

СИСТЕМЫ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

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.

Окрашивание оптического волокна

Оптическое волокно обычно поставляется для дальнейшей обработки в виде неокрашенного изделия, намотанного на катушки. 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.

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 непердельность 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 ленточного оптического элемента. При склеивании оптических волокон в ленту не допускается размягчения краски или ее отшелушивания.

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 увеличение коэффициента затухания на стандартном оптическом волокне (одномодовое волокно – тип E9) практически равно нулю. Типичные значения таковы: <0,02 дБ/км для длин волн 1550 нм и 1310 нм.

При окрашивании необходимо соблюдать следующие важнейшие требования: правильный выбор шага



Рис. 1. Головка-аппликатор для нанесения краски



Рис. 2 Окрашенное оптическое волокно



Рис. 3 УФ-излучатель

намотки, отсутствие погрешностей в геометрии намотки волокна на катушку (ровные торцы) и равномерная плотная намотка. Соблюдение этих требований при 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.

Современное оборудование характеризуется построением по модульному принципу. 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 позволяют обеспечить:

- оптимальные 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

Ленточные оптические элементы потребляются 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.

Технологию производства ленточного оптического элемента 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.

Преимущество ленточных оптических элементов заключается в их компактности и простоте 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). Критерии общая ширина / общая толщина / плоскостность показаны на рис. 4, а их типичные значения приведены в табл. 1.

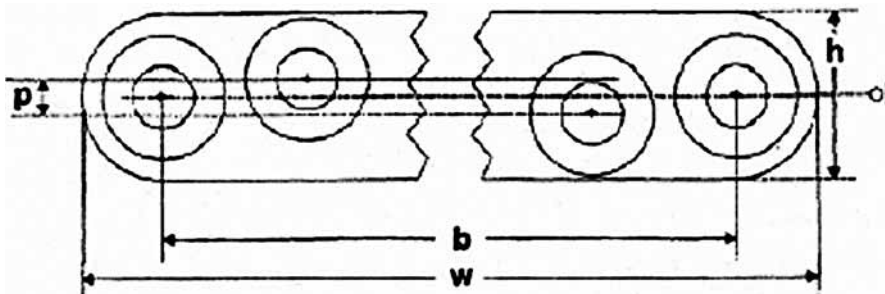


Рис. 4. Базовая линия

Таблица 1

Размеры ленты				
Количество оптических волокон	Ширина ленты, w мкм	Толщина ленты, h мкм	Расстояние между центрами крайних волокон b, мкм	Предел смещения центров оптических волокон от горизонтальной оси p, мкм
04	1115	300	0795	25
06	1645	300	1325	25
12	3235	300	2915	25
Допуск, мм	00000±0,02	0000–0,01	00000±0,02	

Для производства, 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.

Наиболее часто используются ленты из 4, 6, 8, 12 и 24 волокон (изготавливаются из двух 12-волоконных лент).

На современном оборудовании (проектная скорость – 2100 м/мин) можно достичь следующих скоростей производства оптоволоконной ленты (для плоскостности ≤ 50 мкм):

- 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.

Нанесение плотного буфера

Поскольку нанесение объемных покрытий на отдельные оптические волокна методом экструзии создает ряд проблем, касающихся, например, характеристик затухания 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.

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 простота изготовления, возможность обеспечить различные механические характеристики конечного продукта, оптимальная зачищаемость (например, при использовании гелиевых 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:



Рис. 5. Лента из 4-пластиковых оптических волокон (POF)



Рис. 6. Сдвоенное приемное устройство для волоконно-оптической ленты

Компактный волоконно-оптический блок (CFU)

В связи с тем, что сырье постоянно дорожает, а масса кабеля приобретает все большее значение для условий эксплуатации, микрокабели приобретают все большее значение и их 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 малой массе и высокой механической прочности такие кабели идеально подходят для пневматической прокладки в кабельных трубопроводах (микрокабели для микротрубопроводов).

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

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



Рис. 7. Одиночное волокно в плотном буфере

- 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).

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 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Можно изготавливать блок из 12 оптических волокон с высокоточным позиционированием с внешним диаметром

Стандартная структура кольцевой маркировки

Расстояние, мм	Количество колец				
	Одно кольцо	Два кольца	Три кольца	Четыре кольца	Четыре кольца
25	Одно кольцо	Два кольца	Три кольца		
50	Одно кольцо	Два кольца	Три кольца	Четыре кольца	Четыре кольца
75			Три кольца	Четыре кольца	Четыре кольца

в 1,3 мм, при этом обеспечивая отличные механические свойства оболочки.

Обычно производятся следующие волоконно-оптические блоки CFU:

- диаметром 900 мкм из четырех оптических волокон,
- диаметром 1000 мкм из шести оптических волокон,
- диаметром 1100 мкм из восьми оптических волокон,
- диаметром 1300 мкм из двенадцати 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

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, то есть 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 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 окрашивается для дополнительной идентификации (см. выше «Окрашивание оптического волокна»). 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 кольцевую маркировку, 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.

2. Нанесение маркировочных колец на уже окрашенное оптическое волокно (поверх окрашивающего покрытия). Если позволяет конструкция оборудования, то 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 нанести и позже, в отдельной операции.



Рис. 8. Окрашенное волокно с кольцевой маркировкой



Рис. 9. Компактный волоконно-оптический блок из 12 волокон



Рис. 10. Головка-аппликатор для нанесения покрытия на компактный блок из 12 волокон



Рис. 11. Линия для окраски и кольцевой маркировки оптического волокна

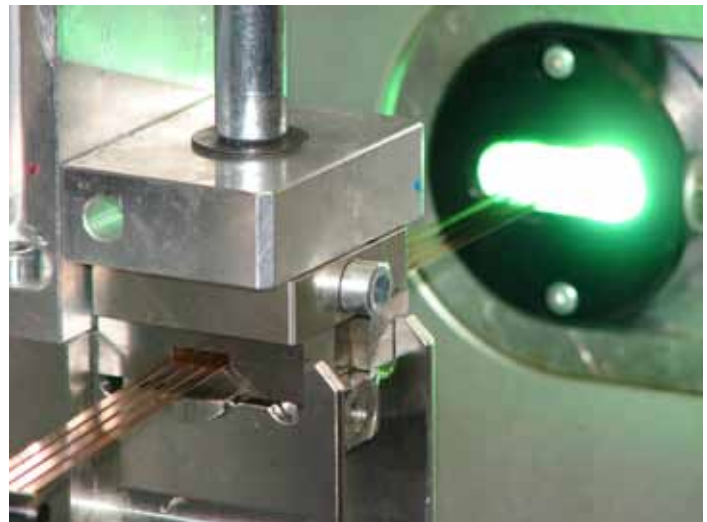
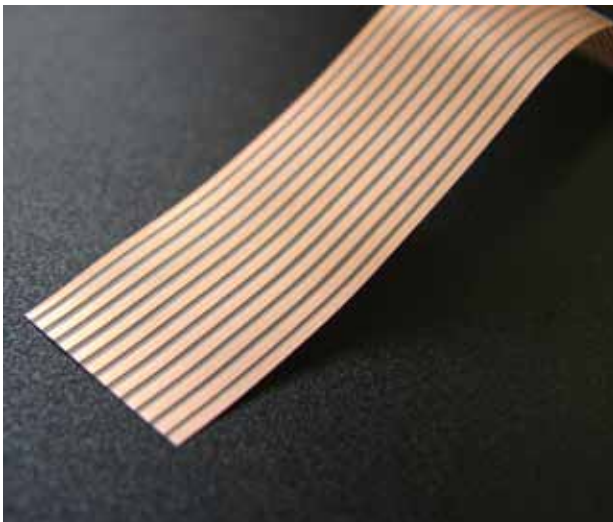


Рис. 12 и 13. Гибкий плоский кабель и головка-аппликатор для нанесения полимера

Недостатки. Кольца можно стереть с помощью сильных растворителей (МЕК = метилэтилкетон); поверхность волокна не 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 (табл. 2).

Можно применить дополнительное средство идентификации, изме-

нив ширину колец, например, нанося кольца шириной 5 мм.

Нанесение маркировки на оптическое волокно может производиться и в процессе его испытания на прочность.

Другие области применения систем для нанесения покрытий

Благодаря модульной конструкции и широким эксплуатационным возможностям описанное оборудование может использоваться и в других областях, не связанных с оптическим волокном.

В качестве примера можно привести новую концепцию процесса изготовления прецизионного гибкого плоского микрокабеля, широко применяемого в автомобильной промышленности и информационных технологиях. Сейчас для производства этих кабелей исполь-

зуются такие технологии, как ламинирование и экструзия. Недостатком ламинирования является крайне низкая производительность. Экструзия не подходит для производства плоских гибких микрокабелей из-за высоких температур и давлений в экструзионной головке, что не обеспечивает точность геометрических размеров.

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