

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ

М.В. ДЯДЕНКО, И.А. ЛЕВИЦКИЙ, А.Ч. ГОРДЕЙКО
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Использование волоконно-оптических технологий в беспилотных системах в первую очередь связано с обеспечением высоконадежной защиты в передаче данных.

Основой получения волоконно-оптических элементов является жесткое многожильное оптическое волокно, состоящее из световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек, для изготовления которых используют оптические стекла типа тяжелые баритовые флинт, кроны и легкие кроны. Они различаются величиной показателя преломления и коэффициента дисперсии, от которых зависит расположение составов таких стекол на диаграмме Аббе.

Использование волоконно-оптической продукции, в том числе и в БАК, требует научного обеспечения производства изделий волоконной оптики, направленного на повышение качества волоконно-оптических элементов различного назначения (жгуты, ВОПы, фоконы, поворотники) и стабилизацию технологических процессов их изготовления.

Качество волоконно-оптических изделий во многом определяется согласованием стекол для световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна по оптическим, термическим и реологическим характеристикам, что предопределяет комплексный подход при разработке таких материалов. Волоконно-оптические элементы (волоконно-оптические пластины и жгуты, твистеры, фоконы), используемые в беспилотных системах, должны отвечать целому ряду требований, таких как вакуумплотность, чистота поля зрения, требуемая контрастность.

Одной из основных оптических и эксплуатационных характеристик оптического волокна является его числовая апертура (A), которая пропорциональна разнице квадратов показателей преломления световедущей жилы и светоотражающей оболочки. Использование оптического волокна и волоконно-оптических элементов (ВОЭ) на его основе в беспилотных авиационных комплексах (БАК) связано с обеспечением их вакуумплотности и требуемой частотно-контрастной характеристики, которые достигаются при условии $A > 1,0$.

Процесс изготовления ВОЭ является многостадийным, включает вытягивание одножильного световода (ОЖС), перетяжку пакета одножильных волокон с целью формирования многожильного световода (МЖС) и прессование пакета МЖС. Стабильность процесса изготовления ВОЭ и их качество существенно зависят от технологических характеристик стекол для оптического волокна. Изменение их показателей вязкости влияет на толщину оболочек и качество вытягиваемого волокна. Увеличение толщины светоотражающей оболочки при постоянном диаметре оптического волокна приводит к сокращению площади, занимаемой световедущей жилой («рабочая площадь»), и снижению пропускной способности изделия.

Получение оптических стекол для световедущей жилы и светоотражающей оболочки с показателем ослабления не выше $0,40 \text{ мм}^{-1}$ обеспечивается путем использования при составлении шихты сырьевых материалов квалификации не ниже «осч», синтеза стекол в платиновом сосуде в соответствии со строго заданным температурно-временным режимом и тщательным перемешиванием стекломассы с достижением требуемого уровня ее химической и термической однородности.

В настоящее время изготовление ОЖС осуществляется по двум основным технологиям: фильерным и штабиковым методами.

Фильерный метод связан с использованием установки, представляющей собой два коаксиально расположенных платиновых сосуда. Во внутренний платиновый сосуд, снабженный рядом перегородок, помещается стеклогранулят световедущей жилы, при этом внешний сосуд разделен перегородкой на две ячейки. Данное технологическое решение вызвано необходимостью раздельной засыпки стекол для светоотражающей и защитной оболочек.

Расплавленное стекло световедущей жилы протекает тонким слоем через лабиринт перегородок, что обеспечивает качественное осветление, заключающееся в удалении из стекла мелких пузырей воздуха. Нижняя часть установки для вытягивания ОЖС представляет собой выработочную фильеру, которая имеет коаксиально расположенные патрубки круглого сечения, соединённые с выпускными камерами.

Выпускные патрубки выработочной фильеры стекла светоотражающей и защитной оболочек расположены таким образом, что обеспечивается совместное одновременное истечение стекла световедущей жилы из внутреннего сосуда, которое покрывается стеклами светоотражающей и защитной оболочек.

В процессе апробации разработанных в БГТУ составов стекол для оптического волокна в условиях ОАО «Завод Оптик» проведена оценка влияния геометрических параметров оптического волокна (толщина

светоотражающей и защитной оболочек), технологических параметров изготовления волоконно-оптических изделий (температура, давление) на их эксплуатационные характеристики.

Экспериментально определено, что увеличение размера защитной оболочки по сечению одножильного световода за счет повышения массы капли, сходящейся в процессе наплавления жилы, делает световод более хрупким, и, как следствие, уменьшает выход годной продукции. Вместе с тем, рост толщины защитной оболочки вызывает уменьшение неравномерности пропускания (явление «пестроты») многожильным световодом в процессе его перетяжки.

Особенностью производства изделий волоконной оптики является согласование стекол световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек по показателям вязкости. Так, нарушение данного условия приводит к появлению характерного вида брака по всему полю зрения волоконно-оптического элемента – дефектной сетке в виде серых и черных точек и штрихов в центре граней. Обнаружено, что указанные дефекты вызваны продолговатыми «дырами» в центре граней МЖС, эквивалентными длине 2-х и более ОЖС, и сужением оболочек световодов парных рядов ОЖС по центру граней. Это является причиной низкого выхода годных изделий во всех опытных партиях.

Дефектная сетка присутствует в образцах волоконно-оптических блоков, где не произошло полное смыкание граней МЖС в связи с высокой вязкостью стекла защитной оболочки.

Устранение данного дефекта осуществлялось путем понижения температуры прессования. Однако при этом нарушалась вакуумплотность волоконно-оптических изделий в виду высоких значений вязкости стекла защитной оболочки, обуславливающих появление неплотностей на границах световодов в волоконно-оптическом блоке.

Экспериментально определено, что увеличение разницы между показателями вязкости световедущей жилы и оболочек в интервале температур прессования (650–675 °С) и изготовления поворотника (630–650 °С) обуславливает рост диффузии красителей из защитной оболочки в световедущую жилу. При скручивании заготовок с целью изготовления поворотника установлено, что образцы, в которых защитная оболочка имеет более высокую вязкость, чем световедущая жила, характеризуются повышенной температурой процесса скручивания и незначительной степенью диффузии компонентов из стекла защитной оболочки в световедущую жилу. Образцы ВОЭ, в которых размер оболочек одинаковый вследствие согласования трех стекол по показателям вязкости характеризуются отсутствием структурной

сетки в центральной зоне всех образцов, где температура и деформация световодов минимальная.

Кроме того, проводимые в настоящей работе исследования связаны с разработкой стекол для световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна, согласованных по оптическим, термическим и реологическим характеристикам.

Это связано с тем, что для производства световедущей жилы оптического волокна используют составы стекол марок ТБФ 3–5, ТБФ 7–11, ТБФ 13, ТБФ 25 и марок ВС 58, ВС 80, ВС 82, ВС 82-1, ВС 83, ВС 92, базируемые на основе стекол систем $\text{BaO-La}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ и $\text{ZrO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$, использование которых в настоящее время неоправданно из-за присутствия оксидов первого (PbO , CdO , As_2O_3) и второго классов опасности (ZnO , Sb_2O_3).

В настоящей работе стекло для световедущей жилы разработано на основе системы $\text{BaO-La}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5$ при постоянном содержании SiO_2 , B_2O_3 , ZrO_2 и Nb_2O_5 , составляющем 60 мол. %; стекло для светоотражающей оболочки – на основе системы $\text{K}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$; стекло для защитной оболочки – на основе системы $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ с введением красителей CoO , Mn_2O_3 , Cr_2O_3 .

При разработке составов стекол для оптического волокна первоочередной задачей являлось их согласование по показателям вязкости в температурном интервале вытягивания оптического волокна и изготовления волоконно-оптических элементов, от которых зависит стабильность геометрических параметров оптического волокна. По результатам исследования реологических свойств стекол выявлены закономерности влияния их состава на показатели вязкости в интервале значений $10^9\text{--}10^4$ Па·с. Установлено, что на показатели реологических свойств стекол оказывает значительное влияние координационное состояние ионов бора.

Стекла для оптического волокна разработанных составов устойчивы к кристаллизации в интервале $600\text{--}1100$ °С при их термообработке в течение 24 ч, не взаимодействуют между собой на границе спая в процессе вытягивания волокна. Соотношение оптических постоянных стекол разработанных составов для световедущей жилы ($n_{e1} = 1,8050$) и светоотражающей оболочки ($n_{e2} = 1,4887$) обеспечивает числовую апертуру оптического волокна, составляющую 1,03.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 2.1.04 (НИР 5) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» подпрограммы «Химические технологии, процессы и реагенты».