



A Furukawa Company

ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Андрей Столов

OFS, Specialty Photonics Division, 55 Darling Drive, Avon, CT 06001

Пермь, Октябрь 2011



A Furukawa Company

Классификация волоконных световодов

- **Традиционные (стандартные)**
 - Сердцевина 8 - 100 μm , оболочка 125 μm , полимерное покрытие 250 μm
 - Разработаны для пассивной передачи оптического сигнала при телекоммуникации
- **Специальные**
 - Все остальные



A Furukawa Company

«Специальные» волоконные световоды

- **Световод разрабатывается под конкретное применение**
 - Собственно световод (сердцевина, оболочка)
 - Полимерное покрытие
 - Буфер и/или кабель



A Furukawa Company

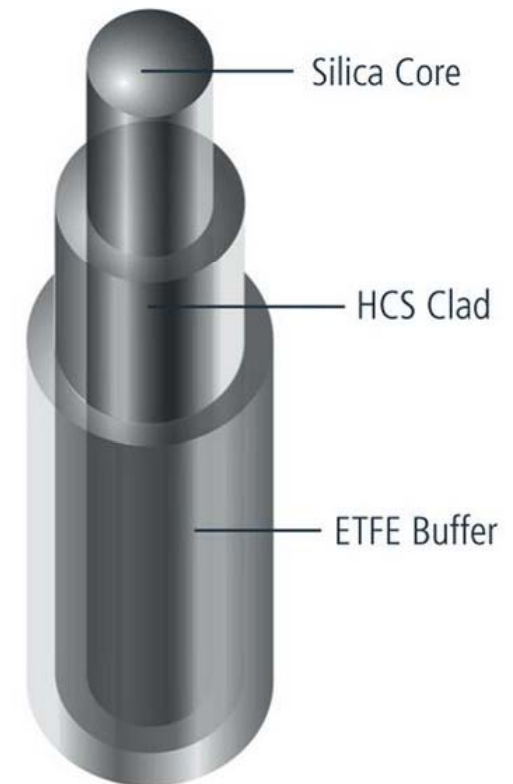
«Специальные» волоконные световоды

▪ Примеры задач

- Низкие/высокие температуры
 - Внутри двигателя автомобиля
 - Крылья самолета
- Агрессивные среды
 - Нефтяные скважины
 - Паровые турбины
- Передача сигналов высокой мощности
 - Лазерная сварка
- Медицина
 - Внутри кровеносных сосудов

Пример: подрывные работы

- Бикфордов шнур → волоконный световод
- Требования
 - Высокая интенсивность оптического сигнала
 - Большой диаметр сердцевины
 - Гибкость
 - Минимальная толщина оболочки
- Разработка
 - Сердцевина – кварц (диаметр 200 μm , $n = 1.453$)
 - Оболочка – полимерное покрытие (толщина 15 μm , $n = 1.405$)
 - Буфер ПЭТФЭ (диаметр 500 μm)
- Ensing-Bickford → Spectran → Lucent → OFS





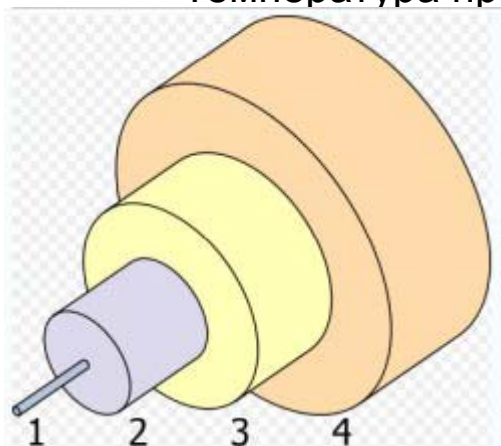
A Furukawa Company

Виды покрытий

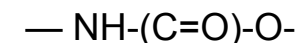
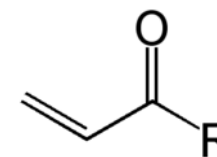
- **Акрилатные**
 - Двухслойные (стандартный набор)
 - Однослойные
- **Оптические**
 - Фторакрилатные ($n < 1.453$)
- **Силиконовые**
 - В комбинации с акрилатными покрытиями или буфером
- **Полиимидные**
- **Герметичные**
 - Углеродные
 - Керамические
 - Металлические
- **Прочие**
 - Write-through (для записи решеток Брэгга)
 - Эпоксидные
 - Огнеустойчивые...

«Стандартные» покрытия

- **Двухслойные акрилатные покрытия**
 - Быстрота УФ-отверждения, отсутствие летучих веществ, низкая чувствительность к микроизгибам, легкость удаления, дешевизна
 - Толщина 60 μm (30 μm первичный + 30 μm вторичный)
 - Разработаны для применения в нормальных атмосферных условиях
 - Температура применения $\leq 85^\circ\text{C}$

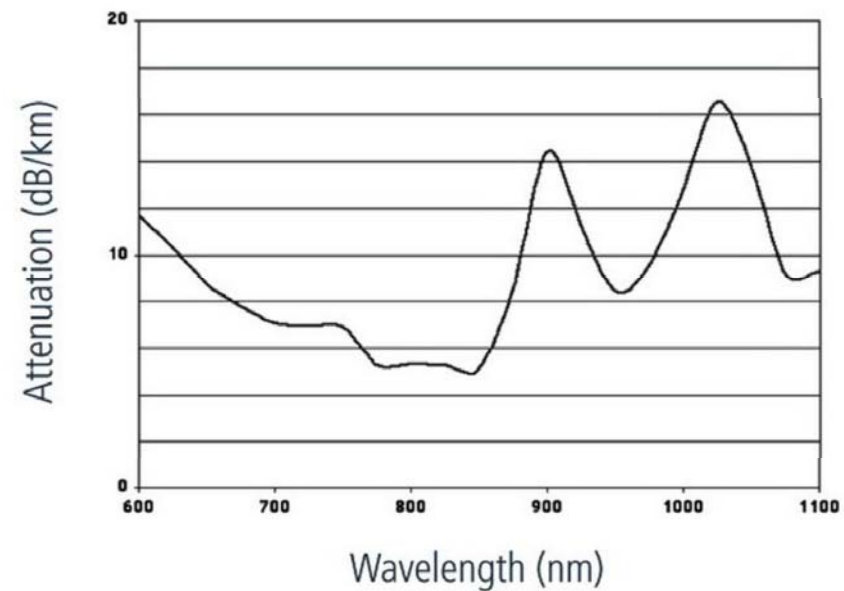
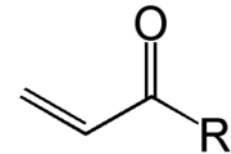
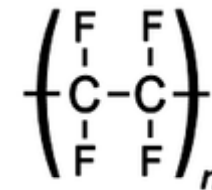


- 1 – сердцевина
- 2 – оболочка
- 3 – первичное (мягкое) покрытие
- 4 – вторичное (жесткое) покрытие



Оптические покрытия

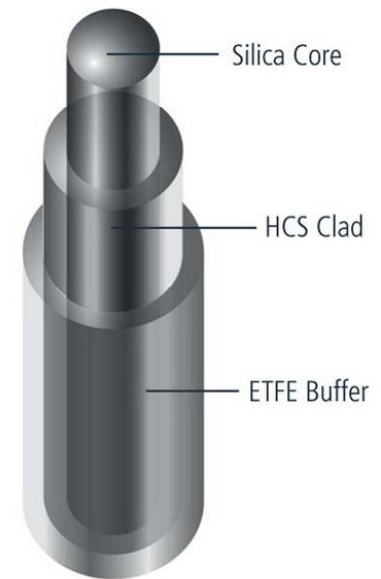
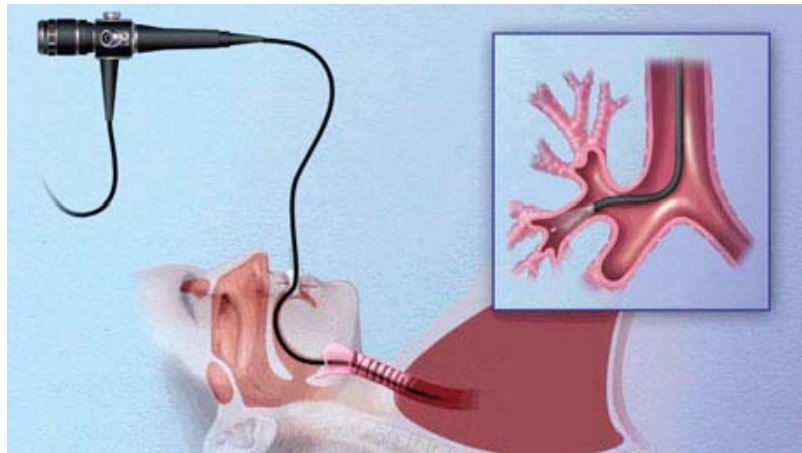
- Требования: $n < 1.453$, слабое поглощение/рассеяние света
- Перфторированные акрилаты
- Твердые ($E \sim 1000$ МПа) и мягкие ($E \sim 40$ МПа)
- Гидрофобные
- Толщина $\sim 10 - 15 \mu\text{m}$
- $NA = 0.37$ (... 0.54)
- Затухание < 6 dB/km (850 nm)



Оптические покрытия

■ Применения:

- Передача оптических сигналов высокой мощности
 - Лазерная сварка
 - Лазерная хирургия
 - Освещение (офтальмология)
 - «Вторичная оболочка» для лазерной накачки



- Дополнительное достоинство: коннекторы быстрого монтажа (crimp & cleave)



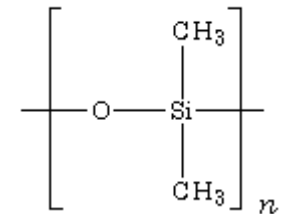
Силиконовые покрытия

■ Полидиметилсилоксан

- Термически отверждаемые
- УФ-отверждаемые

■ Свойства

- Мягкие (E ~ 1 МПа)
- Толщина 30 – 150 μm
- Высокая термическая стабильность
- Могут применяться как оптические покрытия
- «Отталкивают» воду и органические растворители
- Генерируют водород
- Требуют «вторичного» покрытия (акрилат, буфер)



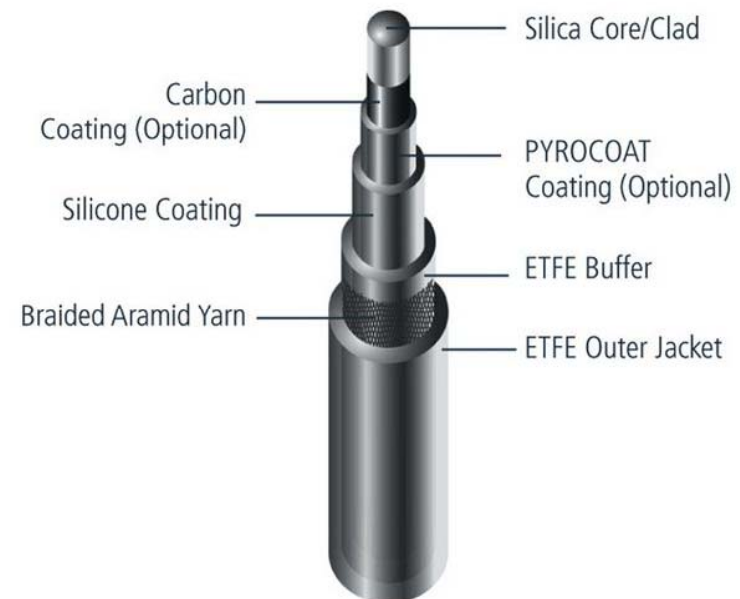


A Furukawa Company

Силиконовые покрытия

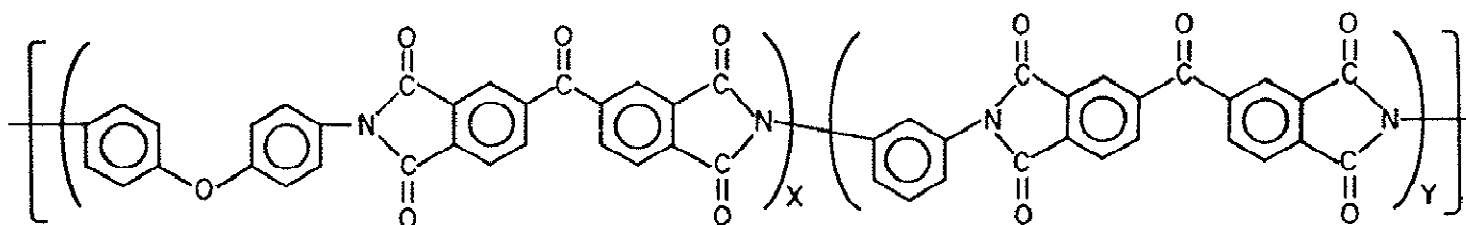
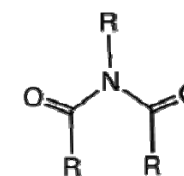
■ Применения:

- Авиационно-космическая область
- Нефтяные/геотермальные скважины



Полиимидные покрытия

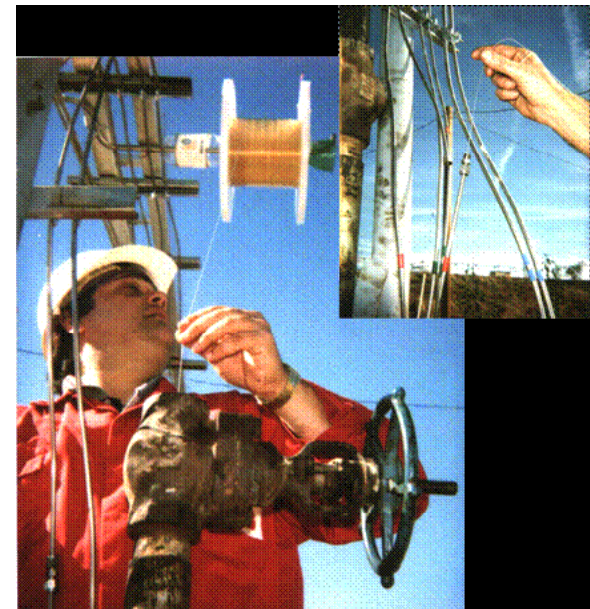
- Термически отверждаемые
- Твердые ($E > 2000 \text{ МПа}$)
- Толщина 10 – 15 μm
- Наиболее высокая термическая стабильность
- Устойчивы к агрессивным средам



Полиимидные покрытия

▪ Применения

- Медицина
 - тонкие покрытия
 - устойчивы к стерилизации паром
- Нефтяные скважины
 - Распределенные датчики температуры
 - Распределенные акустические датчики



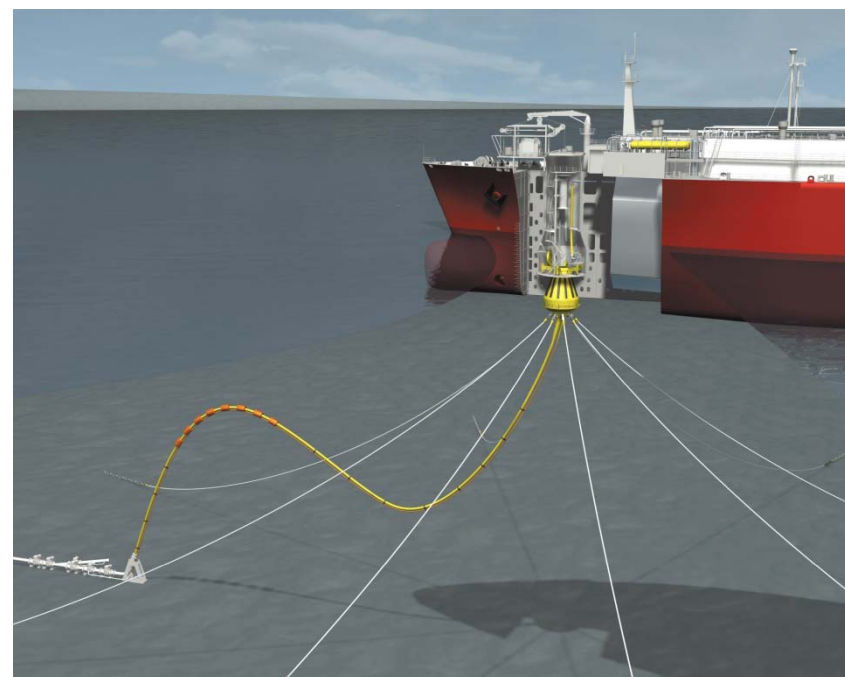
Герметичные покрытия

- **Цель: не пропускать молекулы воды и водорода**
 - Углеродные
 - Керамические (Si_3N_4 , SiC , ...)
 - Металлические
- **Наиболее распространены углеродные покрытия**
 - Толщина 30 – 50 nm
 - Применяется в комбинации с полимерным покрытием

Герметичные покрытия

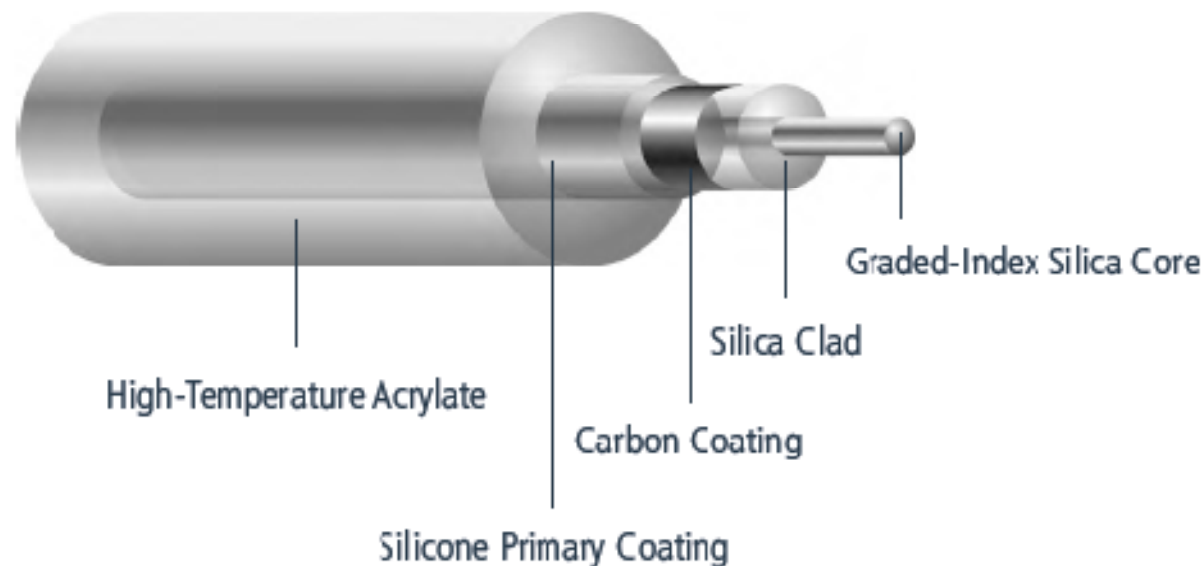
▪ Применения

- Нефтяные скважины
- Геотермальные электростанции
- Транспортировка нефти/газа
- Агрессивные среды

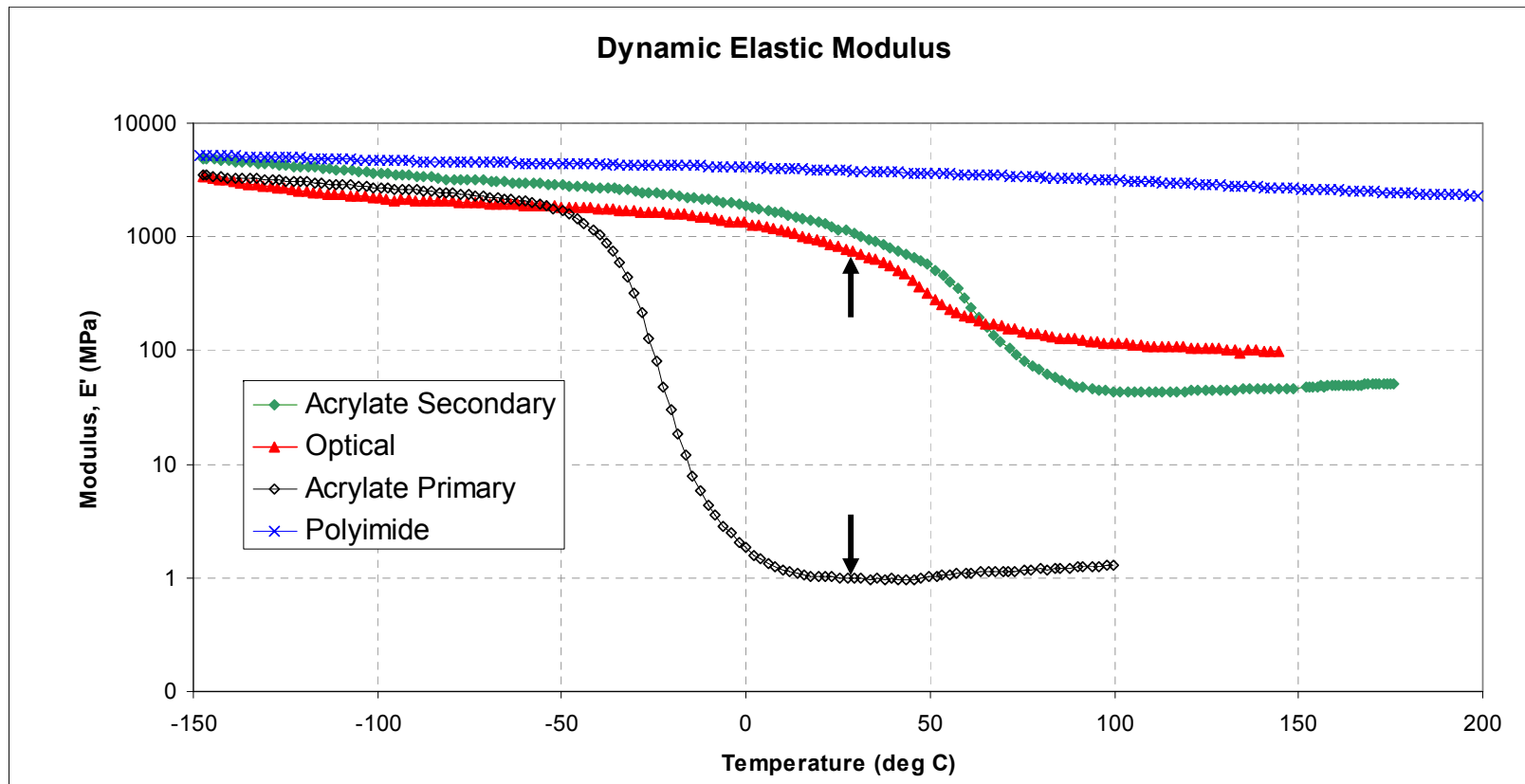


Комбинированные покрытия

- Углерод/силикон/акрилат
 - Улучшенная термическая стабильность (по ср. с двухслойными акрилатными покрытиями)
 - Менее затратное производство (по ср. с полиимидным покрытием)



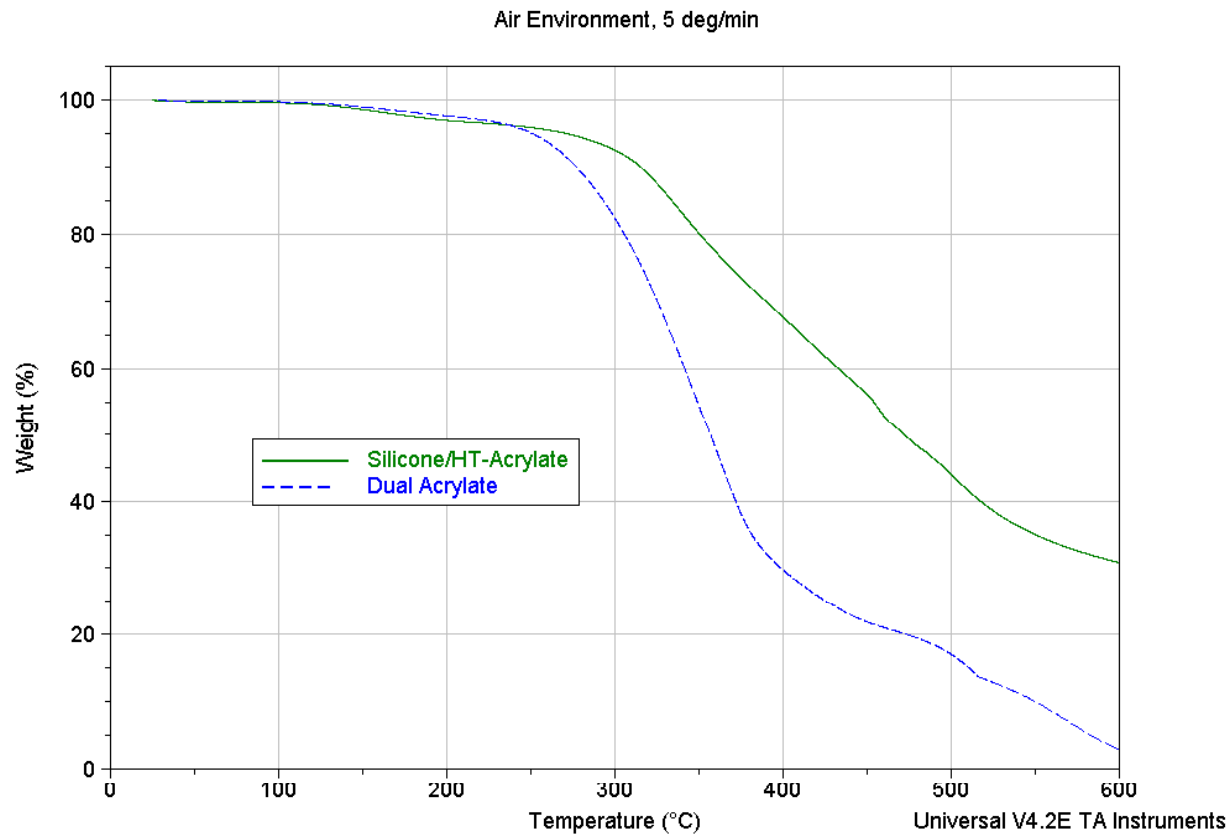
Механические свойства покрытий

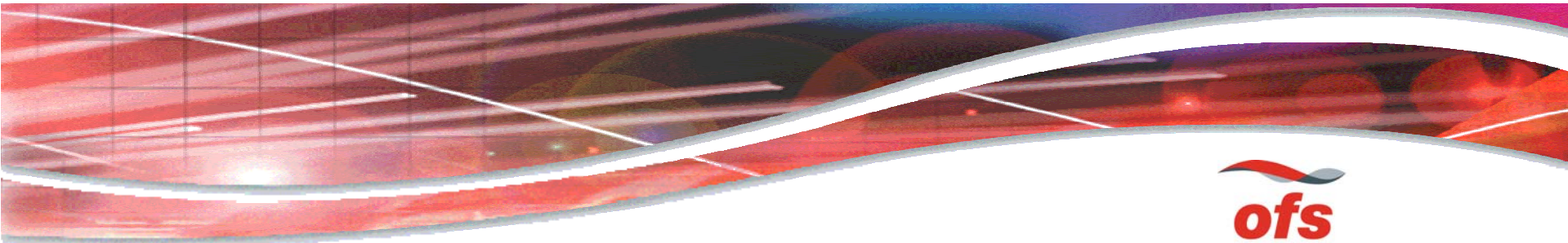


Термическая стабильность световода

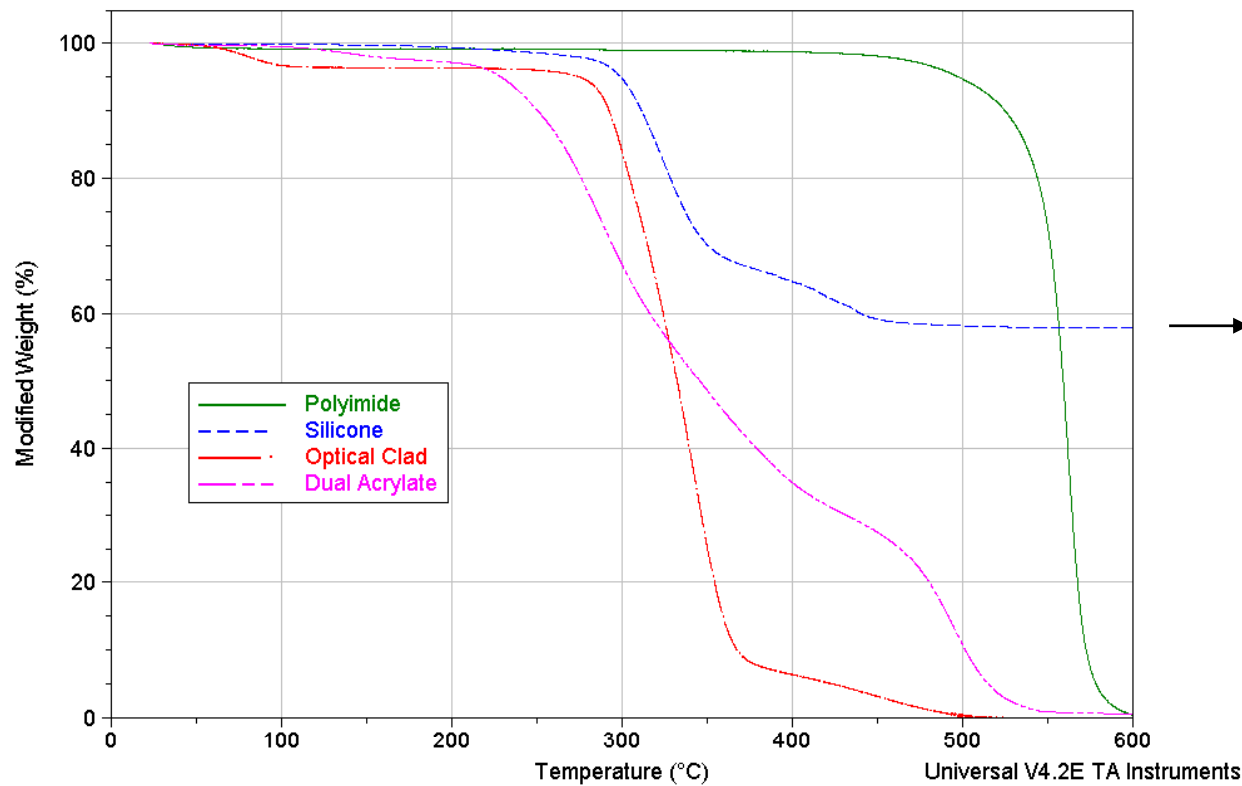
- **Зависит от вида использования**
- **Полимерное покрытие разрушается первым**
- **Как долго волоконный световод может быть использован при заданной температуре?**
 - Требования: 1 секунда - 20 лет
- **Какова максимальная температура применения световода (при известном времени использования)?**
 - Грубую, но быструю оценку можно сделать методом термогравиметрического анализа (ТГА)

Термическая стабильность: метод ТГА

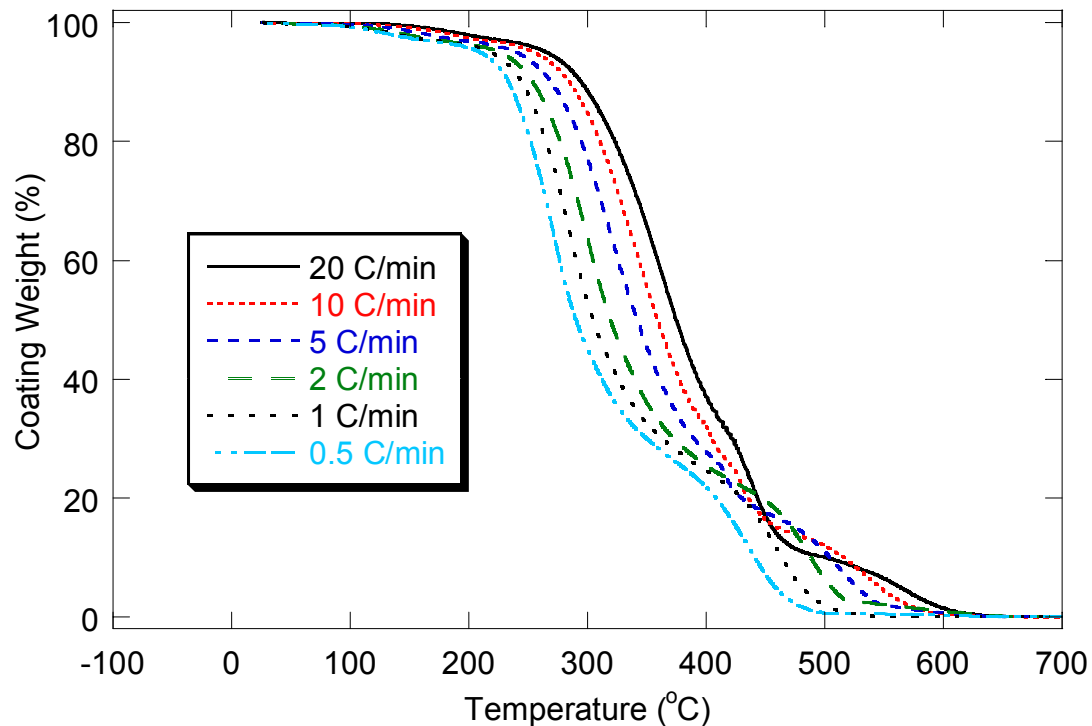




Термическая стабильность: метод ТГА

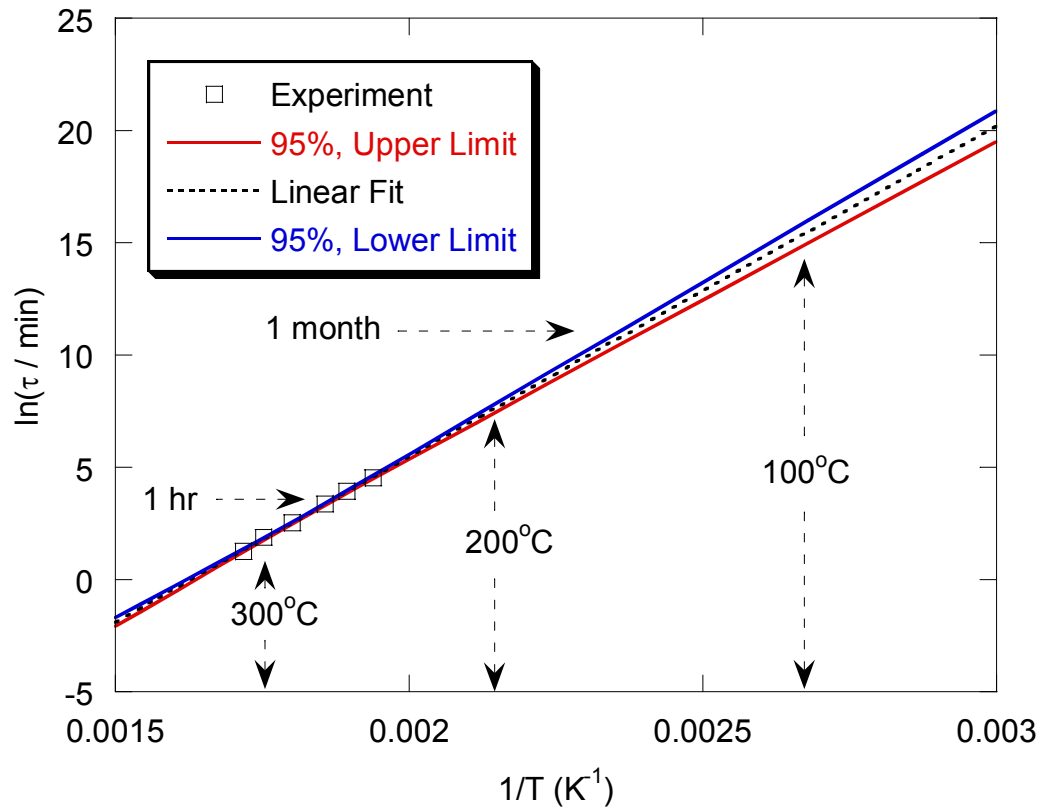


Как оценить время жизни полимерного покрытия?



- Образцы – кусочки реальных световодов
- Изотермический ТГА при разных температурах
- ТГА при разных скоростях нагревания
- Условный критерий: покрытие разрушается при потере 25%(?) начальной массы
- Экстраполяция Аррениусовой зависимости

Пример Аррениусовой зависимости: двухслойное акрилатное покрытие

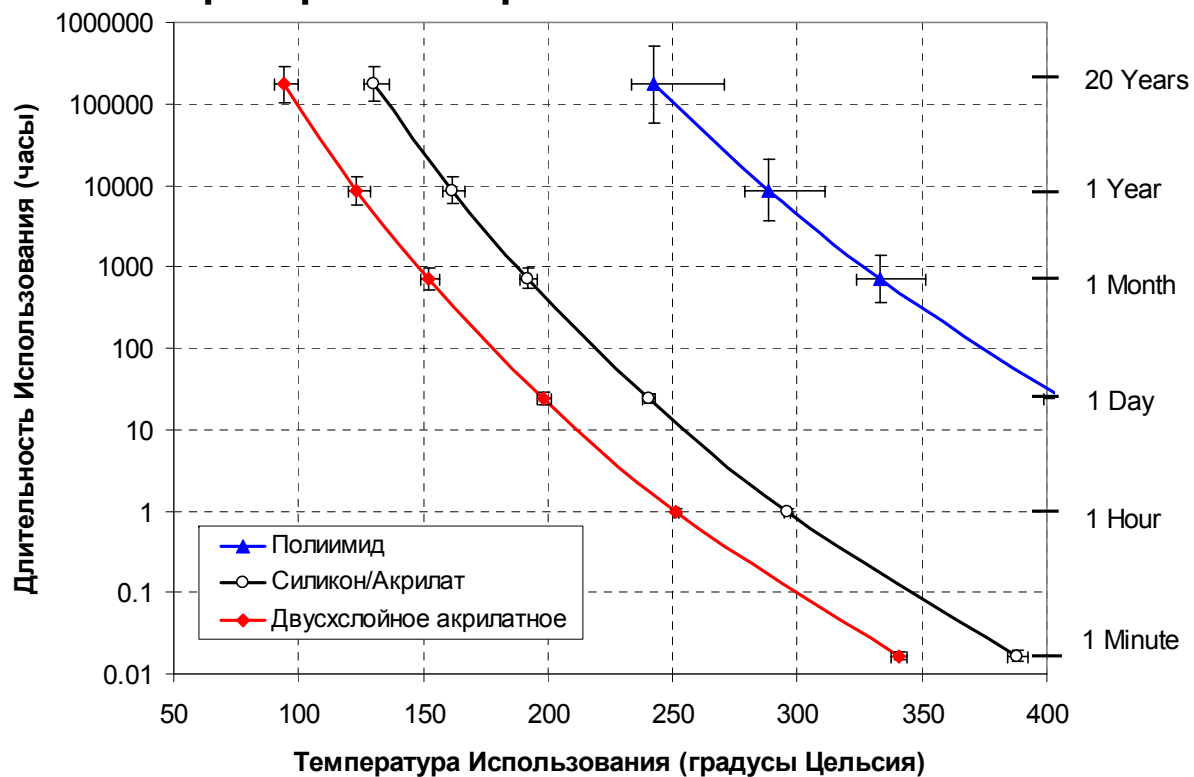


$$\ln \tau_F = \ln \tau_{F0} + \frac{E^*}{RT_{av}}$$

Термическая стабильность

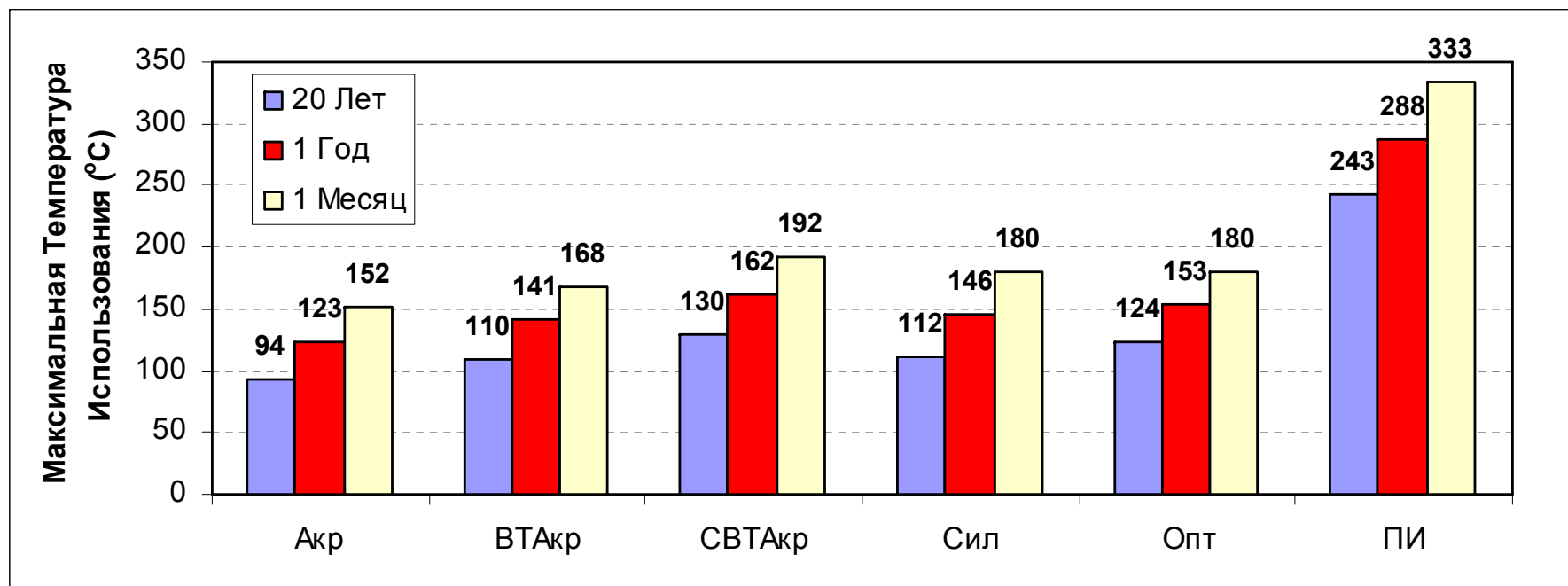
Максимальная температура использования (°C).

Критерий: потеря 25% начальной массы



Термическая стабильность

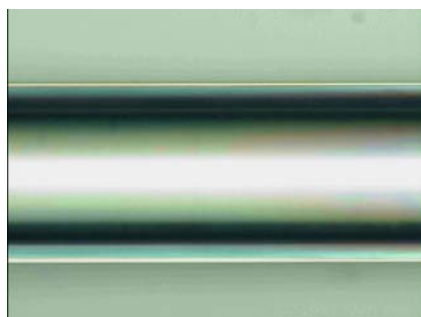
Максимальная температура использования (°C).
Критерий: потеря 25% начальной массы



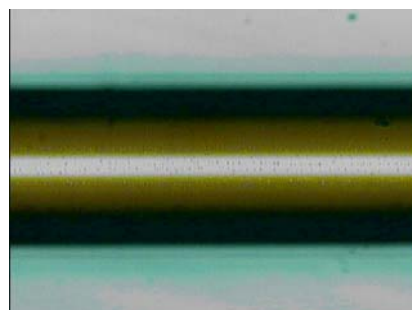


A Furukawa Company

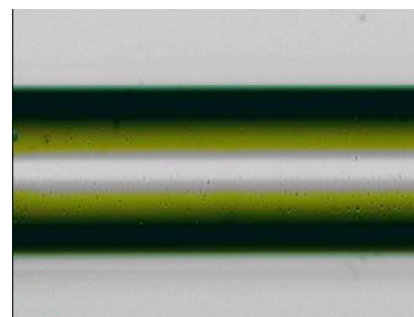
Термическое старение, 161°C, воздух



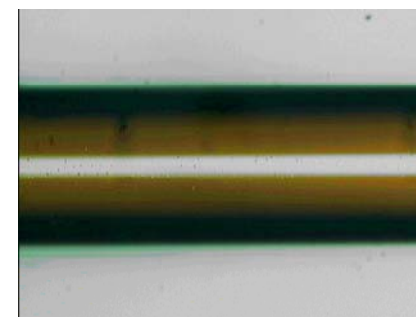
Двухслойное акрилатное
0 дней



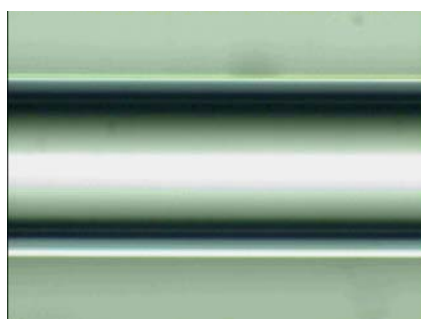
Двухслойное акрилатное
3 дня



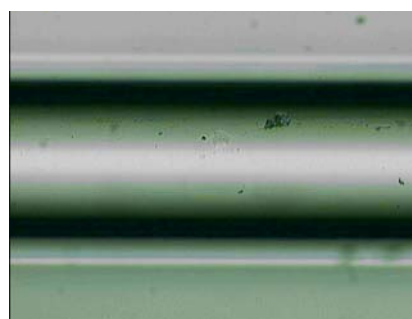
Двухслойное акрилатное
8 дней



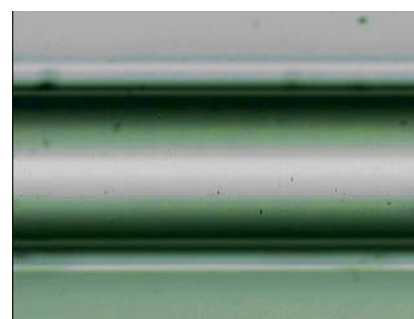
Двухслойное акрилатное
21 день



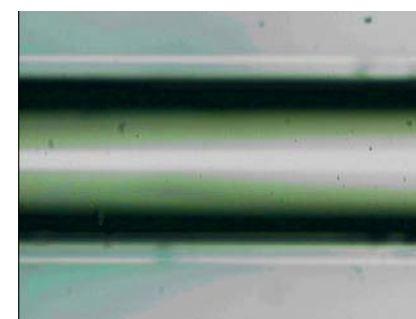
Силикон/акрилат
0 дней



Силикон/акрилат
3 дня

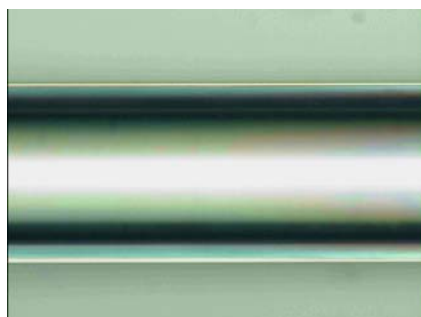


Силикон/акрилат
8 дней

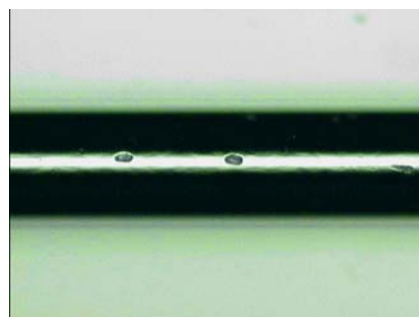


Силикон/акрилат
21 день

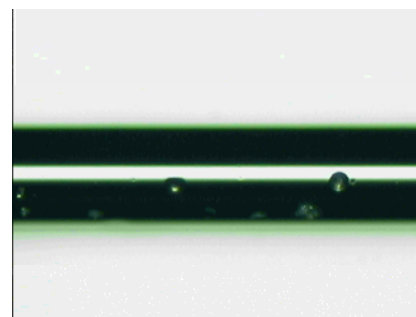
Термическое старение, 311°C, воздух



Двухслойное акрилатное
0 дней



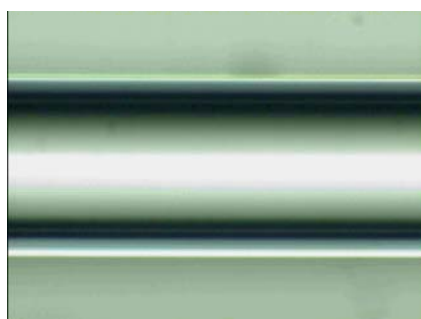
Двухслойное акрилатное
1 день



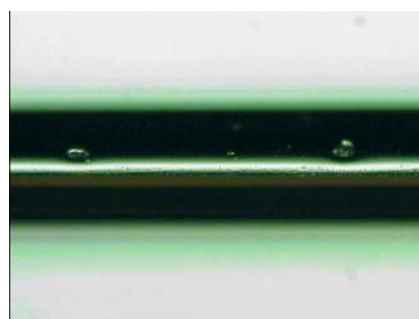
Двухслойное акрилатное
7 дней



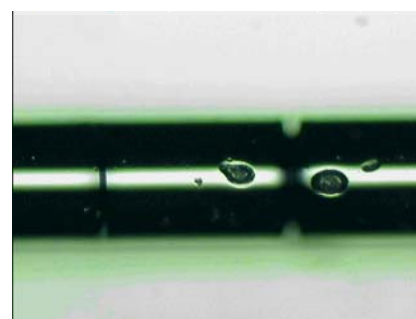
Двухслойное акрилатное
15 дней



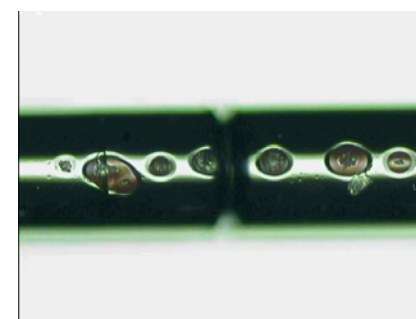
Силикон/акрилат
0 дней



Силикон/акрилат
1 день



Силикон/акрилат
7 дней

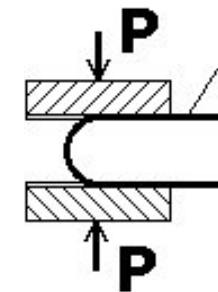
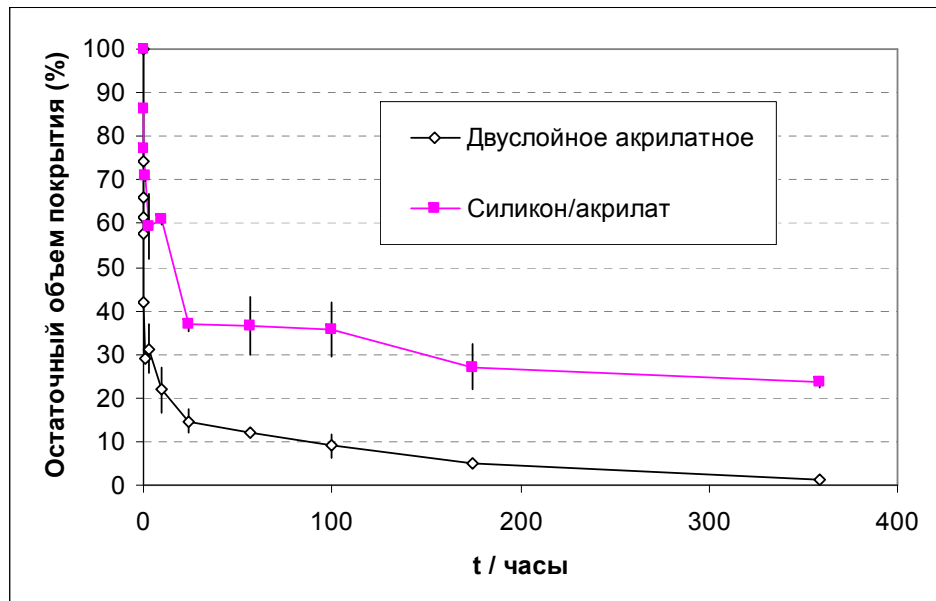


Силикон/акрилат
15 дней

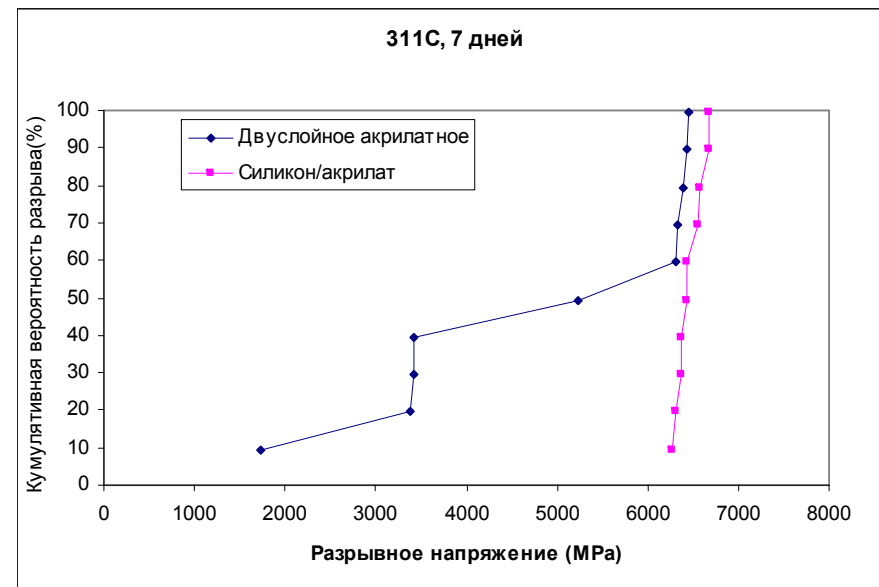


A Furukawa Company

Термическое старение, 311°C, воздух



Метод
двухточечного
изгиба

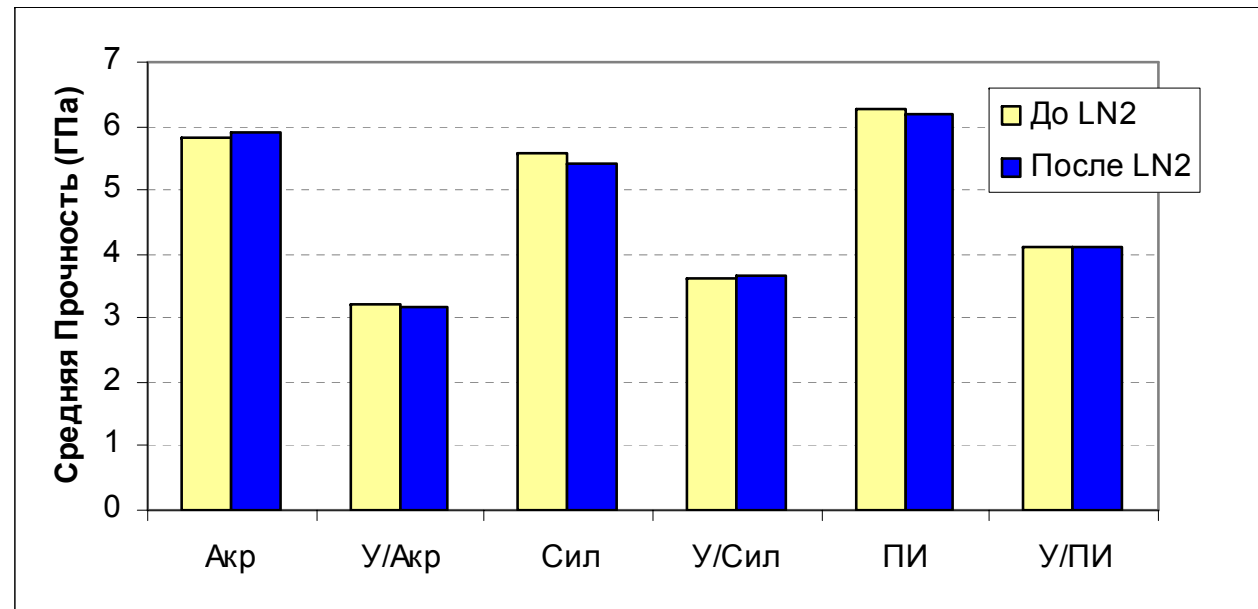
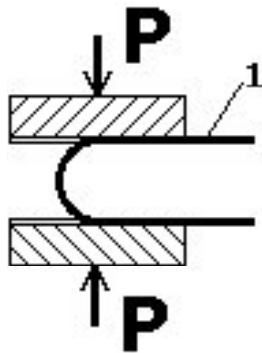


Поведение при низких температурах

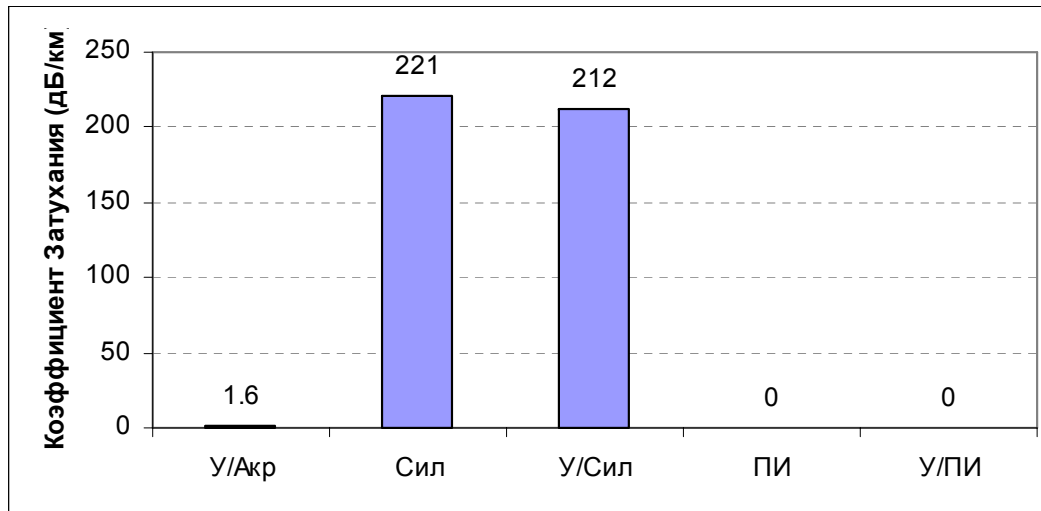
- Параметры световода 50/125 μm (градиентный профиль, NA = 0.2)
 - Виды покрытий:
 - 190/245 μm двухслойное акрилатное (Акр)
 - 40 nm углерод + 190/245 μm двухслойное акрилатное (У/Акр)
 - 155 μm полиимид (ПИ)
 - 40 nm углерод + 155 μm полиимид (У/ПИ)
 - 450 μm силикон (Сил)
 - 40 nm углерод + 450 μm силикон (У/Сил)

Поведение при низких температурах (-196°C)

- Световоды помещались в жидкий азот
- Прочность измерялась методом двухточечного изгиба



Поведение при низких температурах



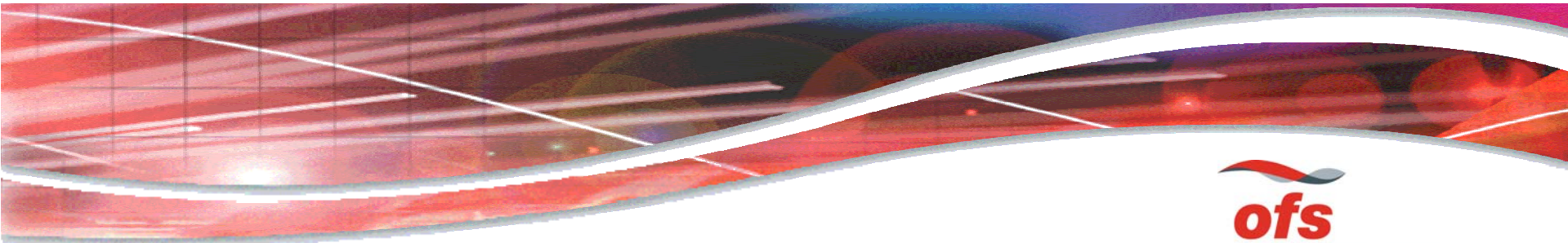
- Углеродное покрытие не влияет на коэффициент затухания
- Полиимидное покрытие – минимальное влияние температуры
 - лучший выбор для распределенных сенсоров температуры
- Силиконовое покрытие – максимальное влияние температуры
 - Можно использовать для обнаружения течи в криогенных системах



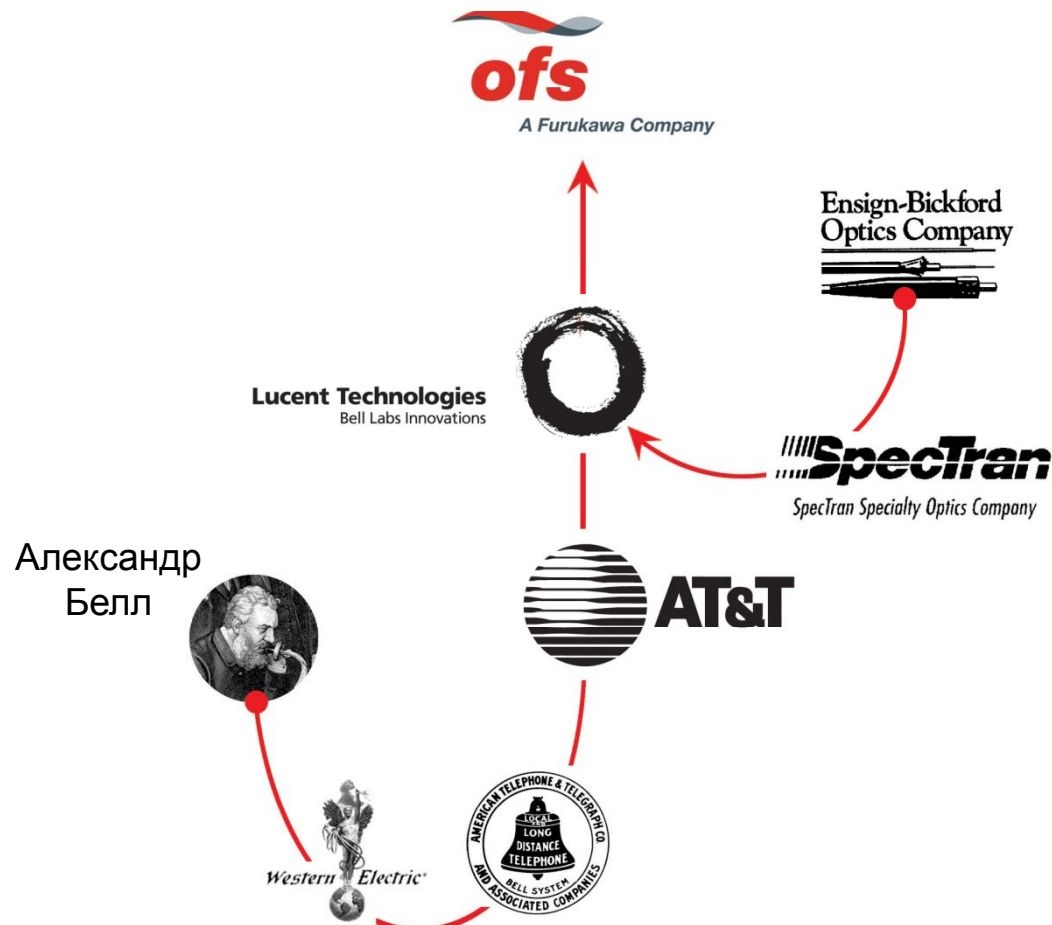
A Furukawa Company

Выводы

- **Знания свойств полимерных покрытий позволяет для каждого конкретного применения**
 - правильно подбирать материалы
 - оптимизировать геометрические параметры покрытий



Компания OFS (Optical Fiber Solutions)



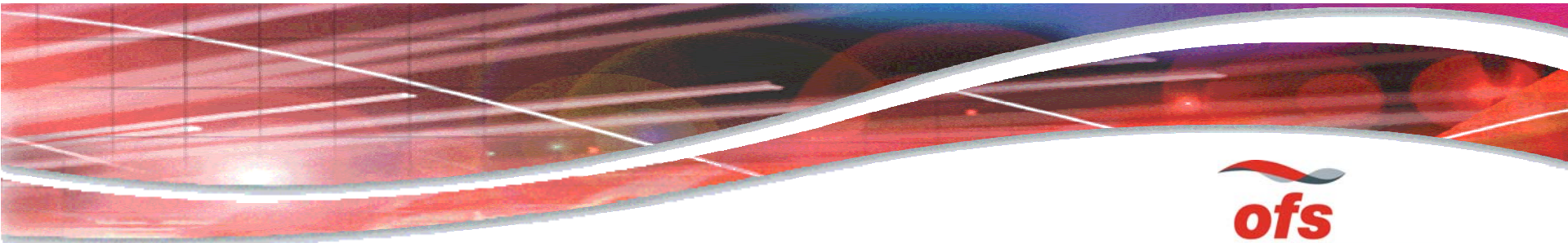
Телефон

Лазеры **Транзистор**

Unix, C, C++

MCVD **Транс-атлантический кабель**

Углеродные покрытия



A Furukawa Company

