

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харченко В.П., Чхиквадзе В.Д., Галил-Оглы Г.А. и др. Рак легкого: 30-летний опыт хирургического и комбинированного лечения // Вопросы онкологии. — 1999. — Т. 45. — № 1. — С. 72–76.
2. Харченко В.П., Чхиквадзе В.Д., Галил-Оглы Г.А. и др. Лечение рака легкого // Вопросы онкологии. — 1999. — Т. 45. — № 2. — С. 184–187.
3. Зырянов Б.Н., Афанасьев С.Г., Завьялов А.А., Мусабаева Л.И. Интраоперационная лучевая терапия. — Томск: Изд-во "STT", 1999. — 277 с.
4. Гроховский С.Л., Зубарев В.Е. Специфическое расщепление 2-х спиральной ДНК, индуцированное ионизацией атома платины рентгеновским облучением // Доклады АН СССР. — 1990. — Т. 313. — № 6. — С. 1500–1504.
5. Колпакова Н.А., Немова В.В., Стромберг А.Г. Возможности применения метода пленочной полярографии с накоплением для определения платины // Журн. аналит. химии. — 1971. — Т. 26. — № 6. — С. 1217–1220.

УДК 541.183

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДИОКСИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Е.А. Ханова, В.В. Коробочкин

Томский политехнический университет
E-mail: vkorobochkin@mail.ru

Методами дифференциально-термического, рентгенофазового и электронно-микроскопического анализов изучена пористая структура диоксида титана, синтезированного электролизом на переменном токе. Показано, что полученный продукт обладает высокими значениями удельной поверхности и сорбционной емкости. Выявлены закономерности изменения текстурных характеристик от температуры термообработки.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает диоксид титана структуры анатаза и рутила с низкими значениями удельной поверхности до $60 \text{ м}^2/\text{г}$ [1] для анатазной модификации. Такие продукты могут быть использованы для синтеза конденсаторных пьезоматериалов (анатаз) [2], как пигменты и наполнители (рутил) [3, 4]. Однако, производимый диоксид титана не удовлетворяет требованиям, предъявляемым современной промышленностью к сорбентам, катализаторам и их носителям [5, 6]. Различные модификации диоксида титана обладают специфическими свойствами, например, анатаз является преимущественно катализатором дегидратации, рутил — дегидрирования. В некоторых случаях каталитическую активность проявляют одновременно фазы анатаза и рутила [6]. Существенное значение для каталитических реакций, протекающих в диффузионной области, имеет отсутствие микропор [7].

С целью улучшения текстурных характеристик низкотемпературной модификации TiO_2 применяют методы гидротермальной обработки [5, 8, 9], различные варианты способов гидролиза TiCl_4 и осаждения [5, 10]. В результате существенно увеличивается удельная поверхность ($S_{уд}$) и сорбционная емкость (V_2) диоксида титана анатазной модификации (табл. 1). При этом преимущественный диаметр пор ($d_{пор}$) приходится на размеры 25...60 Å, что характеризует структуру, как близкую к микропористой [11]. Важной эксплуатационной характеристикой является диаметр агрегатов ($D_{агг}$).

Нами были изучены текстурные характеристики продуктов, полученных при различных параметрах электролиза титана на переменном токе. Во избежание влияния процессов старения на изменение параметров пористой структуры различных образцов все операции по отмывке продуктов от электролита проводились в одинаковых условиях; время выдержки геля составляло 10 суток.

Адсорбционные измерения проводили на комбинированном приборе ASAP 2400 Micromeritics (Институт Катализа, г. Новосибирск) и объемной вакуумной статической автоматизированной установке "Sorptomatic-1900" (филиал Института Катализа, г. Омск). В качестве газа для определения текстурных характеристик использовали азот, как общепринятый стандартный адсорбат. Расчет удельной поверхности проводили в интервале равновесных относительных давлений паров азота $P/P_0 = 0,05...0,33$ с помощью метода БЭТ [8] (по изотерме адсорбции). При расчетах принята величина молекулярной посадочной площадки азота в заполненном монослое $\omega_m = 0,162 \text{ нм}^2$. Погрешность измерения величины $S_{БЭТ}$ составляет $\Delta = \pm 2,8$ отн. %.

Суммарный (адсорбционный) объем пор определяли по величине адсорбции при $P/P_0 = 0,999$, принимая плотность адсорбированного азота как плотность нормальной жидкости. Кривые распределения пор по размерам и средние значения основных характеристик пористой структуры высушенных и прокаленных образцов рассчитывали с использованием специализированных программ к указанным

Таблица 1. Текстуры характеристики продуктов, полученных различными способами

T, °C	Способы получения диоксида титана											
	Промышленный [4]			Промышленный модифицированный [5]			Осаждения [6]			Электрохимический синтез на переменном токе		
	$S_{уд}$, м ² /г	V_{Σ} , см ³ /г	$D_{час}$, нм	$S_{уд}$, м ² /г	V_{Σ} , см ³ /г	$D_{час}$, нм	$S_{уд}$, м ² /г	V_{Σ} , см ³ /г	$D_{час}$, нм	$S_{уд}$, м ² /г	V_{Σ} , см ³ /г	$D_{час}$, нм
110	25	—	11	168	0,29	3...8	403	0,26	—	180	0,32	9
600	21	—	22	62	0,32	40	56	0,1	—	44	0,16	35
900	5	—	100	2	—	—	15	0,01	—	15	0,09	95

Таблица 2. Параметры пористой структуры продуктов электролиза титана, полученных при температуре 80 °C

Концентрация NaOH, % мас.	Плотность тока, А/см ²	Температура термообработки, °C	$S_{БЭГ}$, м ² /г	V_{Σ} , см ³ /г	$d_{пор}$, Å
45,0	1,5	110	134,9	0,187	55,4
		600	44,0	0,162	142,9
		900	15,0	0,087	184,1
46,5	1,5	110	87,2	0,156	88,5
		600	29,1	0,148	198,8
		900	5,7	0,026	214,3
46,5	2,0	110	162,2	0,238	73,2
		600	44,3	0,159	131,4
		900	9,0	0,073	203,2
45	2,0	110	180,5	0,319	70,7
46,5			162,2	0,238	73,2
46,5(центрифуга)			112,4	0,202	71,9
49,1			118,0	0,183	81,4

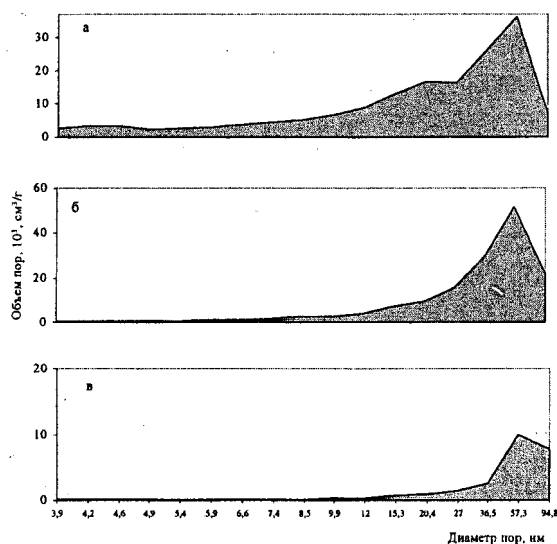


Рис. 1. Распределение пор по размерам образцов, прокаленных при температурах: а) 110, б) 600, в) 900 °C

приборам. Перед адсорбционными измерениями образцы тренировали 14...16 ч при давлении ~0,1 Па и температуре, исключающей протекание дегидратационных процессов (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что все сухие образцы, независимо от параметров электролиза, имеют удельную поверхность от 112 до 180 м²/г и суммарный объем

пор от 0,156 до 0,319 см³/г. Исключение составляет образец, полученный при $C_{NaOH} = 46,5$ % мас. и $i = 1,5$ А/см², для которого $S_{уд} = 87,2$ м²/г. Рассчитанный средний диаметр пор слабо зависит от изменений параметров электролиза и находится в интервале 70...80 Å, однако, прослеживается тенденция увеличения этого показателя с ростом концентрации раствора электролита при прочих равных условиях.

Образец, отмытый от электролита ($C_{NaOH} = 46,5$ % мас.) на центрифуге, имеет более низкую $S_{уд}$ по сравнению с тем же образцом, но отмытым путем декантации. Это, по нашему мнению, можно объяснить снижением агрегативной устойчивости и изменением плотности упаковки агрегатов под действием центробежных сил. Удельная поверхность закономерно уменьшается, хотя средний диаметр пор образцов изменяется незначительно.

Следует отметить, что средний диаметр пор сухих образцов, полученных методом электросинтеза на переменном токе в 2...2,5 раза больше, чем для продуктов гидролиза TiCl₄ с последующим осаждением гидратированного диоксида титана (ГДТ) раствором аммиака при pH = 8 [3, 5, 6]. С одной стороны, наличие большого количества мезопор в образцах электролиза титана на переменном токе (рис. 1, а) благоприятствует осуществлению каталитических реакций, протекающих в диффузионной области [7], но с другой, это приводит к уменьшению удельной поверхности.

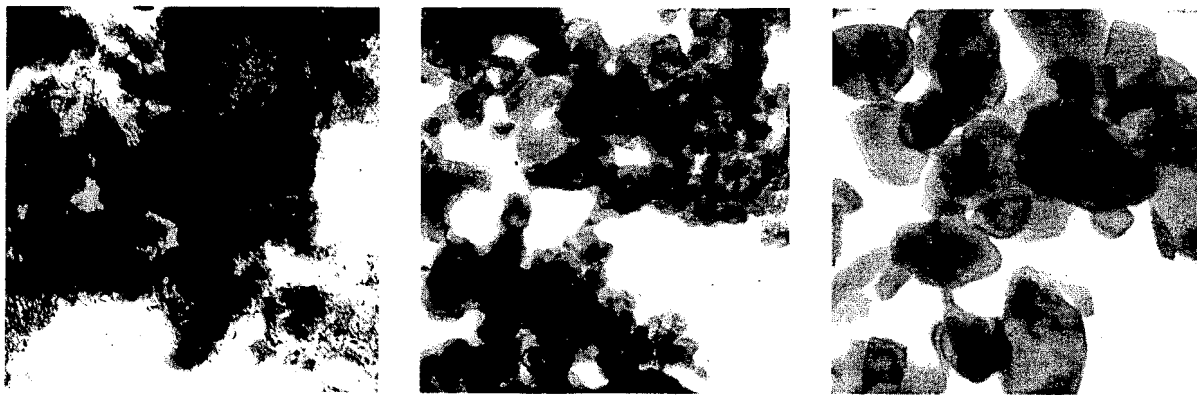


Рис. 2. Микрофотографии образцов, прокаленных при температурах: а) 110, б) 600, в) 900 °С, $\times 154000$

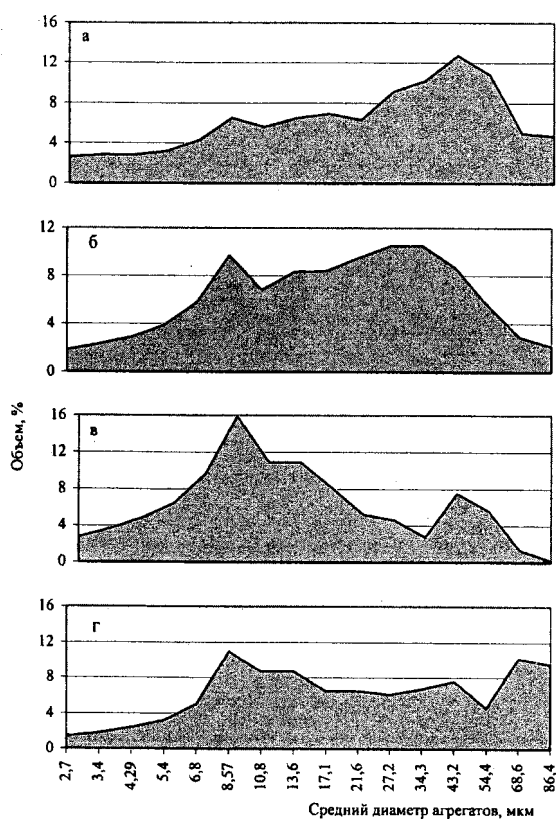


Рис. 3. Распределение агрегатов по размерам образцов, прокаленных при температурах: а, б) 110, в) 600, г) 900 °С

Сказанное является прямым следствием использования для электросинтеза ГДТ переменного тока и концентрированных растворов NaOH (45...49 % мас.) при электролизе. Эти факторы способствуют формированию более крупнопористой структуры продукта. Аналогичное воздействие оказывает повышение концентрации растворов реагентов при использовании метода осаждения ГДТ [7]. Как было показано ранее [12, 13] и, в дальнейшем, развито в работах [8, 14], структура продуктов осаждения состоит из агрегатов, состоящих из цепочек и гроздей, пространственно связанных между собой межмолекулярными или валентными силами.

Объемная упаковка представляет рыхлое, но прочное сооружение, которое незначительно подвергается сжатию при сушке [7].

Проведенные электронно-микроскопические (ЭМ) исследования в проходящем свете с помощью микроскопа ЭМ-125 показали, что наши образцы, высушенные при 110 °С, представляют собой агрегаты мелких частиц, различающиеся формой и размерами. Оценка кажущегося диаметра частиц дает значения 30...40 Å, что согласуется с данными, представленными в работе [15]. В качестве примера, на рис. 2, а приведена микрофотография продукта, синтезированного при C_{NaOH} равной 45 % мас., и плотности тока 1,5 А/см². Для других сухих образцов ЭМ картина аналогична.

Средний размер агрегатов, определенный методом динамического светорассеяния на установке Coulter TA-II, составляет 29 мкм. Из диаграмм распределения агрегатов по размерам (рис. 3) видно, что характер изменения дифференциальных кривых очень похож, а меньший средний диаметр centrifugированного образца (21,5 мкм) объясняется вышеуказанными причинами уплотнения каркаса.

На качество диоксида титана в значительной мере влияет температура термообработки, при которой происходит рост кристаллов внутри мицеллы (агрегата) с образованием одного кристалла, размеры которого определяются размерами первичной мицеллы. В табл. 2 приведены результаты исследования пористой структуры продуктов электросинтеза, в зависимости от температуры термообработки. Как видно из табл. 2, увеличение температуры прокаливания до 900 °С приводит к постепенному уменьшению удельной поверхности и симбатному изменению объема пор для всех образцов, независимо от параметров электролиза. В это время, видимо, изменяется механизм роста кристаллов — они объединяются с образованием частиц. Мы связываем это с последовательным протеканием различных процессов: дегидратация и превращение исходного аморфного ГДТ в кристаллический анатаз, переход анатаза в рутил и рекристаллизация. Все это хорошо согласуется с литературными данными [5, 8] и

подтверждается результатами рентгенофазового анализа. Зависимости удельной поверхности от температуры термообработки продуктов, полученных при плотности переменного тока $1,5 \text{ А/см}^2$ и различных концентрациях электролита, приведены на рис. 4. Видно, что самые высокие значения $S_{уд}$ у аморфных образцов.

При увеличении температуры этот показатель закономерно уменьшается – растет содержание рутильной модификации в продукте TiO_2 . Дополнительно к данным табл. 2 были выполнены измерения $S_{уд}$ образцов, полученных при различных концентрациях электролита, а также плотностях переменного тока. Обнаружено, что продукт, полученный при концентрации электролита 45 % мас., имеет более высокие (в 1,5 раза) значения удельной поверхности, по сравнению с синтезированным при концентрации NaOH , равной 46,5 % мас., во всем интервале термообработки. Мы это связываем с более высокой температурой кристаллизации анатаза и перехода анатаза в рутил. При этом $S_{уд}$ образца, прокаленного при 900°C , существенно выше, чем для продуктов, приведенных в табл. 1, за исключением синтезированного методом осаждения [6].

С ростом концентрации NaOH в электролите значение удельной поверхности снижается до $118 \text{ м}^2/\text{г}$ (см. табл. 2). Более существенное увеличение $S_{уд}$ достигается при росте плотности переменного тока. Изменение этого параметра от $1,5$ до 2 А/см^2 для продукта, полученного при C_{NaOH} , равной 46,5 % мас., способствует возрастанию удельной поверхности в 1,8 раза. По-видимому, такая же зависимость имеет место для продуктов, полученных при $C_{\text{NaOH}} = 45 \text{ % мас.}$ Адсорбционные измерения образцов, синтезированных при $i = 2 \text{ А/см}^2$, дали значения $S_{уд} = 180,5 \text{ м}^2/\text{г}$ (сухой) и $61,4 \text{ м}^2/\text{г}$ (прокаленный при 600°C). Указанная тенденция к росту удельной поверхности объясняется созданием более неравновесных условий протекания стадий электрохимического процесса с увеличением плотности переменного тока [16]. Чередование процессов кристаллизации и растворения ГДТ на поверхности TiO_2 [17] в более жестких условиях (высокая плотность тока) приводит, по нашему мнению, к формированию фазы с большей дисперсностью за счет снижения скорости роста зародышей. К сожалению, с помощью ЭМ исследований нам не удалось с достаточной степенью достоверности подтвердить эти рассуждения. Для всех образцов симбатно с удельной поверхностью уменьшается адсорбционный объем, в основном за счет исчезновения мелких пор, что иллюстрирует рис. 1, б, в. Как видно из рис. 1, после прокаливания при 900°C образец практически не пористый.

Электронно-микроскопический снимок образца (рис. 2, б), прокаленного при 600°C , свидетельствует об увеличении среднего диаметра частиц до $50\text{--}70 \text{ нм}$ за счет возникновения более крупнодисперсной фазы рутила. В то же время, средний размер агрегатов уменьшается до $12,5 \text{ мкм}$ (рис. 3, в).

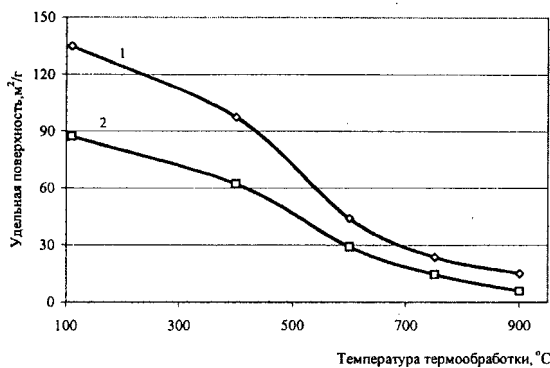


Рис. 4. Зависимость удельной поверхности от температуры термообработки при концентрации NaOH : 1) 45; 2) 46,5 % мас.

Этому способствует протекание процессов дегидратации и кристаллизации в интервале температур $110\text{--}550^\circ\text{C}$. Прокаленный при 900°C образец представляет собой рутильную фазу с кажущимся диаметром частиц $\sim 200 \text{ нм}$ (рис. 2, в). Увеличение размеров кристаллов при термообработке выше 600°C подчиняется общим закономерностям процесса рекристаллизации дисперсных порошков [15] и приводит к укрупнению агрегатов до среднего размера 22 мкм (рис. 3, з), а среднего диаметра пор до $180\text{--}215 \text{ \AA}$. Сравнивая наши данные по значениям дисперсности и удельной поверхности с приведенными физико-техническими показателями важнейших белых пигментов [19], можно сказать, что продукт, полученный электросинтезом на переменном токе и прокаленный при температуре 900°C , может быть использован как пигмент в лакокрасочных материалах.

Учитывая, что к настоящему времени считается доказанной шарообразная форма первичных частиц диоксида титана, собранных в гроздь [8], можно для ориентировочной оценки числа частиц в агрегате воспользоваться формулой, связывающей дисперсность порошков с их удельной поверхностью [18]:

$$l = \frac{6}{\rho \cdot S_{уд}}$$

Расчет по формуле размера частиц сухого образца ($S_{уд} = 180 \text{ м}^2/\text{г}$) дает значение, равное 9 нм ; прокаленного при 600°C ($S_{уд} = 44 \text{ м}^2/\text{г}$) – 35 нм ; при 900°C ($S_{уд} = 15 \text{ м}^2/\text{г}$) – 95 нм . Следовательно, при указанных ранее средних размерах агрегатов, число частиц в них будет 2390, 360 и 230 для сухого, прокаленного при 600 и 900°C образцов, соответственно. Полученные данные находятся в согласии с рядом экспериментальных исследований текстурных характеристик ГДТ, синтезированного методом осаждения [6] и продуктов его термообработки.

На самом деле, как видно из микрофотографий (рис. 2), плотность упаковки агрегатов с температурой прокаливания изменяется, и это может сказываться на некотором несоответствии данных, полученных ЭМ методом, при сравнении с рассчитанными на основании приведенного выражения.

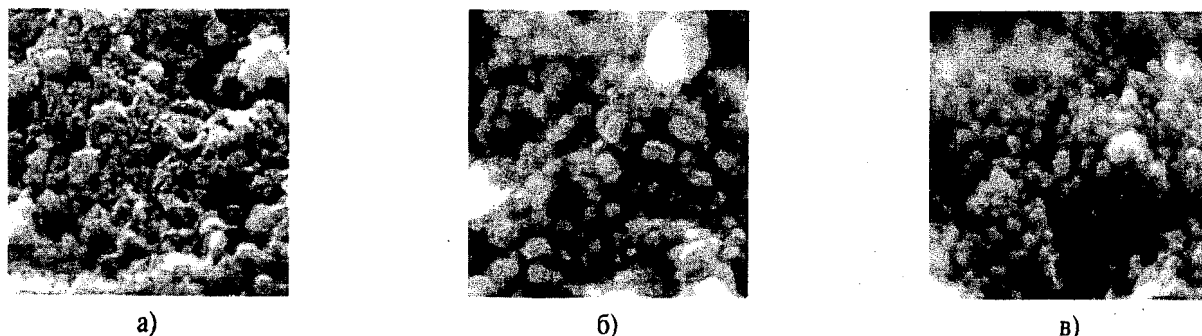


Рис. 5. Микрофотографии поверхности образцов, прокаленных при температурах: а) 110, б) 600, в) 900 °С, х40000

Анализируя микрофотографии, полученные с помощью микроскопа фирмы JEOL IEM-100 CX II со сканирующей приставкой ASID-4D (Япония), и сопоставляя с выше изложенным, можно сказать, что поверхность сухого образца (рис. 5, а) имеет рыхлую структуру. Увеличение температуры термообработки до 600 °С (рис. 5, б) приводит к образованию первичных частиц TiO_2 (анатаза), что в свою очередь сопровождается сокращением размеров агрегатов и удельной поверхности. Более жесткая термообработка до 900 °С (рис. 5, в) приводит к дальнейшему увеличению количества грубодисперсной фазы (рутила) и уменьшению поверхности за счет процесса рекристаллизации – поверхность становится более однородной. Полученный при этом рутил отличается низкой дисперсностью и, благодаря более плотной упаковке ионов в кристаллах, превосходит анатаз по стабильности, плотности, твердо-

сти, показателю преломления, диэлектрической постоянной и обладает пониженной фотохимической активностью [19]. Следует отметить, что термообработанный при 900 °С продукт электрохимического синтеза характеризуется меньшей абразивностью, чем рутил, полученный парофазным гидролизом сульфатных солей титана.

Заключение

Проведенные исследования показали, что варьируя параметрами электрохимического синтеза и температурой прокаливания ГДТ, можно получать продукты с различными характеристиками пористой структуры. Крупнопористая структура диоксида титана, в сочетании с высокой удельной поверхностью, позволяет использовать предлагаемые продукты в качестве катализаторов и сорбентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муклиев В.И., Каримов И.А., Жуланов Н.К., Красилова Н.И. Получение диоксида титана с развитой удельной поверхностью // Персп. хим. технологии и материалы: Сб. статей межвуз. научно-техн. технической конференции, Пермь [1997]. – Пермь, 1998. – С. 22–29.
2. Добровольский И.П. Химия и технология оксидных соединений титана. – Свердловск, 1988. – 173 с.
3. Хазин Л.Г. Двуокись титана. – Л.: Химия, 1970. – 136 с.
4. Химическая технология неорганических веществ: В 2 кн. Кн. 1. Учебное пособие / Т.Г. Ахметова, Р.Т. Порфирьев, Л.Г. Гайсин и др.; Под ред. Т.Г. Ахметова. – М.: Высшая школа, 2002. – 688 с.
5. Зенковец Г.А., Гаврилов В.Ю., Крюкова Г.Н., Цыбуля С.В. Влияние условий термообработки оксидных ванадий-титановых катализаторов на формирование пористой структуры // Кинетика и катализ. – 1998. – Т. 39. – № 1. – С. 122–127.
6. Яцевская М.И., Ермоленко Н.Ф., Павлюкевич Л.А. Влияние термообработки на адсорбционные и каталитические свойства гидролизной двуокиси титана // Весці Акадэміі навук БССР. Сер. хім. навук. – 1972. – № 4. – С. 11–16.
7. Комаров В.С., Дубницкая И.В. Физико-химические основы регулирования пористой структуры адсорбентов и катализаторов. – Минск: Наука и техника, 1981. – 148 с.
8. Неймарк И.Е. Синтетические минеральные адсорбенты и носители катализаторов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 216 с.
9. Гаврилов В.Ю., Зенковец Г.А. Влияние условий получения оксидных титановых и титан-силикатных гелевых систем на параметры пористой структуры // Кинетика и катализ. – 1993. – Т. 34. – № 2. – С. 357–361.
10. Панфилов А.В., Муший Р.Я., Мазуркевич Я.С. Фотокаталитическая активность анатаза и рутила // Укр. хим. журнал. – 1962. – Т. 28. – № 5. – С. 589–594.
11. Коновалов Д.В. Разработка процесса получения оксида цинка с помощью переменного тока промышленной частоты. Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 110 с.
12. Берестнева З.Я., Корецкая Т.А., Каргин В.А. Электронно-микроскопическое исследование TiO_2 зольей и механизм образования коллоидных частиц // Коллоидный журнал. – 1950. – Т. 12. – № 5. – С. 338–341.
13. Берестнева З.Я., Константинопольская М.Б., Каргин В.А. О механизме кристаллизации коллоидной двуокиси титана // Коллоидный журнал. – 1960. – Т. 22. – № 5. – С. 557–559.

14. Леонтьев Е.А., Лукьянович В.М., Неймарк И.Е., Пионковская М.А. Исследование структуры гелей двуокиси титана независимыми методами // Изв. АН СССР. – 1958. – № 9. – С. 1037–1044.
15. Шейнкман А.И., Касперович В.М., Клещев Г.В. Исследование строения гидролизной двуокиси титана методом электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа // Неорганические материалы. – 1971. – Т. 7. – № 10. – С. 1794–1797.
16. Шульгин Л.П. Электрохимические процессы на переменном токе. – Л.: Наука, 1974. – 69 с.
17. Дудин В.И., Колотыркин Я.М. Растворение титана в щелочных растворах // Защита металлов. – 1969. – Т. 5. – № 4 – С. 388–393.
18. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1970. – 407 с.
19. Еримиров П.И., Индейкин Е.А., Толмачев Н.А. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. – Л.: Химия, 1987. – 200 с.

УДК 536.212.33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО

Г.Я. Мамонтов

Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: fire@fire.tsu.tomsk.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований пористой структуры четырех типов стеклопластиков после взаимодействия с высокотемпературными газовыми потоками. Получены зависимости величины открытой пористости от времени теплового воздействия. Определены значения начальной (исходной) пористости стеклопластиков. Рассчитаны значения эффективных радиусов микро- и макропор при различных временах высокотемпературного нагрева стеклопластиков. Сформулирована физическая модель формирования вторичной пористости в стеклопластиках в процессе термического разложения.

Введение

Модели высокотемпературного теплопереноса в таких распространенных теплозащитных материалах как стеклопластики разработаны достаточно давно [1, 2] и не только широко применяются на практике, но и находят применение в качестве базовых моделей для исследования процессов, протекающих в структурно неоднородных средах с интенсивными физико-химическими превращениями при высоких температурах [3, 4]. Реализация моделей [1, 2] возможна при наличии достоверной информации о теплофизических, термокинетических и структурных характеристиках стеклопластиков в условиях прогрева до высоких (500...1500 К) температур. Но если теплофизические и термокинетические характеристики стеклопластиков для многих материалов установлены с достаточно высокой надежностью, то по структурным характеристикам информация практически отсутствует.

Целью данной работы является экспериментальное исследование характеристик пористой структуры типичных стеклопластиков после одностороннего интенсивного прогрева высокотемпературным газовым потоком. В исходном состоянии полимерные композиционные материалы (ПКМ) имеют значительную общую (включая открытую и закрытую) пористость, достигающую 5%. Это обусловлено как свойствами используемых материалов, так и техно-

логией изготовления полимерных композитов [5, 6]. В ПКМ различают пористость трех видов: полимерной матрицы, армирующего материала и межфазную [6]. Пористость смолы, например, обусловлена наличием воды, примесей и других растворителей, продуктов отверждения, а также технологией термообработки [7–9]. Структура армирующего наполнителя обладает развитой микропористостью. Внутриволокнистые поры имеют поперечный размер $35...70 \cdot 10^{-6}$ м. Межфазная пористость возникает за счет дефектов на границе раздела "полимерная матрица-наполнитель" [7–9]. С увеличением содержания стекловолокна плотность упаковки уменьшается, а удельная внутренняя поверхность и объем пор возрастает [8, 9].

Однако определяющую роль в процессах теплопереноса пористых тел играет не общая пористость, а открытые транспортные поры, обеспечивающие фазовую проницаемость материала [1, 2].

Формирование системы транспортных пор в ПКМ обусловлено, в основном, условиями взаимодействия материала с высокотемпературным газовым потоком [2].

Методика экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований с образцами стеклопластика в форме пластин использовалась экспериментальная установка