to the aromatic cycle.