

9. *Parera J.M., Figoli N.S., Traffano E.M.* Catalytic action of platinum on coke burning // *J. Catal.* 79 (1983). P. 481—484.
10. *Figoli N.S., Beltramini J.N., Marinelli E.E., Sad M.R., Parera J.M.* Operational conditions and coke formation on Pt-Al₂O₃ reforming catalyst // *Appl. Catal.* 5 (1983). P. 19—32.
11. *Rebo H.P., Blekkan E.A., Bednarova L., Holmen A.* Deactivation of Pt—Sn catalyst in propane dehydrogenation, in: Delmon B., Froment G.F. (Eds.), *Catalyst Deactivation 1999*, Elsevier Science Publ B.V., Amsterdam. 1999. P. 333—340.
12. *Songbo He, Chenglin Sun, Xu Yang, Bin Wang, Xihai Dai, Ziwu Bai.* Characterization of coke deposited on spent catalysts for long-chain-paraffin dehydrogenation // *Chemical engineering journal* 163 (2010). P. 389—394.
13. *Li C.L., Novaro O., Bokhimi X., Munoz E., Boldu J.L., Wang J.A., Lopez T., Gomez R., Batina N.* Coke formation on an industrial reforming Pt-Sn/ γ -Al₂O₃ catalyst *Catalysis letters* 65 (2000). P. 209—216.
14. *Веселовский В.С.* Химическая природа горючих ископаемых. М.: Издательство академии наук СССР, 1955.
15. *Гынгазова М.С., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Короленко М.В., Уваркина Д.Д.* Кинетическая модель процесса каталитического риформинга бензинов в реакторах с движущимся слоем катализатора // *Катализ в промышленности.* 2010. № 6. С. 41—48.
16. *Gyngazova M.S., Kravtsov A.V., Ivanchina E.D., Korolenko M.V., Uvarkina D.D.* Kinetic Model of the Catalytic Reforming of Gasolines in Moving-Bed Reactors // *Catalysis in Industry.* 2010. Vol. 2. №. 4. P. 374—380.

УДК 661.183.2

РАЗРАБОТКА БЕЗЗОЛЬНЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ

© 2012 г. **В.В. Гурьянов,**
В.М. Мухин, А.А. Курилкин

ОАО «Электростальское научно-производственное
объединение “Неорганика”», Электросталь

Введение

Углеродные адсорбенты широко применяются в качестве носителей катализаторов. Однако большинство промышленных активных углей характеризуются низкой механической прочностью (60—75 %), значительным содержанием зольных примесей (5—20 мас.%) и слабо развитой мезопористой структурой. Эти факторы не позволяют вести высокоселективные каталитические процессы, особенно при жестких режимах эксплуатации катализаторов в движущихся и псевдоожиженных слоях.

Чтобы расширить области применения углеродных адсорбентов как носителей катализаторов и повышения эффективности каталитических процессов, нужны разработки беззольных углеродных адсорбентов с существенно улучшенными эксплуатационными свойствами.

В связи с этим представляется перспективным использовать при разработке таких адсорбентов нетрадиционные виды сырья — синтетические мономерные и полимерные продукты [1—3], что позволяет получать практически беззольные активные угли с требуемыми физико-механическими, химическими и адсорбционными характеристиками. Одним из многообещающих синтетических материалов является фурфурол — продукт первичной переработки пентозансодержащего растительного сырья. Вследствие доступности сырья и высокой

Гурьянов В.В. — д-р хим. наук, вед. науч. сотрудник.
Тел.: (496) 575-95-22 (доб. 5-79). E-mail: neorg.el@mail.ru

Мухин В.М. — д-р техн. наук, начальник лаборатории.
Тел.: (496) 575-50-06. E-mail: neorg.el@mail.ru

Курилкин А.А. — мл. науч. сотрудник. Тел.: (496) 575-95-22 (доб. 4-49).
E-mail: neorg.el@mail.ru

реакционной способности он является одним из самых распространенных на мировом рынке продуктов для производства разнообразных мономерных и полимерных материалов. Крупнотоннажное производство фурфурола в Российской Федерации, обладающей значительными и воспроизводимыми запасами растительного сырья, позволяет использовать его для создания промышленной технологии получения углеродных адсорбентов, характеризующихся по сравнению с известными марками активных углей существенно улучшенными физико-механическими и адсорбционными свойствами [4–6].

Однако по всем существующим технологиям переработки фурфурола получают жидкие или твердые легкоплавкие смолы, которые используются в дальнейшем после их смешения с наполнителями и отвердителями для выпуска технологических изделий. Данные же о непосредственном использовании фурфурола для получения отвержденных технологических изделий, тем более частиц со сфероидальной формой, отсутствуют. Из сказанного делаем вывод: необходима разработка принципиально нового одностадийного осмоления фурфурола, формования сферического продукта и его отверждения.

Изучение закономерностей отверждения фурфурола в присутствии кислот

При осмолении фурфурола в присутствии кислотных катализаторов раствор быстро теряет прозрачность. Однако смесь остается подвижной жидкостью. Особенность ее отверждения — наличие резкой границы между жидким и желеобразным состояниями. Время желатинизации ($\tau_{ж}$) фурфурола является важным параметром для организации процесса формования сферического продукта.

В табл. 1 приведены значения времени желатинизации фурфурола в присутствии концентрированной соляной (35–40 мас.%) и серной кислот (92 мас.%) при комнатной температуре.

Представленные данные свидетельствуют о значительно более энергичном осмолении фурфурола в присутствии серной кислоты. Так, при объемном соотношении компонентов (кислота/фурфурол) $C = 0,1$ время отверждения фурфурола с серной кислотой в 7 раз меньше, чем в присутствии соляной кислоты. Это объясняется, по-видимому, высокой гигроскопичностью серной кислоты, связывающей воду, являющейся одним из продуктов поликонденсации фурфурола. Анализ полученных эксперимен-

Таблица 1
Время желатинизации фурфурола в присутствии минеральных кислот

Объемное соотношение компонентов		Время желатинизации, мин	
C_4H_3OCHO	HCl	Эксперимент	Расчет по (1)
100	7	325	302
100	10	240	260
100	25	157	151
100	33,3	118	117
100	50	62	68
100	66	50	47
C_4H_3OCHO	H_2SO_4	Эксперимент	Расчет по (2)
100	2,5	290	284
100	4	109	113
100	6	60	60
100	10	33	29
100	12	23	22
100	18	10	11,5

тальных данных позволил установить зависимости значений $\tau_{ж}$ (мин) от параметра C :

$$\tau_{ж} = -14 - 274 \lg C_{HCl}, \quad (1)$$

$$\tau_{ж} = -19 + 48 [\lg(C_{H_2SO_4} \cdot 10^2)]^{-2}. \quad (2)$$

Эти данные, как видно из табл. 1, можно использовать для нахождения значений времени желатинизации.

Следует отметить существенное влияние температуры на время желатинизации композиций. Например, проведение процесса не при комнатной температуре, а при 75 °С для $C_{H_2SO_4} = 0,1$ снижает значение $\tau_{ж}$ с 33 до 1,5 мин.

Влияние реакции сополимеризации на скорость отверждения фурфурола

Процесс осмоления и отверждения фурфурола значительно ускоряется, если в композицию помимо кислот вводятся органические вещества, способные вступать с мономером в реакции сополимеризации. Активными компонентами осмоления и отверждения фурфурола в кислой среде являются разнообразные мономерные и полимерные продукты (например, ацетон, фенол, пропиловый альдегид, диэтиленгликоль, фурфуриловый спирт, фор-

Таблица 2

Время желатинизации фурфурола в присутствии ацетона, эпоксидной смолы ЭД-20 и серной кислоты

Объемное соотношение компонентов			Время желатинизации, $\tau_{ж}$, мин	Объемное соотношение компонентов			Время желатинизации, $\tau_{ж}$, мин
C_4H_3OCHO	Ацетон	H_2SO_4		C_4H_3OCHO	ЭД-20	H_2SO_4	
100	1	10	8,1	100	1	10	6,9
100	2	10	6	100	2	10	2,1
100	3	10	5,1	100	3	10	<1
100	4	10	4	100	4,6	7	2,5

малин, различные терморезистивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные), лесохимическая и каменноугольная смолы, а также различные смеси указанных веществ). Представленные в табл. 2 в качестве примера данные свидетельствуют о высокой активности вводимых компонентов. Даже при малых количествах ацетона и эпоксидной смолы ($C = 0,02$) время желатинизации сокращается при $C_{H_2SO_4} = 0,1$ с 33 (см. табл. 1) до 6 и 2,1 мин, соответственно. Ввиду низкой концентрации вводимых компонентов вряд ли можно допустить, что только реакции сополимеризации существенно снижают значение $\tau_{ж}$. По-видимому, взаимодействие фурфурола с указанными добавками катализирует основную реакцию гомополимеризации фурфурола.

При высоких скоростях желатинизации ($\tau_{ж} < 10$ мин), являющейся начальной стадией отверждения фурфурола, происходит глубокое протекание процесса, приводящее к формированию жесткой, пространственно-сетчатой структуры резита, т.е. к отверждению композиций, сопровождающемуся их разогреванием с выделением паров продуктов реакций. Окончательное время отверждения композиций составляет обычно 70–140 % от времени их желатинизации.

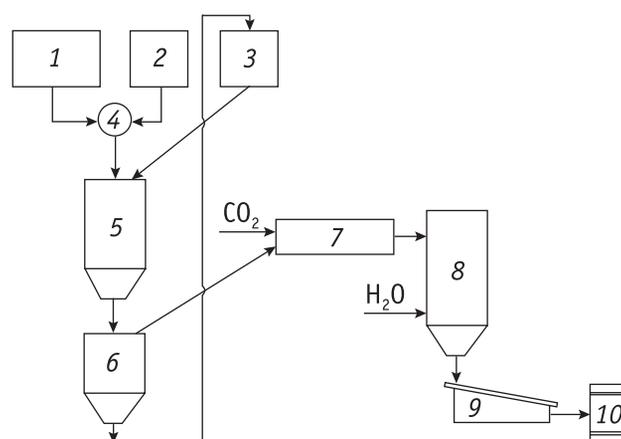
Таким образом, введением в фурфурол различных активных компонентов, также как и увеличением температуры процесса, можно достичь очень низких значений времени желатинизации, что указывает на возможность организации одностадийного процесса формирования сферического продукта и его отверждения.

Получение сферического углеродного адсорбента ФАС

На рис. 1 приведена технологическая схема получения активного угля ФАС (фурфурольный адсорбент сферический). Продукт формировали в

трубчатом реакторе высотой 1,5 м, заполненном минеральным маслом при температуре 100–110 °С. Фурфурол с серной кислотой и активными органическими добавками смешивали в смесителе, объем которого подбирали так, чтобы время пребывания в нем смеси не превышало времени ее желатинизации. Частично осмоленая в смесителе композиция самотеком поступала в распределитель, из фильер которого в виде струй в слой горячего масла, где они, в зависимости от его вязкости, дробились на капли нужного диаметра. Окончательное осмоление и термоотверждение продукта в реакторе происходило за 15–18 с. Из реактора продукт непрерывно поступал в накопитель (на схеме не показан), после заполнения которого направлялся на центрифугирование. Отделенный на центрифуге от масла продукт, представлявший собой сфероидальные зерна размером 1–3 мм (основная фракция 2–3 мм), направляли на термообработку.

Термообработку сформованного продукта проводили во вращающихся электропечах в токе диок-

**Рис. 1.** Технологическая схема получения активного угля ФАС

1–3 – емкости для хранения фурфурола, кислоты, масла; 4 – смеситель; 5 – реактор; 6 – центрифуга; 7 – печь карбонизации; 8 – печь активации; 9 – рассев; 10 – тара

сида углерода при постепенном подъеме температуры от 150 до 820 °С при скорости нагрева 10 °С/мин. Активировали термообработанный продукт смесью паров воды и диоксида углерода (соотношение 3/1) также во вращающихся электропечах при температуре 850—870 °С. Образовавшиеся в процессах карбонизации и активации газо- и парообразные продукты после прохождения печи дожигания отсасывались в атмосферу. Далее активированный уголь отсеивали от пыли и крупных включений и направляли на магнитную сепарацию. В барабанном магнитном сепараторе ПБСУ 40/10 продукт освобождался от металлической окалины реторт печей карбонизации и активации. Полученный углеродный адсорбент ФАС представлял собой сферидальные гранулы диаметром 0,7—2,5 мм с гладкой, блестящей и непылящей поверхностью.

Исследование первичной и пористой структур и адсорбционных свойств карбонизованных и активированных ФАС

Полученные углеродные адсорбенты исследовались методами дериватографии, рентгеноструктурного анализа, адсорбционными и ртутной порометрии.

Дифференциально-термический анализ углеродных адсорбентов (ДТА) проводили на дериватографе МОМ ОД-103 в атмосфере азота при скорости нагрева 5 К/мин.

Дифракционные спектры подпрессованных в кварцевых кюветках порошков снимали на приборе Дрон-5 с использованием фильтрованного FeK_{α} -излучения. Рентгенографическую плотность ρ рассчитывали в соответствии с [7]. Величины межплоскостного расстояния d_{002} определяли по уравнению Вольфа-Брегга, а средние значения высоты пакетов L_c и их диаметра L_a рассчитывали по формулам Шеррфа-Семякова [8].

Параметры пористой структуры определяли на порометре ПА-3М.

Изотермы адсорбции паров бензола получены при 293 К на высоковакуумной сорбционной установке с пружинными кварцевыми микровесами чувствительностью около 20 мкг при нагрузке до 0,2 г.

Карбонизованные сферические углеродные адсорбенты. На рис. 2 приведены дериватограммы потери массы $\Delta m/\Delta m_{\text{ост}} \cdot \Delta T, K^{-1}$ от температуры карбонизации термоотвержденных образцов. Видно, что дериватограммы для сферического продукта и дробленого образца, полученного в результате блочной

полимеризации и отверждения фурфурола, практически совпадают. Наиболее выраженные максимумы на дифференциальных кривых потери массы наблюдаются около 200 °С и наиболее значительные — при 450—500 °С. Оба продукта характеризуются и одинаковыми значениями выхода углеродного остатка ω при 950 °С. Однако после термообработки сферического продукта получается значительно более плотный продукт, насыпная плотность которого составляет 670—700 г/дм³, в то время как для дробленого — 440—460 г/дм³. Это обусловлено существенными различиями в условиях термоотверждения фурфурола. При получении дробленого продукта отверждение композиции объемом 200 мл проводили при температуре, близкой к комнатной. При жидкостном формовании объем одной капли, нагреваемой до 100 °С всего за несколько секунд, составляет только $\sim 4 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$. Столь значительные различия в процессах отверждения и при этом, по-видимому, наличие гидростатического давления сжатия капли за счет поверхностного натяжения сферического мениска приводят к формированию более бездефектного, в 1,5 раза более плотного продукта.

В табл. 3 приведены содержание атомов элементов и результаты рентгеноструктурного анализа уг-

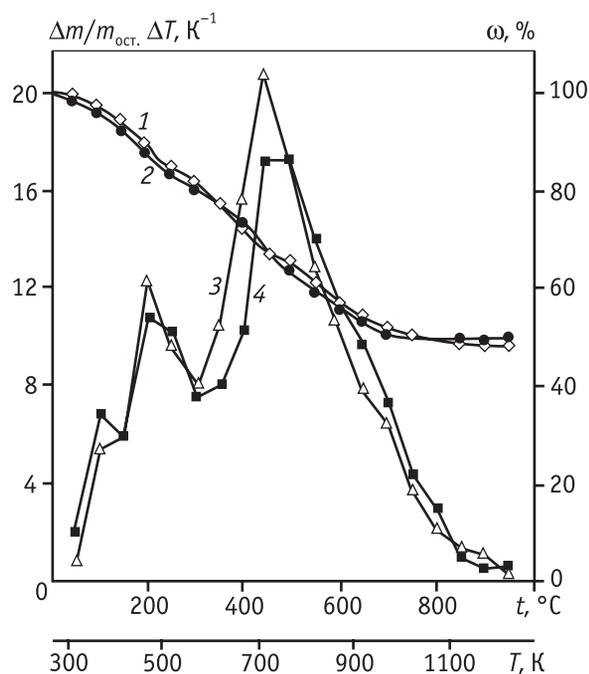


Рис. 2. Интегральные и дифференциальные кривые потери массы ($\Delta m/\Delta m_{\text{ост}} \cdot \Delta T$) при термодеструкции сферических (1, 3) и дробленых (2, 4) продуктов отверждения фурфурола (ω – выход углеродного остатка)

Таблица 3

Изменение параметров первичной структуры и содержания атомов элементов состава углеродных остатков в процессе карбонизации сформованного сферического продукта

Параметры	Температура карбонизации, °С					
	150	300	400	550	700	850
d_{002}	Рентгеноаморфный					
L_c	0,391 0,386 0,385					
L_a	нм — — 1,20 1,09 1,07					
ρ , г/см ³	— — — 2,0 2,07 2,10					
% упоряд. углерода	— — — 23,0 37,0 40,0					
C	68,8	74,6	83,1	92,8	96,2	98,1
O	24,7	20,1	12,0	2,5	1,4	0,3
H	5,7	4,7	4,4	4,2	2,0	1,3
S	1,1	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3

леродных остатков, полученных при карбонизации сформованного сферического продукта.

Результаты рентгеноструктурного анализа указывают, что при термообработке до 400 °С образцы остаются рентгеноаморфными. При повышении температуры от 400 до 550 °С, когда резко уменьшается масса образца и значительно снижается содержание кислорода ввиду разрушения фурановых циклов с образованием циклически полимеризованного углерода, происходит формирование пакетов углеродных сеток. Дальнейшее повышение температуры сопровождается упорядочением структуры, выражающемся в уменьшении значений d_{002} и L_c , увеличением плотности углерода, количества углерода, упорядоченного в пакеты, и их диаметра.

В табл. 4 приведены результаты ртутнопорометрических исследований развития мезо- и макропористой структур при карбонизации сформованного сферического продукта. Приведенные данные свидетельствуют о практическом отсутствии в образцах пор размером более 50 нм и менее 10 нм. Основной объем крупных мезопор распределен в узком интервале эквивалентных радиусов 25–50 нм и формируется в основном на ранней стадии термообработки — при температурах ниже 420 °С.

На рис. 3 и 4 показаны изотермы адсорбции паров бензола на карбонизованных и активированных сферических углеродных адсорбентах.

Изотермы на рис. 4 демонстрируют две существенно различающихся группы. К первой относятся изотермы на рентгеноаморфных образцах. Их отличием являются малые значения адсорбции при низких давлениях и подъем изотерм в области полимолекулярной адсорбции. Вторую группу составляют изотермы адсорбции, полученные в результате карбонизации продукта при 550–850 °С и характеризующиеся, как отмечалось выше,

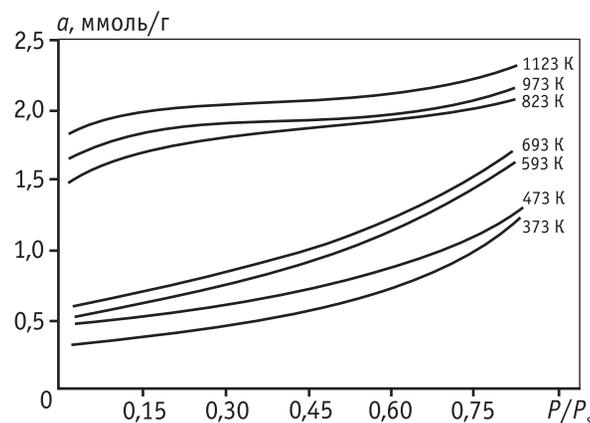


Рис. 3. Изотермы адсорбции паров бензола на образцах сформованного сферического продукта, термообработанных при различных температурах (P/P_s – относительное давление паров бензола)

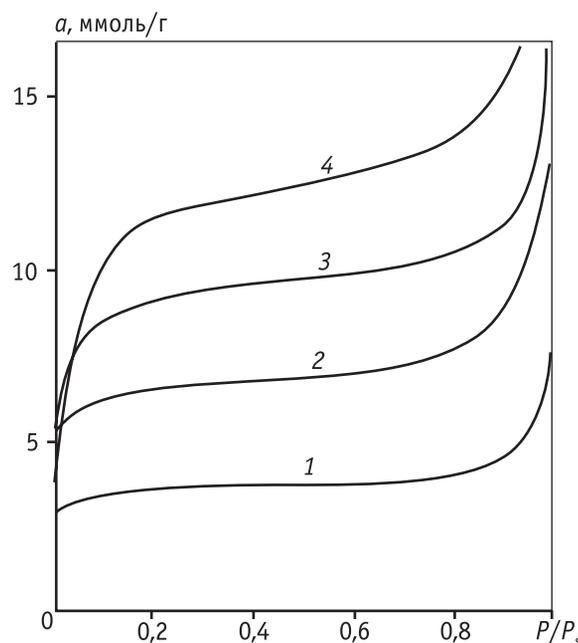


Рис. 4. Изотермы адсорбции паров бензола на сферических углеродных адсорбентах ФАС, активированных до значений насыпной плотности (Δ , г/дм³): 605 (1), 425 (2), 343 (3) и 309 (4) (a – величина адсорбции, P/P_s – относительное давление паров бензола)

Таблица 4

Изменение параметров пористой структуры сформованного сферического продукта в процессе карбонизации

Температура карбонизации, °С	Объем пор (см ³ /г) в интервале эквивалентных радиусов (нм)					Ртутно-параметрический объем, V _{Hg} , см ³ /г
	5–10	10–25	25–50	50–100	> 100	
200	0,00	0,01	0,11	0,02	0,00	0,14
320	0,00	0,04	0,18	0,02	0,00	0,24
370	0,01	0,06	0,24	0,02	0,00	0,33
420	0,00	0,09	0,26	0,03	0,00	0,38
550	0,01	0,07	0,27	0,02	0,00	0,37
700	0,01	0,07	0,25	0,02	0,00	0,35
870	0,02	0,03	0,29	0,02	0,00	0,36

наличием пакетов углеродных сеток циклически полимеризованного углерода. Это типичные изотермы адсорбции на микропористых адсорбентах с характерным для них крутым подъемом кривых при низких давлениях.

В табл. 5 представлены характеристики микро- и мезопористой структуры карбонизованного сферического продукта, полученные по результатам обработки изотерм адсорбции в соответствии с δ -методом [9, 10].

Из приведенных данных следует, что образцы, термообработанные при 100–420 °С, не содержат микропор. Формирование основного объема пор молекулярных размеров происходит в узком температурном интервале — от 420 до 550 °С, когда в ходе процессов ароматизации структуры образуются пакеты углеродных сеток.

Таблица 5

Изменение текстурных характеристик сформованного сферического продукта в процессе карбонизации

Температура карбонизации, °С	Объем микропор, см ³ /г	Поверхность мезопор, м ² /г
100	0,00	70
200	0,01	70
320	0,00	100
420	0,01	100
550	0,14	40
700	0,15	31
850	0,16	34

Активированные сферические углеродные адсорбенты ФАС (угли). Приведенные на рис. 4 изотермы адсорбции бензола на ряде активированных адсорбентов свидетельствуют о присутствии в углях как микропор, так и крупных мезопор, заполняющихся при высоких относительных давлениях.

Как видно из табл. 6, при развитии суммарной пористости до 1,50 см³/г угли не содержат макропор, а весь объем пор обусловлен наличием лишь сорбирующих микро- и мезопор, причем увеличение в процессе активирования объемов мезопор с 0,37 до 0,70 см³/г не вызвано увеличением их размеров или образованием новых мезопор, поскольку их объемная доля остается практически неизменной — 0,22–0,24 см³/см³ слоя. Следовательно, параметры мезопористой структуры определяются характеристиками исходного карбонизованного материала, а увеличение при активировании объема мезопор, отнесенного к единице массы, связано лишь с процессом газификации углерода при развитии микропористой структуры от 0,18 до 0,28 см³/см³ слоя (0,29–0,80 см³/г) в результате увеличения линейных размеров микропор с 1,21 до 1,75 нм.

Активировали термообработанный продукт при температуре 850–870 °С в течение 6 ч, что позволило получить образцы с различной пористой структурой.

Как и следовало ожидать, использование в качестве исходного сырья синтетического мономера — фурфурола — обуславливает получение практически беззольных активных углей. Однако наиболее характерная особенность сферических углеродных адсорбентов ФАС заключается в их уникально высокой механической прочности. Так, при активиро-

Таблица 6

Характеристики активированных сферических углеродных адсорбентов ФАС

Насыпная плотность, г/дм ³	Суммарный объем пор (V_{Σ}), см ³ /г	Объем микропор ($V_{\text{микро}}$), см ³ /г (см ³ /см ³)	Размер микропор (H), нм	Объем мезопор ($V_{\text{мезо}}$), см ³ /г (см ³ /см ³)	Объем макропор ($V_{\text{макро}}$), см ³ /г	Зольность, % (ГОСТ 12596)	Прочность при истирании, % (ГОСТ 16188)
605	0,66	0,29 (0,18)	1,21	0,37 (0,22)	0,0	0,03	99,1
574	0,76	0,34 (0,20)	1,28	0,42 (0,24)	0,0	0,01	99,0
509	0,92	0,45 (0,23)	1,45	0,47 (0,24)	0,0	0,03	99,7
470	1,01	0,51 (0,24)	1,50	0,50 (0,23)	0,0	0,06	100
436	1,09	0,56 (0,24)	1,59	0,53 (0,23)	0,0	0,05	98,8
405	1,22	0,66 (0,27)	1,63	0,56 (0,23)	0,0	0,05	99,5
345	1,50	0,80 (0,28)	1,75	0,70 (0,24)	0,0	0,08	98,0

Примечание. Размер щелевых микропор (H) рассчитывается в соответствии с [11, 12] по уравнению $H = 10,8/E_0^{2/3}$, где E_0 , кДж/моль – характеристическая энергия адсорбции, соответствующая уравнениям изотерм адсорбции теории объемного заполнения микропор [13].

вании до развития суммарной пористости 1,50 см³/г и объема микропор 0,80 см³/г показатель прочности при истирании не опускается ниже 98 % и для большинства активных углей близок к 100 %. Столь высокие значения находятся на пределе принятого метода определения прочности при истирании. В связи с этим в отношении ФАС была изменена методика и увеличено время помола в стержневой мельнице с 3 мин до 30 ч. При этом величина прочности угля ФАС с $V_{\Sigma} = 1,22$ см³/г составила 98 %, что соответствует коэффициенту скорости истирания $K = 1,1 \cdot 10^{-3}$ %·мин⁻¹. Активные же угли типа АГ и СКТ с прочностью 80 % образуют в течение 3 мин помола 20 % пыли, что соответствует значению $K = 6,67$ %·мин⁻¹. Следовательно, скорость истирания углей ФАС более чем на 3 порядка ниже, чем у промышленных марок активных углей. Также высоки прочностные свойства сферических адсорбентов ФАС на раздавливание. Значение разрушающей гранулы силы F_p в процессе активирования изменяется от 220 до 190 Н, что в 17 и 40 раз больше значений F_p , соответствующих гранулам углей АГ-3 и АГ-5.

Результаты рассмотренных методик носят относительный характер, представлялось небезынтересным определить такой физико-механический показатель углеродного материала, как предел прочности на сжатие — σ_c . Его ориентировочная оценка приводит к значениям $\sigma_c = 740 \pm 40$ МПа, в 3–7 раз большим величин предела прочности на сжатие таких материалов, как гранит, кварцит, текстолит,

электроугли, и сопоставимым со значениями σ_c для чугуна (400–1000 МПа) [14, 15].

Заключение

В результате изучения процессов отверждения фурфурола в присутствии кислот и активных, совмещающихся с мономером органических добавок, разработана новая технология жидкостного формирования сферического продукта путем совмещения 3 традиционно отдельных стадий: 1) осмоление фурфурола в результате реакций поликонденсации и полимеризации; 2) формирование сферического продукта; 3) его отверждение.

Отработаны параметры карбонизации и активирования сформованного продукта, приводящие к получению беззольного, уникально высокопрочного углеродного адсорбента, что обуславливает его перспективность как носителя катализаторов при жестких режимах эксплуатации — в движущемся и псевдооживленном слоях.

Литература

1. Бурушкина Т.Н. // Журнал РХО им. Д. И. Менделеева. 1995. Т. XXXIX. № 6. С. 122.
2. Кряжев Ю.Г. // Материалы XII Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых «Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности». 21–25 апр. 2008 г. РАН — ИФХЭ, Москва–Клязьма. 2008. С. 69.

3. *Картель Н.Т.* // Адсорбция, адсорбенты и адсорбционные процессы в нанопористых материалах. РАН: Москва, 2011. С. 381.
4. Пат. 2026813 (РФ). Способ получения сферического углеродного адсорбента / В.В. Гурьянов, З.А. Мушаров, В.М. Мухин и др. 1993.
5. Пат. 2257343 (РФ). Способ получения сферического углеродного адсорбента / В.В. Гурьянов, В.М. Мухин, В.В. Чебыкин, Г.В. Дворецкий. 2003.
6. Пат. 2301701 (РФ). Способ получения сферического углеродного адсорбента / В.В. Гурьянов, А.В. Осипова и др. 2006.
7. *Дубинин М.М., Заверина Е.Д., Иванова Л.С., Каверов А.Т., Касаточкин В.И.* // Изв. АН СССР. ОХН. 1961. № 1. С. 17.
8. *Усенбаев К., Жумалиева К.* // Рентгенографическое исследование структуры и термических преобразований аморфных углеродов. Фрунзе: Мектеп, 1976.
9. *Гурьянова Л.Н., Гурьянов В.В.* // Журнал физической химии. 1984. Т. 58. № 6. С. 1459; 1989. Т. 63. № 1. С. 161. № 2. С. 426. № 3. С. 683.
10. *Гурьянов В.В., Петухова Г.А., Дубинина Л.А.* // Физикохимия поверхностей и защита материалов. 2010. Т. 46. № 2. С. 158.
11. *Гурьянов В.В., Дубинин М.М., Мисин М.С.* // Журнал физической химии. 1975. Т. 49. № 9. С. 2374.
12. *Гурьянов В.В., Петухова Г.А., Поляков Н.С.* // Изв. АН. Сер. хим. 2001. № 6. С. 933.
13. *Dubinina M.M.* // Carbon. 1989. V. 27. № 3. P. 457.
14. *Беляев Н.М.* // Сопротивление материалов. М.: Наука, 1976.
15. *Темкин И.В.* // Производство электроугольных изделий. М.: Высшая школа, 1980.

УДК 66.094.373 :
: 661.865.5 : 661.856

РАЗРАБОТКА СПОСОБА СИНТЕЗА НАНЕСЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЗОЛЕЙ $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$

© 2012 г. **Н.Н. Гаврилова,
Е.Ю. Либерман, О.В. Яровая,
А.Г. Кошкин, В.В. Назаров,
А.И. Михайличенко**

Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Москва

Введение

Промышленными катализаторами окисления СО являются системы на основе металлов платиновой группы и оксидов переходных металлов, в основ-

ном оксидов хрома, меди или никеля [1]. Ограниченность ресурсов благородных металлов и их высокая стоимость вынуждают к поиску новых каталитических систем. Перспективными альтернативными катализаторами являются многокомпонентные системы на основе твердых растворов $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ и оксидов переходных металлов, в частности оксида меди. Благодаря уникальным окислительно-восстановительным свойствам и кислородонакопительной способности, использование смешанных оксидов $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ значительно повышает термическую устойчивость катализатора и улучшает работу ката-

Гаврилова Н.Н. – канд. хим. наук, ассистент. Тел.: (499) 978-56-70. E-mail: gavrilovann@yahoo.com

Либерман Е.Ю. – канд. хим. наук, доцент. E-mail: el-liberman@yandex.ru

Яровая О.В. – канд. хим. наук, доцент. Тел. тот же. E-mail: Y_O_V@yahoo.com

Кошкин А.Г. – ассистент. E-mail: tijbfpbb@gmail.com

Назаров В.В. – д-р хим. наук, зав. кафедрой коллоидной химии.

Тел.: (499) 978-60-10. E-mail: nazarov@tiustr.ru

Михайличенко А.И. – д-р хим. наук, зав. кафедрой технологии неорганических веществ. Тел.: (499) 978-78-73. E-mail: mikhayli7@gmail.com