

И.А. Левицкий, М.В. Дяденко, А.А. Козловская
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***Аннотация.** Приведены результаты исследований по повышению светопропускания волоконных оптических элементов на основе жесткого оптического волокна в системе «световедущая жила – светотражающая оболочка – защитная оболочка».*

I.A. Levitskii, M.V. Dyadenko, A.A. Kozlovskaya
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF FIBER-OPTICAL ELEMENTS

***Abstract.** The results of research on increasing the light transmission of fiber-optical elements based on rigid optical fiber in the "light-guiding core–reflective coat–protective coat" system are presented.*

Целью исследований явилось изучение причин брака, возникающих при производстве волоконно-оптических элементов в условиях ОАО «Стеклозавод «Оптик». Действующая технология изготовления обеспечивает выпуск годных оптических элементов, составляющих 58 – 60 %. Кроме того, наблюдаются потери от брака в производстве единичных волокон, составляющие 28 – 32 %.

Единичное оптическое стеклянное волокно имеет световедущую жилу из оптического стекла с высоким показателем преломления, а также светотражающую оболочку из оптического стекла с меньшим показателем преломления и защитную оболочку, изготовленную из окрашенного стекла.

Энергия светового потока в световедущей жиле способна вызвать рассеяние света, который теряется по следующим направлениям. Прежде всего, наблюдается отражение Френеля на поверхности раздела воздух – стекло и стекло – воздух. Потери могут происходить при отражении от поверхностей раздела световедущей жилы и светотражающей оболочки. Кроме того, рассеяние может быть вызвано поглощением света стеклами вследствие несогласованности их

показателей преломления.

Разница квадратов показателей преломления стекла световедущей жилы и светотражающей оболочки, называемая апертурой, должна составлять не менее 1,0.

Кроме значений показателей преломления стекол световедущей жилы и светотражающей оболочки, светопропускания и спектральных характеристик, стекла должны удовлетворять ряду требований, включающих, кроме того, геометрию жилы и оболочки. К ним относятся химическая совместимость, определенное соотношение температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) в температурной зоне их формирования, учитывающее также сложный характер его зависимости от температурной вязкости [1, 2].

Должна также обеспечиваться требуемая термомеханическая прочность оптического волокна, которая достигается за счет минимального различия по величине ТКЛР между стеклами световедущей жилы и защитной оболочки, составляющая $(0,5 - 0,7) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$. Стабильность процесса вытягивания единичного оптического волокна обеспечивается согласованностью вязкости стекол световедущей жилы, светотражающей и защитной оболочек в интервале температур 600 – 1100 °С.

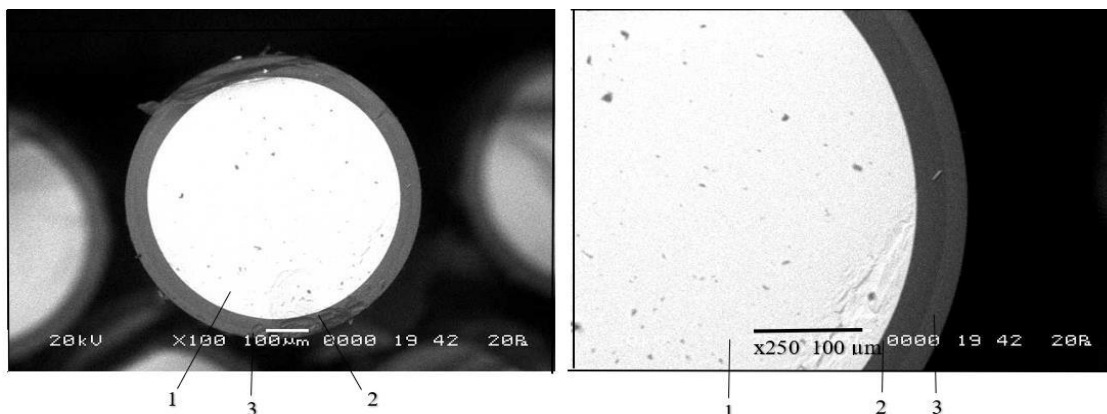
Электронно-микроскопическими исследованиями установлено наличие на поверхности стеклянного волокна световедущей жилы ряда шероховатостей, размеры которых сравнимы с длиной световой волны.

Кроме того, поверхность волокна способна притягивать микрочастицы из окружающей среды. На данных шероховатостях и микрочастицах наблюдается рассеяние энергии световой волны, проникающей за поверхность оптического волокна.

Поглощением называется процесс, при котором неоднородности волокна поглощают оптическую энергию и преобразуют ее в тепло. Свет при этом становится тусклым. Это связано также с наличием молекул воды в волокне. К другим неоднородностям относится наличие ионов железа, меди, кобальта, ванадия и хрома. Доли концентрации этих ионов должна поддерживаться на уровне миллиардной [1].

Наблюдаются также потери, связанные с микроизгибами [1, 2].

Требуется, чтобы оптическая среда, прилегающая к световедущей жиле, обладала прозрачностью и образовывала идеально гладкую поверхность раздела, не имеющую оптических неоднородностей и наличия пузырьков воздуха. Необходимо, чтобы энергия световой волны от светотражающей оболочки полностью возвращалась в световедущую жилу (рис. 1).



1 – световедущая жила; 2 – светоотражающая оболочка; 3 – защитная оболочка

Рис. 1 - Электронно-микроскопические снимки единичного жесткого оптического волокна

В оптическом волокне, в котором световедущая жила и светоотражающая оболочки выполнены из исследованных оптических стекол, потери световой энергии при полном внутреннем отражении были незначительны и составляли не более 8 %.

Важным фактором является также устранение обрыва волокон на стадии их формирования. Фактором, обуславливающим обрывы, является термическая и химическая неоднородность стекломассы, обусловленная вязкостью. При обрывности волокон в зоне их формирования могут оказывать влияние воздушные потоки, вызываемые сквозняками, естественной конвекцией и вентиляцией, а также другими причинами. Менее значимы местные охлаждения, обусловленные загрузкой холодного гранулята.

При изготовлении волоконно-оптических элементов большое значение имеет температура спекания волокон в блоки, которая зависит от состава стекол, распределения температур в спекаемой заготовке во времени. Важную роль при спекании играет материал формы для опрессовки и создаваемое давление.

При изготовлении пластин и других оптических волоконных изделий необходимо заполнение стеклом защитной оболочки пространства между отдельными волокнами, избегая деформации световедущих жил волокна. Плотной укладке препятствует воздух, заполняющий пространство между отдельными волокнами. Поэтому нарастание давления при опрессовке следует вести постепенно, чтобы уменьшалось расстояние между единичными волокнами постепенно, способствуя вытеснению воздуха.

Соотношение между рабочей площадью торца световедущего элемента и его нерабочей площадью может колебаться в значительных пределах. Это обусловлено следующими факторами: общим наличием

оболочек, количеством дефектных (потухших) волокон, газовых каналов, нарушением сплошности укладки, деформацией волокон и другими причинами.

В волоконно-оптических элементах следует отдавать предпочтение световедущим жилам малого диаметра. В этом случае, при наличии 5 – 10 % дефектных волокон, равномерно расположенных по сечению элемента, происходят потери значений коэффициента светопропускания световода, но практически не изменится его разрешающая способность [1, 2].

Светопропускание оптического волокна и оптических волоконных элементов характеризуется коэффициентом светопропускания, который определяется отношением величины светового потока, падающего на входной торец волокна или волоконно-оптического элемента, отнесенный к величине светового потока, прошедшего через волокно или оптический элемент до его выходного торца.

Потери в многожильных волоконных элементах зависят от полезной площади сечения, обусловленных заполнением площади сечения световедущими жилами. Световой поток, падающий на входной торец, занятый световедущими оболочками, чаще всего обеспечивает нормальное падение. Если падение произойдет под углом на участки, занятые оболочками, то он уйдет через боковую поверхность волокна.

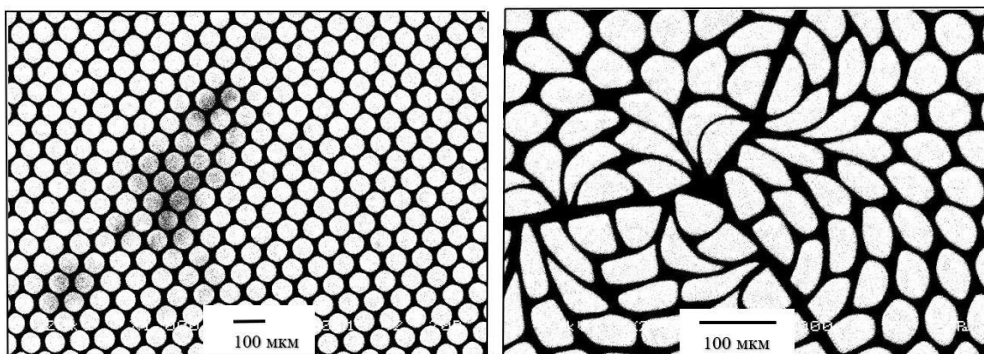
Установлено, что косые лучи, падающие по углом, могут быть переданы только волокнами, имеющими в поперечном сечении идеальный круг, эллипс или правильный многоугольник.

Даже небольшие отклонения от идеально правильной геометрической формы приводит к резкому снижению количества лучей, способных проходить вдоль волокна до его выходного торца.

Известно [1, 2], что для повышения разрешающей способности оптического волоконного элемента необходимо учитывать диаметр световедущей жилы при сохранении определенного оптимального значения толщины светоотражающей оболочки.

Так, в условиях производства ОАО «Стеклозавод «Оптик» толщина световедущей жилы составляет 60 ± 1 мкм, светоотражающей оболочки 32 ± 1 мкм, защитной оболочки – 28 ± 1 мкм.

Кроме того, оптические волокна в пучке, предназначенные для изготовления оптического элемента, должны иметь одинаковый диаметр и постоянное соотношение диаметра световедущих жил и светоотражающих оболочек (рис. 2).



1 – качественная укладка пакета; 2 – нарушение геометрии волокон на границе укладки

Рис. 2 – Электронно-микроскопический снимок пакетов из многожильных волокон

Одним из главных технологических факторов при формировании пакетов является затухание, связанное с потерей световой энергии [1, 2].

Оно может происходить по следующим причинам: из-за поперечной невыравненности световедущей жилы и светоотражающей оболочки, различий в диаметре световедущей жилы, несовпадение осей волокон. При этом числовая апертура волокон световедущей жилы и светоотражающей оболочки может быть ниже допустимой. Важное значение также принадлежит отражению от концов волокон, наличие зазоров между концами волокон, а также конечная отделка и чистота их.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 1.4 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоргхимия» подпрограммы «Химические технологии, процессы и реагенты» на 2021 – 2025 гг.

Список использованных источников

1. Бейли, Д. Волоконная оптика. Теория и практика / Д. Бейли, Э. Райт. – М.: КУДИЦ – ОБРАЗ. – 2006. – 320 с.
2. Стерлинг, Д. Дж., младший. Техническое руководство по волоконной оптике / Д. Дж. Стерлинг, младший. – М.: ЛОРИ, 1988. – 288 с.
3. Оптические волокна и волоконные элементы: Сб. статей и переводов под ред. Блоха К. И., Соскиной Г. А. – М.: Химия. – 1972. – 264 с.