

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси



Антифрикционные материалы семейства «Суперфис» на основе Фторопласта-4 и модифицированных в плазме углеволокон

Гракович П.Н., Шелестова В.А., Иванов Л.Ф., Жандаров С.Ф.,
Шилько А.С, Башлакова А.Л., Брундуков А.С, Стратанович
В.А, Ковалева Я.А, Брель Д.В

Беларусь. 246050 Гомель, ул. Кирова 32а

Тел 8-10-375-232-77-46-33 (раб.),

8-10-375-29-115-28-57 (моб.)

Факс 8-10-375-232-77-52-11

E-mail: grapn@rambler.ru, mpri@mail.ru

<http://www.mpri.org.by>



Схема производства Флубона



Целлюлоза

Вискозные
волокна

Углеродные
волокна

Композит

Светлогорск

Запорожье

Пермь, Гродно

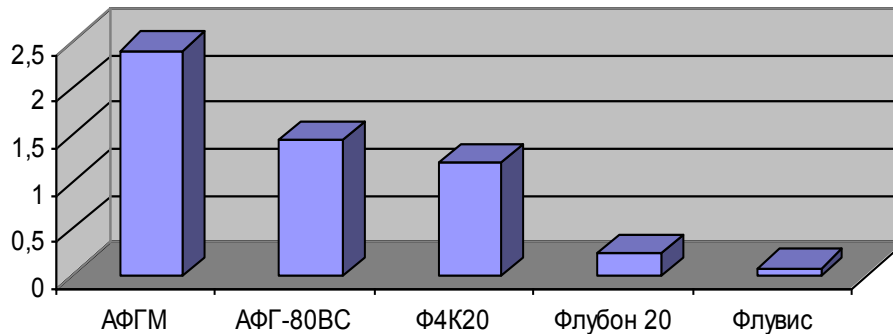
1998 – Взамен **Флубона** на Гродненском механическом заводе начат выпуск композитов **Флувис (ТУ РБ 03535279.071-99)**, разработанных в ИММС НАН Беларуси. Наполнитель – специально разработанное УВ **ВИСКУМ-ЛО-Н (ТУ РБ 400031289170-2001)** на основе вискозы белорусского производства. Флувис используется более чем на 100 предприятиях Беларуси и России.

1998...2005 – Выпущено около 40 т композита стоимостью более \$1 млн. Производство на ГМЗ аттестовано по ISO-9001.

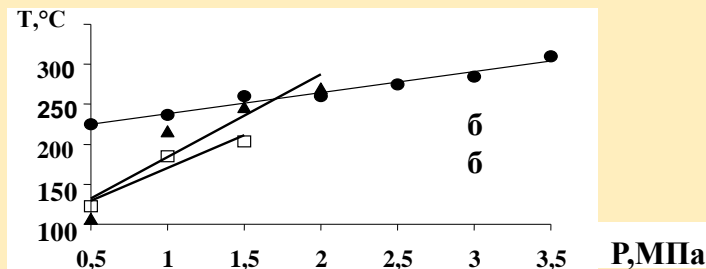
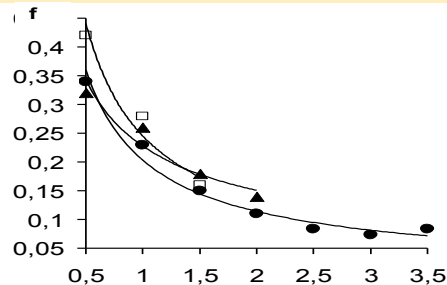
2004...2005 – Разработка и организация производства композита для узлов трения, работающих в вакууме и сухих газах **«Вакофлувис» (ТУ РБ 40084698.165-2005)**.

Основные преимущества композита Флувис перед аналогами

- Примерно в 1,5...2,5 раза большая износостойкость
- На 20...50% большая теплопроводность
- Отсутствие абразивного износа контртела
- Большая прочность



Износ поршневых колец из разных композитов в одинаковых условиях испытаний на одной конструкции уплотнений при конечном давлении 20,0 МПа и температуре 150°C. Износ Флувиса-20 – 0,07 мм за 1000 часов, что в 2,5 раза меньше, чем Флубон 20 /проф. В.П. Захаренко, С.-Петербург/



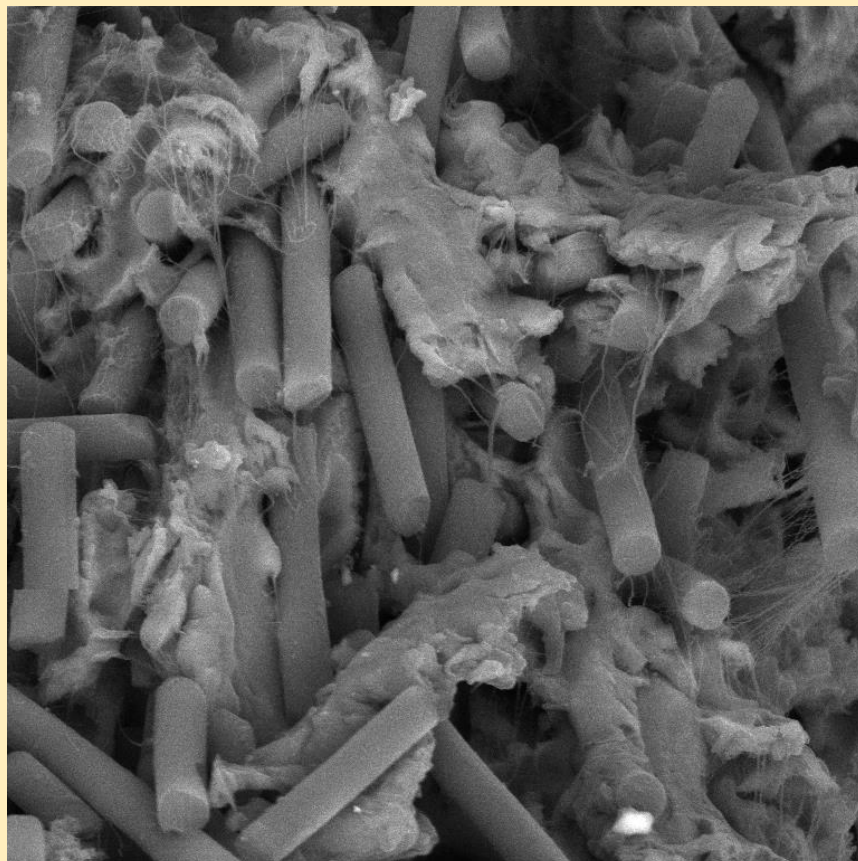
Влияние контактной нагрузки на коэффициент трения и температуру в зоне трения для скорости скольжения $v=3$ м/с: а – коэффициент трения, б – температура;

▲ - Ф4К20, □ Флубон 15(20), ● Флувис-20

Композит «Суперфлувис»

3

ТУ ВУ 400084698.178–2006



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 05/31/13
View field: 142.64 μm Det: BSE Detector 50 μm VEGA\\ TESCAN
Date(m/d/y): 05/31/13 Name: 4.tif Digital Microscopy Imaging

----- Патент РБ №6214, 2004. -----

Углерента «Белум»
ТУ ВУ 400084698.177–2006. -
наполнитель для Ф-4.

**Каждое УВ покрыто
10...20 нм фторполимера, что
обеспечивает адгезионное
взаимодействие и
технологическую
совместимость наполнителя и
матрицы**



Углеродные материалы

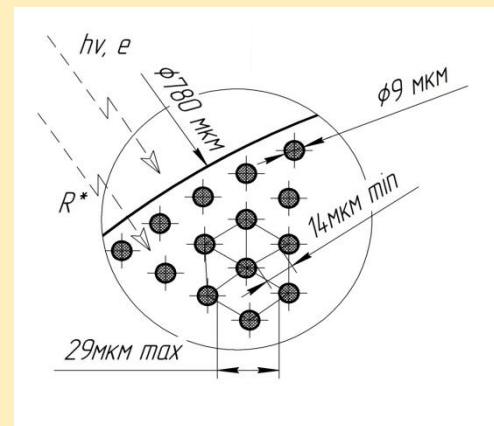
ПАН-УВ: высокомодульные и высокопрочные, массовые (ок. 90 % выпуска);

УВ на основе вискозы; - низко модульные и низкопрочные (ок.5 %, половина на «СветлогорскХимволокно»);

УВ на основе пека и другие (до 5%);

Особенности углеродных материалов на основе вискозы

- ❖ В нити 1000 моноволокон (филаментов);
- ❖ Диаметр моноволокна – около 9 мкм;
- ❖ Расстояние между моноволокнами в комплексной нити ок. 1,5 d
- ❖ Проводимость на уровне нихрома;

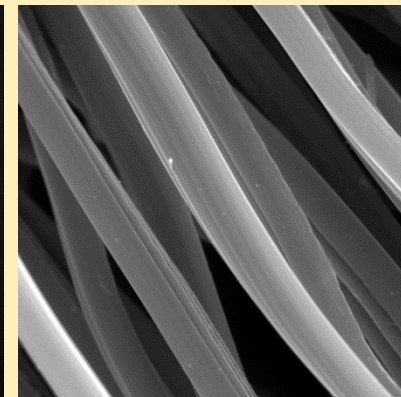
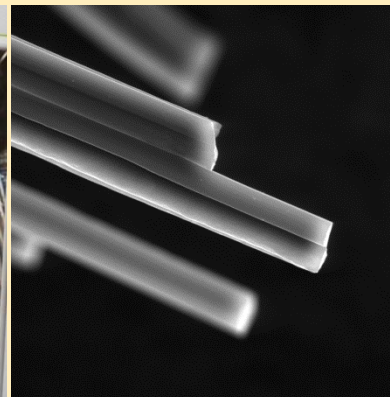


Особенности ПХО

- ❖ Углеродная или углеткань - один из электродов;
- ❖ Внутри комплексной нити нет электрического поля

Измельчение УВ

- ❖ Много стадий (различные мельницы, дисмембраторы);
- ❖ 50% измельченных УВ имеют длину не более 100 мкм;
- ❖ Контролируется насыпная плотность и распределение волокон по длинам)



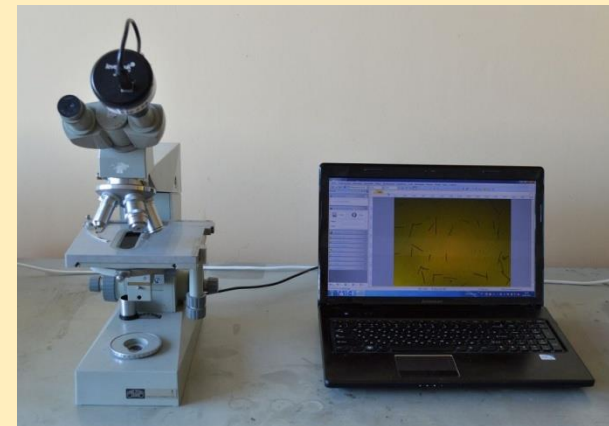
SEM HV: 20.00 kV WD: 9.5153 mm
View field: 66.30 μm Det: SE Detector Name: 1.tif
20 μm VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging

SEM HV: 20.00 kV WD: 10.0730 mm
View field: 66.13 μm Det: SE Detector Name: 1.tif
20 μm VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging

Внешний вид исходных УВ



Методика контроля фракционного состава измельченных УВ



Вид УВ на предметном стекле



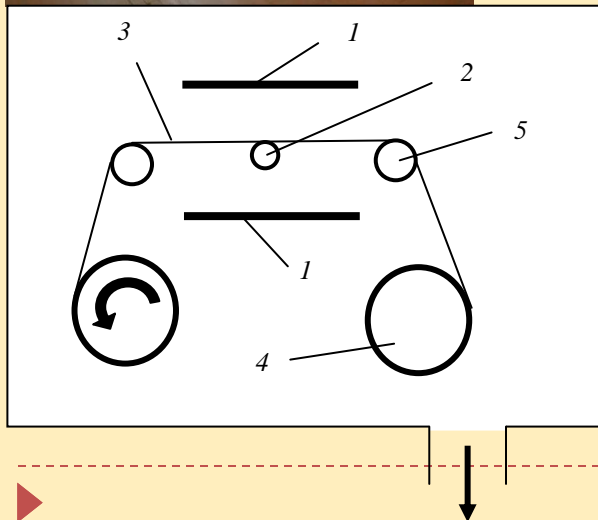
Создание технологического оборудования для плазмохимической обработки углеродных и других материалов



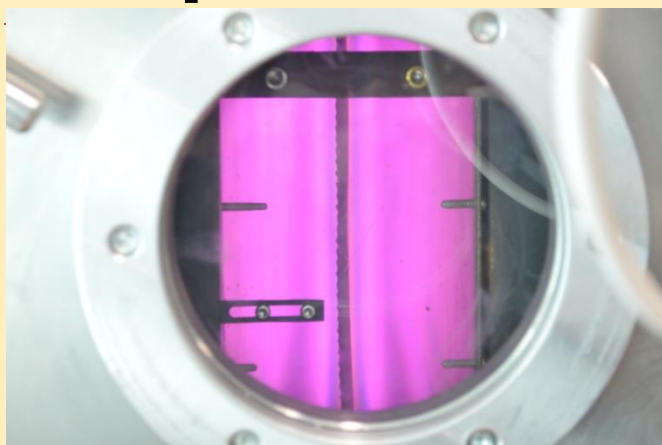
Основные характеристики:

- ❖ Ширина обрабатываемой уголетки – до 650 мм.
- ❖ Диаметр рулона - до 300 мм.
- ❖ Масса разовой загрузки уголетки – 15...20 кг.
- ❖ Время ПХО – 5...120 с.
- ❖ Автоматическая система управления с выводом информации на сенсорный ЖКИ.

Время обработки 15 кг - 8 часов



Полимеризация в плазме тлеющего разряда



Среда – ТФЭ (C_2F_4) и ОФЦБ (C_4F_8)

Степень ионизации – 10^{-6}

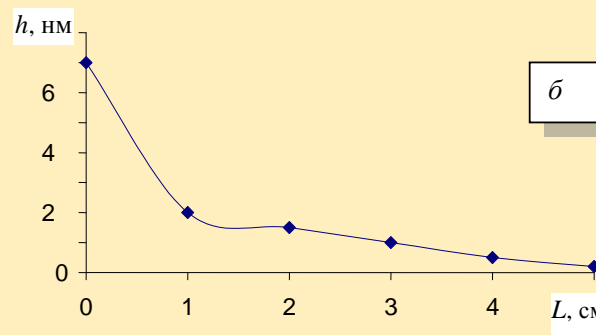
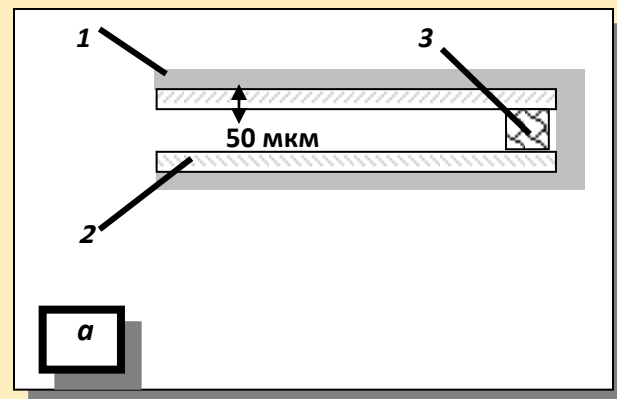
➤ Нейтральные молекулы (300К)

➤ Ионы (300К)

➤ Электроны (10 тыс. К, 1...20 эВ)

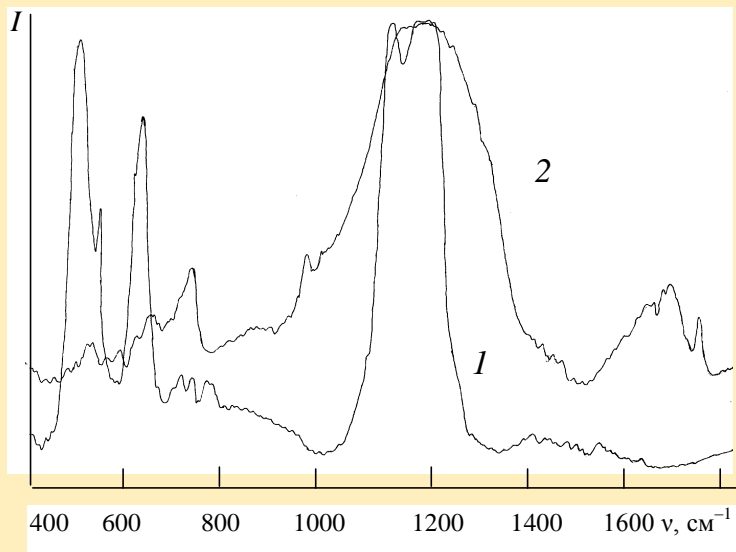
➤ Радикалы

➤ Возбужденные частицы

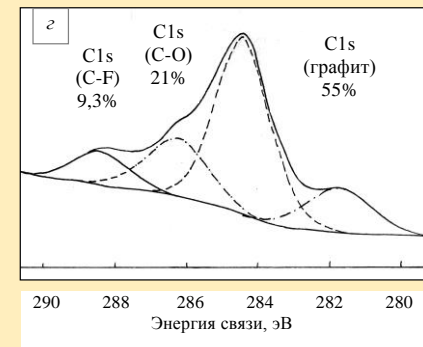
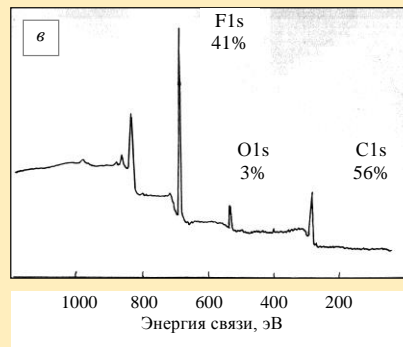
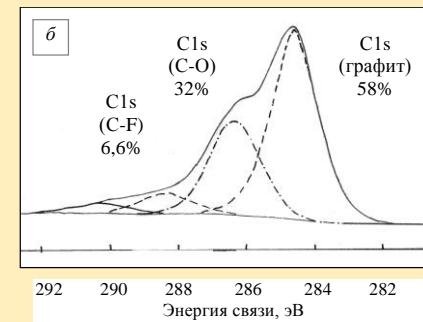
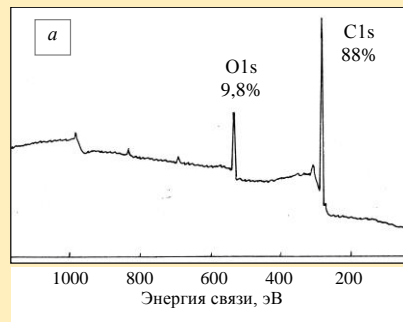


Зависимость толщины покрытия (h) от глубины канала. 1- короб из фольги, 2- предметные стекла, 3- пленка ПТФЭ

Состав покрытия после плазмохимической полимеризации



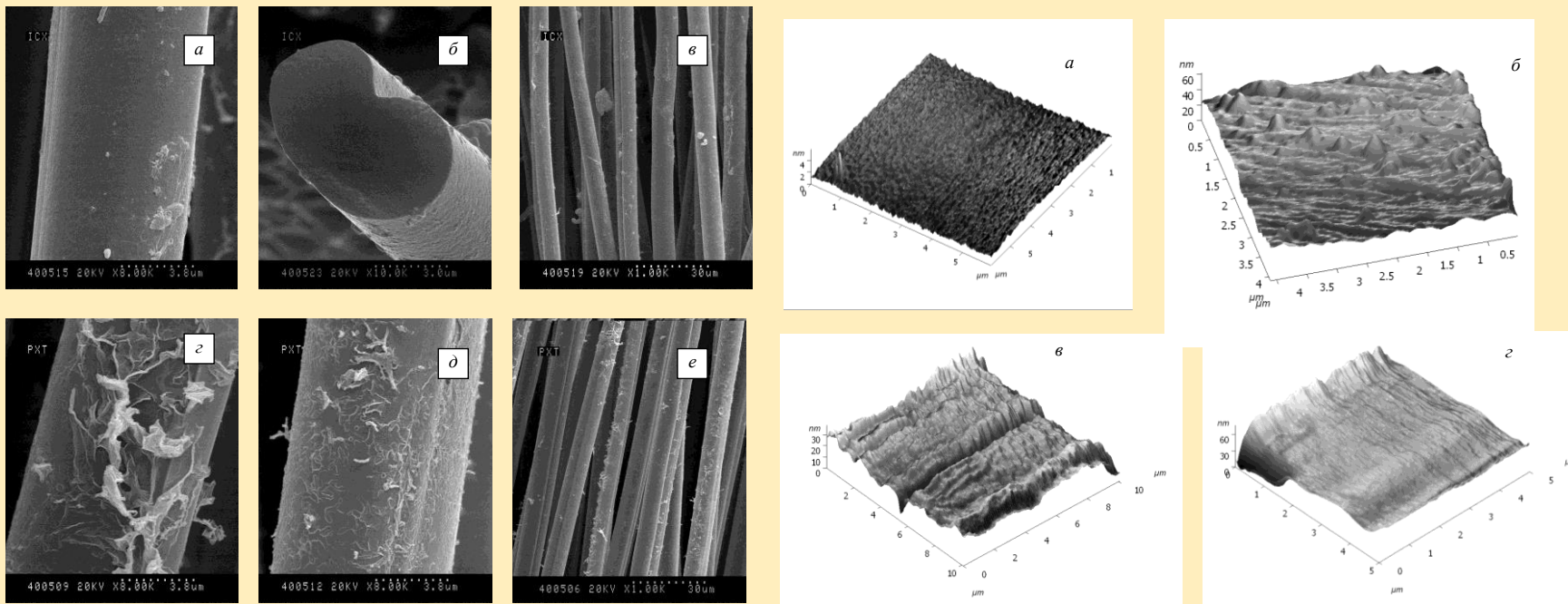
ИК-спектры покрытия, полученного в плазме ТФЭ на кристалле KBr (1) и пленки ПТФЭ толщиной 5 мкм (2)



РФЭС-спектры поверхности углеродных моноволокон до (а, б) и после (в, г) плазменной обработки в среде ОФЦБ



Поверхность

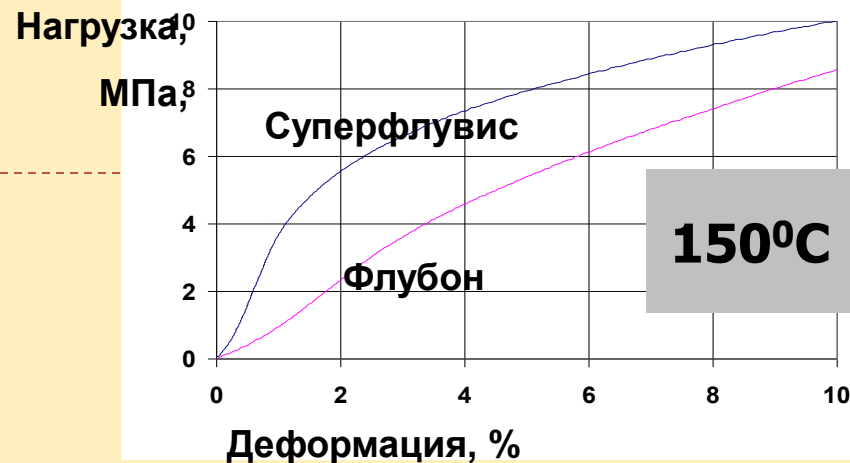


Поверхность углеродных волокон до (а–в) и после (г–е) плазмохимической обработки в среде ТФЭ

Снимки АСМ поверхности кремниевой пластины до (а) и после плазменного осаждения покрытия из ТФЭ в течение 2 мин (б) и 10 мин (в, г)



Механические характеристики композитов



	Флубон	Флувис-20	Суперфлувис-20
Плотность, кг/м ³	1800-1850	1950-1980	2050-2080
Предел текучести при сжатии, МПа	15	18-21	22-25
Прочность при растяжении, МПа	16-20	21-26	28-33
Нагрузка при сжатии при 5% деформации при 18°C/150°C	15	24	35
	5	6	8
Модуль при 20°C 150°C	240-280	500-600	700-1100
	90-120	130-150	280-300
Твердость по Бринеллю, НВ	-	58-68	74-78
Износ, 10 ⁻⁷ мм ³ /Н*м	5-10	2,2-4,5	1,5

Машина трения. Аппаратная часть

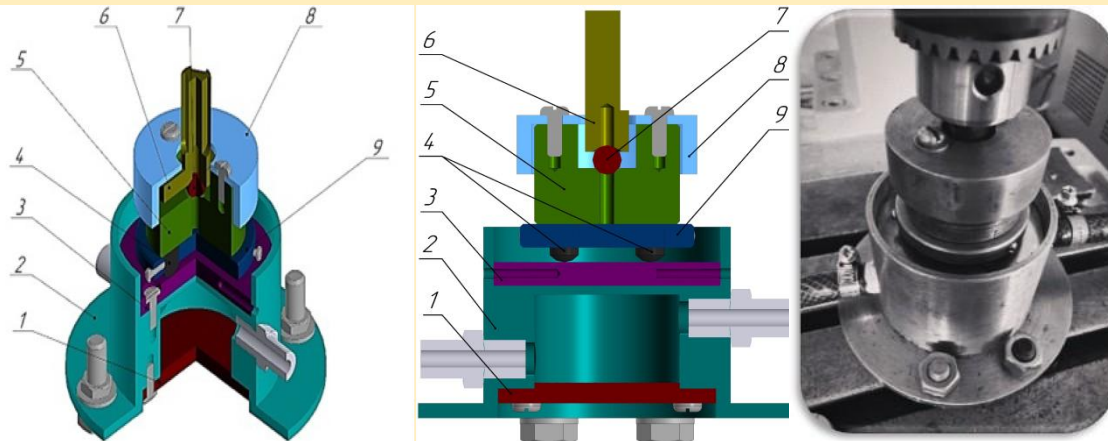


Схема узла трения

1 – крышка основания; 2 – основание; 3 – контртело; 4 – образец; 5 – переходник; 6 – вращатель; 7 – шарик; 8 – крышка вращателя; 9 – держатель образцов.

Общий вид оснастки

Технические характеристики комплекса

1. Обслуживающий персонал, чел - 1;
2. Суммарная мощность, кВт – 0,55;
3. Регулировка частоты вращения ω и линейной скорости v :
-тип – бесступенчатое;
-диапазон n , об/мин – 93...1017;
-диапазон v , м/с – 0,165...1,8;
4. Длительность проведения одного испытания, ч – 2;
5. Полный цикл испытания на серию из 12 образцов, ч – 8.

Машина трения. Программная часть

Оптимизированная схема испытаний

Схема испытаний по ТУ

$$V_i = \frac{1}{24} \pi * \operatorname{tg} \alpha * \left((d_i^k)^3 - (d_i^{k-1})^3 \right)$$

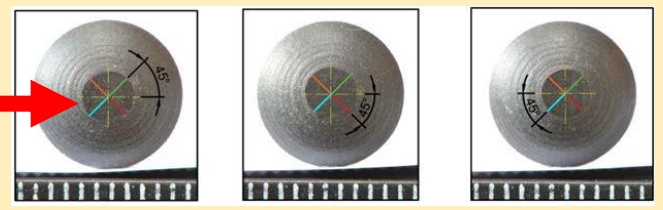
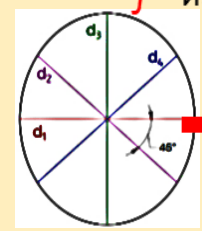
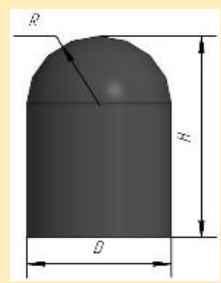
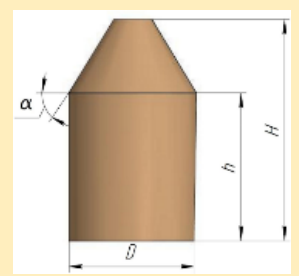
$$d_i^k = \frac{\sum_{j=1}^4 d_{ij}}{4}$$

$$J = \frac{\sum_{i=1}^3 (V_{i2} - V_{i1})}{N_3 \cdot S}$$

$$I = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{h_i}{S}$$

Обозначения: d_i - диаметр основания конуса, α - угол наклона конуса, V_i - объем изношенного материала, N - приложенная нагрузка, h - высота конуса, S - путь трения.

J - износ материала, I - интенсивность изнашивания.



Вводная часть					
Диаметр диагонали образцов после приработки, мм			Диаметр диагонали образцов после испытания, мм		
Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 1	Образец 2	Образец 3
3,227	3,176	3,189	3,158	3,230	3,284
3,252	3,158	3,326	3,372	3,341	3,325
3,385	3,518	3,407	3,517	3,602	3,601
3,571	3,587	3,566	3,545	3,508	3,528
Среднее значение диагоналей, мм			Среднее значение диагоналей, мм		
3,188		3,231	3,457		3,537
Высота сегмента следа износа h1, мм			Высота сегмента следа износа h2, мм		
0,203		0,209	0,224		0,251
Объем приработочного износа, V11, мм³			Объем приработочного износа, V12, мм³		
0,815		0,861	0,986		1,132

Имя/номер	Расчётная часть		
	Нагрузка	Радиус концевой сферы образца	Путь трения
1.1	N, Н 300,000	Rсф, мм 6,35	S, км 8
Примечания	Износ, мм³/Н*м 10-7		
притирка - 3км; полный путь - 8км			
Дата	4,299		
07.09.2022	Интенсивность изнашивания I, 10-9		
4,754			

Измерение диаметра конуса в 3-х направлениях

Получаемые результаты

«Материал для уплотнений компрессорных машин Флувис-У» Т. 13 РБ ВУ 400084698.248-2012 для поршневых, направляющих и сальниковых колец компрессоров

Потребитель - ОАО «Белтрансгаз», ПГХ «Прибугское» и «Осиповичи»

Задача – гарантия работы уплотнений на ПГХ (250 атм. 150⁰ С, с ресурсом не менее 5000 часов без остановки (износ менее 0,1 мм).

Результат – ресурс 15 тыс. часов (три года) с износом 0,2 мм.

ТУ позволяет проводить входной неразрушающий контроль любой заготовки по плотности
За 12 лет работы на 40 мотор-компрессорах ГМК-10ГКНАМ не было ни одного отказа по вине уплотнений



Негативный результат

Кольца из Флуvisa 6-й ступени компрессора 6BM16-140/200, разрушившихся после 300 часов работы.

Диаметр колец в свободном состоянии около 194 мм.

Сечение 10*12 мм.

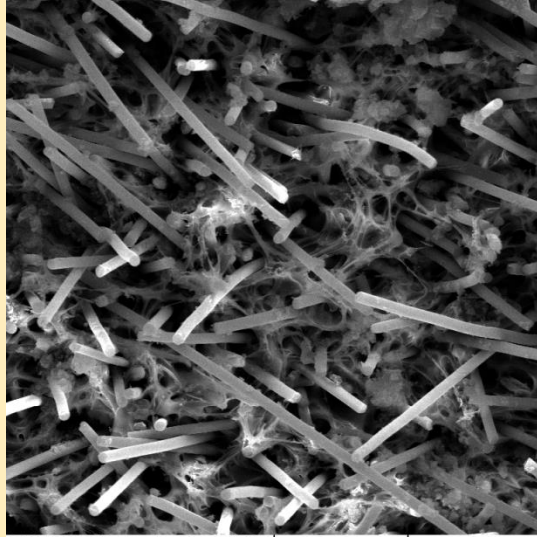
Рабочее давление 200 атм., температура не более 130⁰С.

Кольца из заготовок, полученных из ОАО «ГМЗ» изготавливали на заводе своими силами по неизвестной КД

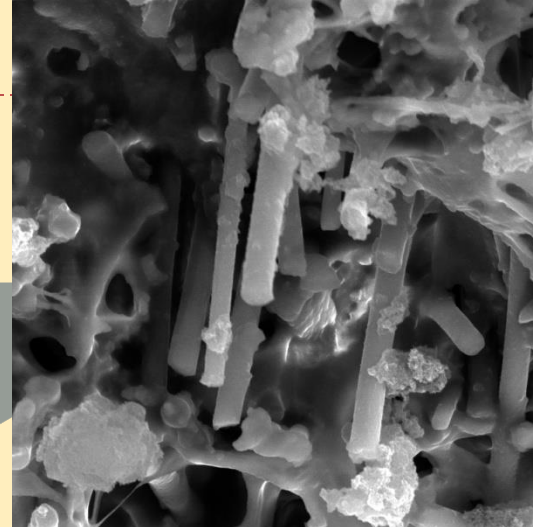
Причина – кавитация из за неправильного масла



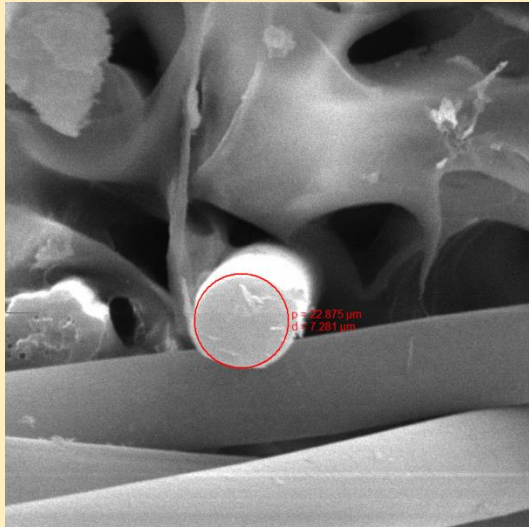
ПОДДЕЛКИ



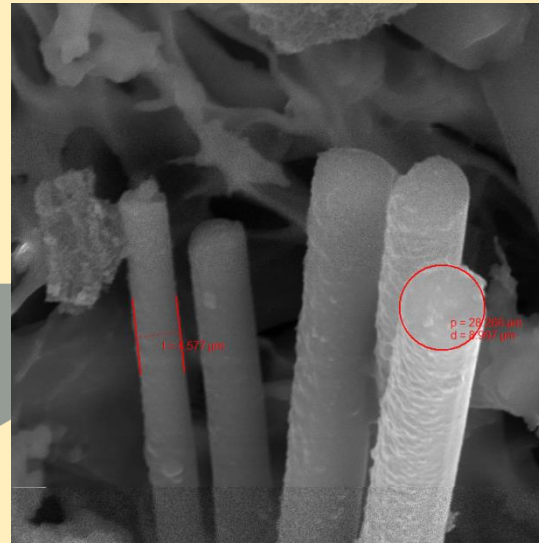
SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 05/31/13
View field: 396.80 μm Det: SE Detector
Date(m/d/y): 05/31/13 Name: 1.tif
100 μm VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 05/31/13
View field: 165.32 μm Det: SE Detector
Date(m/d/y): 05/31/13 Name: 6.tif
50 μm VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 05/31/13
View field: 40.52 μm Det: SE Detector
20 μm VEGA\\ TESCAN



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 05/31/13
View field: 56.64 μm Det: SE Detector
20 μm VEGA\\ TESCAN

Суперфлувис

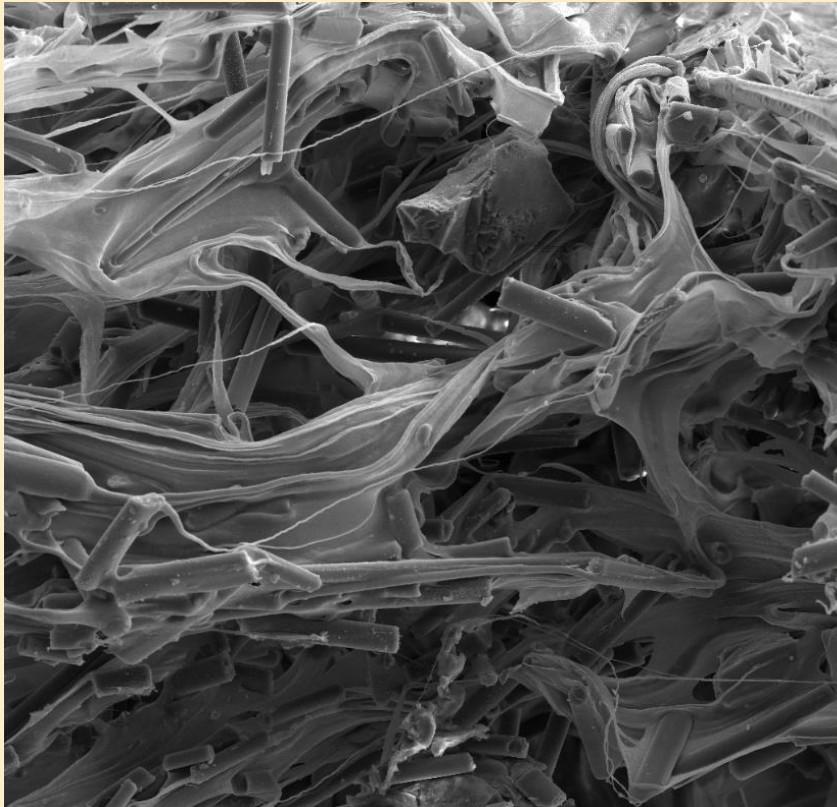
подделка

Применение модифицированных УВ в резинах на основе фторкаучуков

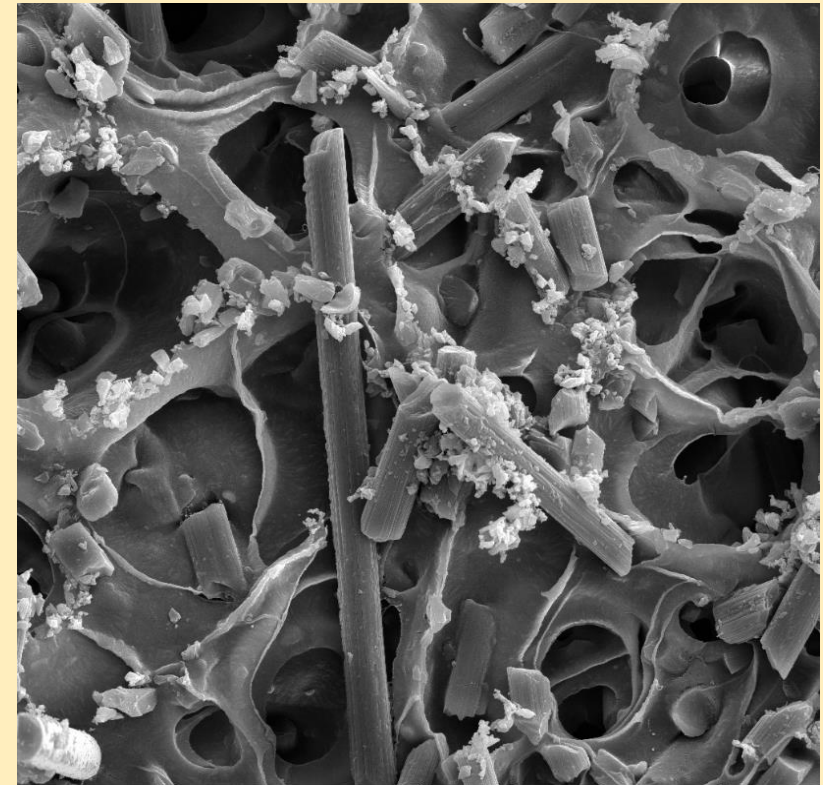
Показатель	Требования нормативной документации	Серийная Карбонизованная ткань «Викарб-15»	Опытная Модифицированный материал «Белум»
Режим вулканизации	1 стадия 151°Сх30'; 2 стадия 200 °Сх24'		
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	15,7	17,0	18,6
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	65	76	80
Твердость, ед. ШорА	76-88	86	82
Изменение относительного удлинения после старения в воздухе при температуре 200 °С в течение 72 ч., %	-55...+25	+7,8	-12,5
Относительная остаточная деформация при сжатии на 20% в течение 24 час. при 200°С, %	Не более 45,0	41,0	40,4
Потери объема при истирании, мм ³	Не норм.	91,8	30,5
Соппротивление истиранию, Дж/мм ³	Не норм.	7,4	46,7
Усадка, %	Не норм.	1,8	1,3



Анализ состава композита с использованием лазерной абляции



SEM HV: 20.00 kV WD: 20.0000 mm
View field: 529.07 μm Det: SE Detector
Date(m/d/y): 09/28/22 Name: 9_Ф.tif
200 μm VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging



SEM HV: 20.00 kV WD: 20.0000 mm
View field: 132.27 μm Det: SE Detector
Date(m/d/y): 09/28/22 Name: 7_K.tif
50 μm VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging

Композит с УВ на основе пека и SiO_2

Композит с ПАИ-УВ и наноглиной



Спасибо за внимание

