

Системы для нанесения покрытий на оптическое волокно

Автор: Вернер Лихтшайдл (Werner Lichtscheidl), компания Medek & Schörner, Вена, Австрия

В данной статье описываются процессы нанесения покрытий в ходе дальнейшей обработки оптических волокон. Естественно, что кабельщикам известна большая часть этой информации. Однако я все же хотел бы привести краткое описание различных технологий с точки зрения изготовителя маркировочного оборудования. Поэтому я не буду касаться типов оптического волокна и их характеристик.

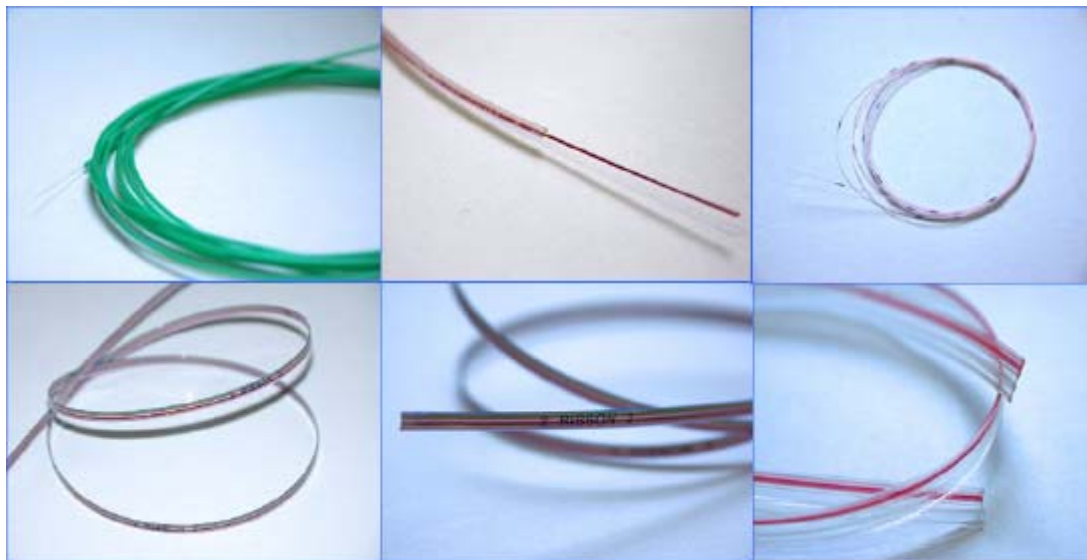


Рис.1 Образцы оптического волокна с покрытием

Общая информация

В основе всех описанных ниже процессов лежит один и тот же принцип. Так же как при изготовлении эмалированного провода, оптическое волокно протягивается через головку устройства для нанесения краски с фильерой и после этого подвергается сушке. В настоящее время для покрытия оптического волокна используются УФ-отверждаемые краски, которые сушатся интенсивным УФ-излучением. Большая часть исходных материалов, используемых в описанных ниже технологиях, является УФ-отверждаемыми полиакрилатами.

При использовании УФ-отверждаемых красок на современном оборудовании можно достичь скоростей нанесения покрытий до 3000 м/мин.



Рис.2 Головка-аппликатор для нанесения краски

Описанные ниже технологии нанесения покрытий на оптическое волокно могут быть реализованы на современном производственном оборудовании.

Окрашивание оптического волокна



Рис.3 Окрашенное оптическое волокно

Оптическое волокно обычно поставляется для дальнейшей обработки в виде прозрачного изделия, намотанного на катушки. Как уже говорилось, впоследствии на каждое отдельное волокно наносится покрытие в виде УФ-отверждаемой краски. Толщина такого покрытия может варьироваться от 4 до 6 микрон; отверждение краски происходит с помощью УФ-излучателя в атмосфере азота. Азот является дешевым и безопасным для окружающей среды промышленным газом и позволяет оптимизировать процесс отверждения покрытия, то есть достичь лучшего структурирования покрытия из УФ-отверждаемой краски.

Цветное покрытие служит следующим целям:

- для упрощения дальнейшей обработки, а в случае с многожильным волоконно-оптическим кабелем – для дифференциации и измерения;
- для упрощения производства конечного продукта;
- для повышения защиты от поглощения влаги/гидролиза;
- для достижения лучшего эффекта скольжения в кабеле (компенсации продольных деформаций, вызванных изменением температуры);
- для облегчения разделки и зачистки (для волоконно-оптических лент, микрожгутов и компактных волоконно-оптических кабелей CFU).

К другим важным критериям относятся толщина покрытия, тип полимера, скорость отверждения, повышение коэффициента затухания за счет цветного покрытия, качество намотки после нанесения покрытия. Толщина покрытия составляет 4-6 мкм (конечное увеличение диаметра - примерно 8-12 мкм).

Для окрашивания оптического волокна обычно используется 12 различных цветов. Можно также использовать 24 цвета, но это делают редко из-за сложности их распознавания. В качестве альтернативы иногда используют дополнительную кольцевую маркировку.

После нанесения цветного покрытия можно определить степень отверждения в % RAU (остаточная непредельность акрилата); это можно сделать с помощью инфракрасной спектроскопии с фурье-преобразованием. Этот параметр может варьироваться в зависимости от изготовителя краски и типа используемого полимера. При правильном нанесении с использованием современного оборудования этот параметр всегда находится в оптимальном диапазоне (причем самым важным показателем здесь является применимость для дальнейшего производства оптоволоконной ленты, так как ни капли краски не должно сойти с окрашенных УФ-отверждаемой краской волокон при их склеивании в ленту).

Для определения степени отверждения часто применяется и более простой метод – так называемый метод «протирки» ("wipe test"). Для этого чистую белую ткань смачивают растворителем (МЕК = метилэтилкетон) и, удерживая ее между большим и указательным пальцами, протирают ею волокно с умеренным усилием примерно 100 раз.

При правильном нанесении краски с использованием современного оборудования увеличение коэффициента затухания на стандартном оптическом волокне (одномодовое волокно - тип E9) практически равно нулю. Типичные значения таковы: <0.02 дБ/км для длины световой волны 1550 нм и 1310 нм.

При правильном использовании современного высокотехнологичного оборудования соблюдаются следующие важнейшие требования: правильный выбор шага намотки, отсутствие погрешностей в геометрии намотки на катушку (ровные торцы) и равномерная плотная намотка. Соблюдение этих требований по намотке облегчает хранение волокна и позволяет сохранить качество намотки даже после транспортировки автотранспортом. Это также позволяет избежать проблем при дальнейшей обработке, например, изготовлении кабелей с оптическими

модулями, содержащими свободно уложенные оптические волокна (loose tube cables) с высокой степенью натяжения волокна на отдающем устройстве.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих оптимальное качество и надежность изделия при окрашивании оптического волокна, является скорость нанесения покрытия. Современное оборудование работает на скоростях окрашивания до 3000 м/мин.



Рис.4 УФ-излучатель

В этом случае оборудование, состоящее из отдельных модулей, оказалось наиболее эффективным. Модульная конструкция позволяет быстро и легко адаптировать систему окрашивания под широкий диапазон задач и по мере необходимости модернизировать ее при умеренных затратах (например, для нанесения кольцевой маркировки, УФ-сушки более высокой мощности, нанесения на волокно плотного буфера, проверки качества волокна натяжением, изготовления оптоволоконной ленты и пр.).

Специально разработанные УФ-излучатели мягкого действия позволяют обеспечить:

- отличные результаты сушки при минимальной энергетической нагрузке на волокно и краску;
- непрерывный контроль за интенсивностью излучения и автоматическую настройку под скорость линии, что обеспечивает оптимальный режим работы излучателя и предотвращает перегрев неподвижного или медленно движущегося волокна;
- оптимизацию расхода энергии по сравнению с аналогами (экономия энергии: 30%)

Производство оптоволоконной ленты

Это изделие потребляется главным образом в США и странах Азии. Европейцы, как правило, предпочитают изделия круглой формы. Для производства ленты оптическое волокно обычно поставляется в виде окрашенного волокна, намотанного на катушки.

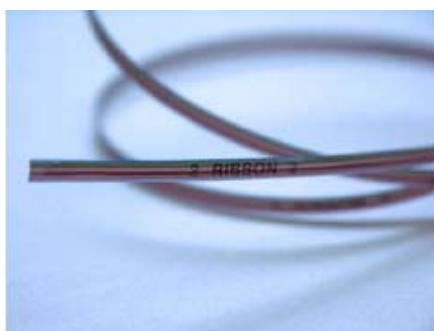


Рис.5 Лента из 12 оптических волокон с текстовой маркировкой



Рис.6 Линия для производства ленты из 12 оптических волокон

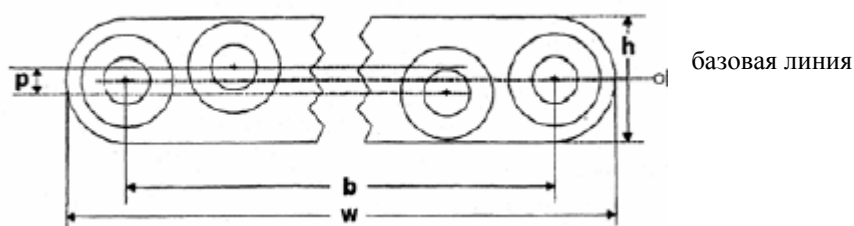
Технологию производства оптоволоконной ленты можно кратко описать следующим образом: несколько оптических волокон разного цвета располагаются рядом параллельно друг другу и на них наносится специальное покрытие, склеивающее их в плоскую ленту. Такой процесс покрытия, или склеивания, предполагает использование УФ-отверждаемого, обычно прозрачного, акрилата.

Основанием изготовления оптоволоконных лент является их компактная конструкция и простота производства; несколько оптических волокон можно соединить одной операцией и достичь высокой плотности укладки в кабеле.

Основные критерии при производстве ленты с использованием стандартных оптических волокон таковы: общая толщина, общая ширина, плоскостность, степень отверждения, шаг, цвет, увеличение затухания из-за формы ленты, качество намотки ленты (важно для последующей обработки), прочность (испытание на скручивание), маркировка (для применения в многослойных конструкциях), количество оптических волокон, которые можно соединить в ленту, скручивание, возможность зачистки для сращивания, прочность покрытия.

Методы испытаний и другие подробности можно найти в стандарте GR-20-CORE (Bellcore).

Общая ширина/общая толщина/плоскостность



Размеры ленты				
Кол-во оптических волокон	Ширина ленты, w (мкм)	Толщина ленты, h (мкм)	Расстояние между волокнами, b (мкм)	Плоскостность p (мкм)
4	1115	300	795	25
6	1645	300	1325	25
12	3235	300	2915	25
Допуск (мм)	±0.02	-0.01	±0.02	

Для производства оптоволоконной ленты, как правило, используется всего одна операция.

Материал оболочки обычно прозрачен, при этом в качестве дополнительного средства идентификации можно использовать полупрозрачные акрилаты.

Испытания на степень отверждения и затухание, а также на качество намотки такие же, как при окраске волокна.



Рис.7 Лента из 4-х пластиковых оптических волокон (POF)

Наиболее часто используются ленты из 4, 6, 8, 12 и 24 волокон (изготавливаются из двух 12-волоконных лент). На современном оборудовании можно достичь следующих скоростей производства оптоволоконной ленты (для плоскостности ≤ 50 микрон):

лента из 4 волокон: 1000 м/мин
лента из 6 волокон: 850 м/мин
лента из 8 волокон: 750 м/мин
лента из 12 волокон: 650 м/мин
притом, что проектная скорость - 2100 м/мин.



Рис.8 Двойное приемное устройство для волоконно-оптической ленты

Нанесение плотного буфера

Поскольку нанесение объемных покрытий на отдельные оптические волокна методом экструзии создает ряд проблем, касающихся, например, характеристик ослабления и гибкости изделия, разумнее изготавливать оптическое волокно с большим диаметром также методом покрытия УФ-отверждаемыми акрилатами. Такие покрытия главным образом служат для повышения механических свойств отдельных волокон. Правильный выбор материалов и возможность наносить многослойное покрытие «мокрым по мокрому» позволяют изготавливать самую разнообразную продукцию, начиная с легко удаляемых оболочек и заканчивая прочно приклеенными покрытиями.



Рис.9 Одиночное волокно в плотном буфере

Как уже говорилось выше, УФ-отверждаемый акрилат используется для покрытия оптических волокон (цветного или бесцветного), и конечные диаметры волокна обычно находятся в пределах 600-900 мкм. Покрытие может состоять из одного слоя (одного материала) или нескольких слоев, например, из трех материалов.

Целью нанесения на волокно плотного буфера является обеспечение повышенных механических свойств и необходимых конечных размеров, например, для простоты подключения к соединителям, или малых размеров с высокой стойкостью к механическим воздействиям

В общем и целом различают следующие варианты плотного буфера:

Однослойный буфер:

Весь буферный слой наносится за один раз с помощью головки-аппликатора и пропускается через УФ-излучатель для отверждения.

Достоинствами этого варианта являются простота изготовления, низкая стоимость оборудования и простота материально-технического обеспечения.

К недостаткам этого варианта можно отнести плохую зачищаемость покрытия и сложность контроля над механическими свойствами, такими как прочность к механическим воздействиям.

Двухслойный буфер (нанесение мокрым-по-мокрому):

В этом случае через головку-аппликатор подаются два различных материала, образующие впоследствии однородное многослойное покрытие (метод нанесения мокрым-по-мокрому). Отдельные слои такого покрытия можно делать различной толщины. Материалы не смешиваются между собой благодаря идеальной геометрии и правильно подобранному давлению. Этот метод позволяет использовать для внутреннего слоя мягкие материалы, не обладающие высокой механической устойчивостью. Например, для этого могут использоваться гели (студнеобразные материалы).

Достоинствами такого варианта буферного покрытия являются опять же простота изготовления, возможность обеспечить различные механические характеристики конечного продукта, оптимальная зачищаемость (например, при использовании гелевых смазочных материалов), отсутствие смешивания материалов благодаря моментальному сцеплению между слоями.

Недостатки такого метода – использование нескольких материалов и в результате более сложное материально-техническое обеспечение.

Трехслойное покрытие (мокрым-по-мокрому):

В этом случае через головку-аппликатор наносится три различных материала, которые также образуют однородное многослойное покрытие. Как и при двухслойном варианте, толщину отдельных слоев можно делать различной, и здесь тоже материалы слоев не смешиваются между собой. В качестве внутреннего слоя тоже могут использоваться гели. Тогда второй слой может быть зоной со средней твердостью, а внешняя оболочка делается особо твердой (с высокой механической прочностью). После нанесения на оптическое волокно слои покрытия (буферный слой) подвергаются сушке под УФ-излучателем.

В дополнение к достоинствам двухслойного покрытия в этом случае благодаря дополнительной внешней оболочке обеспечивается высокая механическая прочность буфера.

Изделия с плотным буфером оцениваются по следующим показателям:

- диаметр (включая допуски)
- диаметры отдельных слоев (в случае с двухслойным или многослойным буферами)
- концентричность отдельных волокон
- степень отверждения
- повышение коэффициента затухания
- качество намотки (для дальнейшей обработки)
- механические свойства (поперечное давление, усталостная прочность)
- температурная стабильность (испытывается температурными циклами для определения удлинения)
- зачищаемость покрытия для сращивания
- прочность покрытия

Чаще всего встречаются следующие изделия:

- диаметром 600 мкм с не поддающимся зачистке буфером (однослойный буфер)
- диаметром 600 мкм со средней зачищаемостью (до 10 см, однослойный буфер)
- диаметром 600 мкм с высокой зачищаемостью (до 100 см, двухслойный буфер)
- диаметром 600 мкм с высокой зачищаемостью с высокой прочностью поверхности (до 100 см, трехслойный буфер)
- диаметром 900 мкм с не поддающимся зачистке буфером (однослойный буфер)
- диаметром 900 мкм со средней зачищаемостью (до 10 см, однослойный буфер)
- диаметром 900 мкм с высокой зачищаемостью (до 100 см, двухслойный буфер)
- диаметром 900 мкм с высокой зачищаемостью с высокой прочностью поверхности (до 100 см, трехслойный буфер)

Компактный волоконно-оптический блок (CFU)

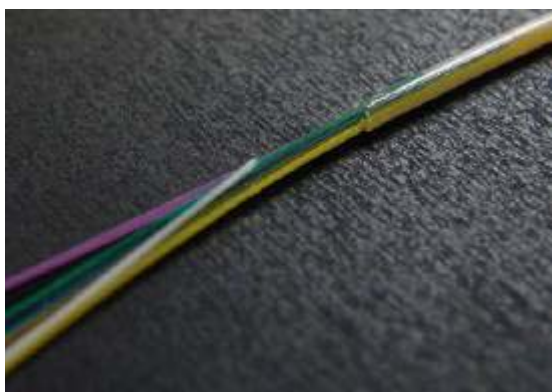


Рис. 10 Компактный волоконно-оптический блок из 12 волокон

В связи с тем, что сырьевые материалы постоянно дорожают, а вес кабель приобретает все большее значение, сегодня микрокабели изготавливают в виде так называемых «компактных волоконно-оптических блоков» (compact fibre unit – CFU). Это позволяет создать изделия с 72 или 96 волокнами с внешним диаметром всего в 5,4 мм. Благодаря малому весу и высокой механической прочности такие кабели идеально подходят для пневматической прокладки в кабельных трубопроводах (микрокабели для микротрубопроводов).

И вновь для производства таких компактных волоконно-оптических блоков используется обработка УФ-отверждаемыми акрилатами, так как метод экструзии здесь неприменим (усадка и пр.).

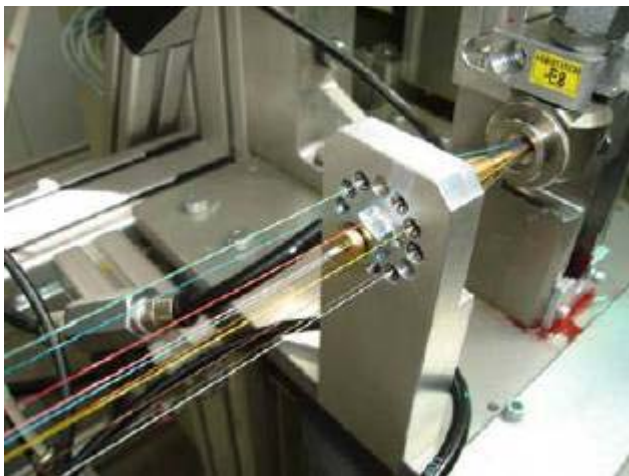


Рис.11 Головка-аппликатор для нанесения покрытия на компактный блок из 12 волокон

Благодаря обработке УФ-отверждаемыми акрилатами можно изготавливать компактные пучки из 12 оптических волокон диаметром всего 1,3 мм.

В процессе такого производства одновременно на несколько стандартных волокон наносится покрытие из УФ-отверждаемого акрилата, а иногда еще и гелеобразное вещество. Стандартный конечный диаметр такого пучка из 12 волокон – 1200 мкм.

Внешняя оболочка может представлять собой один (очень редко) или два слоя УФ-отверждаемого покрытия, или гелеобразное вещество и один слой УФ-отверждаемого покрытия.

Для дополнительной идентификации на внешнюю оболочку с помощью струйного принтера обычно наносится штриховой код (одна полоска для CFU 1, две полоски для CFU 2 и т.д.). Другой способ маркировки – нанесение штрихового кода с помощью УФ-отверждаемого акрилата. Здесь для идентификации кабеля служит цвет штрихов, и в этом недостаток данного способа с точки зрения сложности материально-технического снабжения.

Компактные волоконно-оптические блоки производятся с целью дальнейшего использования в микрокабелях. Преимуществами такого изделия являются низкий расход материалов, малые размеры и высокая механическая прочность в сочетании с низким общим весом и высокой плотностью размещения оптического волокна.

В общем и целом различаются следующие варианты компактных волоконно-оптических блоков:

С однослойным покрытием:

Оболочка наносится с помощью головки-аппликатора на несколько высокоточно позиционированных оптических волокон за один проход, после чего изделие подвергается сушке с помощью УФ-излучателя. Особое внимание уделяется тому, чтобы кабель был равномерно круглым и не имел воздушных карманов. При этом оптические волокна точно удерживаются в заданном положении.

Достоинства: простота изготовления, низкая стоимость оборудования, простота снабжения материалами.

Недостатки: такая конструкция может использоваться максимально для 8 волокон, иначе покрытие может лопнуть сбоку при сгибании. Ограниченные пределы механических характеристик, в частности, твердости.

С двухслойным покрытием (мокрым-по-мокрому):

Через головку-аппликатор подаются два различных материала, образующие однородное многослойное покрытие, как и в случае с плотным буфером. Отдельные слои располагаются таким образом, что оптические волокна находятся в мягком материале, а поверх него – твердая внешняя оболочка. Этот метод позволяет использовать для внутреннего слоя мягкие материалы, не обладающие высокой механической прочностью. Например, для этого могут использоваться гели. Внешний слой наносится в то же время, после чего материал проходит через УФ-излучатель.

Достоинства: простота изготовления, низкая стоимость оборудования, очень хорошие значения коэффициента затухания (даже после температурных циклов в -40°C и $+70^{\circ}\text{C}$). Можно изготавливать блок из 12 оптических волокон с высокоточным позиционированием с внешним диаметром в 1,3 мм, при этом обеспечивая отличные механические свойства оболочки.

Обычно производятся следующие волоконно-оптические блоки CFU:

- диаметром 900 мкм из 4-х оптических волокон
- диаметром 1000 мкм из 6 оптических волокон
- диаметром 1100 мкм из 8 оптических волокон
- диаметром 1300 мкм из 12 оптических волокон

Эти размеры относятся к изделиям с одно- и двухслойным покрытием; необходимо также помнить, что блоки с однослойным покрытием технически возможно изготовить не более чем из 8 волокон.

Кольцевая маркировка оптических волокон



Рис.12 Окрашенное волокно с кольцевой маркировкой

Этот тип маркировки обычно наносится в едином процессе с нанесением покрытия и идентификационного штрих-кода (дополнительная одновременная маркировка).

Кольцевая маркировка служит для дополнительной идентификации готового волокна, т.е. для того, чтобы отличить отдельное волокно в пучке из нескольких волокон (имеется более 12 различных цветов). В сочетании с окраской оптического волокна кольцевая маркировка позволяет создать пучок из более чем 96 оптических волокон без дополнительных средств идентификации.

Как правило, кольца наносятся с помощью специальной черной краски и значительно видоизмененного струйного принтера. Теоретически можно использовать и другие цвета, но это обычно влечет за собой снижение производительности из-за сложности обращения с красками, снижения контрастности, необходимости модификации машины и пр. Толщина покрытия таких колец обычно менее 2 мкм. Саму структуру колец можно выбирать произвольно, хотя уже установились некоторые стандарты.

Маркировочные кольца могут наноситься главным образом двумя способами:

1. Непосредственно на оптическое волокно перед его окрашиванием.

Обычно оптическое волокно одновременно окрашивается для дополнительной идентификации (см. «Окрашивание оптического волокна» выше). Благодаря тому, что слой наносимой краски очень тонкий, цветное покрытие волокна практически прозрачно, что делает кольцевую маркировку четко видимой.

Если конструкция оборудования приемлема для конкретного производства (модульная система!), то и кольцевая маркировка, и окрашивание волокна можно осуществлять за один проход.

Достоинства: кольца хорошо видны и их невозможно стереть, так как они защищены УФ-отверждаемым цветным покрытием; поверхность волокна гладкая и ровная; очень хорошие значения коэффициента затухания.

И маркировочные кольца, и цветное покрытие могут наноситься за один проход, что позволяет обеспечить более высокую производительность.

Недостатки: несколько более высокая стоимость оборудования, так как для одновременного нанесения колец и цветного покрытия необходимо приобрести дополнительную головку-аппликатор с УФ-излучателем.



Рис.13 Линия для окраски и кольцевой маркировки оптического волокна

2. Нанесение маркировочных колец на уже окрашенное оптическое волокно (поверх окрашивающего покрытия). И опять, если позволяет конструкция оборудования, обе эти операции можно осуществлять за один проход.

Достоинства: кольца хорошо видны; стоимость оборудования ниже, так как нет необходимости во второй аппликаторной станции; кольца можно наносить и позже, в отдельной операции.

Недостатки: кольца можно стереть с помощью сильных растворителей (МЕК = метилэтилкетон); поверхность волокна на такая ровная и гладкая, как при нанесении колец под окрашивающее покрытие.

Кольцевая маркировка обычно наносится быстросохнущей черной краской на основе растворителя. После нанесения она должна хорошо просохнуть, чтобы весь растворитель улетучился. Она также должна быть устойчивой к стиранию (это требование также применяется к кольцам, наносимым снаружи). Это обычно проверяется по отношению к этанолу.

Размер самих колец обычно составляет от 1,5 до 2 мм, и они состоят из 5-7 капель, наносимых вплотную одна к другой.

Стандартная структура кольцевой маркировки:

Расстояние / кол-во колец					
25 мм	Одно кольцо	Два кольца	Три кольца		
50 мм	Одно кольцо	Два кольца	Три кольца	Четыре кольца	Четыре кольца
75 мм			Три кольца	Четыре кольца	Четыре кольца

Можно применить дополнительное средство идентификации, изменив ширину колец, например, нанося кольца шириной 5 мм.

Проверка прочности волокна (Proof test)



Рис.14 Устройство для проверки прочности волокна в перемоточной линии

В процессе контроля за прочностью оптические волокна подвергаются повышенному натяжению. Если в стеклянном проводнике волокна есть какие-либо микротрещины, в результате такой нагрузки на них волокно может порваться.

Этот процесс проводится с использованием системы перемотки. Одновременно оптическое волокно наматывается на транспортабельные стандартные катушки со стандартной длиной волокна (например, 25200 м или 50400 м).

Все оптическое волокно, поступающее из башни для вытягивания волокна, обычно подвергается такому механическому испытанию.

Сила натяжения может варьироваться в зависимости от типа используемого оптического волокна. Имеется определенный стандарт испытаний для нормальных оптических волокон.

Это испытание можно проводить на скоростях до 3000 м/мин, обеспечивая необходимое соотношение между испытательной скоростью и прилагаемой силой.

На современном оборудовании такие испытания на прочность можно проводить одновременно с окрашиванием оптического волокна – при условии, что оборудование имеет модульную конструкцию.

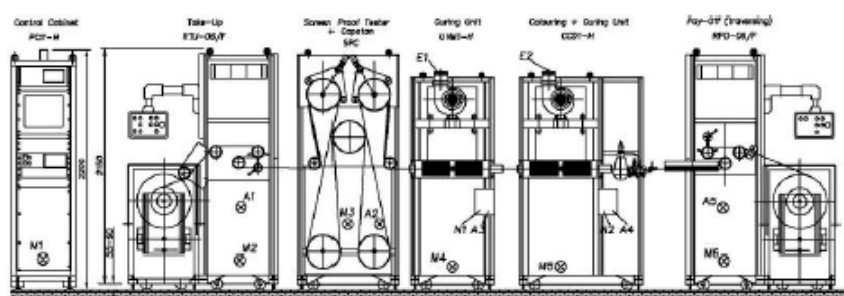


Рис.15 Линия для перемотки и проверки прочности оптического волокна с дополнительным модулем окраски и УФ-сушки

Проверка прочности волокна натяжением главным образом используется для обнаружения в стеклянном проводнике дефектов, которые могут привести к проблемам при дальнейшей обработке волокна или в самом кабеле. Такие дефекты не всегда можно обнаружить с помощью оптического рефлектометра временной области (OTDR), и поэтому используется такая процедура, как проверка прочности натяжением. Она также позволяет регулировать длину оптического волокна, наматывая его на транспортабельные катушки, подходящие для дальнейшей обработки волокна.

В процессе проверки прочности волокна натяжением обычно регистрируется диаметр оптического волокна, и все дефекты отмечаются или немедленно отбраковываются. Этот процесс осуществляется высокочувствительными бесконтактными измерительными головками.

На проведение испытаний методом натяжения имеются международные стандарты. Испытание обычно представляет собой определенное соотношение между временем и силой. Правильно настроив производственное оборудование, можно работать на любой испытательной скорости без ущерба для качества испытаний. Современное оборудование настраивает скорость испытания натяжением полностью автоматически.

Другие области применения систем для нанесения покрытий

Благодаря модульности и эксплуатационной гибкости своего оборудования фирма Medek & Schoemer как лидер мирового рынка в области систем для нанесения покрытий на оптическое волокно смогла предложить и другие области применения своего оборудования, не связанные с оптическим волокном.

Пример:

Новая концепция изготовления прецизионного гибкого плоского микро-кабеля

Уже на протяжении длительного времени гибкие плоские кабели (FFC) широко применяются в автомобильной промышленности и информационных технологиях. Сейчас для производства этих кабелей используются такие технологии, как ламинирование и экструзия. Недостатком ламинирования является крайне низкая производительность. Экструзия не подходит для производства плоских гибких микро-кабелей из-за высоких

температур и давлений в экструзионной головке: это не позволяет поддерживать точность геометрических размеров и позиционирования микро-кабеля.

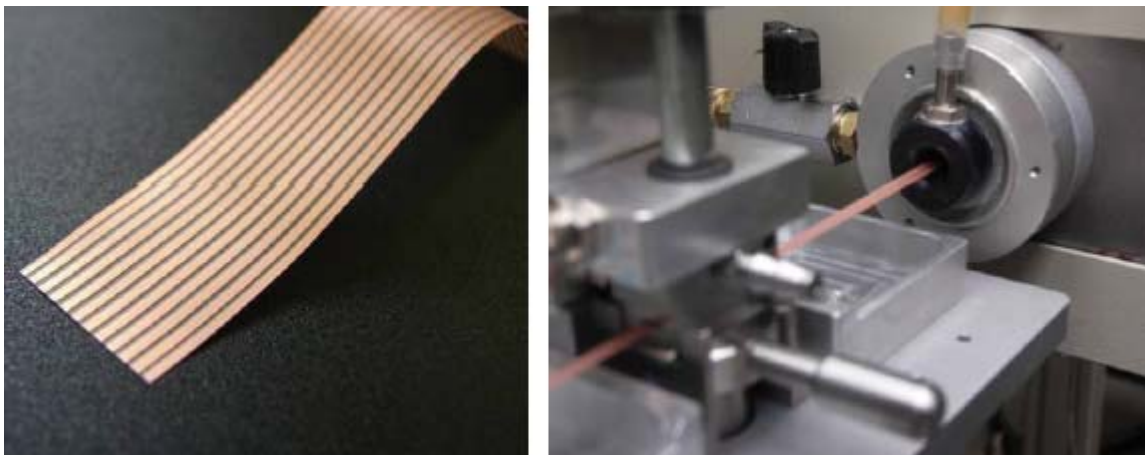


Рис.16 и 17 Гибкий плоский кабель и головка-аппликатор для нанесения полимера

Фирма Medek & Schoerner разработала новую «холодную» технологию производства гибких плоских микро-кабелей с использованием УФ-отверждаемых полимеров без давления; это позволяет обеспечить высочайшую геометрическую точность кабеля на высоких скоростях производства. Эта технология может использоваться в отдельном процессе или в одной линии с экструдером для того, чтобы точно позиционировать отдельные плоские кабели при входе в экструзионную головку.