



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»



НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СТЕКЛОУГЛЕРОДА С ПОВЫШЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ

Бейлина Н.Ю., д.т.н.
АО «НИИГрафит»

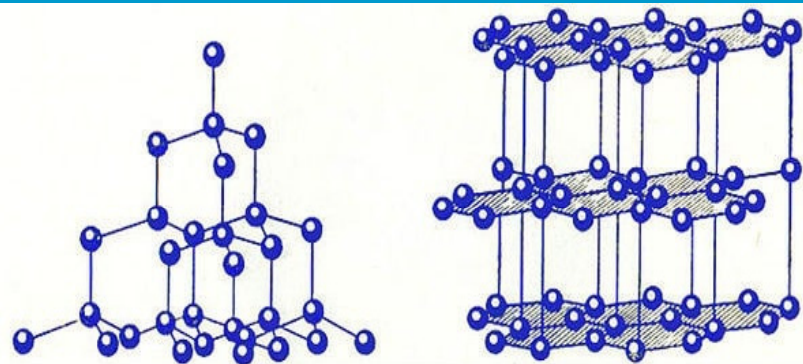
29 мая 2019 г.

- Стеклоуглерод был впервые получен из целлюлозы в 1957 г. в лаборатории «The Carborundum Company» в Манчестере Бернардом Редферном – изобретателем и материаловедом.
- В начале 1960-х гг. стеклоуглерод получили в лабораториях Великобритании, Японии, США, Франции.
- В СССР освоение данной технологии приходится на 1963 г.
- В 21 веке при давлении 250 000 атмосфер и температуре около 952 °С удалось стабильное изменение структуры стеклоуглерода на молекулярном уровне. Международная команда специалистов из Яньшаньского университета (КНР) и Университета Карнеги (США) создала гибрид алмаза и графена «сжатый стеклоуглерод» или «стретч-алмаз». От графена синтезированному веществу достались легкость, способность к растяжению и электропроводность, а от алмаза он получил знаменитую твердость.





Углеродные структуры



Кристаллические решетки алмаза (слева) и графита (справа)

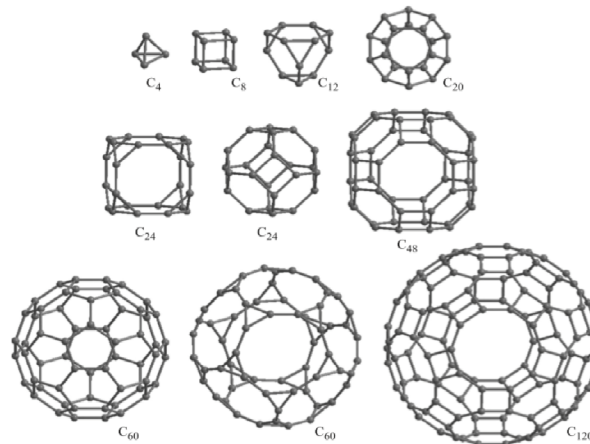


Рис. 4. Структуры фуллереноподобных кластеров.

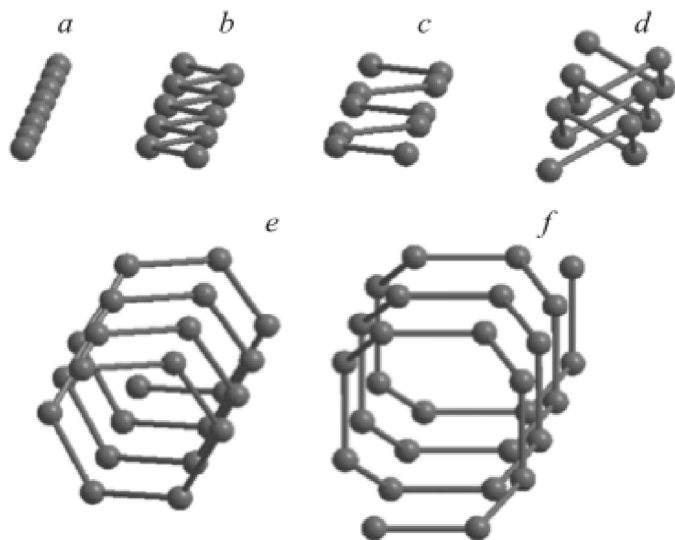


Рис. 6. Квазиодномерные наноструктуры группы $[1D_c, 2]$: (a) — линейная цепочка, (b) и (c) — плоские зигзагообразные и креслообразные цепочки, (d) — изогнутая в пространстве цепочка, (e) и (f) — спирали.

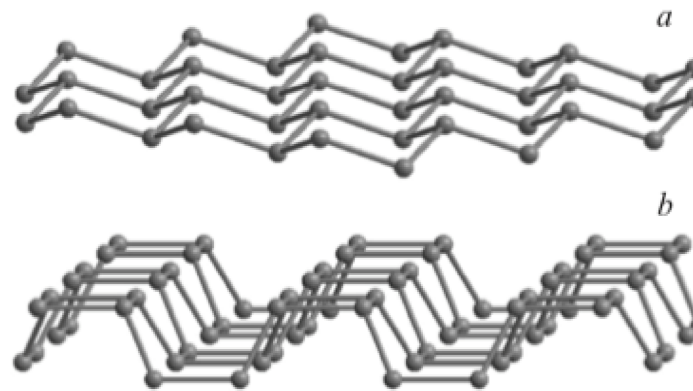
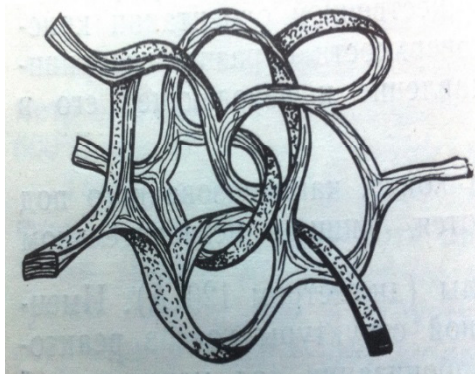
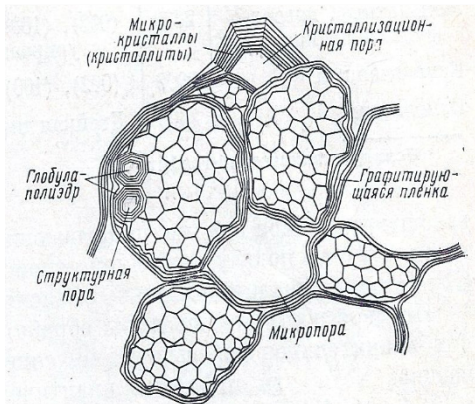


Рис. 12. Примеры гофрирования графеновых слоев L_6 (a) и L_{4-8} (b), соответствующих группе $[2D_c, 3]$.



POCATOM

Структура и свойства



Показатель	Марка стеклоуглерода	
	СУ-2000	СУ-2500*
Плотность, г/см ³ (н. м.)	1,46 - 1,51	1,44 - 1,50
Пористость, % (н. б.)	1,0 - 2,0	1,5 - 2,5
σ изгиб, МПа, (н. м.)	130 - 160	-
σ при растяжении, МПа (н. м.)	54 - 75	-
УЭС, мкОм·м (н. б.)	45 - 50	38 - 41
Коэффициент термического расширения (20-1500) °С, 10 ⁻⁶ /°С	3,5 - 4,0	6,4 - 7,8
Максимальная рабочая температура, °С		
- в инертной, восстановительной среде и вакууме	2 000	2 500
- в воздушной среде (при длительной работе)	500	500



РОСАТОМ

Классификация искусственных УМ по физико-химическим характеристикам сырья и процесса получения.

Агрегатное состояние карбонизируемого сырья	Характеристика		
	сырья	процесса	Получаемого материала
Газовая фаза	Индивидуальные органические вещества	Высокая энергия активации процесса	Дисперсные порошки или покрытия Трудно графитируемые, Микропористые (сажи, пироуглероды)
Жидкая фаза	Органические вещества с высоким выходом кокса	Эндотермический процесс с высокой энергией активации	Пористые материалы Хорошо графитируемые (коксы)
Твердая фаза	Полимеры, смолы	Экзотермический процесс с низкой энергией активации	Микропористые материалы. Сохраняют форму Трудно графитируются (стеклоуглерод)



РОСАТОМ

Химическая и термическая стойкость



Не взаимодействует: с хромовой кислотой, плавленной едкой щелочью, расплавами галогенидов, сульфидов, теллуридов, бромом, смесью перекиси водорода и азотной кислоты, смесью азотной кислоты и хлората калия; работоспособен при 1500°C в парах мышьяка и сурьмы, термически устойчив на воздухе до температуры 500°C , в вакууме – до 2500°C обладает высокой устойчивостью к перепадам температуры.

Концентрированные и разбавленные кислоты, их смеси, а также щелочи при комнатной температуре и температуре кипения практически не реагируют со стеклоуглеродом.

Не смачивается расплавами стекла

Характерной особенностью стеклоуглерода является пониженная подвижность атомов примесей в нем по сравнению с другими конструкционными углеродными материалами, что значительно уменьшает возможность загрязнения расплава примесями и свидетельствует о возможности замены

платиновой, никелевой, стеклянной, танталовой, кремниевой посуды на стеклоуглеродную.

Расплавы металлов и их соединений, как правило, не смачивают стеклоуглерод.



Стеклоуглерод

Оптика

Атомная промышленность

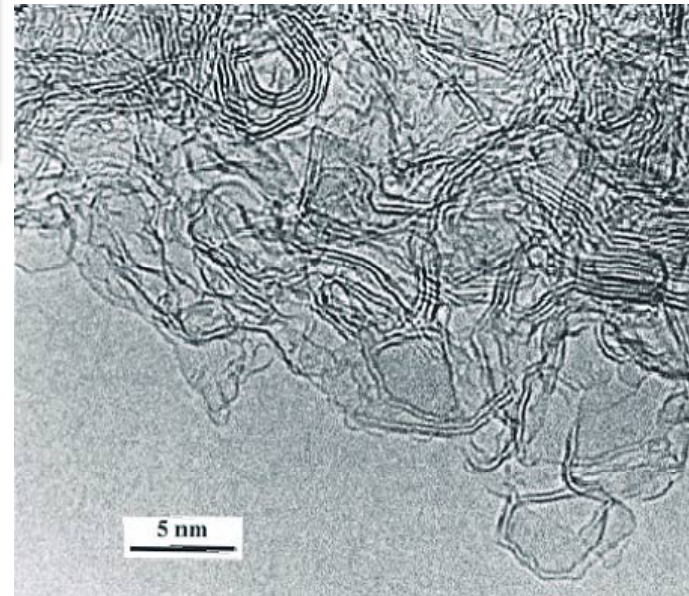
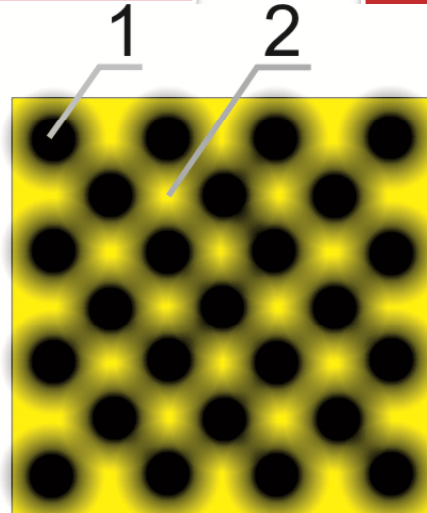
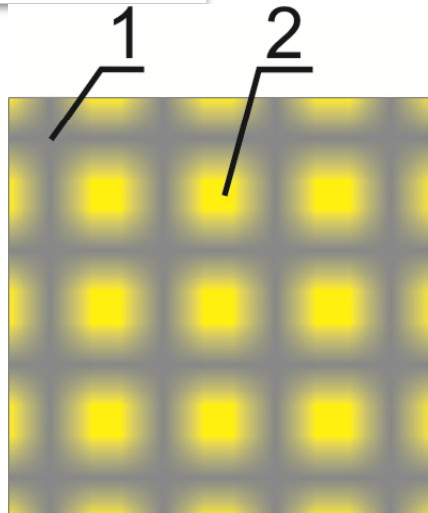
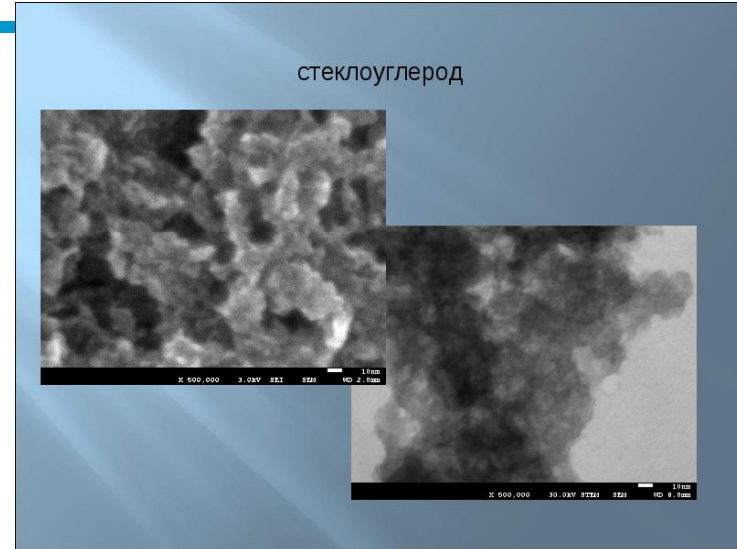
Полупроводники

Электрохимия

Цветная металлургия

Медицина

Космическая промышленность



- Существующий способ изготовления обуславливает малую толщину стенки, что ограничивает области применения и снижает ресурс
- Необходима разработка простого и эффективного способа получения наполненного стеклоуглерода, как основы для создания крупногабаритных изделий.



По традиционному способу	По новому способу
<p>Фенолоформальдегидные смолы резольного типа Стеарат цинка Уротропин</p>	<p>Наполнитель</p> <ol style="list-style-type: none">1. Кокс из фенольных остатков сланцевой смолы <p>Связующее</p> <ol style="list-style-type: none">1. новолачная смола марки СФ – 010 А с последующей добавкой уротропина (7 масс.%)2. фенольное марки СФП – 012 А2 с массовой долей уротропина 6 – 10 %

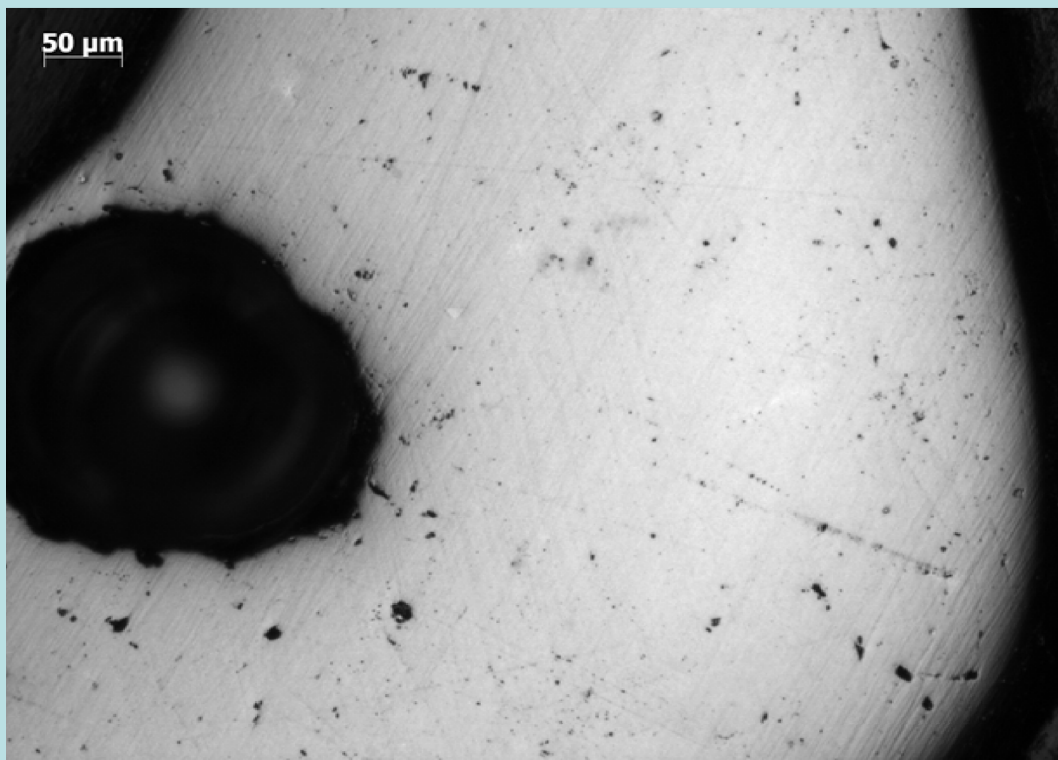


POCATOM

Выбор наполнителя



Свойства кокса из резольной смолы



Действительная
плотность,

d_n , г/см³

Выход летучих
веществ

V_f , %

Массовая доля
серы, %

Зольность A^c , %

Микроструктура,

балл

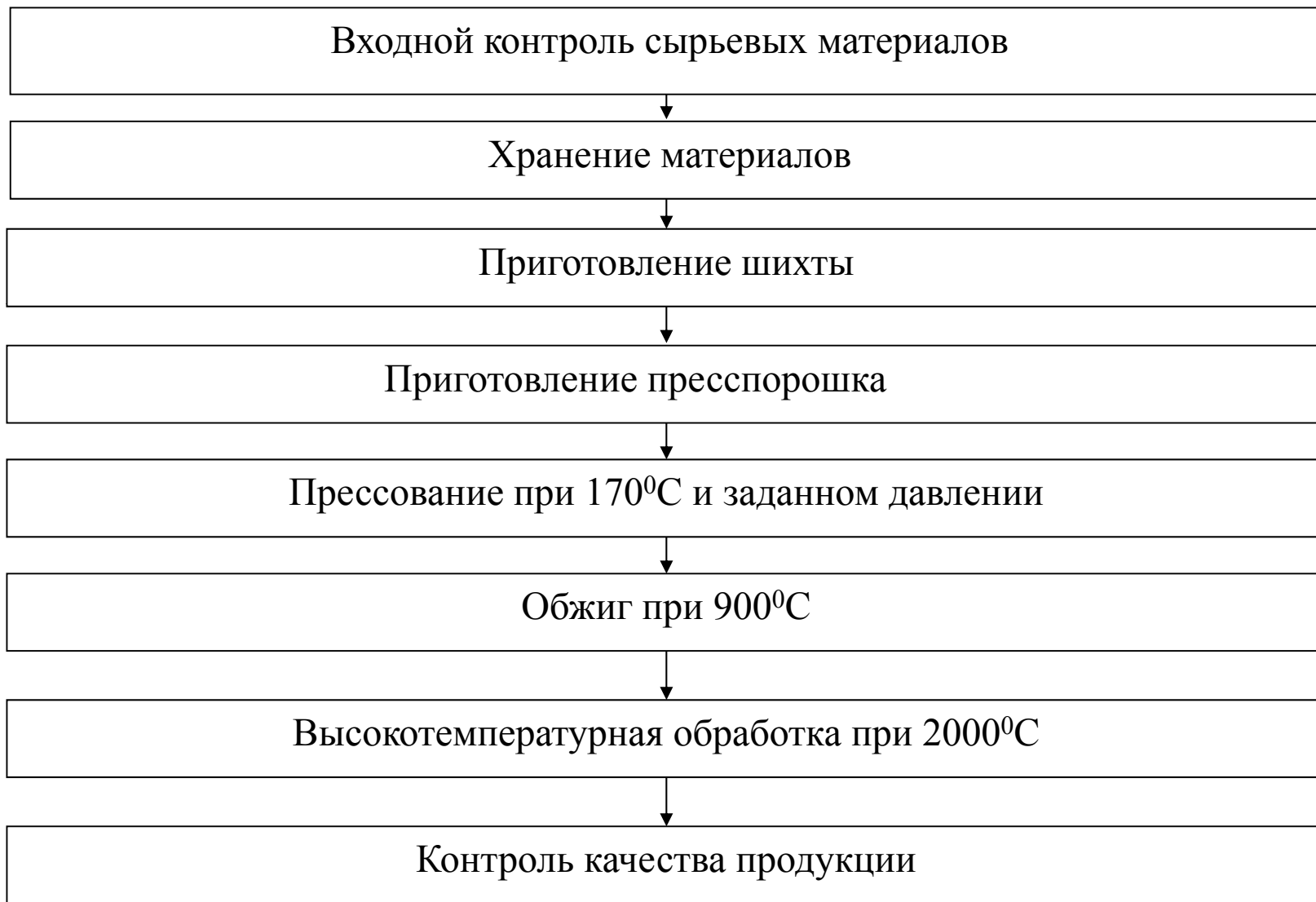
1,95

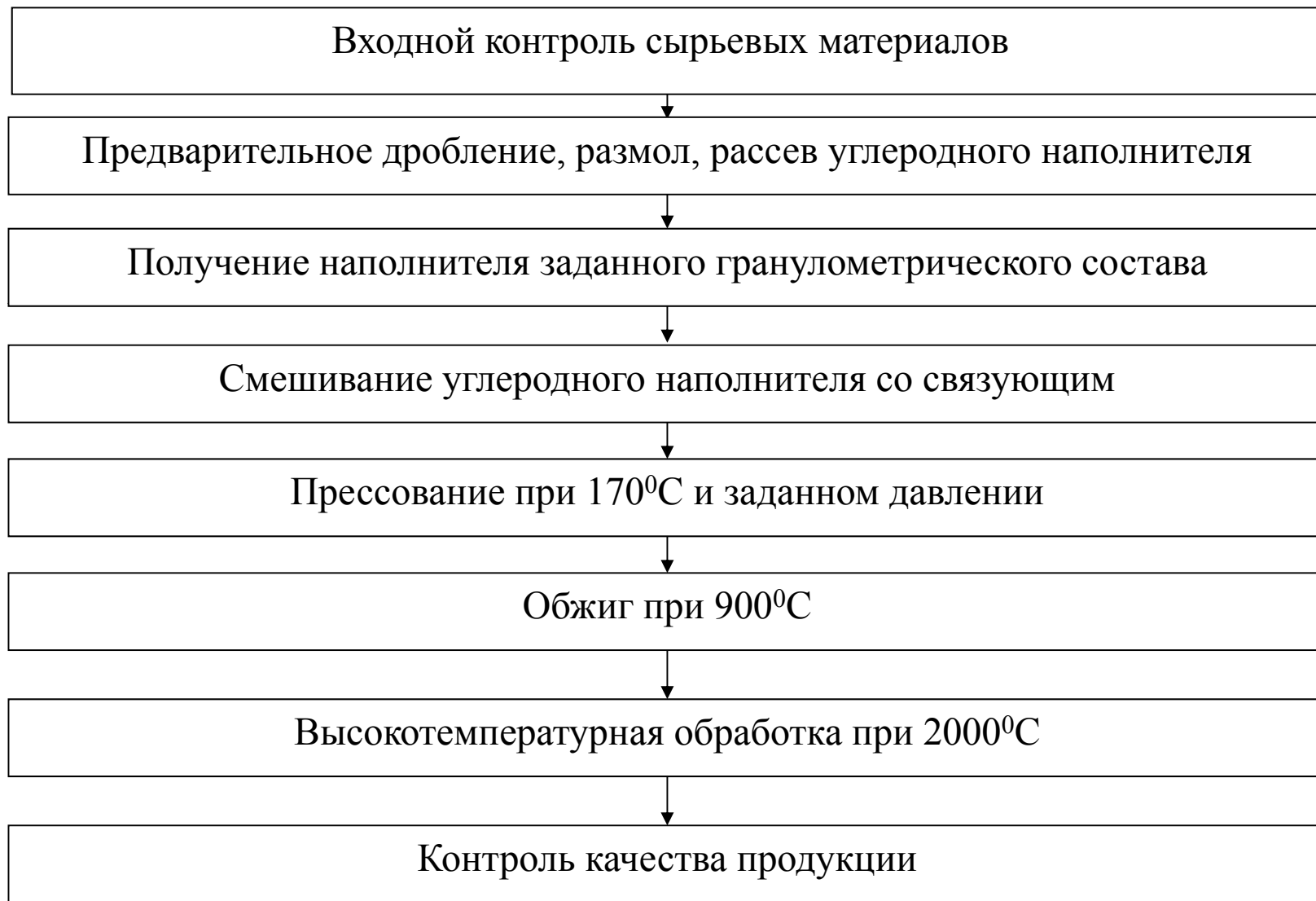
3,55

0,13

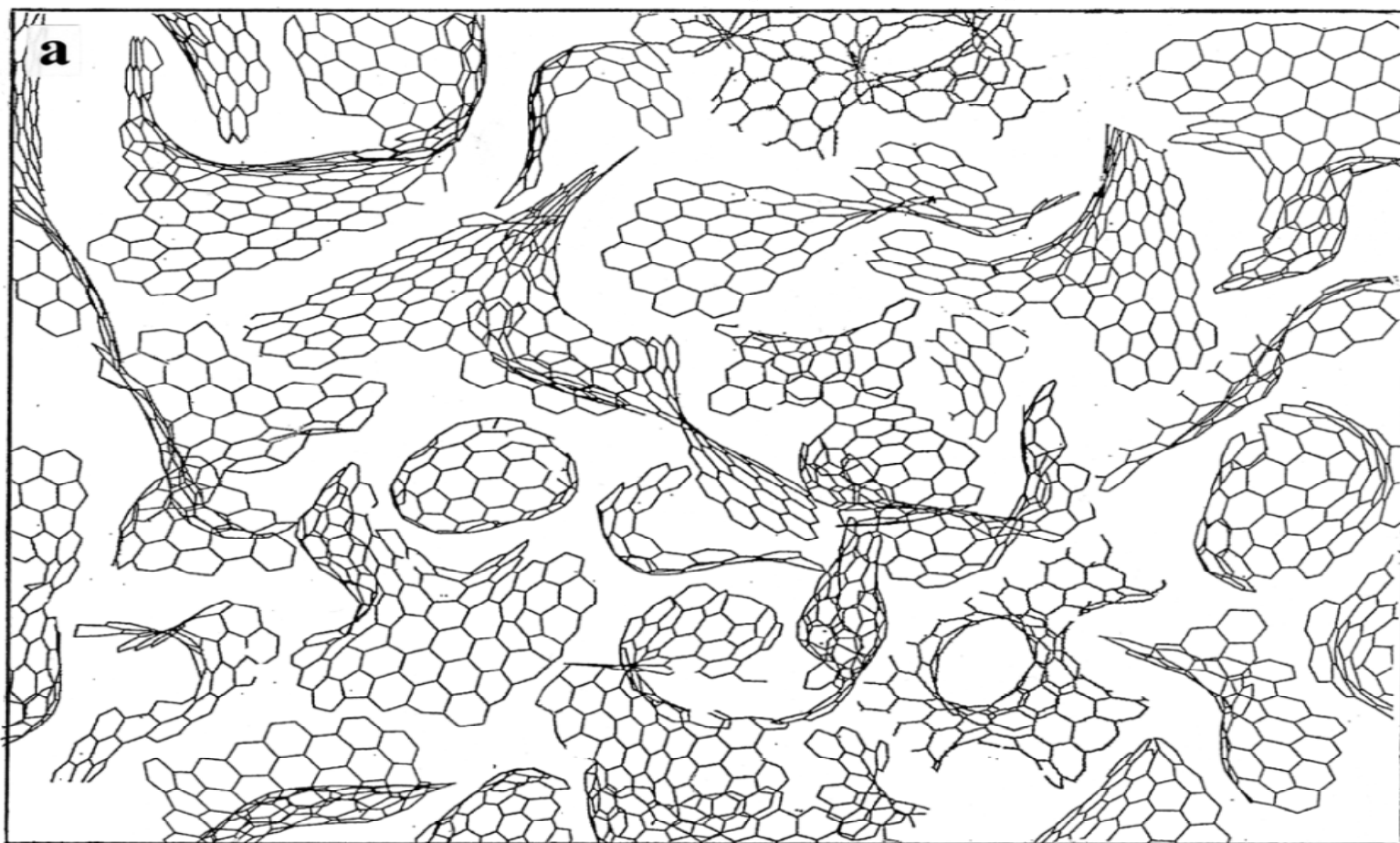
0,54

1

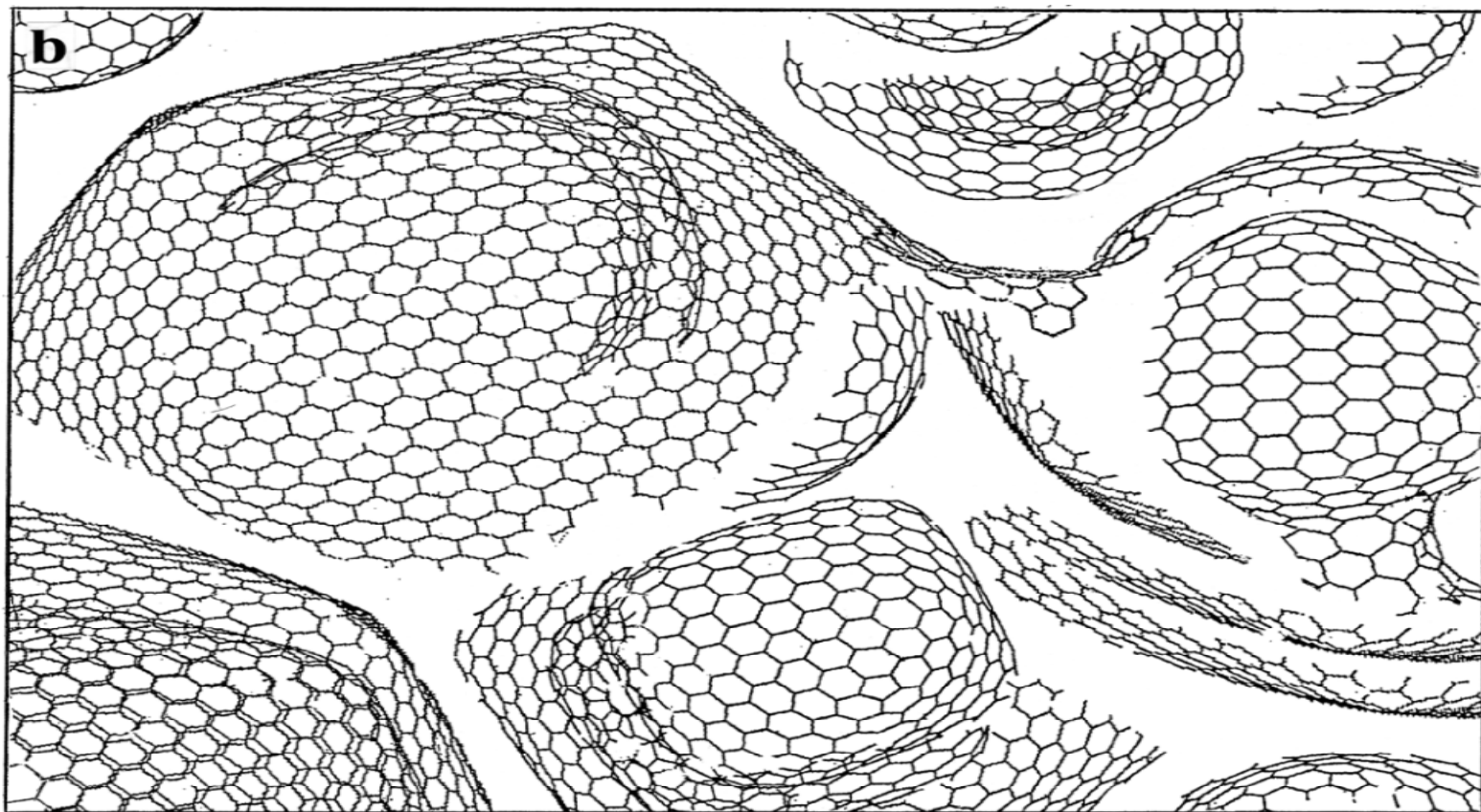




Структура стеклогуглерода после обжига (900⁰С)



Структура стеклогуглерода после высокотемпературной обработки (2000⁰С)





POCATOM

Опытная партия образцов на основе связующего СФП – 012 А2



Содержание компонентов в прессмассе, %		Давление прессования, МПа	Плотность, г/см ³	
Кокс	Связующее СФП – 012 А2		После прессования	После обжига
40	60	10	1,375	1,302
		20	1,379	1,296
		30	1,384	1,297
		40	1,395	1,306
50	50	10	1,418	Трещины
		20	1,432	Трещины
		30	1,433	Трещины
		40	1,436	Трещины
60	40	10	1,420	1,235
		20	1,453	1,231
		30	1,457	1,279
		40	1,468	1,271
70	30	10	1,312	1,155
		20	1,386	1,192
		30	1,418	1,231
		40	1,425	1,245



РОСАТОМ

Опытная партия образцов на основе связующего СФП – 010 А



Содержание компонентов в прессмассе, %		Давление прессования, МПа	Плотность, г/см ³	
Кокс	Связующее СФ – 010 А		После прессования	После обжига
40	60	10	1,313	Трещины
		20	1,321	1,275
		30	1,316	1,275
		40	1,309	Трещины
50	50	10	1,338	Трещины
		20	1,343	Трещины
		30	1,338	Трещины
		40	1,349	Трещины
60	40	10	1,364	Трещины
		20	1,373	Трещины
		30	1,369	Трещины
		40	1,372	Трещины
70	30	10	1,227	1,129
		20	1,311	1,177
		30	1,351	1,217



POCATOM

Сравнительная таблица материалов



Показатель	Вид материала	
	Стеклоуглерод	Наполненный стеклоуглерод
Плотность, г/см ³	1,46 - 1,51	1,35 - 1,43
Пористость открытая, %	1 - 2	20 - 22
Разрушающее напряжение (сжатие), МПа	24 - 40	25,1 - 35,5
Коэффициент теплопроводности при 20 °С, Вт/(м•°К)	5,1 - 6,1	4,6 - 5,4
Удельное электросопротивление, Ом*мм ² /м	45 - 50	53,8 - 70,2
Толщина стенки, мм	2,5-3	10-40

- Экспериментальные изделия (рисунок 1) отличаются от современных (рисунок 2) значительно большей толщиной стенки (10-40 мм).



1



2

Наполненный стеклоуглерод отличается от традиционного пониженной плотностью и повышенной пористостью, но не уступает стеклоуглероду по прочности и теплофизическим характеристикам.

Важным преимуществом материала является значительная толщина стенки изделия, которая превышает 10 мм, что расширяет его сферы применения.

Дальнейшие работы наряду с испытаниями у возможных потребителей будут направлены на совершенствование рецептуры в части снижения пористости материала, а также исследования возможностей снижения поверхностной пористости путем пропитки изделий.



РОСАТОМ

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!



Россия, 111524, Москва, ул.Электродная, д.2

Тел.: (495) 278 00 08 (д.23-12)

Факс: +7 (495) 672-72-77

niigrafit@niigrafit.org