

05.1

Кратковременная потеря прочности кварцевых волоконных световодов после их вытяжки

© А.Ю. Кулеш, М.А. Ероньян, И.К. Мешковский

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет „ИТМО“
E-mail: parkur89@yandex.ru

Поступило в Редакцию 20 июня 2013 г.

Обнаружено явление падения прочности волоконных световодов из кварцевого стекла на 15% в течение часа после их вытяжки. Показано, что природа этого явления связана с изменением содержания влаги в полимерной оболочке оптического волокна. На основе обнаруженного явления предложены рекомендации для процесса вытяжки кварцевого волокна.

Лавинообразный рост применений волоконных световодов (ВС) в линиях связи, датчиках физических величин и волоконно-оптических приборах вызывает повышенный интерес к их прочности и долговечности. При этом в подавляющем большинстве используемых, а также в разрабатываемых различного типа новых световодах кварцевое стекло является основным по содержанию материалом.

Прочность ВС является статистической характеристикой и существенно зависит от длины волокна. Экстраполяция экспериментальных данных зависимости разрушающего напряжения (σ) от размера (r) дефекта [1] на его величину, равную длине межатомной связи Si–O ($0.16 \cdot 10^{-9}$ m), дает предельное значение прочности, равное 37.5 GPa [2], близкое к теоретическим оценкам. Нановолокна диаметром 124 nm, вытянутые из оптического кварцевого волокна, показали высокий уровень прочности, равный 26 GPa [3]. Однако реальная прочность световодов, защищенных полимерной оболочкой, находится на уровне 6 GPa. Тот факт, что прочностные свойства ВС существенно зависят от температуры и окислительно-восстановительных условий его вытягивания [2], свидетельствует о химической природе появления и развития поверхностных дефектов, инициирующих разрушение волокна.

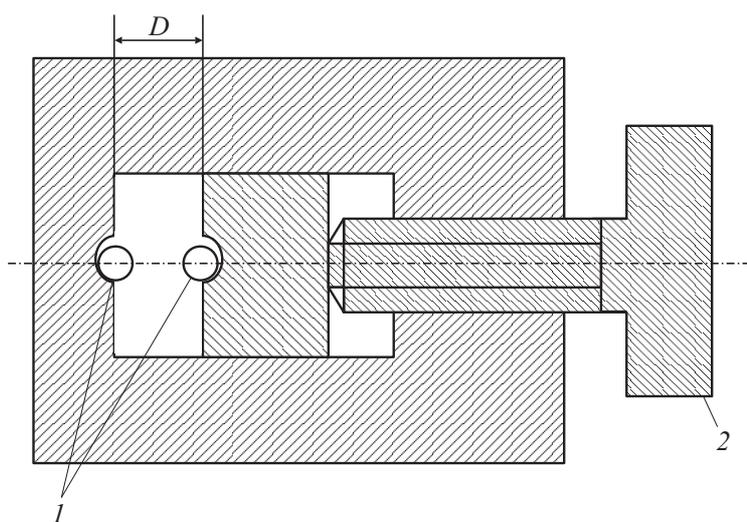


Рис. 1. Схема устройства для измерения предельного диаметра изгиба волокна: 1 — световод в покрытии, 2 — микрометрический винт.

В настоящее время нет исчерпывающего представления о том, в какой момент после вытягивания ВС развитие дефектов прекращается.

В связи с изложенным цель данной работы заключалась в измерении прочности ВС во времени сразу после их вытягивания.

Волокна диаметром $125\ \mu\text{m}$ вытягивали со скоростью $60\ \text{m/min}$ при температуре 2100°C из заготовки, полученной методом MCVD с использованием трубы из кварцевого стекла марки КВ. В процессе вытягивания на волокно наносили эпоксиакрилатную оболочку толщиной $40\text{--}45\ \mu\text{m}$. Ее отверждение производили в ультрафиолетовой печи в атмосфере технического азота, содержащего $0.006\ \text{vol.}\%$ влаги. Сразу после тянущего ролика отрезали ВС длиной около одного метра и методом двухточечного изгиба [4] производили измерения прочности с фиксацией времени его разрушения. За начало отсчета принят момент изъятия волокна с тянущего ролика.

Для определения прочности ВС методом двухточечного изгиба использовали устройство с микрометрическим винтом (рис. 1). Напряжение (σ), создаваемое изгибом волокна, в первом приближении

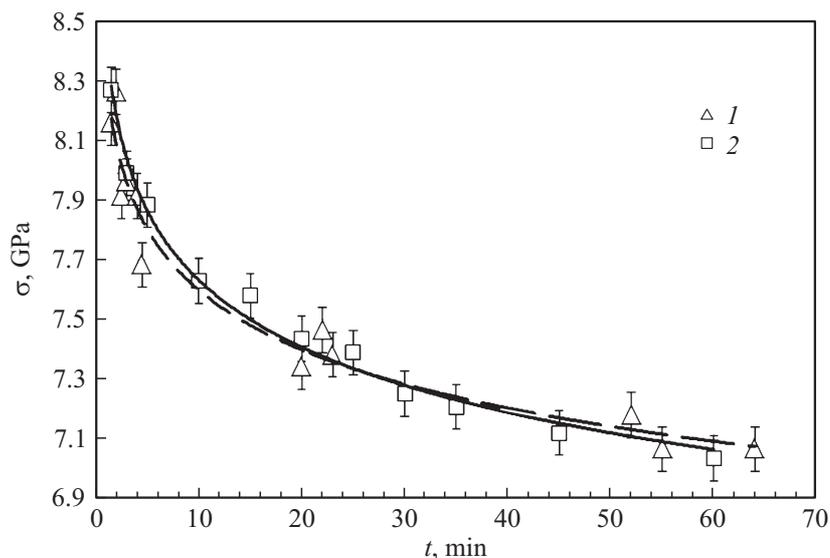


Рис. 2. Сравнительный анализ изменения прочности ВС во времени: 1 — после вытяжки с аппроксимацией сплошной линией; 2 — после сушки с аппроксимацией пунктирной линией. Вертикальные отрезки показывают погрешность измерения прочности в соответствии со стандартным отклонением.

равно [4]:

$$\sigma = 1.198E_0d/D,$$

где E_0 — модуль упругости кварцевого стекла, равный 71.5 ГПа [5], d — диаметр стекловолокна, D — диаметр окружности изгиба нейтральной оси волокна.

Время одного измерения не превышало 10 с. Измерения проводили при комнатной температуре и относительной влажности 20–30%. На основании 20 измерений определено стандартное отклонение для прочности, равное 0.15 ГПа.

Результаты по изменению прочности ВС во времени (рис. 2) свидетельствуют о разупрочнении волокна ориентировочно на 15% через час после его вытягивания. Причиной этого явления может быть снижение влагосодержания в полимерной оболочке в процессе ее отверждения в сухой среде при повышенной температуре. После отверждения покрытия ВС попадает в воздушную атмосферу, и влага

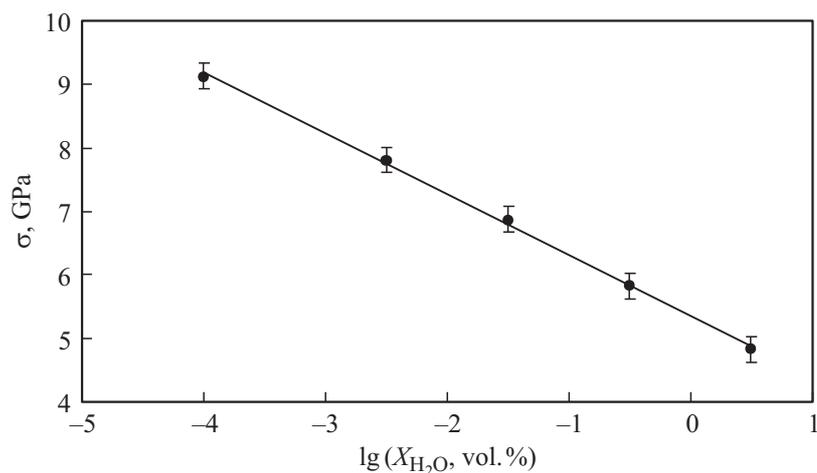


Рис. 3. Зависимость прочности световода (σ) от влагосодержания окружающей среды (X_{H_2O}). Вертикальные отрезки показывают погрешность измерения прочности в соответствии со стандартным отклонением.

из окружающей среды диффундирует через полимерную пленку к поверхности стекловолокна.

Нами проведены специальные эксперименты по исследованию влияния влажности газовой среды на измеренную методом двухточечного изгиба прочность ВС. Для этого волокно выдерживалось в кислороде, содержащем заданное количество влаги, контролируемой влагомером ИВА-8, до постоянства величины измеряемой прочности. Получена линейная зависимость величины прочности от логарифма содержания влаги в газе (рис. 3). Отклонения для величины прочности соответствуют двум стандартным отклонениям среднего арифметического из четырех измерений.

Для проверки идеологии потери прочности в связи с насыщением полимерной оболочки влагой был проведен следующий опыт. На основе экспериментальной зависимости (рис. 3) определен уровень влагосодержания в газе ($\approx 0.0005 \text{ vol.}\%$), соответствующий прочности световода ($\approx 8.3 \text{ GPa}$) в момент снятия с тракта вытяжки. Отрезки ВС длительного хранения с эпоксиакрилатной оболочкой длиной по 100 mm выдерживали в ячейке в течение времени, необходимого для выхода на необходимый уровень прочности (8.3 GPa). Ячейка продувалась

кислородом с требуемым уровнем влагосодержания (≈ 0.0005 vol.%). Содержание паров воды в газе задавалось расходами сухого (с точкой росы — 80°C) и влажного газа. После этого проведены измерения прочности 10 „осушенных“ образцов ВС при разной длительности их нахождения в комнатной атмосфере при естественной влажности.

Результаты по измерению прочности ВС после его сушки представлены квадратами на рис. 2. Полученная зависимость в полной мере соответствует характеру разупрочнения ВС сразу после их вытягивания, что представлено на этом же рисунке треугольными маркерами.

Разница во влагосодержании технического азота (0.006 vol.% влаги), используемом при процессе вытяжки волокна, и влагосодержании (≈ 0.0005 vol.% влаги), определенном для условий сушки по калибровочной зависимости (рис. 3), объясняется разницей температур при процессе отверждения полимерного покрытия и сушки.

Таким образом, падение прочности ВС в течение часа после их вытягивания обусловлено увеличением содержания влаги в полимерном защитном слое.

В связи с полученными результатами целесообразно:

— на участке от печи вытягивания до контакта с жидким полимером экранировать волокно от влаги окружающей среды, что особо важно при повышенном усилии вытягивания;

— при проведении proof-теста методом перемотки на роликах в процессе вытяжки волокна следует учитывать 15%-ное его разупрочнение.

Список литературы

- [1] *Sakaguchi S., Nakahara M., Tajima Y.* // J. Non-Cryst. Solids. 1984. V. 64. N 1–2. P. 173.
- [2] *Буреев С.В., Дукельский К.В., Ероньян М.А.* и др. // Сборник трудов конференции „Прикладная оптика 2010“. Санкт-Петербург, 2010. Т. 2. С. 201.
- [3] *Bramilla G., Payne D.N.* // Nano Lett. 2009. V. 9. N 2. P. 831.
- [4] *France P.W., Paradine M.J., Reeve M.H.* et al. // J. Mater. Sci. 1980. V. 15. P. 825.
- [5] *Глаголев С.П.* Кварцевое стекло. Его свойства, производство и применение / Под редакцией проф. Н.Н. Яроцкого. Л.; М.: ОНТИ, 1934. 216 с.