



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 0722193-2 A2



* B R P I 0 7 2 2 1 9 3 A 2 *

(22) Data de Depósito: 06/11/2007

(43) Data da Publicação: 22/04/2014
(RPI 2259)

(51) Int.Cl.:
C03C 25/10

(54) Título: PROCESSO PARA FABRICAR UMA FIBRA ÓPTICA, FIBRA ÓPTICA, FITA DE FIBRA ÓPTICA, E, APARELHO PARA PRODUIR UMA FIBRA ÓPTICA (57) Resumo:

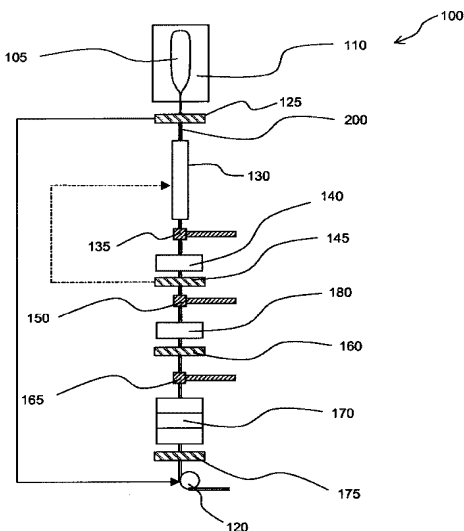
(73) Titular(es): Prysmian S.P.A.

(72) Inventor(es): Antonio Schiaffo, Franco Cocchini, Giuseppe Galasso, Nicola Scafuro

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & Cia

(86) Pedido Internacional: PCT EP2007061946 de
06/11/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2009/059636de
14/05/2009



“PROCESSO PARA FABRICAR UMA FIBRA ÓPTICA, FIBRA ÓPTICA, FITA DE FIBRA ÓPTICA, E, APARELHO PARA PRODUZIR UMA FIBRA ÓPTICA”

DESCRIÇÃO

5 Fundamentos da invenção

Campo da invenção

A presente invenção refere-se geralmente ao campo de fibras ópticas e à fabricação das mesmas.

Descrição da técnica relacionada

10 Fibras ópticas, particularmente fibras de vidro, são fabricadas a partir de um corpo de vidro feito previamente, geralmente chamado de "pré-forma", por um processo conhecido na técnica como "estiramento". Uma pré-forma de vidro é colocada no topo de uma torre de estiramento de fibra, onde é aquecido em um forno a uma temperatura suficientemente elevada para
15 provocar o amolecimento de uma porção inferior da pré-forma. O material de pré-forma amolecido é estirado por um trator para formar um núcleo de vidro de fibra óptica.

 O núcleo de vidro é envolvido por uma camada, geralmente de vidro, tendo um índice de refração menor que o do núcleo, a mencionada
20 camada sendo chamada de recobrimento. A seguir, o núcleo de vidro envolvido pelo recobrimento pode ser referido como uma "guia de onda óptica".

 Sobre o recobrimento são providas, pelo menos uma, mais frequentemente, duas camadas de revestimento sobrepostas, curadas por
25 radiação de UV, que formam o, assim chamado, sistema de revestimento.

 Normalmente, o sistema de revestimento é aplicado sobre o núcleo de fibra óptica durante o processo de estiramento.

 A camada de revestimento que está em contato direto com o núcleo de vidro é chamada de "primeiro revestimento" ou "revestimento

primário", a camada de revestimento sobreposta, que está sobre a superfície exposta da fibra revestida, é chamada de "segunda camada" ou "revestimento secundário".

5 O sistema de revestimento ajuda a absorver as forças aplicadas à fibra revestida e as perdas subsequente associadas à mesma, oferece proteção contra microdobramento, que pode levar a uma atenuação da capacidade de transmissão do sinal da fibra de vidro óptica revestida, e dota a fibra com a resistência desejada às forças de manuseio, como aquelas encontradas quando a fibra revestida forma um cabo.

10 O primeiro revestimento é normalmente um revestimento macio, tendo um módulo de elasticidade relativamente baixo. O segundo revestimento é tipicamente um revestimento tendo um módulo de elasticidade maior.

15 Geralmente é usada codificação de cores para distinguir e identificar fibras individuais em um cabo complexo.

Por exemplo, em aplicações de telecomunicações, várias fibras revestidas podem ser arranjadas em estruturas maiores, como fitas e cabos, para maximizar a eficácia. Entretanto, após o "enrolamento em fita" (ou seja, arranjar um número de fibras lado a lado e revesti-las com um revestimento
20 comum formando uma fita) e a formação de cabo com a fita, as fibras individuais deverão ser claramente distinguíveis uma da outra, de modo que possam ser identificadas com precisão durante, por exemplo, a instalação e manutenção.

Embora vários métodos possam ser usados para a codificação
25 de cores de fibras ópticas, a codificação de cores pode ser feita vantajosamente com uma camada colorida (tipicamente com uma espessura de, aproximadamente, 10 micra ou menos), que é colocado sobre a fibra revestida antes da formação do cabo e/ou "enrolamento em fita" da mesma, ou pela aplicação de um segundo revestimento colorido sobre o primeiro

revestimento.

A aplicação de uma camada colorida pode ocorrer durante o processo de estiramento da fibra óptica.

As fitas de fibra óptica são preparadas embutindo-se pelo menos duas fibras individuais codificadas por cor em um material de matriz comum que, como os primeiro e segundo revestimentos, também é curável por radiação. As fitas de fibra óptica podem compreender, por exemplo, 4 a 12 fibras coloridas. O material de matriz pode encerrar a fibra de vidro óptica codificada com cor, ou o material de matriz pode unir as fibras de vidro uma à outra ao longo de suas bordas. A cura do material de matriz ocorre durante o estágio de "enrolamento em fita", após as fibras terem sido codificadas com cores, aplicando-se uma camada colorida.

Em um projeto de fita, a camada colorida reside entre o material de matriz de fita e o segundo revestimento da fibra. Isso significa que as características da interface (por exemplo, a energia de superfície, aderência) da camada colorida devem ser selecionadas cuidadosamente para combinar tanto com as do material de matriz, quanto com as do material do segundo revestimento na estrutura da fita. Em particular, a capacidade de um material de matriz curado de ser separado adequadamente pela camada colorida (separação) é uma consideração técnica importante. A separação da fita é geralmente executada pela aplicação de uma força mecânica, embora também seja conhecido o amaciamento químico da matriz com o uso de solventes.

A utilização de um segundo revestimento colorido está apresentado, por exemplo, na US 6.797.740.

O US 2004/0.170.367 refere-se a fibras ópticas incluindo uma camada de material de revestimento primário tendo um primeiro módulo, uma camada de material de revestimento de cor tendo um segundo módulo, uma camada de material secundário tendo um terceiro módulo, e onde o primeiro,

o segundo e o terceiro valores de módulos são diferentes.

A camada de material de revestimento primário, a camada do material de revestimento de cor, e a camada de material de revestimento secundário são, cada uma, aplicadas antes das outras camadas serem curadas.

5 Todas as três camadas são curadas em conjunto.

Em um modo de realização, uma fibra óptica revestida inclui uma camada posicionada entre a camada de revestimento primário e a camada de revestimento secundário. A camada de revestimento primário envolve a fibra óptica (ou seja, a guia de onda óptica), a camada de revestimento colorido envolve a camada de revestimento primário e a camada de revestimento secundário forma a camada protetora mais externa. Tipicamente, o material de revestimento de cor tem um módulo entre o dos materiais de revestimento primário e secundário.

Em um modo de realização alternativo, a camada de revestimento de cor envolve a fibra óptica e a camada de revestimento primário está entre a camada de revestimento de cor e a camada de revestimento secundário mais externa. Nesta circunstância, o módulo do material de revestimento de cor é, de preferência, menor ou igual do que o módulo da camada de revestimento primário. Em um modo de realização alternativo, a camada de revestimento primário é adjacente à fibra óptica, a camada de revestimento secundário é adjacente à camada de revestimento primário, e a camada de revestimento de cor é a camada mais externa. O documento não provê nenhuma indicação sobre os valores de módulos das camadas nesta circunstância.

25 O US 2004/0179799 provê um cabo de fibra óptica que inclui um núcleo compreendendo uma ou mais fibras ópticas envolvidas por um sistema de revestimento (daqui em diante referido como "bainha protetora") que tem um módulo de elasticidade variando radialmente, e um método para fazer o mesmo. A bainha protetora inclui primeira e segunda porções de

camada de revestimento baseadas no mesmo material de revestimento. Um modificador é adicionado ao material de revestimento da primeira porção de camada de revestimento. Da mesma forma, um modificador é adicionado ao material de revestimento da segunda porção de camada de revestimento. A
5 adição de um modificador à primeira porção de camada de revestimento e a adição de um modificador à segunda porção de camada de revestimento, fazem com que o sistema de revestimento tenha um módulo de elasticidade que varia em uma direção radial ao longo de raios se estendendo para fora de um centro do núcleo do cabo. Diferentes tipos de modificadores que podem
10 ser utilizados para esta finalidade incluem, mas não de modo limitativo, carregadores, por exemplo, nanoargilas; agentes de ligação cruzada, por exemplo, acrilatos; agentes de transferência de cadeia de polimerização; fotoiniciadores, por exemplo, alfa-hidroxi cetonas. O revestimento é provido com módulo diferente, adicionando-se diferentes quantidades de
15 modificadores ou modificadores diferentes ao material de revestimento.

Em um exemplo, o módulo de elasticidade variando radialmente varia gradualmente. A variação radial poderia ser, por exemplo, uma função gradual, de modo que a variação radial mudasse abruptamente em algum local dentro do revestimento.

20 A fibra óptica pode compreender um revestimento adicional que envolve a porção externa do revestimento (três camadas). A fibra óptica pode compreender, adicionalmente, uma camada de cor, como tinta, por exemplo, que envolve a camada de revestimento.

Sumário da invenção

25 Observou-se que é desejável ter uma fibra óptica com as seguintes características:

- camadas de revestimento com valores de módulo de elasticidade crescendo radialmente se afastando do eixo longitudinal da fibra óptica, de modo a melhorar as características de resistência ao

microdobramento;

- uma camada de revestimento colorido, para permitir facilmente a identificação da fibra;

- boas características interfaciais, especialmente de aderência, do material de revestimento colorido com o segundo material de revestimento, de modo a evitar o destacamento entre a camada de revestimento colorido e a segunda camada de revestimento durante o manuseio da fibra e/ou sob condições termais ou químicas críticas ou em conexão com a remoção de camadas sobrepostas à mesma (por exemplo, a camada de amortecimento, a camada de matriz de fita), devido ao fato das duas camadas constituírem uma entidade substancialmente monolítica.

Observou-se que a fabricação de uma fibra óptica colorida com camadas de revestimento com valores de módulo de elasticidade radialmente crescentes se afastando do eixo longitudinal da fibra óptica pode ser complicada.

Em especial, em conexão com o exposto acima no US 2004/0.170.367, observou-se que o processo apresentado provê a cura simultânea de camadas de revestimento aplicadas à fibra. Esse processo é totalmente úmida-sobre-úmida (camada úmida sobe camada úmida), como será explicado aqui abaixo, e torna difícil controlar os diâmetros das camadas, especialmente quando são três as camadas.

Observou-se que a radiação de cura provida a uma camada de material de revestimento poderia ter um efeito sobre o material da camada subjacente, de modo a aumentar o grau de cura da mesma.

Percebeu-se que o colorante contido em um material de revestimento colorido poderia ajudar a filtrar a radiação atingindo uma camada de revestimento subjacente, substancialmente não curada. O efeito protetor contra a radiação da camada de revestimento colorido poderia ser explorado para modular o módulo de elasticidade por meio de diferentes

graus de cura. Isto é particularmente vantajoso quando o material da camada colorida superior é o mesmo que o material da segunda camada, a camada subjacente, diferindo apenas pela presença de um colorante. Em um aspecto, a presente invenção se refere a um processo para fabricar uma fibra óptica, o mencionado processo compreendendo as etapas de:

- estirar uma guia de onda óptica de uma pré-forma de vidro;
- aplicar uma camada de um primeiro material de revestimento sobre a guia de onda óptica;
- curar a primeira camada de material de revestimento para obter uma primeira camada de revestimento;
- aplicar uma camada de um segundo material de revestimento sobre a primeira camada de revestimento;
- aplicar uma camada de material de revestimento colorido sobre a camada de segundo material de revestimento;
- curar o segundo material de revestimento e o material de revestimento colorido em uma única etapa, de modo a obter uma segunda camada de revestimento sobreposta sobre a primeira camada de revestimento e uma camada de revestimento colorido sobreposta à segunda camada de revestimento, a segunda camada de revestimento obtida tendo um módulo de elasticidade maior do que o da primeira camada de revestimento do e menor do que o da camada de revestimento colorido.

Para o propósito da presente descrição e das reivindicações anexas, exceto onde indicado ao contrário, todos os números que expressam valores, quantidades, percentagens, etc., devem ser entendidos como sendo modificados em todas as instâncias pelo termo "aproximadamente". Além disso, todas as faixas incluem qualquer combinação dos pontos máximos e mínimos apresentados e incluem, nas mesmas, quaisquer faixas intermediárias, que possam, ou não, estar aqui especificamente enumeradas.

Para as finalidades da presente invenção, se aplicam as

seguintes definições:

- Guia de onda óptica": porção de vidro da fibra óptica compreendendo um núcleo envolto por um recobrimento;

5 - "Cura": endurecimento de um material de polímero, por exemplo, por ligação cruzada de cadeias de polímero, provocada por uma fonte de radiação, como radiação ultravioleta, Feixe de Elétrons (EB) ou calor.

10 - "Módulo de elasticidade" (também conhecido como "módulo de Young", ou, pelo símbolo "E"): descreve a elasticidade de tração ou a tendência de um objeto de se deformar ao longo de um eixo, quando forças opostas são aplicadas ao longo desse eixo; ele é definido como a relação entre esforço de tração e deformação ($E = \sigma/\epsilon$).

15 - Processo "úmida sobre seca": a deposição de revestimento múltiplo onde um primeiro material de revestimento, na forma líquida, é aplicado à guia de onda óptica; a guia de onda óptica revestida sendo, a seguir, passada através de um estágio de cura pelo qual o primeiro material de revestimento é exposto a energia radiante para curar (e endurecer). Um segundo material de revestimento é, em seguida, aplicado em forma líquida, sobre a primeira camada de revestimento curado da fibra óptica. A fibra
20 óptica revestida é, mais uma vez, passada através de um estágio de cura, onde o segundo material de revestimento é exposto a energia radiante, de modo a curar (e endurecer).

25 - Processo "úmida sobre úmida": a deposição de revestimento múltiplo onde um primeiro material, na forma líquida, é aplicado à guia de onda óptica seguido pela aplicação de um segundo material de revestimento, também na forma líquida, sem nenhuma intervenção substancial do estágio de cura entre a aplicação do primeiro material de revestimento e a aplicação do segundo material de revestimento. Um primeiro revestimento e um segundo revestimento resultando da cura simultânea do primeiro material de

revestimento e do segundo material de revestimento.

Opcionalmente, o processo da invenção compreende a etapa de aquecer a camada de segundo material de revestimento antes de aplicar a camada de material de revestimento colorido. Isto permite obter um melhor controle sobre o diâmetro da fibra. O mencionado aquecimento pode ser executado por exposição à energia radiante gerada, por exemplo, por uma fonte de Infravermelho (IR) ou uma fonte de UV; no último caso, o possível nível de cura da segunda camada, antes da aplicação da terceira camada colorida, deveria, em qualquer caso, ser de modo a assegurar que a cura adicional provocada pela radiação sendo filtrada através do material colorido durante a cura da mesma, atingisse um grau de cura da segunda camada de 90% a 96%.

Deve ser obtido um grau de cura de modo a se obter um módulo de elasticidade da segunda camada de material com um valor, de preferência, igual ou menor do que 1% do valor do módulo de elasticidade apresentado pelo mencionado material após uma cura de 100%. Os valores do módulo de elasticidade de um material após 100% de cura podem ser prontamente conhecidos pelo experiente na técnica, por exemplo, por um teste ou pela ficha técnica de um material de revestimento comercializado.

Observou-se que, em uma camada de revestimento com um grau de cura inferior a 90%, modificações dimensionais, por exemplo, alterações no diâmetro, ocorrem durante a vida da fibra. Esse fenômeno pode ser devido à migração de espécies, que não tenham reagido, para as camadas adjacentes.

Preferencialmente, o processo da presente invenção compreende a cura da segunda camada de revestimento a um grau inferior a 96% durante a cura do material de revestimento colorido.

Preferencialmente, o processo da presente invenção compreende a cura da segunda camada de revestimento a um grau maior do

que, aproximadamente, 90%, durante a cura do material de revestimento colorido.

Vantajosamente, o processo da invenção compreende a cura da segunda camada de revestimento a um grau correspondendo a um módulo de elasticidade de 10% a 50% menor do que o módulo de elasticidade da camada de revestimento colorido na fibra óptica acabada.

Em outro aspecto, a presente invenção refere-se a uma fibra óptica compreendendo:

- uma guia de onda óptica;
- uma camada de primeiro material de revestimento envolvendo a guia de onda óptica;
- uma camada de segundo material de revestimento envolvendo a camada de primeiro material de revestimento; e
- uma camada de material de revestimento colorido envolvendo a camada de segundo material de revestimento, onde:

os mencionados primeiro, segundo e material coloridos de revestimento têm valores de módulo de elasticidade aumentando se afastando da guia de onda óptica;

o mencionado material de revestimento colorido tem um módulo de elasticidade de 500-1000 MPa;

o mencionado segundo material de revestimento tem um módulo de elasticidade de 10% a 50% menor do que o módulo de elasticidade do material de revestimento colorido; e

a camada de segundo material de revestimento é curada a uma percentagem inferior a 96%.

Preferivelmente, a camada de segundo material de revestimento é curada a uma percentagem igual ou superior a 90%.

Preferivelmente, a camada de primeiro material de revestimento tem um módulo de elasticidade de 1 a 2 MPa.

Preferencialmente, a mencionada guia de onda óptica tem um diâmetro de aproximadamente $125\mu\text{m}$.

Preferivelmente, a camada de primeiro material de revestimento tem uma espessura de 30 a $35\mu\text{m}$.

5 Preferivelmente, a camada de segundo material de revestimento tem uma espessura de 20 a $35\mu\text{m}$.

Vantajosamente, a camada do material de revestimento colorido tem uma espessura adequada para prover resistência mecânica.

10 Além disso, o material de revestimento colorido tem um efeito de proteção que depende da espessura da camada. A espessura da camada de material de revestimento colorido pode ser selecionada como uma função do colorante contido na mesma. Considerando o espectro de absorção, alguns colorantes, por exemplo, preto e branco, provêm a camada colorida com uma capacidade de proteção maior do que a de outro colorante, por exemplo,
15 amarelo. Por exemplo, uma camada de material de revestimento colorido preto pode ter uma espessura menor do que aquela de uma camada de material de revestimento colorido amarelo, proporcionando, substancialmente, o mesmo efeito de proteção sobre a cura do segundo material de revestimento.

20 Preferivelmente, a camada de material de revestimento colorido tem uma espessura de 10 a $15\mu\text{m}$.

Preferencialmente, o segundo material de revestimento é substancialmente o mesmo que o material de revestimento colorido, este último diferindo pelo fato de conter um colorante.

25 Vantajosamente, o segundo material de revestimento e o colorido contêm, substancialmente, o mesmo tipo de pelo menos um modificador, como carregadores, agentes de ligação cruzada, agentes de transferência de cadeia de polimerização, fotoiniciadores e suas combinações. Vantajosamente, o mencionado pelo menos um modificador está contido no

segundo material de revestimento e no colorido, substancialmente, na mesma quantidade.

5 Usando o mesmo material de revestimento para a segundo camada e para a camada colorida, assegura boas características interfaciais entre as duas camadas com as vantagens já discutidas acima. Usando o mesmo material de revestimento para a segunda camada e para a camada colorida facilita o processamento de um ponto de vista operacional.

Fibras ópticas, de acordo com a invenção, são usadas, vantajosamente, para prover uma fita de fibra óptica.

10 Em ainda outro aspecto, a presente invenção se refere a um aparelho para produzir uma fibra óptica iniciando de uma pré-forma de vidro, o mencionado aparelho compreendendo:

- um primeiro dispositivo aplicador para aplicar uma camada de primeiro material de revestimento sobre uma guia de onda óptica obtida do mencionada pré-forma de vidro;

- um primeiro dispositivo de cura para curar a camada de primeiro material de revestimento;

20 - um segundo dispositivo aplicador para aplicar sobre a camada de primeiro material de revestimento curado pelo dispositivo de cura, uma camada de segundo material de revestimento e uma camada de material de revestimento colorido sobre a camada de segundo material de revestimento; e

25 - um segundo dispositivo de cura operável para prover uma quantidade de energia radiante para curar pelo menos a camada de material de revestimento colorido.

A quantidade de energia radiante provida pelos dispositivos de cura, de acordo com a invenção, é selecionada considerando parâmetros como a velocidade de estiramento, composição química do segundo revestimento e do revestimento colorido, absorbância do colorante no material de

revestimento colorido, espessura da camada de revestimento colorido, o grau desejado de cura da camada(s).

De preferência, o aparelho compreende adicionalmente um dispositivo de aquecimento para aquecer a camada de segundo material de revestimento antes da aplicação da camada de material de revestimento colorido.

O dispositivo de aquecimento pode compreender um terceiro dispositivo de cura.

O aparelho pode compreender um primeiro dispositivo de medição de diâmetro antes do mencionado primeiro dispositivo aplicador, e/ou um segundo dispositivo de medição de diâmetro depois do primeiro dispositivo aplicador e antes do segundo dispositivo aplicador, e/ou um terceiro dispositivo de medição de diâmetro depois do dispositivo de aquecimento e antes do mencionado segundo dispositivo de cura, e/ou um quarto dispositivo de medição de diâmetro depois do mencionado segundo dispositivo de cura.

A fibra óptica fabricada de acordo com a presente invenção é uma fibra óptica com três camadas de revestimento. Esta fibra óptica apresenta bons desempenhos de fibra em termos de separação, manuseio e envelhecimento em água, e apresenta desempenhos de microdobramentos pelo menos equivalente àqueles da técnica anterior. Sem estar vinculado a uma teoria particular, acredita-se que os mencionados desempenhos podem ser devidos ao fato da camada de material de revestimento colorido atuar como uma proteção contra a radiação de cura. Consequentemente, a segunda camada de material de revestimento experimenta menos potência de energia radiante do que no caso de um revestimento de duas camadas. A camada de segundo material de revestimento, mesmo no caso de ser formado do mesmo material que aquele do material de revestimento colorido, tem um módulo de elasticidade menor após a cura.

Breve Descrição dos desenhos

As características e vantagens da presente invenção serão mais bem compreendidas lendo-se a descrição detalhada a seguir de um modo de realização da invenção, provido meramente a título de exemplo não limitativo, fazendo referência aos desenhos anexos, onde:

A Figura 1 mostra esquematicamente um aparelho de acordo com um modo de realização da presente invenção para a fabricação de uma fibra óptica através de um método de acordo com a presente invenção;

A Figura 2 mostra esquematicamente uma secção transversal de uma fibra óptica, em um plano transversal ao eixo da fibra óptica, obtida por um método de acordo com a presente invenção, e

A Figura 3 é um diagrama mostrando uma dependência das perdas de fibras (atenuação, na ordenada) no módulo de elasticidade (na abscissa) da camada de segundo material de revestimento de uma fibra óptica de acordo com um modo de realização da presente invenção.

Descrição detalhada de um modo de realização da invenção

Com referência aos desenhos, na Figura 1 está representado esquematicamente um aparelho 100, de acordo com um modo de realização da presente invenção, para a fabricação de uma fibra óptica com três camadas de revestimento 200, por um método de acordo com um modo de realização da presente invenção.

Em particular, o aparelho 100, da Figura 1, é um aparelho de estiramento vertical, para ser montado em uma torre de estiramento de fibra óptica, apropriada para uma aplicação úmida-sobre-seca de todas as três camadas da fibra óptica de três camadas. Ressalte-se que também são possíveis arranjos diferentes do aparelho, por exemplo, apropriados para uma aplicação úmida- sobre-úmida, ou mista, úmida-sobre-úmida/úmida-sobre-seca, das três camadas. A torre de estiramento e aplicadores de resina do tipo úmida-sobre-úmida, ou úmida-sobre-seca são conhecidos *de per si* e não

serão descritos em detalhe.

Uma pré-forma de vidro 105 é estirado em um forno 110 para obter a guia de onda de fibra óptica 200. A fibra 200 é extraída por um trator 120. Durante o estiramento, o diâmetro da fibra 200 é medido na saída do
5 forno 110 por um primeiro dispositivo de medição 125. No caso de desvio de um valor-alvo de diâmetro (por exemplo, 125 μ m), o primeiro aparelho de medição 125 pode enviar um sinal para o 120 trator, que pode variar sua velocidade de rotação apropriadamente.

A fibra 200 é levada, em seguida, a passar através de um tubo
10 de refrigeração 130, onde ela é resfriada para atingir uma temperatura, por exemplo, inferior a 50°C e, em seguida, é levada a passar através de um primeiro dispositivo aplicador 135, tendo matrizes de aplicador adaptadas para aplicar sobre a fibra de vidro 200 uma camada de um primeiro material de revestimento; em particular, a camada de primeiro material de
15 revestimento pode ser aplicada em forma de uma resina viscosa.

Em seguida, a fibra 200 revestida com uma camada de primeiro material de revestimento é levada a passar através de um primeiro dispositivo de cura 140, por exemplo, uma lâmpada de UV, ou sistema de lâmpadas de UV, adaptado para provocar a cura do primeiro material de
20 revestimento; o grau de cura dependendo da potência de UV irradiada pelo dispositivo de cura 140, e/ou da velocidade de estiramento da fibra. Observa-se que, uma vez que, em estágios subsequentes de fabricação (descritos a seguir), o primeiro material de revestimento pode receber doses adicionais de potência de UV, a cura do primeiro material de revestimento pela exposição à
25 potência de UV provida pelo primeiro dispositivo de cura 140, não precisa necessariamente ser completa.

O primeiro dispositivo de cura 140 pode compreender de 1 a 4 lâmpadas de UV provendo uma quantidade de energia radiante variando de 45W/cm² a 150W/cm², por lâmpada.

A jusante do primeiro dispositivo de cura de UV 140, o diâmetro da fibra revestida com uma camada de primeiro material de revestimento pode ser medido por um segundo dispositivo de medição 145. O valor do diâmetro medido pode ser usado para determinar que o diâmetro da fibra óptica 200 esteja correto; no caso do valor do diâmetro medido se afastar muito de um valor-alvo de diâmetro, a fibra óptica pode ser descartada; alternativamente, o valor medido do diâmetro pode ser usado como uma retroalimentação para o tubo de refrigeração 130, de modo a variar a temperatura com que a fibra de 200 entra nas matrizes do primeiro dispositivo aplicador 135. A quantidade de resina viscosa que a fibra pode arrastar 200, ou seja, a espessura da primeira camada de revestimento, depende da geometria da matriz e da temperatura da fibra 200 que está entrando em relação à da resina viscosa. Foi observado que a medição dos diâmetros das várias camadas da fibra óptica 200 no final do processo de fabricação pode ser difícil, de modo que, medir os diâmetros de uma ou mais das camadas que compõem a fibra óptica 200, durante a fabricação, pode ser vantajoso.

Em seguida, a fibra 200 passa através de um segundo dispositivo aplicador 150, tendo matrizes de aplicador arranjadas para aplicar sobre a fibra (coberta pela primeira camada de revestimento) uma camada de um segundo material de revestimento, em particular, o segundo material de revestimento sendo aplicado em forma de uma resina viscosa.

O diâmetro da fibra coberta com as camadas do primeiro e segundo materiais de revestimento pode ser medido por um terceiro dispositivo de medição 160. Da mesma forma que o segundo dispositivo de medição, o valor de diâmetro medido pelo terceiro aparelho de medição 160 pode ser usado para determinar que o diâmetro da fibra óptica 200 esteja correto; no caso do valor do diâmetro medido se afastar muito de um valor-alvo de diâmetro, a fibra óptica pode ser descartada; alternativamente, o valor medido do diâmetro pode ser usado como uma retroalimentação para o tubo

de refrigeração 130, de modo a variar a temperatura com que a fibra entra nas matrizes do primeiro dispositivo aplicador 135.

Finalmente, a fibra 200 é levada a passar por um terceiro dispositivo aplicador 165, que tem matrizes de aplicador adaptadas para aplicar sobre as fibras cobertas pelos primeiro e segundo materiais de revestimento uma terceira camada de um material de revestimento colorido. O material de revestimento colorido pode ser em forma de uma resina viscosa, e inclui um corante de um tipo e em uma quantidade apropriada para obter uma fibra tendo uma cor externa desejada.

O material de revestimento colorido pode ser de um material idêntico ao do segundo material de revestimento, diferindo deste quanto à presença do corante, mais geralmente, o material de revestimento colorido podendo ser de um material quimicamente compatível com o segundo material de revestimento.

O corante pode ser um pigmento inorgânico, ou, mais genericamente, um pigmento que seja quimicamente inerte em relação aos outros componentes químicos da camada de revestimento colorido.

Em seguida, a fibra 200 é levada a passar por um segundo dispositivo de cura 170, por exemplo, uma lâmpada, ou sistema de lâmpadas de UV, adaptado para provocar a cura da resina viscosa formando o material de revestimento colorido, o grau de cura dependendo da potência de UV irradiada pelo segundo dispositivo de cura 170, e/ou da velocidade de estiramento da fibra.

O segundo dispositivo de cura 170 pode compreender de 1 a 6 lâmpadas de UV provendo uma quantidade de energia radiante variando de 45W/cm^2 a 150W/cm^2 , por lâmpada.

Devido ao corante presente no material de revestimento colorido, o material de revestimento colorido atua como uma proteção contra a radiação de UV. Desse modo, a contribuição do segundo dispositivo de cura

170 para a cura da resina que forma o segundo material de revestimento depende das características do material de revestimento colorido, de sua capacidade de proteção contra a radiação de UV; em qualquer caso, o grau de cura da resina formando o segundo material de revestimento provocada pela radiação de UV gerada pelo segundo dispositivo de cura 170 é reduzido em comparação com o que seria obtido caso o material de revestimento colorido estivesse ausente.

O diâmetro da fibra coberta com as três camadas é, então, medido por um quarto dispositivo de medição 175. Da mesma forma que os segundo e terceiro dispositivos de medição (145, 160), o valor do diâmetro das fibras medido pelo quarto aparelho de medição 175 pode ser usado para determinar que o diâmetro da fibra óptica 200 esteja correto; no caso do valor do diâmetro medido se afastar muito de um valor-alvo de diâmetro, a fibra óptica pode ser descartada; alternativamente, o valor medido do diâmetro pode ser usado como uma retroalimentação para o tubo de refrigeração 130, de modo a variar a temperatura com que a fibra entra nas matrizes do primeiro dispositivo aplicador 135.

Em um modo de realização da presente invenção, após sair do segundo dispositivo aplicador 150, a fibra é levada a passar através de um dispositivo 180, por exemplo, um terceiro dispositivo de cura, por exemplo, uma lâmpada de UV, ou sistema de lâmpadas, adaptado para fazer com que a resina viscosa formando o segundo material de revestimento seja curada a um certo grau, dependendo da potência de UV irradiada pelo dispositivo 180, e/ou da velocidade de estiramento da fibra; neste caso, a contribuição da segunda lâmpada, ou sistema de lâmpadas de UV 170 para a cura da resina que forma o segundo material de revestimento pode ser reduzida, ou mesmo desprezada. A exposição da resina viscosa formando o segundo material de revestimento à radiação de UV antes de aplicar a camada de material de revestimento colorido, provoca, vantajosamente o aquecimento do segundo

material de revestimento, o que permite conseguir um controle melhor do diâmetro final da fibra óptica. A potência de UV irradiada pelo dispositivo 180 também pode provocar um aumento do nível de cura da resina que forma o primeiro material de revestimento. Em alguns modos de realização da invenção, o dispositivo 180 pode incluir, além, ou como alternativa para o terceiro dispositivo de cura, um dispositivo de aquecimento, como uma fonte de IR, adaptado para aquecer o segundo material de revestimento.

O dispositivo 180 pode compreender de 1 a 2 lâmpadas de UV provendo uma quantidade de energia radiante variando de $5\text{W}/\text{cm}^2$ a $40\text{W}/\text{cm}^2$, por lâmpada.

A Figura 2 mostra esquematicamente uma seção transversal da fibra óptica 200 fabricada seguindo um método de acordo com um modo de realização da presente invenção, a seção transversal tomada em um plano transversal ao eixo de fibra óptica. No desenho, a guia de onda óptica de vidro (compreendendo núcleo e recobrimento) da fibra 200 está indicada por 205, a camada de primeiro material de revestimento está indicada por 210, a camada de segundo material de revestimento está indicada por 215, e a camada material de revestimento colorido está indicada por 220.

A guia de onda óptica 205 pode ter, por exemplo, um diâmetro padrão de cerca de $125\mu\text{m}$ (um valor padrão em fibras ópticas para aplicações de telecomunicações).

A camada 210 de primeiro material de revestimento tem um módulo de elasticidade relativamente baixo, por exemplo, da ordem de 1-2 MPa, na faixa de temperatura de uso da fibra óptica, por exemplo, de -30°C a 60°C . A espessura da camada 210 de primeiro material de revestimento pode ser de 30 a $35\mu\text{m}$.

A camada 215 de segundo material de revestimento pode ter um módulo de elasticidade intermediário maior do que o módulo de elasticidade da camada 210 de primeiro material de revestimento e menor do

que o da camada 220 de material de revestimento colorido. Preferivelmente, a camada 215 tem uma espessura de 20 a 30 μ m. Preferencialmente, o material da camada 215 tem um grau de cura de pelo menos 96%. Vantajosamente, o grau de cura do material da segunda camada 215 é superior a 90%, para evitar a possível migração de espécies que não reagiram, o que pode resultar em mudanças na espessura das camadas de revestimento.

A camada 220 de material de revestimento colorido pode ter um módulo de elasticidade relativamente elevado, maior do que o da camada 215 de segundo material de revestimento, por exemplo, de 5 a 100 MPa. Preferencialmente a espessura da camada 220 é de, aproximadamente, 10-15 μ m. Preferencialmente, o módulo de elasticidade da segunda camada 215 de segundo material de revestimento é, aproximadamente, 10-50% menor do que o do material de revestimento colorido. O material, por exemplo, a resina usada para a camada de revestimento colorido pode ter basicamente a mesma composição química que a do segundo material de revestimento, e contém colorante.

O diâmetro externo da fibra 200 pode estar na faixa de 245 a 255 μ m.

As resinas usadas para qualquer um, ou para cada um dos primeiro, segundo e material coloridos de revestimento podem ser aquelas descritos na US 6.797.740. A quantidade de colorante a ser usada pode ser escolhida com base na espessura das camadas de revestimento, como é conhecido por aqueles experientes na técnica.

A fibra produzida de acordo com a invenção mostra resistência ao microdobramento igual ou mesmo melhor em comparação com fibras conhecidas, graças ao módulo de elasticidade radialmente crescente. A camada de segundo material de revestimento não é o elemento principal provendo a resistência mecânica da fibra, desse modo, ela pode ter módulo de elasticidade menor do que o da camada de revestimento colorido.

Além disso, a camada externa colorida permite a identificação

de fibras em cabos multifibras sem a necessidade de uma etapa de processamento adicional de coloração das fibras na fábrica de cabos.

Resultados experimentais

Em um aparelho de estiramento, como o aparelho 100 descrito no exposto, uma pré-forma de vidro com um perfil de índice escalonado para o índice de refração foi estirada a 20m/s. A pré-forma foi escolhido como tendo uma grande relação entre o Diâmetro de Campo de Modo (MFD) e comprimento de onda de corte (a mencionada relação, daqui em diante, também referida como "MAC"), de modo a enfatizar a sensibilidade de microdobramento. A fibra óptica resultante resultou em ter um MFD médio = $9,31\mu\text{m}$ (a um comprimento de onda de 1310nm), comprimento de onda de corte de cabo = $1,138\text{nm}$ e MAC médio = 8,18.

Duas guias de onda ópticas tendo um diâmetro de $125\mu\text{m}$ foram revestidas com um primeiro material de revestimento (DeSolite® 6D1-78 comercializado pela DSM Desotech), um segundo material de revestimento (DeSolite® 3471-2-136 comercializado pela DSM Desotech) e um terceiro material colorido (DeSolite® 952-014, que é DeSolite® 3471-2-136 mais um colorante verde, comercializado pela DSM Desotech), os mencionados materiais sendo aplicados para prover os valores de espessura reportados na Tabela I.

Tabela I

Amostra	Potência de UV 1ª camada	Potência de UV 2ª camada	Potência de UV 3ª camada colorida	1ª Camada Espessura (μm)	2ª Camada Espessura (μm)	3ª Camada Espessura (μm)
1*	1 x 100%	1 x 100%	3 x 100%	31,5	22,5	10
2	1 x 100%	1 x 25%	4 x 100%	31,5	22,5	12,5

Na Tabela I, a potência de UV está expressa como o número de lâmpadas x percentagem de potência radiante de cada lâmpada ($100\% = 93\text{W}/\text{cm}^2$). As primeira e segunda camadas de revestimento da amostra comparativa 1 receberam uma quantidade de radiação de modo a curar os materiais das mesmas antes da aplicação das terceiras camadas coloridas

(processo úmida-sobre-seca). A segunda camada da amostra 2, de acordo com a invenção, recebeu uma quantidade de radiação de, aproximadamente, 23W/cm^2 , de modo a conferir um grau de cura inferior a 90% deixando, desse modo, o material não curado.

5 A sensibilidade de microdobramento da amostra comparativa 1 e da amostra 2, de acordo com a invenção, foi testada de acordo a norma IEC 62-221 IR3 Ed.1, com uma bobina expansível na temperatura ambiente. Os resultados estão apresentados na Tabela II, abaixo.

Tabela II

Amostra	Sensibilidade de microdobramento @ 1550nm [dB/km/(g/mm)]
1	4,67
2	3,77

10 A amostra 2, de acordo com a invenção, tem uma sensibilidade de microdobramento significativamente menor, comparada à de uma fibra padrão de camada dupla (amostra comparativa 1). A dependência da sensibilidade de microdobramento do módulo de revestimento (dependendo, por sua vez, do grau de cura do material de revestimento) está explicada, por exemplo, em F. Cocchini et al., Journal of Lightwave Techn. 13 (1995),
15 página 1706. A maior atenuação de uma fibra óptica pressionada ligeiramente sobre uma superfície externa áspera é proporcional à razão D/H^2 , como mostrado na equação a seguir:

$$\Delta\alpha \propto \frac{D}{H^2} \quad \text{eq. 1}$$

onde D é a rigidez lateral do sistema de revestimento (MPa) e H é a rigidez flexural ($\text{MPa}\cdot\text{mm}^4$). No caso de uma camada de revestimento dupla, a rigidez flexural H é definida como:

$$H = H_0 + H_2 = \pi R_0^4 E_0 + \pi (R_2^4 - R_1^2) E_2 \quad \text{eq. 2}$$

onde os termos Ei são os módulos e os termos Ri são os raios de cada componente, com $i = 0$ para o núcleo de vidro, $i = 1$ para a camada de

revestimento interna e $i = 2$ para a camada de revestimento externa, respectivamente.

A dependência da rigidez lateral no sistema de revestimento duplo pode ser expressa como:

$$D_{\text{revestimento}} \approx E_1 + E_2 \left(\frac{R_2 - R_1}{R_2} \right)^3 \quad \text{eq. 3}$$

5 As perdas adicionadas provocadas pelo microdobramento não mudam substancialmente em função do módulo do segundo material de camada de revestimento.

No caso do sistema de revestimento da presente invenção, um terceiro termo $\pi (R_3^4 - R_2^2) E_3$, tem de ser adicionado à eq. 2, devido ao fato da espessura da terceira camada colorida adquirir relevância. Como para a eq. 10 3, um termo

$$E_3 \left(\frac{R_3 - R_2}{R_3} \right)^3$$

deve ser adicionado. Nesta hipótese, as perdas adicionadas provocadas pelo microdobramento diminuem substancialmente em função do módulo do segundo material de revestimento na região abaixo de 700 MPa. Isso está 15 relatado na figura 3 (os valores a seguir sendo assumidos para os vários termos: $2R_0 = 125\mu\text{m}$, $2R_1 = 190\mu\text{m}$, $2R_2 = 245\mu\text{m}$, $2R_3 = 250\mu\text{m}$, $E_0 = 72.000 \text{ MPa}$, $E_1 = 1 \text{ MPa}$, $E_3 = 1.000 \text{ MPa}$). A atenuação, na ordenada, está expressa como $1/\text{MPa}\cdot\text{mm}^8$ devido ao fato de, de acordo com a equação 1, ser proporcional à razão D/H^2 e, a constante de proporcionalidade 20 dependendo das características ópticas da guia de onda e da intensidade da tensão lateral. O módulo de elasticidade do segundo revestimento está expresso como $\log \text{MPa}$.

A presente invenção foi apresentada aqui fazendo referência a alguns modos de realização exemplificativos e não limitativos da mesma.

Aqueles experientes na técnica reconhecerão prontamente que várias modificações dos modos de realização descritos, bem como, modos de realização alternativos da invenção são possíveis, sem fugir do escopo da invenção, como definido nas reivindicações anexas.

-
-
.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para fabricar uma fibra óptica (200), caracterizado pelo fato de compreender:

5 - estirar uma guia de onda óptica (205) de uma pré-forma de vidro (105);

- aplicar uma camada de um primeiro material de revestimento sobre a guia de onda óptica (205);

- curar o primeiro material de camada de revestimento para obter uma primeira camada de revestimento (210);

10 - aplicar uma camada de um segundo material de revestimento sobre a primeira camada de revestimento (210);

- aplicar uma camada de material de revestimento colorido sobre a camada de segundo material de revestimento (215);

15 - curar o segundo material de revestimento e o material de revestimento colorido em uma única etapa para obter uma segunda camada de revestimento (215) sobreposta sobre a primeira camada de revestimento e uma camada de revestimento colorido (220) sobreposta sobre a segunda camada de revestimento (215), a segunda camada de revestimento obtida (215) tendo um módulo de elasticidade maior do que o da primeira camada de revestimento (210) e menor do que o da camada de revestimento colorido (220).

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender:

25 - aquecer a camada de um segundo material de revestimento (215) antes de aplicar a camada de material de revestimento colorido (220).

3. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de compreender:

- aquecer o mencionado material de revestimento (215) por uma radiação de UV.

4. Fibra óptica, caracterizada pelo fato de compreender:

- uma guia de onda óptica (200);
- uma camada de primeiro material de revestimento (210)

envolvendo a guia de onda óptica (205);

5 - uma camada de segundo material de revestimento (215)
envolvendo a camada de primeiro material de revestimento (210); e

· - uma camada de material de revestimento colorido (220)
· envolvendo a camada de segundo material de revestimento (215),

em que:

10 os mencionados primeiro, segundo e material coloridos de
revestimento têm valores de módulo de elasticidade aumentando ao se afastar
da guia de onda óptica;

o mencionado material de revestimento colorido tem um
módulo de elasticidade de 500-1.000 MPa;

15 o mencionado segundo material de revestimento tem um
módulo de elasticidade de 10% a 50% menor do que o módulo de elasticidade
do material de revestimento colorido; e

a camada de segundo material de revestimento (215) é curada
a uma percentagem inferior a 96%.

20 5. Fibra óptica de acordo com a reivindicação 4, caracterizada
pelo fato da camada de segundo material de revestimento (215) ser curado a
uma percentagem igual ou superior a 90%.

25 6. Fibra óptica de acordo com a reivindicação 4, caracterizada
pelo fato da camada de primeiro material de revestimento (210) ter um
módulo de elasticidade de 1 a 2 MPa.

7. Fibra óptica de acordo com a reivindicação 4, caracterizada
pelo fato da camada de primeiro material de revestimento (210) ter uma
espessura de 30 a 35µm.

8. Fibra óptica de acordo com a reivindicação 4, caracterizada

pelo fato da camada de segundo material de revestimento (215) ter uma espessura de 20 a 35 μ m.

9. Fibra óptica de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato da camada de material de revestimento colorido (220) ter uma espessura de 10 a 15 μ m.

10. Fita de fibra óptica, caracterizada pelo fato de compreender fibras ópticas como definidas na reivindicação 4.

11. Aparelho para produzir uma fibra óptica (200) iniciando de uma pré-forma de vidro (105), caracterizado pelo fato de compreender:

- um primeiro dispositivo aplicador (135) para aplicar uma camada de primeiro material de revestimento (210) sobre uma guia de onda óptica (205) obtida da mencionada pré-forma de vidro (105);

- um primeiro dispositivo de cura (140) para a cura da camada de primeiro material de revestimento (210);

- um segundo dispositivo aplicador (150, 165) para aplicar sobre a camada de primeiro material de revestimento (210) curada pelo primeiro dispositivo de cura (140) uma camada de segundo material de revestimento (215) e uma camada de material de revestimento colorido (220) sobre a camada de segundo material de revestimento (215); e

- um segundo dispositivo de cura (170) operável para prover uma quantidade de energia radiante suficiente para curar pelo menos a camada de material de revestimento colorido (220).

12. Aparelho de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um dispositivo de aquecimento (180) para aquecer a camada de segundo material de revestimento (215) antes da aplicação da camada de material de revestimento colorido (220).

13. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato do dispositivo de aquecimento (180) compreender um terceiro dispositivo de cura para curar, pelo menos parcialmente, a camada de segundo

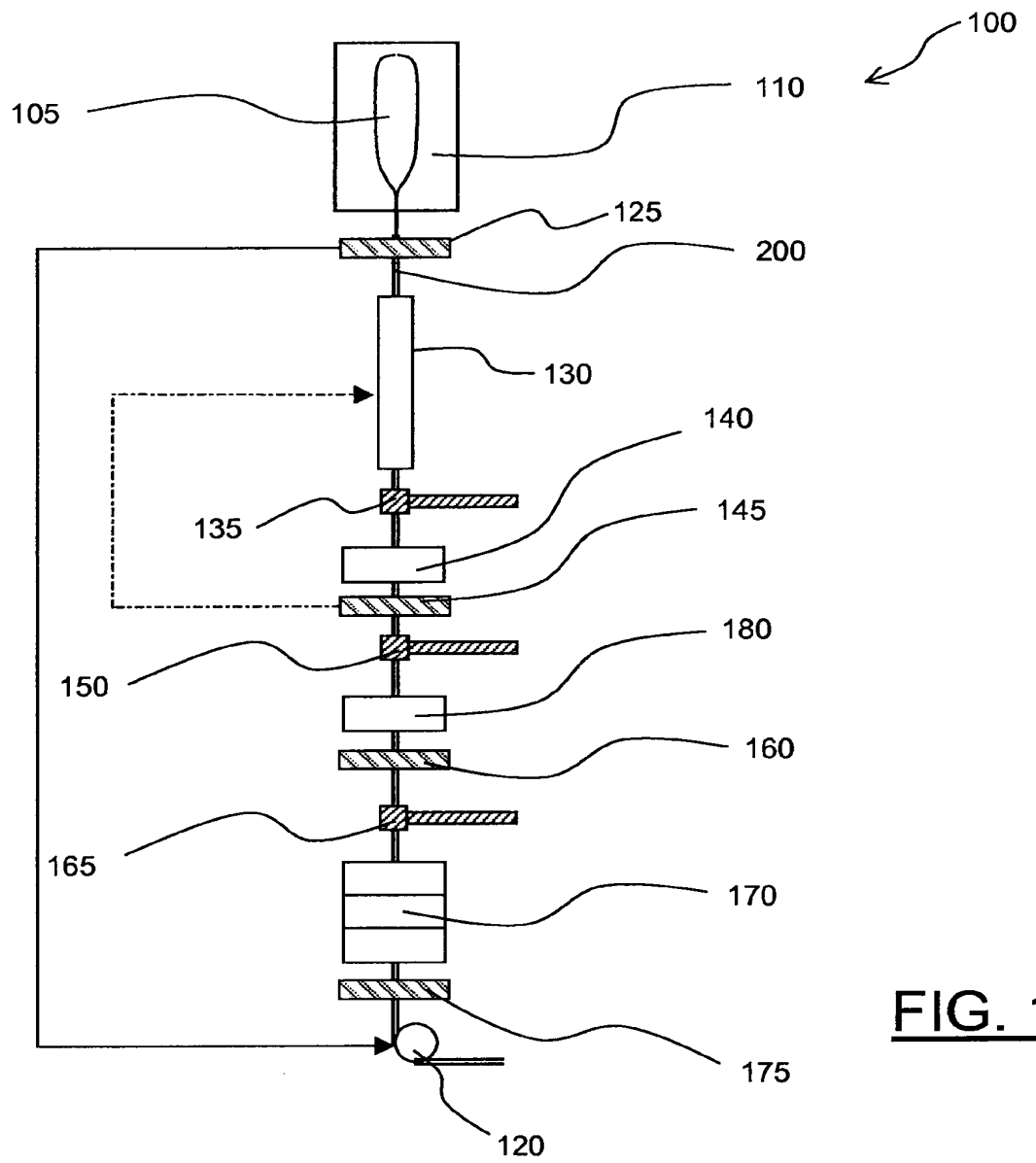
material de revestimento.

14. Aparelho de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender um primeiro dispositivo de medição de diâmetro (125) antes do mencionado primeiro dispositivo aplicador (135).

5 15. Aparelho de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender um segundo dispositivo de medição de diâmetro (145) depois do primeiro dispositivo aplicador (135) e antes do segundo dispositivo aplicador (150).

10 16. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de compreender um terceiro dispositivo de medição de diâmetro (160) depois do dispositivo de aquecimento (180) e antes do mencionado segundo dispositivo de cura (170).

15 17. Aparelho de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender um quarto dispositivo de medição de diâmetro (175), depois do mencionado segundo dispositivo de cura (170).

**FIG. 1**

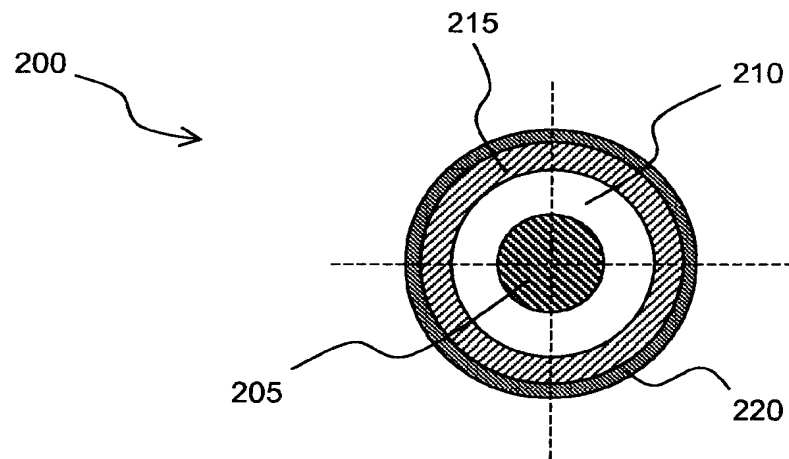


FIG. 2

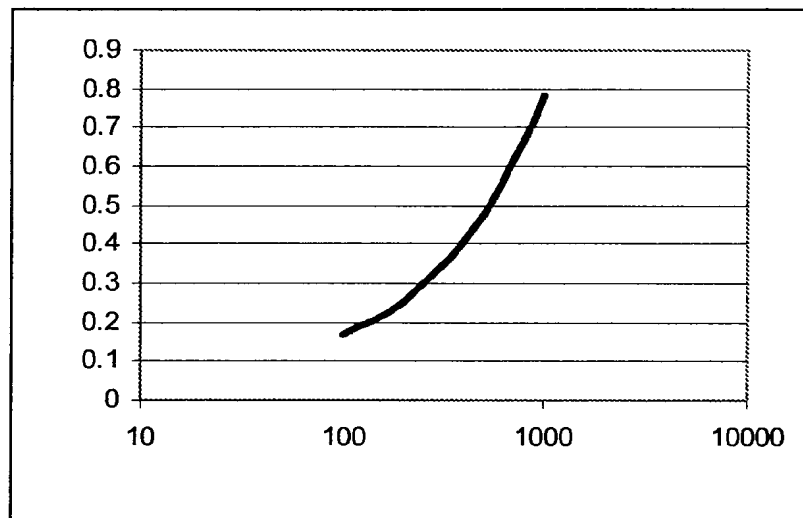


FIG. 3

RESUMO

“PROCESSO PARA FABRICAR UMA FIBRA ÓPTICA, FIBRA ÓPTICA, FITA DE FIBRA ÓPTICA, E, APARELHO PARA PRODUZIR UMA FIBRA ÓPTICA”

5 Um processo para fabricar uma fibra óptica (200), o processo compreendendo: estirar uma guia de onda óptica (205) de uma pré-forma de vidro (105); aplicar (135) uma camada de um primeiro material de revestimento sobre a guia de onda óptica; curar o primeiro material de camada de revestimento para obter uma primeira camada de revestimento (210);
10 aplicar (150) uma camada de um segundo material de revestimento sobre a primeira camada de revestimento; aplicar (165) uma camada de material de revestimento colorido (220) sobre a segunda camada de revestimento; curar o segundo material de revestimento e o material de revestimento colorido em uma única etapa para obter uma segunda camada de revestimento (215)
15 sobreposta sobre a primeira camada de revestimento e uma camada de revestimento colorido (220) sobreposta sobre a segunda camada de material de revestimento, a segunda camada de revestimento obtida tendo um módulo de elasticidade maior do que o da primeira camada de revestimento e menor do que o da camada de revestimento colorido. Igualmente são providos uma
20 fibra óptica e um aparelho para produzi-la.