

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛОВОЛОКНА

Левицкий И. А., Дяденко М. В.

Белорусский государственный технологический университет

Волоконная оптика является новым направлением в науке и технике. Началом ее современного этапа можно считать шестидесятые годы прошлого века – время технологической реализации первых волоконных элементов для использования в приборостроении. Применение световодов высокоэффективно и безгранично. Уже сегодня широкие возможности открываются для использования световодов в космической и лазерной технике, электронно-оптических преобразователях для приборов ночного видения современных систем наблюдения. Скорости передачи современных волоконно-оптических систем достигают 1–10 Гбит/с, что позволяет по одному каналу передавать гигантские массивы информации (до 2 млн. телефонных разговоров или 2000 телевизионных программ одновременно). Использование световодов позволяет отказаться от применения металлов, запасы которых уже на грани исчерпания. Все это привело к тому, что за рубежом в настоящее время производство основных компонентов волоконно-оптических систем передачи информации развивается огромными темпами.

Оптическое стекло в настоящее время остается основным материалом для изготовления волоконно-оптических элементов различного назначения. Наиболее важными его свойствами за исключением светопропускания являются преломляющая способность и дисперсия.

В Республике Беларусь производство оптического стекловолокна осуществляется на РУП “Оптик”, г. Лида. Оптическое стекловолокно представляет собой систему, состоящую из светопроводящей жилы и двух светотражающих оболочек. Оболочки выполняют несколько функций: защищают поверхность от загрязнений, обеспечивают оптическую изоляцию между соседними волокнами и служат для получения вакуумплотных волоконных композиций. Для того, чтобы волокно проводило свет с минимальными потерями, и волоконная деталь имела требуемую частотно-контрастную характеристику, значение апертурного числа должно быть выше, чем 0,8. Волоконно-оптический элемент состоит из отдельных волокон, которые укладываются в виде шестигранной призмы, как представлено на рис.1.

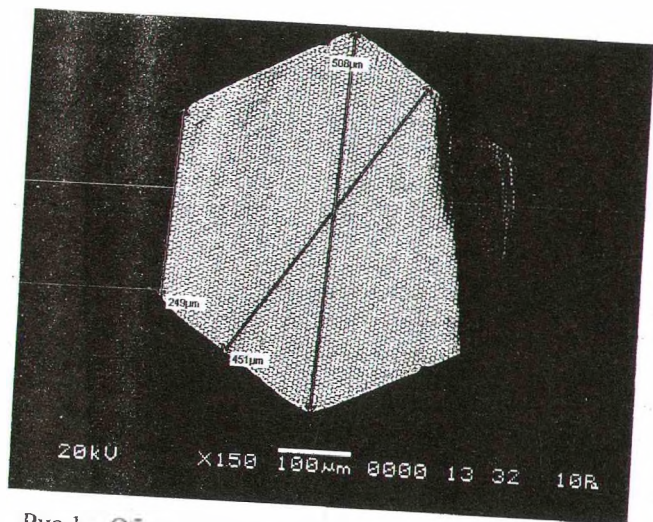


Рис.1 – Общий вид волоконно-оптического элемента (поперечный разрез)

Значения основных параметров укладки волокон демонстрирует рис.2.

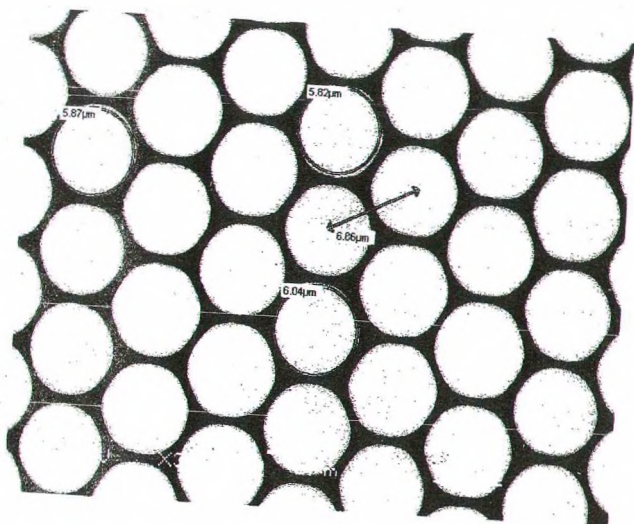


Рис. 2 – Значения параметров укладки волокон

В производстве оптического стекловолокна, как и в любом другом производстве, имеются свои насущные проблемы. Так у завода "Оптик" существует проблема, связанная с кристаллизацией стекла ТБФ-10 при формовании изделия в интервале температур 800–950 °С. Поэтому данное производство испытывает потребность в разработке состава стекла, имеющего низкую склонность к кристаллизации и заданные технологические, оптические и физико-химические свойства.

К стеклам для волоконной оптики предъявляется ряд требований, нехарактерных для стекол классической оптики:

для обеспечения требуемой числовой апертуры детали пара стекол должна иметь определенную разность квадратов показателей преломления стекол световедущей жилы и светоизолирующей оболочки;

для термомеханической прочности оптического волокна необходимо, чтобы температурный коэффициент линейного расширения стекла оболочки был ниже коэффициента расширения стекла световедущей жилы;

для предотвращения возникновения диффузии на границе сердцевина-оболочки необходимо минимальное различие в вязкости сердцевины и оболочки. Однако вязкость оболочки должна быть несколько выше ввиду того, что она определяет условия технологического процесса деформации изделия.

Как может показаться на первый взгляд, при разработке новых составов стекол главная проблема состоит в подборе стекла для сердцевины волокна, однако на практике это не так. Причиной тому является то, что химический состав всех высокопреломляющих стекол предопределяет низкую температуру их выработки, а поскольку при вытягивании волокна вязкости стекол оболочки и сердцевины должны быть равными или очень близкими, то температура вытягивания стекла оболочки также должна быть низкой. Между тем промышленные стекла с малым показателем преломления являются высококремнеземистыми и потому обладают большой вязкостью, а значит не подходят к стеклам для сердцевины, имеющим высокий показатель преломления. Наилучшие результаты достигаются в том случае, когда вязкости стекол сердцевины и оболочки отличаются не более чем на $\pm 0,5$ порядка логарифма вязкости.

На рис.3 представлен температурный ход кривых вязкости стекол для сердцевины и двух оболочек волокна, вытягиваемых на РУП "Оптик".

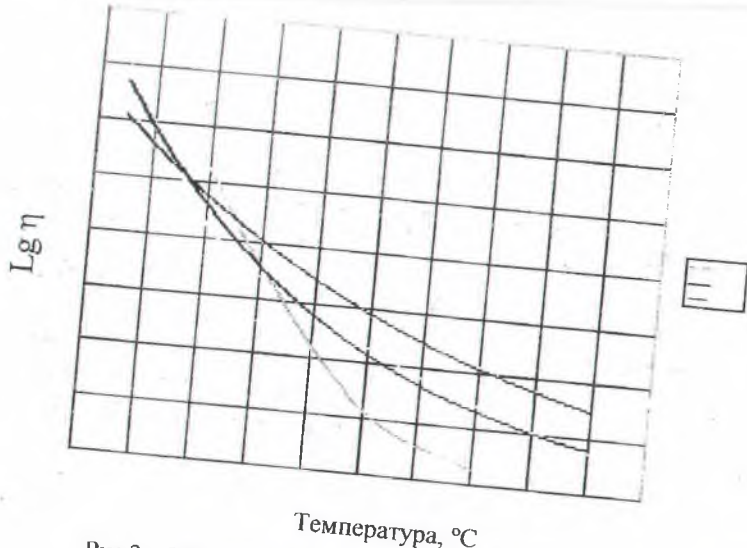


Рис.3 – Температурный ход кривых вязкости стекол для сердцевины (1), внутренней (2) и внешней оболочек (3)

При производстве оптического стекловолокна необходимо чтобы на границе раздела сердцевина – оболочка не происходило микрорас-
слаивания, кристаллизации и других явлений, ухудшающих пропус-
кание света волокном. При этом пара стекол должна иметь определе-
нную разность квадратов показателей преломления.

Кристаллизационная способность стекол усугубляется глубиной кристаллизации, которая является одним из основных источников брака на производстве. Как показывают исследования литературных данных, характер кристаллизации стекол боролантановых систем в значительной степени обусловлен величиной их вязкости. Небольшие ее значения при температуре кристаллизации создают благоприятные условия для роста кристаллов и обеспечивают практически постоянную скорость кристаллизации во времени.

Существующее производство оптического стекла на РУП “Оптик” характеризуется периодичностью и малой загрузочной мощностью производства в связи с невысокой конкурентоспособ-
ностью на рынке сбыта. В связи с этим является необходимым раз-
работка новых составов стекол для оптического стекловолокна, что
позволило бы предприятию решить проблемы, связанные с произ-
водством волоконно-оптических элементов и повысив их конку-

В производстве оптического стекловолокна, как и в любом другом производстве, имеются свои насущные проблемы. Так у завода "Оптик" существует проблема, связанная с кристаллизацией стекла ТБФ-10 при формовании изделия в интервале температур 800–950 °С. Поэтому данное производство испытывает потребность в разработке состава стекла, имеющего низкую склонность к кристаллизации и заданные технологические, оптические и физико-химические свойства.

К стеклам для волоконной оптики предъявляется ряд требований, нехарактерных для стекол классической оптики:

для обеспечения требуемой числовой апертуры детали пара стекол должна иметь определенную разность квадратов показателей преломления стекол световедущей жилы и светоизолирующей оболочки;

для термомеханической прочности оптического волокна необходимо, чтобы температурный коэффициент линейного расширения стекла оболочки был ниже коэффициента расширения стекла световедущей жилы;

для предотвращения возникновения диффузии на границе сердцевина–оболочки необходимо минимальное различие в вязкости сердцевин и оболочки. Однако вязкость оболочки должна быть несколько выше ввиду того, что она определяет условия технологического процесса деформации изделия.

Как может показаться на первый взгляд, при разработке новых составов стекол главная проблема состоит в подборе стекла для сердцевин волокна, однако на практике это не так. Причиной тому является то, что химический состав всех высокопреломляющих стекол предопределяет низкую температуру их выработки, а поскольку при вытягивании волокна вязкости стекол оболочки и сердцевин должны быть равными или очень близкими, то температура вытягивания стекла оболочки также должна быть низкой. Между тем промышленные стекла с малым показателем преломления являются высококремнеземистыми и потому обладают большой вязкостью, а значит не подходят к стеклам для сердцевин, имеющим высокий показатель преломления. Наилучшие результаты достигаются в том случае, когда вязкости стекол сердцевин и оболочки отличаются не более чем на $\pm 0,5$ порядка логарифма вязкости.

На рис.3 представлен температурный ход кривых вязкости стекол для сердцевин и двух оболочек волокна, вытягиваемых на РУП "Оптик".

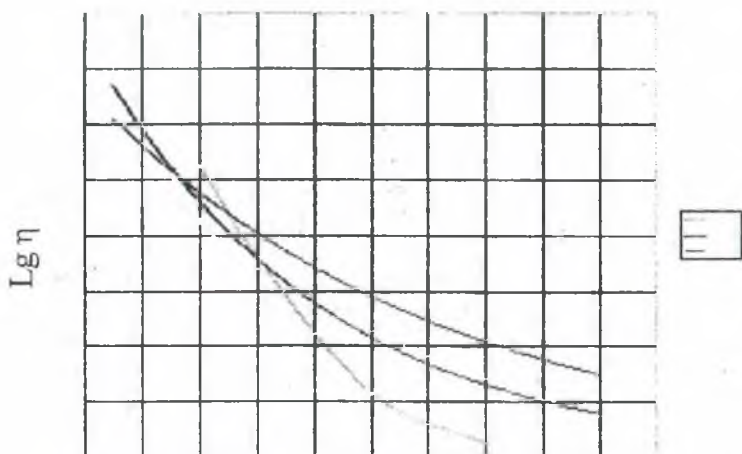


Рис.3 – Температурный ход кривых вязкости стекол для сердцевины (1), внутренней (2) и внешней оболочек (3)

При производстве оптического стекловолокна необходимо чтобы на границе раздела сердцевина — оболочка не происходило микрорасплавления, кристаллизации и других явлений, ухудшающих пропускание света волокном. При этом пара стекол должна иметь определенную разность квадратов показателей преломления.

Кристаллизационная способность стекол усугубляется глубинной кристаллизацией, которая является одним из основных источников брака на производстве. Как показывают исследования литературных данных, характер кристаллизации стекол боролантановых систем в значительной степени обусловлен величиной их вязкости. Небольшие ее значения при температуре кристаллизации создают благоприятные условия для роста кристаллов и обеспечивают практически постоянную скорость кристаллизации во времени.

Существующее производство оптического стекла на РУП “Оптик” характеризуется периодичностью и малой загрузочной мощностью производства в связи с невысокой конкурентоспособностью на рынке сбыта. В связи с этим является необходимым разработка новых составов стекол для оптического стекловолокна, что позволило бы предприятию решить проблемы, связанные с производством волоконно-оптических элементов и повысив их конку-

рентоспособность на мировом рынке. При производстве оптического стекловолокна особое внимание должно также уделяться постоянству диаметра жилы по длине и толщине оболочки. Отклонения по этому показателю приводят к потере информации при ее передаче на расстояние. Эти потери характеризуются величиной затухания световой энергии, которая для магистральных волоконно-оптических линий связи не должна превышать 0,3–0,7 дБ/км [1].

При изготовлении волоконно-оптических элементов весьма важным является условие совместимости двух стекол – способность стекол образовывать в световоде спаянную границу без возникновения в месте спая при термообработке пузыреобразования и других негативных явлений, приводящих к частично или полной потере световодных свойств отдельных волокон.

Самые высокие показатели преломления, которые раньше получали путем добавления в стекло оксидов бария и цинка, сегодня достигаются использованием составов, содержащих большие количества оксидов лантана, циркония и ниобия. Оксид тория в настоящее время запрещен для применения в качестве компонента в стеклообразующем расплаве из-за его радиоактивности. В массовых производствах ограничено используется оксид тантала из-за его высокой стоимости. Оксид бериллия не пригоден по экологическим соображениям. В целом оксид кадмия снижает кристаллизационную способность, что позволяет их варить в сосуде большой емкости, и хорошо усваивается стеклом, увеличивая показатель преломления и химическую устойчивость стекла, однако на практике избегают применять CdO из-за его токсичности.

При разработке составов стекол помимо обычных требований к промышленному стеклу (технологичность, низкая склонность к кристаллизации, химическая устойчивость) нужно добиваться низких температур варки и выработки, возможности получения заданной разности показателей преломления. Ввиду того, что волокно для оптической связи должно содержать минимум поглощающих свет примесей, для синтеза особо чистых стекол используются сырьевые материалы с содержанием красящих примесей порядка 10^{-7} %. Для варки оптических стекол используются тигли из особо чистого кварца, платины, ее сплавов с родием или иридием.

На РУП “Оптик” вытягивание волокна осуществляется методом двойного тигля. Однако этот способ не обеспечивает минимального количества потерь. В связи с этим в настоящее время широкое распространение получили следующих два способа изготовления световодов:

- 1) С помощью стержня формируют сердцевину волокна, после че-

го ее вводят в трубку-оболочку, удаляют присутствующую на поверхности влагу путем нагревания и подачи сухого газа в пространство между стержнем и трубкой; один конец трубки запаивают, затем вытягивают из такой трубки оптическое волокно. Полученное таким методом оптическое волокно имеет потери, не превышающие 0,5 дБ/км [2].

2) Сердцевина световода легируется оксидом германия в таком количестве, чтобы обеспечить разность показателя преломления относительно чистого SiO_2 , соответствующего условию $[\text{GeO}_2] \geq 0,3 \%$. После вытягивание волокно поступает в расположенную ниже печь отжига при условии, что скорость охлаждения должна превышать $2000^\circ\text{C}/\text{с}$, а время отжига должно быть больше времени релаксации (0,03–0,8 с). Затем отожженное волокно поступает в устройство охлаждения, где оно принудительно охлаждается. Данный способ обеспечивает снижение релеевских потерь вследствие рассеяния и высокую устойчивость волокна к действию водорода при высокой производительности [3].

На сегодняшний день совершенно недостаточно изучены свойства оптических волокон и волоконных элементов, а также возможности волоконной оптики, в связи с чем проводится детальное ее исследование.

Таким образом, современное производство оптического волокна имеет следующий спектр проблем, решение которых обеспечит повышение качества волоконно-оптических элементов:

- снижение склонности к кристаллизации стекла световедущей жилы в процессе вытягивания волокна и необходимость ее устранения;
- соответствующий подбор стекол для сердцевин и оболочек волокна с необходимыми вязкостными характеристиками, соответствующими требованиям процесса вытягивания волокна;
- совместимость стекол оболочек и сердцевин таким образом, чтобы в месте спая при термообработке не возникало пузыреобразования и других процессов, приводящих к потере световодных свойств волокон.

Литература

1. Дональд Дж. Стерлинг, младший. Волоконная оптика. – М.: Издат. ЛЮРИ, 1998. – 288 с.
2. Заявка 1632460 ЕПВ, МПК⁸ С 03 В 37/12. Ohga Yuichi, Onishi Masashi, Kasuu Osamu, Kato Shuichiro, Adachi Toru, Sasaki Takashi, Hirano Masaaki; Sumitamo Electric Ind., Ltd. – № 04733662.3; Заявл. 18.05.04 ; Опубли. 08.03.2006.
3. Заявка 1533284 ЕПВ, МПК⁷ С 03 С 13/00. Nagayama Katsuya, Morita K; Sumitamo Electric Ind., Ltd. – № 03741325.9; Заявл. 10.07.2003; Опубли. 25.05.2005.