

ISSN 1999-4125 (Print) ISSN 2949-0642 (Online)

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА
И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUEL
AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 662.749.33

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-57-64

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ
МЕЗОФАЗЫ В КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ПЕКАХ И ИХ КАЧЕСТВЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК**

**Папин Андрей Владимирович, Неведров Александр Викторович,
Черкасова Татьяна Григорьевна, Боброва Ирина Витальевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: pav.httt@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

19 июля 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

29 сентября 2024 г.

Принята к публикации:

10 октября 2024 г.

Опубликована:

24 октября 2024 г.

Ключевые слова:

каменноугольная смола,
каменноугольный пек,
термический синтез,
углеродное волокно,
мезофазный пек, среда аргона.

Аннотация.

Мезофазный пек образует термотропный кристалл, что позволяет организовать подачу и формировать линейные цепочки без использования натяжения, тем самым получая углеродные волокна требуемой длины и высокого качества. Использование каменноугольного сырья (каменноугольной смолы – продукта высокотемпературного коксования каменных углей) для получения мезофазных пеков по сравнению с другими видами углеводородного сырья обеспечивает лучшее качество мезофазы в пеке, большее ее количество и более высокий выход мезофазного пека. При получении мезофазных пеков из каменноугольной смолы коксования каменных углей наиболее значимыми и оказывающими влияние на формирование мезофазы в каменноугольных пеках являются: 1) качество каменноугольной смолы (соответственно, качество каменных углей, идущих на коксование, технологии коксования, физический износ печей коксования каменных углей и сопутствующей аппаратуры и трубопроводов); 2) температура и период термовоздействия на каменноугольную смолу; 3) состав газовой среды в реакторе (ее инертность); 4) давление в реакторе. Изучена и установлена возможность получения из каменноугольной смолы ПАО «Кокс» мезофазных пеков. Исследования проводились при температурах, равных 390 °С и 420 °С в среде чистого аргона. Определены качественные характеристики пеков, проведен анализ полученных данных, а также сделано соответствие характеристик полученных мезофазных пеков с требуемыми значениями показателей качества сырья для получения из него углеродных волокон. Установлено, что при 420-440 °С получается мезофазный пек, который пригоден для получения углеродных волокон. Температуры синтеза в 400 °С недостаточно для формирования требуемого количества мезофазы и ее предельного размера по крупности.

Для цитирования: Папин А. В., Неведров А. В., Черкасова Т. Г., Боброва И. В. Оценка влияния различных факторов на формирование мезофазы в каменноугольных пеках и их качественных характеристик // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5 (165). С. 57–64. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-57-64, EDN: UXSPWU

Основным источником получения тяжелых углеводородных пеков является каменноугольная смола. Количественные ресурсы (запасы) каменноугольной смолы значительно ограничены производительностью коксохимических производств, соответственно, объемы и возможности производства каменноугольного пека также ограничены. Коксохимическая промышленность России пока не обеспечивает и половины ее потребностей в пеке [1, 2, 3].

Особенную ценность и интерес для наукоемкой и высокотехнологичной продукции представляют мезофазные пеки – уникальное сырье для получения высококачественных углеродных волокон. Благодаря целому набору уникальных свойств (низкий вес и плотность, высокая прочность и химическая стойкость, термостойкость, высокие электрофизические характеристики) продукты на основе углеродных волокон имеют широкую область применения [3, 4, 5, 6].

Углеродные волокна, сделанные на основе полиакрилонитрильных и вискозных волокон, значительно уступают по свойствам углеродным волокнам, полученным из мезофазного пека. Поэтому разработка и реализация технологии, всестороннее полное исследование мезофазных пеков, а также влияние различных факторов на образование и размер мезофазы в пеке является актуальным направлением для исследований и изучения [5, 7].

Существует множество методов производства мезофазных пеков из разного углеводородного сырья. Важнейшей характеристикой мезофазных пеков из углеводородного сырья является высокая степень молекулярной упорядоченности атомов углерода. Ввиду этой причины самым важным вопросом является получение мезофазы, ее количества и ее крупности в пеке, контроль ее качества, а также максимально возможное отсутствие α_1 -фракции – карбонидов (кокса, угля и т. д.)

При классической атмосферной отгонке низкомолекулярных соединений из каменноугольной смолы происходит концентрирование высокомолекулярных

фракций. Высокомолекулярные вакуум-дистиллированные каменноугольные пеки получают путем непрерывной дистилляции либо каменноугольной смолы, либо уже среднетемпературного пека, полученного после атмосферной отгонки низкомолекулярных соединений при температуре до 380°C. Получаемые высокомолекулярные каменноугольные пеки содержат мало вторичной α_1 -фракции (температура не достаточна для образования центров кристаллизации коксообразования), что способствует получению качественного пезофазного пека и в итоге высококачественного углеродного волокна на его основе.

Далее, если провести дополнительную термическую обработку, молекулярная масса полученного пека значительно вырастет. Температура и длительность термической обработки определяют содержание, размеры и качество образующейся мезофазы [6].

Использование каменноугольной смолы для получения мезофазного пека является более перспективным, чем использование нефтяного сырья, так как это в итоге приводит к получению наиболее качественной продукции [7].

При нагревании каменноугольных пеков при температуре от 350 до 500°C в пеке появляются стабильные мезофазные сферы (мезосферы) небольшого диаметра, размер которых может увеличиваться по мере увеличения температуры и периода термовоздействия на пек. Мезосферы состоят из четко ориентированных в одном направлении молекулярных слоев. Они представляют фактически мезофазу и наблюдаются через микроскоп в отраженном поляризованном свете [8].

Если провести дальнейший нагрев, то размер мезосфер продолжит расти вплоть до образования слияния мезосфер друг с другом, образуется объемная мезофаза. Дальнейший нагрев приводит к коалесценции мезофазы и образованию кристаллической структуры кокса.

Таким образом, механизм процесса формирования мезофазы в мезофазных пеках идет по следующей схеме (Рис. 1) [9, 10, 11].

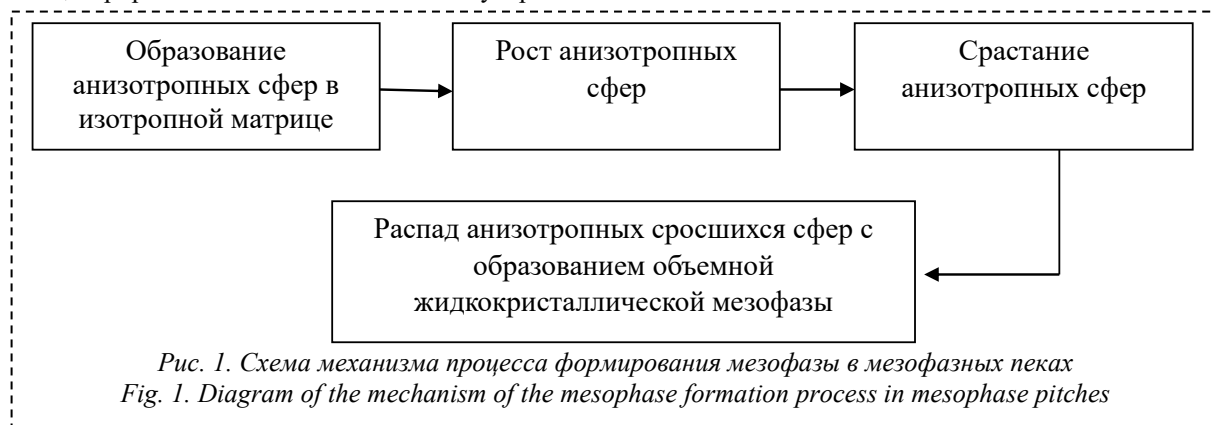


Таблица 1. Качественные показатели каменноугольной смолы ПАО «Кокс»
Table 1. Qualitative characteristics of coal tar of ПАО "Koks"

№ п/п	Наименование	Качественные характеристики				
		Плотность, г/см ³	Содержание воды, %	Вещества нерастворимые в толуоле, %	Вещества нерастворимые в хинолине, %	Зольность, %
1	Каменноугольная смола ПАО «Кокс» от 23.06.2023	1,198	2,0	11,0	6,7	0,1

После термического воздействия (выше 400°C) на каменноугольный пек, получаемый при перегонке каменноугольной смолы под вакуумом, в получаемом уже мезофазном пеке наблюдается довольно высокое значение количественного содержания мезофазы [12].

Известно, что термическое воздействие на каменноугольную смолу для получения мезофазного пека должно осуществляться при температуре в реакторе не ниже 400°C и время термообработки каменноугольной смолы должно быть не менее 14 часов [13].

При снижении времени термического воздействия на каменноугольную смолу содержание мезофазы в получаемом пеке заметно снижается, ее размеры также становятся малы.

Термообработка углеводородных пеков (каменноугольных и нефтяных) обязательно должна проводиться в инертной среде, так как окисление, тем более при высоких температурах, значительно способствует возможности протекания реакций, которые препятствуют росту мезосфер в мезофазе и их количества [14, 15, 16].

Еще одним важным фактором является высокое значение вязкости каменноугольной смолы, зависящее от содержания в ней нерастворимых веществ в хинолине, что также сильно затрудняет образование и рост мезосфер и в итоге всей мезофазы.

В Институте химических и нефтегазовых технологий (ИХНТ) ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ) с учетом опыта эксплуатации лабораторных установок по вакуумной и атмосферной перегонкам каменноугольной смолы [17, 18] проведены исследования качества получаемых продуктов перегонки каменноугольной смолы, процесса коксования каменных углей, разработана технология получения мезофазного пека из каменноугольной смолы промышленного партнера проекта КНТП ПАО «Кокс».

Исследованиями установлено и подтверждено, что влияние на формирование мезосфер и мезофазной структуры

каменноугольных пеков, а также на качество пека оказывают: показатели качества исходной каменноугольной смолы, температура термосинтеза и периода термообработки пека, а также высокая инертность газовой среды в реакторе.

На предприятии промышленного партнера ПАО «Кокс» вырабатывается каменноугольная смола со следующими показателями качества, представленными в Таблице 1.

Из полученных данных видно, что получаемая каменноугольная смола близка по показателям нормы для марки А, 2 сорта.

Каменноугольная смола содержит небольшое количество воды, препятствующей проведению процессов ее переработки. Поэтому в хранилище смолы производится ее отстой от воды при температуре 90-110°C.

После окончания обезвоживания каменноугольной смолы передача из хранилища в сборник обезвоженной смолы производится с помощью центробежного насоса периодически, по мере увеличения уровня смолы в сборнике.

Далее исходная обезвоженная каменноугольная смола подвергается перегонке под вакуумом для получения фракции при температуре до 440°C. Полученный остаток – тяжелая фракция – представляет собой каменноугольный пек, по показателям качества соответствующий электродному пеку. Данная фракция (электродный пек) для дальнейшей переработки не используется и является одним из целевых продуктов (его можно использовать для получения мезофазного пека, но нужно проводить дополнительное гидрирование и т. д.)

Для получения мезофазного пека необходим отогнанный до температуры 440°C дистиллят. Дистиллят загружался в реактор и подвергался температурному воздействию до 490°C и давлению (до 70-80 атмосфер). Получение мезофазного пека проводится в инертной среде, для этого в рабочее пространство реактора подавался чистый аргон. Период синтеза варьировался с целью получения качественного мезофазного пека.

В завершение процесса проводилась еще одна повторная отгонка легких фракций, которые в

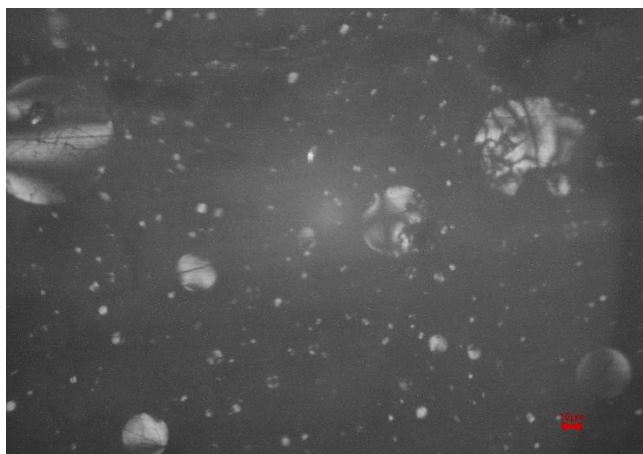


Рис. 2. Изображение (фотография) поверхности аншлифов образца мезофазного пека (полученных при режиме 2), под микроскопом при увеличении 60X, в отраженном поляризованном свете
Fig. 2. Image (photograph) of the surface of the mesophase pitch sample (obtained under mode 2), under a microscope at 60X magnification, in reflected polarizing light

процессе синтеза являются побочными продуктами при температуре 430-440°C. Далее полученный мезофазный пек медленно охлаждался и выгружается из реактора.

НИИ «Графит» и КузГТУ был проведен ряд опытных экспериментов по получению мезофазного пека из каменноугольной смолы ПАО «Кокс».

Эксперименты проводились по следующей режимной схеме: 1) режим №1 – термообработка при 400°C и давлении до 70 атмосфер и в течение времени выдержки в реакторе 8, 16, 24, 32 часа; 2) режим №2 – термическая обработка при 400°C и давлении до 70 атмосфер и в течение времени выдержки (периоде температурного воздействия) в реакторе 52 часа;

3) режим №3 – термообработка при 440°C и давлении до 70 атмосфер в течение времени температурного воздействия 15 часов и более 4 часов после достижения критической температуры – 450°C. Время выдержки (период термообработки) в реакторе позволяет управлять образованием мезофазы, ее количеством и размерами мезосфер.

При реализации процесса синтеза мезофазного пека по режиму №1 не был получен мезофазный пек, после окончания проведения процесса из реактора извлекалось исходное сырье без значительного изменения свойств. Проведение процесса получения мезофазного пека согласно параметрам режима №2 позволило синтезировать мезофазный пек, однако содержание мезофазы в нем было низким и ее размер был мелким. Соответственно, при данной температуре, равной 400°C, период выдержки практически не влияет на образование мезофазы в пеке, очевидно,

требуется повышение температуры при термообработке. При реализации процесса синтеза мезофазного пека согласно параметрам режима №3 был получен мезофазный пек с содержанием мезофазы более 50%, предельный размер частиц мезофазы был более 100 мкм.

Целью дальнейшего исследования было определение предельного размера мезосфер в мезофазном пеке. Анализ производился согласно методике ASTM D 4616-95R18, а также определялось общее процентное количество мезофазы в пеке. Были сделаны, согласно методике, аншлифы для исследования мезофазы в пеке методом оптической микроскопии в отраженном поляризованном свете.

Таблица 2. Сравнение характеристик мезофазного пека на соответствие нормативным
Table 2. Comparison of mesophase pitch characteristics for compliance with regulatory requirements

№	Наименование показателя	Экспериментальные значения	Нормативные (требуемые) значения
1	Содержание мезофазы, % об.	56	не менее 40
2	Межплоткостное расстояние - d, нм	0,3363	не более 0,338
3	Содержание летучих веществ в пеке, % мас.	17,7	не более 40
4	Зольность, % мас.	0,07	не более 0,50
5	Внешний вид (описание)	Твердый, цвет черный	–
6	Предельный размер частиц мезофазы в пеке, мкм	106	не менее 100

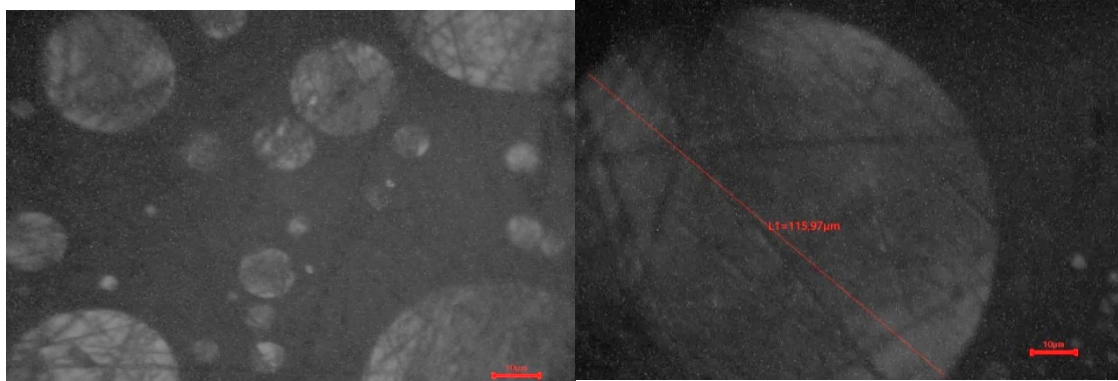


Рис. 3. Изображения (фотографии) поверхности шлифов образца мезофазного пека (режим 3), при увеличении 60X и 100X методом оптической микроскопии в отраженном поляризованном свете
 Fig. 3. Images (photographs) of the surface of the mesophase pitch sample (mode 3), at magnification of 60X and 100X by optical microscopy in reflected polarizing light

На Рис. 2 представлены фотографии поверхности шлифов образца мезофазного пека (полученного по режиму №2) при увеличении 60X.

Также для образцов мезофазного пека были исследованы качественные характеристики, дающие общее представление о качестве мезофазного пека. Результаты экспериментальных исследований представлены в Таблице 1.

Результаты исследований, представленные в Таблице 2, показывают, что качество полученного мезофазного пека соответствует требованиям, предъявляемым к пекам для получения углеродных волокон.

Выбранный температурный режим (режим №3) стадии получения мезофазного пека, соответствующий температуре 420-440°C, обеспечивает необходимые технические условия для формирования мезофаз и роста мезофазы в каменноугольном пеке.

В свою очередь, важнейшим вопросом является пригодность полученного мезофазного пека для производства высококачественного углеродного волокна. Безусловно, одним из основных параметров тут выступает групповой (или фракционный) состав. Таким образом, методом селективной экстракции растворителями пеки разделяют на следующий ряд фракций: γ -фракция – нейтральные смолы или мальтены, растворимые в легком бензине и насыщенных углеводородах (гептане и др.); β -фракция – асфальтены, нерастворимые в предельных углеводородах, но растворимые в горячем бензоле, толуоле; α -фракция – карбены, нерастворимые в бензоле, но растворимые в хинолине; α_1 -фракция – карбоиды, практически нерастворимые в известных растворителях [19].

От наличия этих фракций и их количественного соотношения значительно зависят их волокнообразующие свойства [19]. Зачастую при образовании мезофазы образуются и центры ее кристаллизации, перерождения

мезофазы в анизотропный полукокс, в итоге составляющий α_1 -фракцию, препятствующую получению качественных углеродных волокон [20].

На Рис. 3 представлены фотографии поверхности шлифов образца мезофазного пека (полученного при режиме 3) в отраженном поляризованном свете, при увеличении 60X и 100X.

С помощью программного обеспечения было установлено, что содержание мезофазы в образце полученного пека составляет более 50%, а предельный размер мезофазы – более 100 мкм.

Выводы:

Фотографии, полученные методом оптической микроскопии в отраженном поляризованном свете, микроструктуры шлифов образцов мезофазного пека, изготовленных по режимам 2 и 3, представлены на Рис. 1 и 2. Как видно из Рис. 1, температуры синтеза в 390°C (режим №2) недостаточно для формирования требуемого количества мезофазы и ее предельного размера по крупности.

Наибольший предельный размер частиц мезофазы (более 100 мкм) имеет образец, изготовленный согласно режима 3.

Проведение процесса синтеза мезофазного пека при температуре 420-440°C (режим №3) из каменноугольной смолы промышленного партнера ПАО «Кокс» позволяет получить мезофазный пек, качество которого соответствует требованиям для получения углеродных волокон.

Установлено, что наибольшее влияние на формирование мезофазы каменноугольных пеков оказывают: качество каменноугольной смолы, термообработка стадии получения мезофазного пека, продолжительность периода термообработки; также требуется инертный состав газовой среды в реакторе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин В. М., Чернышева Е. А. Проблемы и тенденции развития современного нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса России // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2010», Уфа: ГУП «ИНХП РБ». 2010. С. 18–19.
2. Мухамедзянова А. А., Абдуллин М. И., Мухамедзянов А. Т., Гимаев Р. Н. Кинетика образования мезофазы при термополиконденсации высокоароматизированных нефтяных остатков // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17. № 4. С. 1722–1725.
3. Marsh H., Diez M. Mesophase of graphitizable carbons. In: Shibaev V. P., Lam L., editors. Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers. New York: Springer-Verlag New York Inc; 1994. P. 231–257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7.
4. Mochida I., Korai Y., Ku C. [et al.] Chemistry of synthesis, structure, preparation and application of aromatic-derived mesophase pitch // Carbon. 2000. Vol. 2. P. 305–328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1.
5. Hurt R. H., Chen Z. Y. Liquid crystals and carbon materials // Physics Today. 2000. Vol. 53(3). P. 39–44. DOI: 10.1063/1.883020.
6. Конкин А. А. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна. М.: Химия, 1978. 424 с.
7. Кисельков Д. М., Москалев И. В., Стрельников В. Н. Углеродные материалы на основе каменноугольного сырья // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. 2013. № 2. С. 13–22.
8. Шешин Е. П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. Москва: Издательство МФТИ: Физматкнига, 2001. 287 с.
9. Thies M. C. Fractionation and characterization of carbonaceous pitch oligomers: understanding the building blocks for carbon materials. In: Naskar A. K., Hoffman W. P., editors. // Polymer Precursor-Derived Carbon. ACS Symposium Series. Washington, D.C.: American Chemical

Society; 2014. P. 85–136. DOI: 10.1021/bk-2014-1173.

10. Андрейков Е. И. Сырье для углеродных материалов на базе продуктов коксохимии и термического растворения углей // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. № 24. С. 317–323.
11. Yuan G., Jin Z., Zuo X. Effect of carbonaceous precursors on the structure of mesophase pitches and their derived cokes // Energy & Fuels. 2018. Vol. 32(8). P. 8329–8339.
12. Wombles R., Baron J. Laboratory anode comparison of Chinese modified pitch and vacuum distilled pitch // Light metals. 2006. Vol. 3. P. 535–540.
13. Сидоров О. Ф. Современные представления о процессе термоокисления каменноугольных пеков. Механизм взаимодействия кислорода с углеводородами пека // Кокс и химия. 2002. № 9. С. 35–43.
14. Смирнов Б. Н., Тянь Л. С., Фиалков А. С. Современные представления о механизме формирования структуры графитирующегося кокса // Успехи химии. 1976. № 10. С. 1731–1752.
15. Рубчевский В. Н., Чернышов Ю. А., Волох В. М. Разработка технологических приемов производства электродного пека без участия кислорода воздуха для увеличения его товарной ценности // Кокс и химия. 2009. № 4. С. 36–43.
16. Питюлин И. Н. Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов. Харьков: ИПЦ Контраст, 2004. 480 с.
17. Cherkasova T. G., Nevedrov A. V., Papin A. V. Coal tar pitch from atmospheric-vacuum distillation of coal tar // Ugol. 2024. Vol. 4. P. 27–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30.
18. Nevedrov A. V., Papin A. V., Cherkasova T. G. Characteristics of pitch produced by atmospheric distillation of coal tar // Ugol. 2023. S12. P. 98–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.
19. Валинурова Э. Р., Кудашева Ф. Х. Структурно-групповой состав волоконобразующих нефтяных пеков // Химия и химическая технология. 2015. Том 58. Вып. 7. С. 62–65.
20. Янко Э. А. Аноды алюминиевых электролизеров. М.: Руда и металлы, 2001. 671 с.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Папин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», +7(950)583-78-09, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Неведров Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», +7(92)616-73-84, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Черкасова Татьяна Григорьевна – доктор химических наук, профессор, научный руководитель Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», +7(961)726-55-00, e-mail: ctg.htnvn@kuzstu.ru

Боброва Ирина Витальевна – уч. мастер кафедры Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Папин Андрей Владимирович – обзор соответствующей литературы, научный менеджмент, написание текста.

Неведров Александр Викторович – концептуализация исследования, сбор и анализ данных, написание текста.

Черкасова Татьяна Григорьевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Боброва Ирина Витальевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE FORMATION OF MESOPHASE IN COAL PITCHES AND THEIR QUALITATIVE CHARACTERISTICS

Andrey V. Papin, Alexander V. Nevedrov,
Tatyana G. Cherkasova, Irina V. Bobrova

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: pav.httt@kuzstu.ru



Article info

Received:

19 July 2024

Accepted for publication:

29 September 2024

Accepted:

10 October 2024

Published:

24 October 2024

Keywords: coal tar and coal pitch, carbon fiber, thermal synthesis, mesophase pitch, argon medium.

Abstract.

The mesophase pitch forms a thermotropic crystal, which makes it possible to organize feeding and form linear chains without using tension, thereby obtaining carbon fibers of the required length and high quality. The use of coal raw materials (coal tar – a product of high-temperature coking of coal) for the production of mesophase pitches, compared with other types of hydrocarbon raw materials, it provides a better quality of the mesophase in the pitch, a larger amount of it and a higher yield of mesophase pitch. In the production of mesophase pitches from coal tar coking of hard coals, the most significant and influencing the formation of mesophase in coal pitches are: 1) the quality of coal tar (respectively, the quality of coking coals, coking technologies, physical wear of coal coking furnaces and related equipment and pipelines); 2) temperature and period of thermal effect on coal tar; 3) composition of the gas medium in the reactor (its inertia); 4) pressure in the reactor. The possibility of radiating mesophase pitches from coal tar of PJSC "Coke" has been studied and established. The studies were carried out at temperatures equal to 390 °C and 420 °C in pure argon medium. The qualitative characteristics of the pitches were determined, the data obtained were analyzed, and the characteristics of the obtained mesophase pitches were matched with the required values of the quality indicators of raw materials for the production of carbon fibers from it. It was found that at 420-440 °C, a mesophase pitch is obtained that is suitable for producing carbon fibers. The synthesis temperature of 400 °C is insufficient to form the required amount of mesophase and its maximum size in size.

For citation: Papin A.V., Nevedrov A.V., Cherkasova T.G., Bobrova I.V. Assessment of the influence of various factors on the formation of mesophase in coal pitches and their qualitative characteristics. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):57–64. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-57-64, EDN: UXSPWU

REFERENCES

1. Kapustin V.M., Chernysheva E.A. Problems and trends in the development of the modern oil refining and petrochemical complex of Russia. *Materials of the VI International scientific and practical conference "Oil and gas processing-2010"*. Ufa: SUE "INHP RB", 2010. P. 18-19.
2. Mukhametzyanova A.A., Abdullin M.I., Mukhametzyanov A.T., Gimaev R.N. Kinetics of mesophase

formation during thermopolycondensation of highly aromatized oil residues. *Bulletin of the Bashkir University*. 2012; 17(4):1722–1725.

3. Marsh H., Diez M. Mesophase of graphitizable carbons. In: Shibaev V.P., Lam L., editors. *Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers*. New York: Springer-Verlag New York Inc; 1994. P. 231–257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7.

4. Mochida I., Korai Y., Ku C., et al. Chemistry of synthesis, structure, preparation and application of aromatic-derived mesophase pitch. *Carbon*. 2000; 2:305–328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1.
5. Hurt R.H., Chen Z.Y. Liquid crystals and carbon materials. *Physics Today*. 2000; 53(3):39–44. DOI: 10.1063/1.883020.
6. Konkin A.A. Thermo-, heat-resistant and nonflammable fibers. Moscow: Khimiya; 1978. 424 p.
7. Kiselkov D.M., Moskalev I.V., Strelnikov V.N. Carbonaceous materials based on coal raw materials. *Bulletin of the Perm Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2013; 2:13–22.
8. Sheshin E.P. Surface structure and autoemission properties of carbon materials. Moscow: MIPT Publishing House: Fizmatkniga; 2001. 287 p.
9. Thies M.C. Fractionation and characterization of carbonaceous pitch oligomers: understanding the building blocks for carbon materials. In: Naskar A.K., Hoffman W.P., editors. *Polymer Precursor-Derived Carbon*. ACS Symposium Series. Washington, D.C.: American Chemical Society; 2014. P. 85–136. DOI: 10.1021/bk-2014-1173.
10. Andreikov E.I. Raw materials for carbon materials based on products of coke chemistry and thermal dissolution of coals. *Chemistry in the interests of sustainable development*. 2016; 24:317–323.
11. Yuan G., Jin Z, Zuo X. Effect of carbonaceous precursors on the structure of mesophase pitches and their derived cokes. *Energy & Fuels*. 2018; 32(8):8329–8339.
12. Wombles R., Baron J. Laboratory anode comparison of Chinese modified pitch and vacuum distilled pitch. *Light metals*. 2006; 3:535–540.
13. Sidorov O.F. Modern ideas about the process of thermal oxidation of coal pitches. The mechanism of interaction of oxygen with pitch hydrocarbons. *Coke and Chemistry*. 2002; 9:35–43.
14. Smirnov B.N., Tyan L.S., Fialkov A.S. Modern ideas about the mechanism of formation of the structure of gravitating coke. *Uspekhi khimii*. 1976; 10:1731–1752.
15. Rubchevsky V.N., Chernyshov Yu.A., Volokh V.M. Development of technological methods for the production of electrode pitch without the participation of oxygen in air to increase its marketable value. *Coke and Chemistry*. 2009; 4:36–43.
16. Pityulin I.N. Scientific and technological foundations of the creation of carbonaceous carbonaceous materials for large-sized electrodes. Kharkiv: CPI Contrast; 2004. 480 p.
17. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Coal tar pitch from atmospheric-vacuum distillation of coal tar. *Ugol*. 2024; 4:27–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30.
18. Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G. Characteristics of pitch produced by atmospheric distillation of coal tar. *Ugol*. 2023; S12:98–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.
19. Valinurova E.R., Kudasheva F.H. Structural and group composition of fiber-forming oil pitches. *Chemistry and chemical technology*. 2015; 58(7):62–65.
20. Yanko E.A. Anodes of aluminum electrolyzers. M.: Ore and metals; 2001. 671 p.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Andrey V. Papin – C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Alexander V. Nevedrov – C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical technology of solid fuels T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Tatiana G. Cherkasova – Dr. Sc. in Chemistry, Professor, Science director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies of the T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Irina V. Bobrova – academic master of the Department of Chemical technology of solid fuels T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: bobrovaiv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Andrey V. Papin – review of relevant literature, scientific management, writing the text.

Alexander V. Nevedrov – conceptualization of research, data collection and analysis, text writing.

Tatiana G. Cherkasova – review of relevant literature, data collection and analysis.

Irina V. Bobrova – review of relevant literature, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

