

УДК 665.777.4

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЯНОГО ИЗОТРОПНОГО
КОКСА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ УГЛЕРОДНЫХ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**PERSPECTIVES OF PRODUCING OIL ISOTROPIC COKE
AS A FILLER OF CARBON CONSTRUCTION MATERIALS**

Камалов Р.М., Юсупов М.Р., Лапшин И.Г., Запорин В.П.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

R.M. Kamalov, M.R. Yusupov, I.G. Lapshin, V.P Zaporin

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation
e-mail: djcod@yandex.ru,**

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы производства изотропного кокса. Несмотря на большое разнообразие производимых марок конструкционных графитов, выпускаемых как отечественными, так и зарубежными фирмами, исследования по созданию новых высокоплотных и высокопрочных графитов не утратили актуальность и продолжают интенсивно развиваться в связи с ростом потребности и эксплуатационных требований к этим материалам. Традиционно в России конструкционные графиты изготавливали на основе нефтяных пиролизных коксов марки КНПС по ГОСТ 22898-78 с псевдоизотропной структурой. В настоящее время выпуск нефтяных пиролизных коксов и материалов на их основе прекращен. Анализ состояния отечественной сырьевой базы по углеродному сырью, в частности по изотропному коксу и пекам, свидетельствует о практически полном отсутствии устойчивого

обеспечения потребителей качественным сырьем. Затягивание решения вопроса по организации промышленного производства высококачественного углеродистого сырья, может привести к упадку углеродной отрасли страны. Прекращение выпуска коксов марки КНПС служит толчком к поиску новых технологий по изготовлению конструкционных графитов на основе нефтяного сырья. Тяжелая смола пиролиза представляет большой интерес в качестве потенциального сырья для производства различных углеродных конструкционных материалов, она состоит из большого количества ароматических соединений и практически не содержит серы.

В работе приведена сравнительная характеристика тяжелых смол пиролиза применяемых в качестве сырья при получении изотропного кокса. Описано влияние ароматических углеводородов и карбоидных частиц в тяжелых смолах пиролиза на структуру продуктов коксования. Быстрейшее внедрение научных достижений и передового опыта будут способствовать развитию коксовых предприятий.

Abstract. The article is devoted to the problems of production of isotropic coke. Despite the wide variety of produced structural graphite types locally produced and produced by foreign firms, research into the creation of new high-density and high-strength graphite has not lost its relevance, and continues to develop intensively due to the growing demand and operational requirements for these materials. Traditionally in Russia, structural graphite were produced on the basis of petroleum pyrolysis coke of the brand KNPS according to GOST 22898-78 with a pseudo-isotropic structure. At present, the production of petroleum pyrolysis cokes and materials on their basis is lay-off. Raw materials locally produced analysis base for carbon raw materials (in particular for isotropic coke and pitches) indicates a virtually complete lack of sustainable providing with quality raw materials of consumers. Solution of organizing high-quality carbon raw materials industrial production task may lead to the decline of the country's carbon industry. The closure of the brand KNPS coke output is

the reason to the search for new technologies for the production of structural graphite based on petroleum raw materials. Heavy pyrolysis oil has great interest as a potential raw material for the various carbon structural materials production, it consists of a large number of aromatic compounds and practically does not contain sulfur. There is comparing the heavy pyrolysis resins characteristics used as raw materials for producing isotropic coke. The aromatic hydrocarbons and carbohydrate particles in heavy pyrolysis influence pitches on the coking products structure is described. The rapid introduction of scientific achievements and best practices will contribute to the coke enterprises development.

Ключевые слова: изотропный кокс, анизотропный кокс, углеродный конструкционный материал, пиролиз, коксование, тяжелые смолы пиролиза, карбоидные частицы.

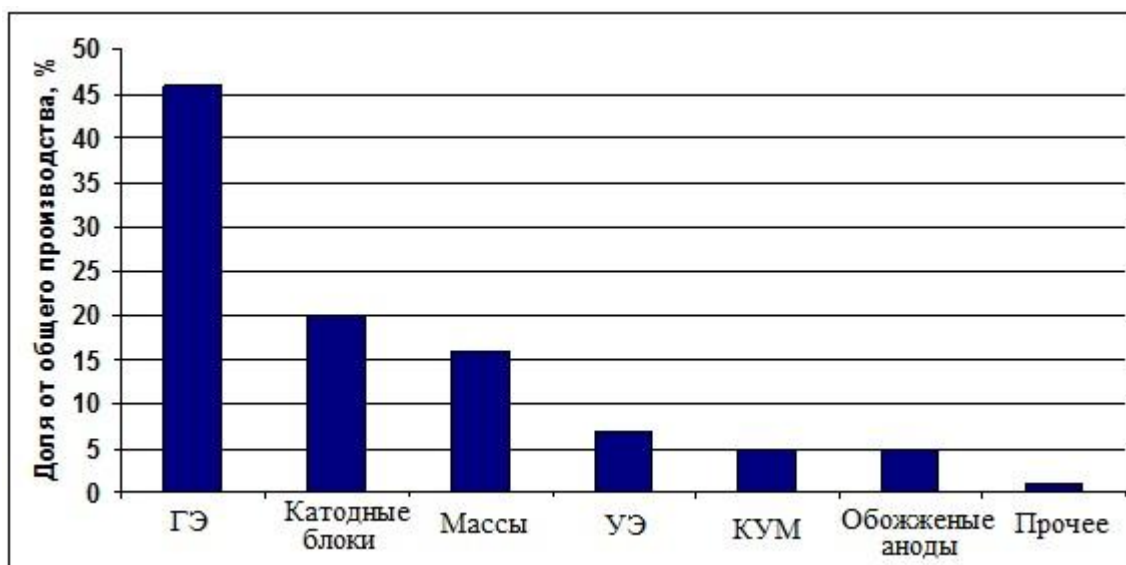
Key words: isotropic coke, anisotropic coke, carbon structural material, pyrolysis, coking, heavy pyrolysis oils, carboide particles.

Нефтяной, пековый и сланцевый кокс применяется в качестве основного сырья при производстве углеграфитовых материалов. Сырьем для получения таких коксов служат тяжелые нефтяные остатки, переработки нефти, каменного угля и горючих сланцев. В процессе термообработки при 2300 °С кокс превращается в графит [1].

Структура потребления технологического сырья электродными заводами России и производства конструкционных материалов определяется номенклатурой производимой продукции, а именно:

- 1) углеграфитовыми электродными блоками, массами и электродами для производства алюминия и кремния;
- 2) графитированными электродами для электросталеплавильных печей;
- 3) конструкционными графитами для всех отраслей промышленности.

Доли видов электродной продукции в общем товарном производстве российских электродных заводов (рисунок 1).



ГЭ – графитированные электроды;

катодные блоки – подовые и боковые блоки всех видов суммарно;

массы – товарные анодная, электродная, подовая массы;

УЭ – угольные электроды всех диаметров;

КУМ – конструкционные углеродные материалы всех видов и марок;

обожженные аноды – предварительно обожженные аноды всех типоразмеров с электродных заводов

Рисунок 1. Доля различных видов электродной продукции в товарном производстве электродных заводов [2]

Углеродные конструкционные материалы (УКМ) обладают разнообразным диапазоном потребительских свойств и широко используются во многих отраслях оборонной, ядерной и энергетической промышленности [3].

За рубежом для промышленного производства большинства марок конструкционного графита в качестве наполнителя используются нефтяные или пековые коксы, получаемые на установках замедленного коксования [4].

При измельчении нефтяного кокса замедленного коксования после прокаливания получают анизометричные структурированные частицы кокса. Учитывая, что для изготовления УКМ кокс должен обладать изотропной или псевдоизотропной структурой (это особенно важно при производстве конструктивных элементов ядерных реакторов), для снижения (уменьшения) степени анизотропии в высококачественных конструктивных материалах принимаются следующие меры:

- 1) в качестве основы (наполнителя) используют нефтяные или пековые коксы с изотропной структурой.
- 2) анизотропные материалы тонко измельчают, смешивают со связующим пеком, повторно измельчают и получают частицы с низкой анизотропией. Для получения сверхтонких графитов с размером частиц менее 1 мкм используют различные технологии: плазменное испарение, распыление в электрических или дуговых разрядах, центробежное разделение, лазерную обработку и т.д.;
- 3) используют новые способы формования изделий, например, изостатическое;
- 4) применяют технологию получения высококачественного графита без связующего пека;
- 5) используют получаемые по специальной технологии, так называемые мезофазные тонкоизмельченные шарики [5].

Промышленное производство кокса КНПС было организовано в 50-х годах по двухстадийной технологии: пиролиз керосиногазойлевых фракций в трубчатых печах с выносной реакционной камерой и коксование пиролизной (гидравлической) смолы в кубах [6]. Данная технология являлась уникальной и не имела аналогов в мире. Уникальность кокса КНПС заключалась в том, что в силу только ему присущих физико-механических и структурных особенностей, он был пригоден для изготовления принципиально различных марок УКМ без существенных изменений в технологии их получения. В этой связи

большая часть отечественной литературной информации в открытой печати была посвящена в основном вопросам изучения структурных особенностей кокса КНПС, особенностям формирования его микро- и макроструктуры и возможностям использования при производстве УКМ с различными потребительскими свойствами. Таким образом, развитие отечественной промышленности по производству УКМ было привязано к получению коксов со строго нормируемыми показателями качества.

После прекращения промышленного производства кокса КНПС разрабатывались технологии получения коксов с псевдоизотропной структурой на базе каменноугольных смол [2] и окисленной сланцевой смолы [7]. Однако, как показали исследования [1], каменноугольный кокс не является полным аналогом коксу КНПС, а производство кокса из окисленных сланцевых смол организовано в Эстонии на коксокубовых установках [7].

В настоящее время общепризнано, что многообразие свойств углеродных материалов обусловлено надмолекулярной структурой, формирование которой происходит на стадии мезофазных превращений. [1, 5, 8].

При слиянии сфер мезофазы, называемой коалесценцией, происходит переориентация их внутренней структуры. Сферы, образованные слоями плоских конденсированных ароматических колец, встраиваются в слои другой сферы, что сопровождается образованием дефектов, называемых дисклинацией (рисунок 2).

В общем виде динамика мезофазных превращения при карбонизации различных видов сырья лимитируется скоростью образования молекул необходимой структуры и текучестью, видом подачи сырья в реакционную камеру, а также химическим и компонентным составом сырья. То есть в зависимости от выбранных параметров представляется возможным получать коксы с различной структурной организацией: анизотропной или изотропной структуры (рисунок 3).

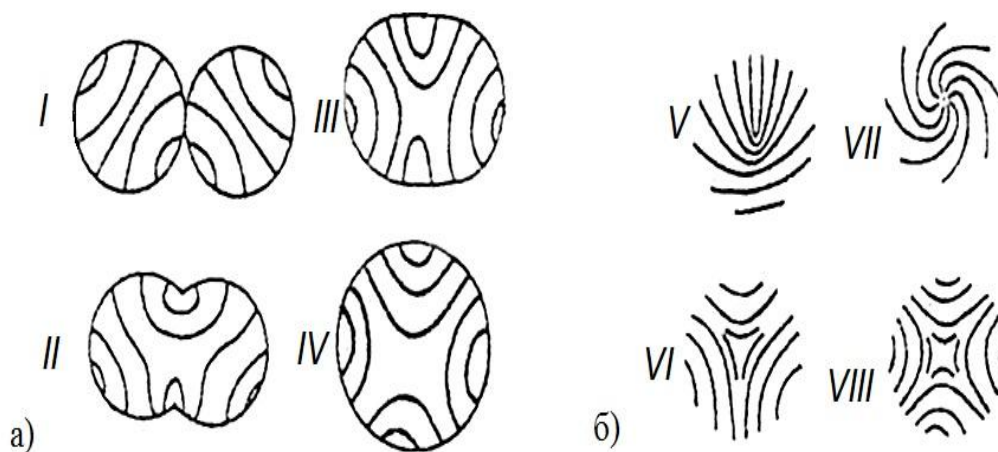


Рисунок 2. Схематическая модель коалесценции (а) и формирования дисклинационных структур (б) [8, 9]

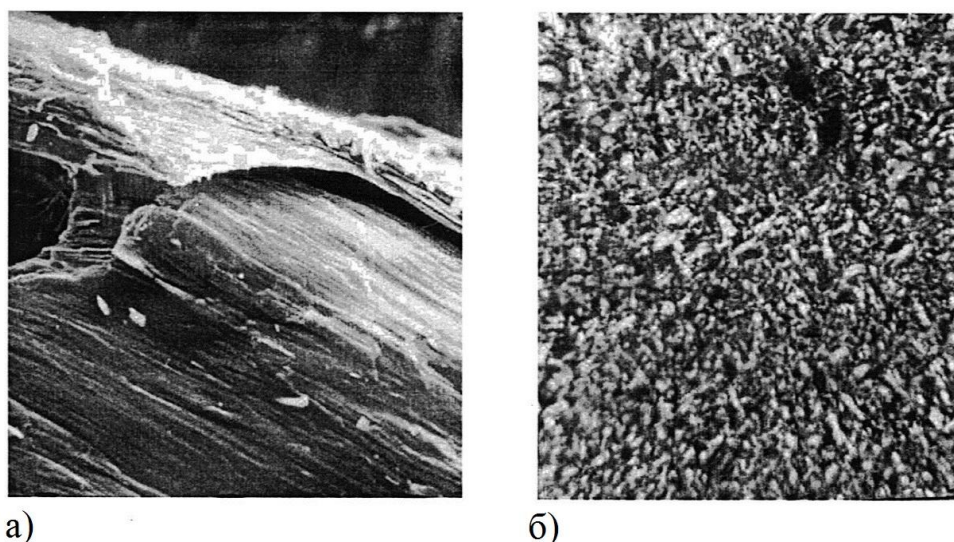


Рисунок 3. Анизотропный кокс (а) и кокс с изотропной структурой (б)

Схематически модель процесса карбонизации протекает следующим образом (рисунок 4). При температурах до 350 °С происходит отгонка легкокипящих фракций. С увеличением температуры начинаются процессы термического разложения и химической конденсации.

Определяющим фактором формирования структуры является слияние (ориентация) сфер мезофаз не вдоль оси плоскости полиядерных ароматических систем, а поперек направления плоскости, процесс, называемый поперечной шивкой. При этом при достаточной текучести сфер мезофазы протекают процессы вторичной ориентации, когда формируется сплошная мезофазная матрица (сплошной кокс). Поперечная

сшивка обусловлена низкой текучестью сфер мезофазы и формируется точечная мозаичная структура.

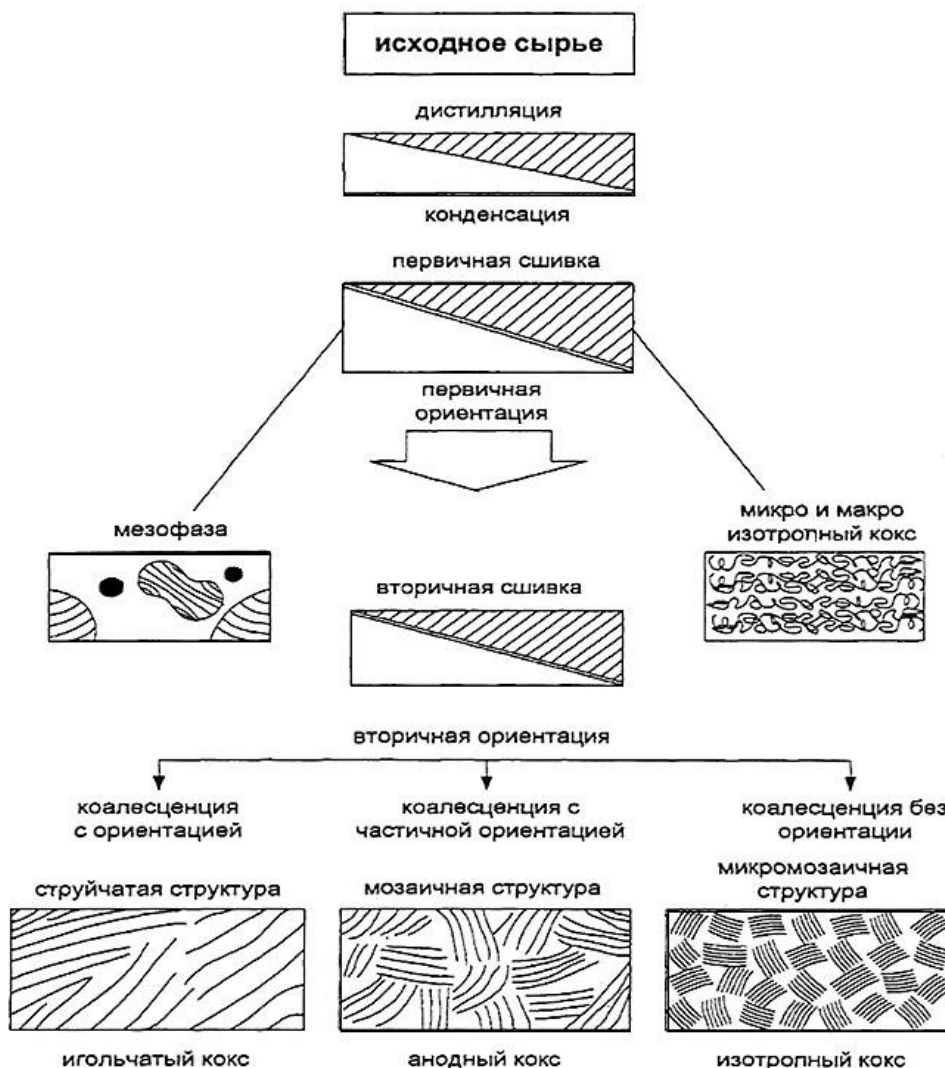


Рисунок 4. Механизм получения различных по структуре коксов [10]

Из огромного числа опубликованных работ можно сделать следующие предположения о причинах образования изотропной структуры коксов – аналогичной коксу КНПС:

- 1) разбавление компонентов сырья, дающих анизотропный углерод, компонентами, дающими изотропный углерод;
- 2) низкая скорость роста мезофазных сфер из-за высокого молекулярного веса или больших размеров молекул сырья;
- 3) рост сфер мезофазы тормозится из-за адсорбции на поверхности сфер мезофазы твердых частиц;

4) высокое (более 7-10 %) содержание гетероатомов (s, o₂, n) в исходном сырье может привести к полному подавлению мезофазных превращений.

Напротив, образование анизотропии струйчатого типа, характерной для игольчатого кокса, предполагает наличие высокопластичной мезофазы, способной к деформации и коалесценции за счет конвективных потоков и движений пузырьков газа через коксующуюся массу [9].

Со строительством многотоннажных этиленовых производств и утяжелением сырья пиролиза все актуальнее становится задача рационального использования тяжелых смол этого процесса. При пиролизе бензина выход тяжелых смол пиролиза (ТСП) составляет 4-5 %. Известно около 10 проработанных направлений использования ТСП, однако преимущественно они используются в качестве сырья для производства техуглерода, сырья коксования и компонента котельного топлива [5].

Гидравлическая смола была основным нефтяным сырьем для производства коксов КНПС с изотропной структурой, которую получали в процессе коксования ТСП. Принципиальным отличием гидравлической смолы от других нефтепродуктов является содержание в ней нерастворимых в толуоле веществ – карбоидов и низкое содержание серы до 0,1-0,2 %. Многочисленные исследования, проведенные специалистами НИИ Графит, ВНИИ НП и др., однозначно показали, что именно карбоидные частицы являются определяющим фактором формирования микроструктурной текстуры кокса, характерной для КНПС [6, 8-10].

Твердые карбоидные частицы имеют правильную сферическую форму с относительно узким диапазоном размеров (от долей микрона до 4 мкм), которые переходят в кокс без изменения размеров и структуры [11].

При искусственном обогащении ТСП карбоидами мягкого и жесткого режимов до 8 % получают коксы с пикнометрическими плотностями 2,05 и 2,02 г/см³ и различной структурой. Это, по мнению авторов [12], свидетельствует о различной структуре карбоидов. При добавлении к

смоле 8 % сажи получен кокс с плотностью $2,05 \text{ г/см}^3$ и микроструктурой, похожей на КНПС. Авторы [3] делают вывод, что насыщение сырья коксования сажеобразными частицами определенного размера позволит регулировать как выход кокса, так и анизотропию структурных составляющих.

При изучении влияния первичных хинолин нерастворимых веществ и мелких (менее 1 мкм в диаметре) углеродных частиц на химизм карбонизации получаемых коксов отмечается, что влияние мелких частиц на формирование структуры кокса необходимо оценивать со следующих позиций:

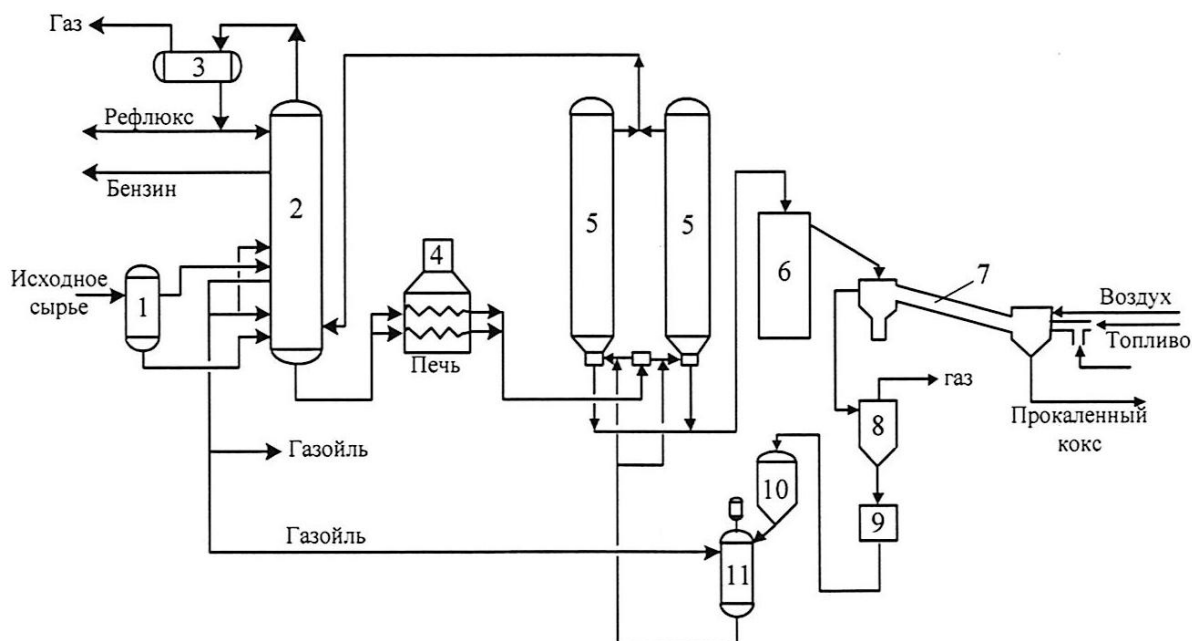
- 1) размера частиц;
- 2) элементного и минерального состава;
- 3) структуры и агломерации частиц;
- 4) поверхностной функциональности [10].

Эти факторы обуславливают микроструктуру получаемых коксов в присутствии твердых частиц. Введение в исходную смолу пиролиза саж создает «клеточную структуру», которая препятствует молекулярному движению вновь образующихся полициклических ароматических углеводородов к уже образовавшимся сферам мезофазы и их коалесценции, что и обуславливает получение кокса с изотропной структурой [13, 14].

Таким образом, предлагается реализация технологии получения псевдоизотропного кокса типа КНПС путем введения в какой-либо высокоароматизированный остаток с определенным набором физико-химических свойств углеродных добавок.

Многочисленные исследовательские данные о влиянии различных углеродных (и не только) добавок на механизм формирования микроструктурной организации коксов на стадии мезофазных превращений послужили основой для разработки зарубежных технологий промышленного производства изотропных коксов. По-видимому, одной из

первых таких технологий был процесс замедленного коксования нефтяного сырья с подачей в камеры коксования суспензии выносимых из прокалочной печи несгоревших мелких коксовых частичек в тяжелом газойле коксования (рисунок 5).



- 1 - сырьевая емкость;
- 2 - ректификационная колонна;
- 3 - рефлюксная емкость;
- 4 - реакционная печь;
- 5 - коксовая камера;
- 6 - коксовый бункер;
- 7 - барабанная прокалочная печь;
- 8 - циклон;
- 9 - холодильник;
- 10 - накопитель;
- 11 - шлам

Рисунок 5. Схема УЗК с получением изотропного кокса [15]

Японскими специалистами компаний Nippon Steel Chemical Co., Ltd (NSCC) и Mitsubishi Chemical Industries независимо друг от друга была разработана и реализована в промышленных условиях технология замедленного коксования с возможностью получения из каменноугольного пека трех различных по структуре пековых коксов. Эту же технологию можно применить при коксовании ТСП (рисунок 6).

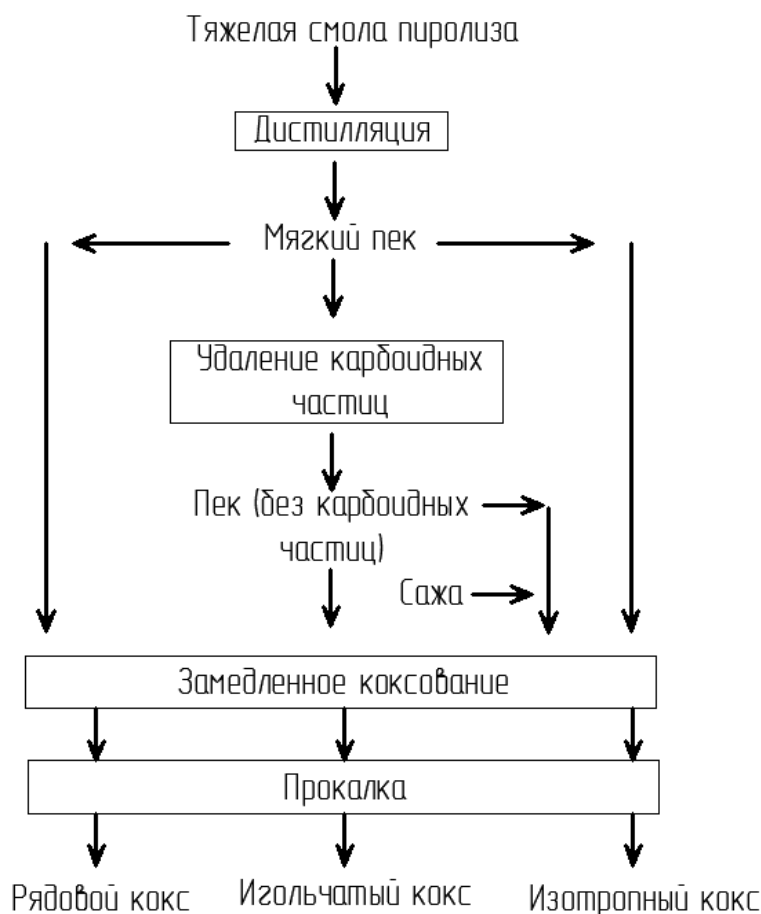


Рисунок 6. Технология получения трех видов коксов из тяжелой смолы пиролиза [16]

Вывод

Изучив динамику образования мезофазы и структуру полученного кокса, представляется возможным подобрать оптимальное сырье для производства изотропного кокса. В качестве сырья наиболее подходящим являются ТСП с низким содержанием серы, а в качестве углеродной добавки – различные виды углеродных саж. Данная технология, реализованная на установке замедленного коксования, позволит получать два вида кокса с различной структурной организацией.

Список используемых источников

1. Смирнов Б.Н., Тян Л.С., Фиалков А.С., Галкин Т.Ю., Галеев Г.С. Современные представления о механизме формирования структуры графитирующихся коксов // Успехи химии. 1976. № 10. С. 1731-1744.
2. Селезнёв А.Н., Костиков В.И., Шипков Н.Н. Проблемы сырьевой базы электродной промышленности // Химия твёрдого топлива. 1999. № 4. С. 64-68.
3. Курилкин А.В., Горбачёв А.С. Прогнозирование спроса на углеродные композиционные материалы в наукоёмких отраслях промышленности // Экономика и предпринимательство. 2016. № 2. С. 436-439.
4. Терентьев А.А. Влияние структуры коксов на качество коксопечковых композиций на их основе: дис. ... канд. техн. наук. М.: Изд-во НИИГрафит, 2001. 170 с.
5. Аверина М.В. Исследование закономерностей формирования структуры коксов и ее влияния на свойства коксов и углеграфитовых материалов: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 1971. 155 с.
6. Сабаненков С.А., Рабинович И.С., Селиверстов М.Н. Производство, свойства и применение нефтяного пиролизного кокса // Обзорная информация ЦНИИТЭнефтехим. 1989. № 9. С. 1-108.
7. Бейлина Н.Ю., Петрович Н.И., Селезнев А.Н., Свиридов А.А. Получение и промышленное использование коксов изотропной структуры на основе сланцевых смол // Химия твердого топлива. 2005. № 4. С. 54-60.
8. Лебедев Ю.А., Чувывров А.Н. Химия, физика, механика карбонизированных жидких кристаллов // Матер. Международной уфимской зимней школы-конф. по математике и физике для студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИО БашГУ, 2005. 194 с.
9. Тарахно Е.В., Шустиков В.И. Теоретические основы формирования жидкокристаллической фазы из изотропной матрицы каменноугольной смолы // Кокс и химия. 2011. № 5. С. 27-35.

10. Tillmas H. Carbonization of Pitch // Fuel. 1985. No. 9. P. 1197-1203.
11. Аверина М.В. Кусакин Н.Д. Использование кристаллооптических свойств графита в отраженном свете для изучения дисперсной структуры углеродных материалов // Конструкционные материалы на основе графита. 1969. № 4. С. 39-43.
12. Глаголева О.Ф., Синельникова Л.З., Николаев А.И., Смидович Е.В. Влияние карбоидов на структуру пиролизных коксов и на свойства графитовых изделий из них // Химия и технология топлив и масел. 1972. № 2. С. 20-23.
13. Авдеенко М.А., Островский В.С., Синельников Л.З., Рощина А.А., Минаев С.Н. Влияние структурных составляющих нефтяных пиролизных коксов на свойства углеродного материала // Конструкционные углеродные материалы. 1985. № 2. С. 13-15.
14. Пат. 2639904 РФ, МПК С 10 В 55/00. Способ получения изотропного кокса / В.П. Запорин, С.В. Сухов, Р.А. Шайбаков, А.В. Ситдикова. 2017104021, Заявлено 07.02.2017; Опубл. 25.12.2017. Бюл. 36.
15. Мухамедзянова А.А., Гимаев Р.Н., Хайбуллин А.А., Теляшев Э.Г. Получение нефтяного пека из остаточных продуктов переработки нефти // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 2. С. 10-13.
16. Ken-ichi Fujimoto. Mesophase Control for Pitch Cokes Production // Erdol and Kohle. 1990. No 1. P. 34-37.

References

1. Smirnov B.N., Tyan L.S., Fialkov A.S., Galkin T.Yu., Galeev G.S. Sovremennye predstavleniya o mekhanizme formirovaniya struktury grafitiruyushchihsya koksov [Modern ideas about the Mechanism of Formation of the Structure of Graphitized Cokes]. Uspekhi khimii – Success of Chemistry, 1976, No. 10, pp. 1731-1744. [in Russian].

2. Seleznyov A.N., Kostikov V.I., Shipkov N.N. Problemy syr'evoy bazy ehlektrodnoj promyshlennosti [Problems of the Raw Materials Base of the Electrode Industry]. Khimiya tvyordogo topliva – Chemistry of Solid, No. 4, pp. 64-68. [in Russian].
3. Kurilkin A.V., Gorbachyov A.S. Prognozirovanie sprosa na uglerodnye kompozicionnye materialy v naukoymkih otraslyah promyshlennosti [Prediction of Demand for Carbon Composite Materials in Science-Intensive industries]. Ehkonomika i predprinimatel'stvo – Economics and Entrepreneurship, 2016, No. 2, pp. 436-439. [in Russian].
4. Terentyev A.A. Vliyanie struktury koksov na kachestvo koksopekovykh kompozicij na ih osnove: dis. kand. tekhn, nauk [Influence of the Structure of Cokes on the Quality of Coke-Oven Compositions on Their Basis: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, NIIGrafit Publ., 2001. 170 p. [in Russian].
5. Averina M.V. Issledovanie zakonornostej formirovaniya struktury koksov i ee vliyaniya na svoystva koksov i uglegrafitovykh materialov: dis. kand. tekhn. nauk [Investigation of Regularities in the Formation of the Structure of Cokes and its Effect on the Properties of Cokes and Carbon-Graphite Materials: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 1971. 155 p. [in Russian].
6. Sabanenkov S.A., Rabinovich I.S., Seliverstov M.N. Proizvodstvo, svoystva i primeneniye neftyanogo piroliznogo koksa [Production, Properties and Application of Petroleum Pyrolysis Coke]. Obzornaya informaciya CNIITEHneftekhim – Overview Information CNIITEHneftekhim, 1989, No. 9, pp. 1-108. [in Russian].
7. Bejlina N.Y., Petrovich N.I., Seleznev A.N., Sviridov A.A. Poluchenie i promyshlennoe ispol'zovanie koksov izotropnoj struktury na osnove slancevykh smol [Obtaining and Industrial Use of Cokes of an Isotropic Structure Based on Shale Resins]. Himiya tverdogo topliva – Chemistry of Solid Fuels, 2005, No. 4, pp. 54-60. [in Russian].

8. Lebedev Yu.A., Chuvyrov A.N. Khimiya, fizika, mekhanika karbonizirovannykh zhidkih kristallov [Chemistry, Physics, Mechanics of Carbonized Liquid Crystals]. Materialy mezhdunarodnoi ufimskoi zimnei shkoly-konferentsii po matematike i fizike dlya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Materials of the International Ufa Winter School-Conf. on Mathematics and Physics for Students, Graduate Students and Young Scientists]. Ufa, RIO Bash GU, 2005, pp. 194. [in Russian].

9. Tarahno E.V., Shustikov V.I. Teoreticheskie osnovy formirovaniya zhidkokristallicheskoj fazy iz izotropnoj matricy kamennougol'noj smoly [Theoretical Foundations of the Formation of the Liquid-Crystalline Phase from the Isotropic Matrix of Coal Tar Resin]. Koks i khimiya – Coke and Chemistry, 2011, No. 5. pp. 27-35. [in Russian].

10. Tillmas H. Carbonization of Pitch. Fuel, 1985, No. 9, pp. 1197-1203.

11. Averina M.V., Kusakin N.D. Ispol'zovanie kristalloopticheskikh svoystv grafita v otrazhennom svete dlya izucheniya dispersnoj struktury uglerodnykh materialov [Use of Crystal-Optical Properties of Graphite in Reflected Light to Study the Dispersed Structure of Carbon Materials]. Konstrukcionnye materialy na osnove grafita – Structural Materials on Graphite Base, 1969, No. 4, pp. 39-43. [in Russian].

12. Glagoleva O.F. Sinel'nikova L.Z., Nikolaev A.I., Smidovich E.V. Vliyanie karboidov na strukturu piroliznykh koksov i na svoystva grafitovykh izdelij iz nih [Influence of Carboids on the Structure of Pyrolysis Cokes and on the Properties of Graphite Articles from them]. Khimiya i tekhnologiya topliv i masel – Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 1972, No. 2, pp. 20-23. [in Russian].

13. Avdeenko M.A., Ostrovskiy V.S., Sinel'nikov L.Z., Roshchina A.A., Minaev S.N. Vliyanie strukturnykh sostavlyayushchih neftyanykh piroliznykh koksov na svoystva uglerodnogo materiala [Influence of Structural Constituents of Petroleum Pyrolysis Cokes on the Properties of Carbon Material]. Konstrukcionnye uglerodnye materialy – Structural Carbon Materials, 1985, No. 2, pp. 13-15. [in Russian].

14. Zaporin V.P., Suhov S.V., Shaibakov R.A., Sitdikova A.V. Sposob polucheniya izotropnogo koksa [Method for Obtaining Isotropic Coke]. Patent RF, No. 2639904, 2017. [in Russian].

15. Mukhamedzyanova A.A., Gimaev R.N., Khaibullin A.A., Telyashev E.G. Poluchenie neftyanogo peka iz ostatochnykh produktov pererabotki neftya [Obtaining Petroleum Pitch from Residual Products of Oil Processing]. Khimiya i tekhnologiya topliv i masel – Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2011, No. 2, pp. 10-13. [in Russian].

16. Ken-ichi Fujimoto. Mesophase Control for Pitch Cokes Production. Erdol and Kohle, 1990, No. 1, pp. 34-37.

Сведения об авторах

About the authors

Камалов Р.М., магистрант кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

R.M. Kamalov, Undergraduate Student of Oil and Gas Technology Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Юсупов М.Р., магистрант кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

M.R. Yusupov, Undergraduate Student of Oil and Gas Technology Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Лапшин И.Г., аспирант кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ
ВО «УГНТУ», г.Уфа, Российская Федерация

I.G. Lapshin, Post-graduate Student of Oil and Gas Technology Department
FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Запорин В.П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефти и
газа» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г.Уфа, Российская Федерация

V.P. Zaporin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil
and Gas Technology Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian
Federation

e-mail: djcod@yandex.ru