



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0912464-0 B1



(22) Data do Depósito: 14/07/2009

(45) Data de Concessão: 24/04/2019

(54) Título: CABO COMPÓSITO TORCIDO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO

(51) Int.Cl.: H01B 5/10; D07B 1/02.

(30) Prioridade Unionista: 15/08/2008 US 12/192,436.

(73) Titular(es): 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY.

(72) Inventor(es): MICHAEL F. GRETH.

(86) Pedido PCT: PCT US2009050448 de 14/07/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/019333 de 18/02/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 14/02/2011

(57) Resumo: CABO COMPÓSITO TORCIDO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO A presente invenção refere-se a cabos compósitos torcidos incluindo um fio único (2) definindo um eixo longitudinal central, uma primeira multiplicidade de fios compósitos (4) torcidos de forma helicoidal ao redor do fio único em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central e tendo um primeiro comprimento de camada, e uma segunda multiplicidade de fios compósitos (6) torcidos de forma helicoidal ao redor da primeira multiplicidade de fios compósitos na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central e tendo um segundo comprimento de camada, sendo a diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada e o segundo ângulo de camada não maior que cerca de 4°. Os cabos compósitos torcidos podem ser usados como artigos intermediários e são posteriormente incorporados em artigos finais, como cabos aéreos de transmissão de energia elétrica incluindo uma multiplicidade de fios dúteis torcidos ao redor dos fios compósitos. Métodos de preparo e uso dos cabos compósitos torcidos também são descritos.

"CABO COMPÓSITO TORCIDO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO"

Campo da técnica

A presente descrição refere-se em geral a cabos torcidos e ao método de fabricação e uso dos mesmos. A descrição refere-se adicionalmente a cabos torcidos incluindo fios compósitos torcidos de forma helicoidal e seu método de fabricação e uso. Tais cabos compósitos torcidos de forma helicoidal são úteis em cabos de transmissão de energia elétrica e em outras aplicações.

Antecedentes

A torção do cabo é um processo no qual fios individuais são combinados, tipicamente em uma disposição helicoidal, para produzir um cabo acabado. Consulte, por exemplo, as patentes U.S. nº 5.171.942 e 5.554.826. O cabo torcido resultante ou corda de fios fornece uma flexibilidade muito maior do a que haveria com uma haste sólida de área em seção transversal equivalente. A disposição torcida também é benéfica devido ao fato de que um cabo torcido de forma helicoidal mantém seu formato circular em seção transversal como um todo quando o cabo está sujeito a flexão durante o manuseio, instalação e uso. Tais cabos torcidos de forma helicoidal são usados em uma variedade de aplicações como cabos de içamento, cabos para aeronaves e cabos de transmissão de energia.

Cabos torcidos de forma helicoidal são tipicamente produzidos a partir de metais dúteis como aço, alumínio ou cobre. Em alguns casos, como cabos aéreos de transmissão de energia elétrica expostos, um núcleo de fio torcido de forma helicoidal é circundado por uma camada condutora de fio. O núcleo de fio torcido de forma helicoidal poderia compreender fios metálicos dúteis produzidos a partir de um primeiro material como aço, por exemplo, e a camada externa condutora de energia poderia compreender fios metálicos dúteis produzidos a partir de outro material como alumínio, por exemplo. Em alguns casos, o núcleo de fio torcido de forma helicoidal pode ser um cabo pré-torcido usado como um material de entrada para a fabricação de um cabo de transmissão de energia elétrica com diâmetro maior. Os cabos torcidos de forma helicoidal em geral podem compreender de sete fios individuais até construções mais comuns contendo 50 ou mais fios.

A figura 1A ilustra um cabo de transmissão de energia elétrica torcido de forma helicoidal exemplificador conforme descrito na patente U.S. nº 5.554.826. O cabo de transmissão de energia elétrica torcido de forma helicoidal ilustrado 20 inclui um fio condutor metálico dútil central 1, uma primeira camada 13 de fios condutores metálicos dúteis 3 (seis fios são mostrados) torcidos ao redor do fio condutor metálico dútil central 1 em uma primeira direção de camada (é mostrado em sentido horário, correspondendo a uma direção de camada à direita), uma segunda camada 15 de fios condutores metálicos dúteis 5 torcidos ao redor da primeira camada 13 em uma segunda direção de camada oposta à primeira direção de camada (é mostrado em sentido anti-horário, correspondendo a uma direção de camada à

esquerda), e uma terceira camada 17 de fios condutores metálicos dúteis 7 torcidos ao redor da segunda camada 15 em uma terceira direção de camada oposta à segunda direção de camada (mostrado em sentido horário, correspondendo a uma direção de camada à direita).

Durante o processo de torção do cabo, os fios metálicos dúteis estão sujeitos a estresses além do limite elástico do material metálico mas antes do limite máximo ou de falha. Este estresse atua para deformar plasticamente o fio metálico uma vez que ele é enrolado de forma helicoidal ao redor de um raio relativamente pequeno da camada de fio precedente ou fio central. Recentemente foram introduzidos artigos de cabo úteis feitos de materiais que são compósitos e, desta forma não podem ser plasticamente deformados para um novo formato. Exemplos comuns desses materiais incluem compósitos de fibra reforçada que são atrativos devido ao fato de que suas propriedades mecânicas aprimoradas em relação aos metais, mas são primariamente elásticos em sua resposta à tensão/alongamento. Cabos compósitos contendo fios de polímero reforçado com fibra são conhecidos na técnica, assim como cabos compósitos contendo fios metálicos reforçados com fibra cerâmica, consulte, por exemplo, as patentes U.S. nº 6.559.385 e 7.093.416 e o pedido publicado PCT WO 97/00976.

Um uso dos cabos compósitos torcidos (por exemplo, cabos contendo fios compósitos de matriz de polímero ou fios compósitos de matriz metálica) é como um elemento de reforço em cabos de transmissão de energia elétrica expostos. Embora os cabos de transmissão de energia elétrica incluindo fios de compósitos de matriz de alumínio sejam conhecidos, para algumas aplicações há um desejo contínuo de se obter propriedades otimizadas. A técnica busca de forma contínua cabos compósitos torcidos aprimorados e métodos aprimorados de preparo e uso de cabos compósitos torcidos.

Sumário

Em algumas aplicações, é desejável otimizar adicionalmente a construção dos cabos compósitos torcidos e seu método de fabricação. Em certas aplicações, é desejável otimizar as propriedades físicas de cabos compósitos torcidos de forma helicoidal, por exemplo, sua resistência à tração e alongamento à falha do cabo. Em algumas aplicações em particular, é desejável, também, fornecer um meio conveniente para mantê-los a disposição helicoidal dos fios compósitos torcidos antes de incorporá-los em um artigo subsequente como um cabo de transmissão de energia elétrica. Tal meio de manutenção da disposição helicoidal não foi necessário em núcleos anteriores com fios metálicos dúteis plasticamente deformáveis ou com fios que podem ser curados ou ajustados após serem dispostos de forma helicoidal.

Certas modalidades da presente invenção são direcionadas a cabos compósitos torcidos e métodos de torcer de forma helicoidal camadas de fios compósitos em uma direção de camada comum que resultam em um aumento surpreendente na resistência à tração do cabo compósito quando comparado com cabos compósitos torcidos de forma helicoidal com o uso de direções de camadas alternativas entre cada camada de fio compósito. Tal aumento

surpreendente na resistência à tração não foi observada nos fios dúteis convencionais (por exemplo, metal ou outros não compósitos) quando torcidos usando uma direção de camada comum. Além disso, há tipicamente uma baixa motivação para o uso de uma direção de camada comum para as camadas de fios torcidos de um cabo de fios dúteis convencionais, devido ao fato de que os fios dúteis podem ser prontamente plasticamente deformados, e tais cabos usam em geral comprimentos de camadas mais curtos, para os quais as direções de camadas alternadas podem ser preferenciais para a manutenção da integridade do cabo.

Desta forma, em um aspecto, a presente descrição apresenta um cabo compósito torcido aprimorado. Em modalidades exemplificadoras, o cabo compósito torcido compreende um fio único definindo um eixo longitudinal central, uma primeira pluralidade de fios compósitos torcidos ao redor do fio compósito único em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central e tendo um primeiro comprimento de camada, e uma segunda pluralidade de fios compósitos torcidos ao redor de uma primeira pluralidade de fios compósitos na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central e tendo um segundo comprimento de camada, sendo a diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada e o segundo ângulo de camada não superior a cerca de 4° .

Em uma modalidade exemplificadora, o cabo torcido compreende adicionalmente uma terceira pluralidade de fios compósitos torcidos ao redor da segunda pluralidade de fios compósitos na primeira direção de camada a um terceiro ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central e tendo um terceiro comprimento de camada, sendo a diferença relativa entre o segundo ângulo de camada e o terceiro ângulo de camada não superior a cerca de 4° . Em uma outra modalidade exemplificadora, o cabo torcido compreende adicionalmente uma quarta pluralidade de fios compósitos torcidos ao redor da terceira pluralidade de fios compósitos na primeira direção de camada a um quarto ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central e tendo um quarto comprimento de camada, sendo a diferença relativa entre o terceiro ângulo de camada e o quarto ângulo de camada não superior a cerca de 4° .

Em modalidades exemplificadoras adicionais, o cabo torcido pode compreender, ainda, fios compósitos adicionais torcidos ao redor da quarta pluralidade dos fios compósitos na primeira direção de camada a um ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal comum, sendo que os fios compósitos têm um comprimento de camada característico, e sendo que a diferença relativa entre o quarto ângulo de camada e qualquer ângulo de camada subsequente não é maior que cerca de 4° .

Em certas modalidades exemplificadoras, a diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada e o segundo ângulo de camada, o segundo ângulo de camada e o terceiro ângulo de camada, o terceiro ângulo de camada e o quarto ângulo de camada, e em geral, qualquer

ângulo de camada na camada interna e o ângulo de camada adjacente à camada externa não é maior que 4° , com mais preferência não é maior que 3° , com a máxima preferência não é maior que $0,5^\circ$. Em algumas modalidades, o primeiro ângulo de camada é igual ao segundo ângulo de camada, o segundo ângulo de camada é igual ao terceiro ângulo de camada, o terceiro ângulo de camada é igual ao quarto ângulo de camada, e em geral, qualquer ângulo de camada da camada interna é igual ao ângulo de camada da camada externa adjacente.

Em modalidades adicionais, o primeiro comprimento de camada é menor que ou igual ao segundo comprimento de camada e/ou o segundo comprimento de camada é menor que ou igual ao terceiro comprimento de camada e/ou o quarto comprimento de camada é menor que ou igual a um comprimento de camada imediatamente subsequente, e/ou cada comprimento de camada seguinte é menor que ou igual ao comprimento de camada imediatamente precedente. Em outras modalidades, o primeiro comprimento de camada é igual ao segundo comprimento de camada e/ou o segundo comprimento de camada é igual ao terceiro comprimento de camada e/ou o terceiro comprimento de camada é igual ao quarto comprimento de camada. Em algumas modalidades, pode ser preferencial o uso de uma camada paralela, como conhecido na técnica.

Em um outro aspecto, a presente descrição apresenta modalidades alternativas de um cabo de transmissão de energia elétrica torcido que compreende um núcleo e uma camada condutora ao redor do núcleo, no qual o núcleo compreende qualquer um dos cabos compósitos torcidos descritos acima. Em algumas modalidades exemplificadoras, o cabo torcido compreende adicionalmente uma pluralidade de fios dúteis torcidos ao redor dos fios compósitos torcidos do núcleo do cabo compósito torcido.

Em certas modalidades exemplificadoras, a pluralidade de fios dúteis é torcida ao redor do eixo longitudinal central em uma pluralidade de camadas radiais circundando os fios compósitos do núcleo do cabo compósito. Em modalidades exemplificadoras adicionais, pelo menos uma porção da pluralidade dos fios dúteis é torcida na primeira direção de camada a um ângulo de camada em relação ao eixo longitudinal central, e a um primeiro comprimento de camada de fios dúteis. Em outras modalidades exemplificadoras, pelo menos uma porção da pluralidade de fios dúteis é torcida em uma segunda direção de camada a um ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central, e a um segundo comprimento de camada dos fios dúteis.

Em qualquer um dos aspectos acima dos cabos torcidos e suas modalidades relacionadas, pode se usar vantajosamente as modalidades exemplificadoras a seguir. Assim, em uma modalidade exemplificadora, o fio único tem um formato de seção transversal, tomado em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo longitudinal central, que é circular ou elíptico. Em certas modalidades exemplificadoras, o fio único é um fio compósito. Em modalidades exemplificadoras adicionais, cada fio compósito e/ou

fio dútil tem uma seção transversal, em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo longitudinal central, selecionada dentre circular, elíptica e trapezoidal.

Em modalidades exemplificadoras adicionais, o cabo torcido compreende adicionalmente um meio de manutenção ao redor de pelo menos uma dentre a primeira pluralidade de fios compósitos, a segunda pluralidade de fios compósitos, a terceira pluralidade de fios compósitos ou a quarta pluralidade de fios compósitos. Em algumas modalidades exemplificadoras, o meio de manutenção compreende pelo menos um dentre um aglutinante ou uma fita. Em certas modalidades exemplificadoras, a fita compreende uma fita adesiva enrolada ao redor de pelo menos uma dentre a primeira pluralidade de fios compósitos ou a segunda pluralidade de fios compósitos. Em certas modalidades atualmente preferenciais, a fita adesiva compreende um adesivo sensível à pressão.

Em um aspecto adicional, a descrição apresenta um método de fabricação de cabo torcido conforme descrito nos aspectos e modalidades acima, que compreende a torção de uma primeira pluralidade de fios compósitos ao redor de um fio único definindo um eixo longitudinal central, sendo que a torção da primeira pluralidade de fios compósitos é executada em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central, sendo que a primeira pluralidade de fios tem um primeiro comprimento de camada; e a torção de uma segunda pluralidade de fios compósitos ao redor da primeira pluralidade de fios compósitos, sendo que a torção da segunda pluralidade de fios compósitos é executada na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central, e sendo que a segunda pluralidade de fios tem um segundo comprimento de camada, adicionalmente sendo que uma diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada e o segundo ângulo de camada não é maior que 4° . Em uma modalidade específica, o método compreende, ainda, a torção de uma pluralidade de fios dúteis ao redor dos fios compósitos.

As modalidades exemplificadoras de cabos compósitos torcidos de acordo com a presente descrição têm vários recursos e características que capacitam seu uso e fornecem vantagens em uma variedade de aplicações. Por exemplo, em algumas modalidades exemplificadoras, os cabos compósitos torcidos de acordo com a presente descrição podem apresentar uma tendência reduzida para sofrer uma fratura ou falha prematura em valores mais baixos do alongamento de tensão do cabo durante a fabricação ou uso, quando comparados a outros cabos compósitos. Além disso, os cabos compósitos torcidos de acordo com algumas modalidades exemplificadoras podem apresentar resistência à corrosão aprimorada, resistência ambiental (por exemplo, resistência à molhagem e UV), resistência à perda de força a temperaturas elevadas, resistência à fluência, bem como módulo elástico relativamente alto, densidade baixa, baixo coeficiente de expansão térmica,

alta condutividade elétrica, alta resistência a aquecimento e alta resistência mecânica, quando comparados aos cabos com fios metálicos dúteis torcidos convencionais.

Em algumas modalidades exemplificadoras, os cabos compósitos torcidos produzidos de acordo com as modalidades da presente descrição podem apresentar um aumento na resistência à tração de 10% ou maior em comparação com os cabos compósitos da técnica anterior. Os cabos compósitos torcidos de acordo com certas modalidades da presente descrição podem também ser produzidos a um custo de fabricação menor devido ao aumento na produtividade do processo de torção do cabo satisfazendo os requisitos mínimos de resistência à tração para uso em certas aplicações críticas, por exemplo, uso em aplicações aéreas de transmissão de energia elétrica.

Vários aspectos e vantagens de modalidades exemplificadoras da presente invenção foram resumidos. O sumário acima não se destina a descrever cada modalidade ilustrada ou toda implementação das presentes certas modalidades exemplificadoras da presente descrição. Os desenhos e a descrição detalhada a seguir, exemplificam mais especialmente determinadas modalidades preferenciais usando-se os princípios da presente invenção apresentada.

Breve descrição dos desenhos

As modalidades exemplificadoras da presente descrição são adicionalmente descritas com referência às figuras em anexo, sendo que:

A figura 1A é uma vista em perspectiva de um cabo de transmissão de energia elétrica torcido de forma helicoidal de uma técnica anterior.

A figura 1B é uma vista em perspectiva de um cabo compósito torcido de forma helicoidal de acordo com modalidades exemplificadoras da presente descrição.

As figuras 2A a 2C são vistas superiores esquemáticas de camadas de cabos compósitos colocados de acordo com as modalidades exemplificadoras da presente descrição, ilustrando a direção de camada, o ângulo de camada e o comprimento de camada para cada camada de cabo.

As figuras 3A a 3D são vistas de extremidade em seção transversal de vários cabos compósitos torcidos de forma helicoidal de acordo com as modalidades exemplificadoras da presente descrição.

As figuras 4A a 4E são vistas de extremidade em seção transversal de vários cabos compósitos torcidos de forma helicoidal incluindo uma ou mais camadas que compreendem uma pluralidade de fios dúteis torcidos ao redor dos fios compósitos torcidos de forma helicoidal de acordo com outras modalidades exemplificadoras da presente descrição.

A figura 5A é uma vista lateral de um cabo compósito torcido de forma helicoidal incluindo vários meios de manutenção ao redor do núcleo do fio compósito torcido de acordo com modalidade exemplificadora adicional da presente descrição.

As figuras 5B a 5D são vistas de extremidade em seção transversal de cabos compósitos torcidos de forma helicoidal incluindo vários meios de manutenção ao redor do núcleo do fio compósito torcido de acordo com outras modalidades exemplificadoras da presente descrição.

5 A figura 6 é uma vista esquemática de um aparelho para torção exemplificador usado para fabricar o cabo de acordo com as modalidades exemplificadoras adicionais da presente descrição.

10 A figura 7 é uma vista de extremidade em seção transversal de um cabo compósito torcido de forma helicoidal incluindo meios de manutenção ao redor do núcleo do fio compósito torcido, e uma ou mais camadas que compreendem uma pluralidade de fios dúteis torcidos ao redor do núcleo do fio compósito torcido de acordo com modalidades exemplificadoras adicionais da presente descrição.

15 A figura 8 é uma plotagem do efeito da diferença relativa no ângulo de camada entre as camadas de fios internas e externas na resistência à tração medida para os cabos compósitos torcidos de forma helicoidal exemplificadores da presente descrição.

A figura 9 é uma plotagem do efeito da diferença relativa no comprimento de camada entre as camadas de fios externas e internas sobre a resistência à tração medidas para cabos compósitos torcidos de forma helicoidal exemplificadores da presente descrição.

20 A figura 10 é uma plotagem do efeito do ângulo transversal na resistência à tração medida para cabos compósitos torcidos de forma helicoidal exemplificadores da presente descrição.

Numerais de referência iguais nos desenhos indicam elementos iguais. Os desenhos da presente invenção não estão em escala e nos desenhos, os componentes dos cabos compósitos são dimensionados para enfatizar características selecionadas.

25 Descrição detalhada

Certos termos são usados ao longo da descrição e reivindicações que, apesar de a maior parte ser bem conhecida, podem requerer algumas explicações. Deve ser entendido que, para uso na presente invenção, ao se referir ao "fio" como sendo "quebradiço", isto significa que o fio fraturará sob carga de tração com deformação plástica mínima.

30 O termo "dútil" quando usado para referir-se à deformação de um fio, significa que o fio substancialmente sofreria deformação plástica durante a flexão sem fratura ou quebra.

O termo "fio compósito" refere-se a um fio formado a partir de uma combinação de materiais com diferentes composições ou forma que são ligados uns aos outros, e que apresentam comportamento quebradiço ou não dútil.

35 O termo "fio compósito de matriz metálica" refere-se a um fio compósito que compreende um ou mais materiais de reforço ligados em uma matriz que consiste em uma ou mais fases metálicas dúteis.

O termo "fio compósito de matriz de polímero" de modo similar refere-se a um fio compósito que compreende um ou mais materiais de reforço ligados em uma matriz que consiste em uma ou mais fases poliméricas.

O termo "flexão" ou "flexionando" quando usado para referir-se à deformação de um fio inclui deformação de flexão bidimensional e/ou tridimensional, como flexão helicoidal do fio durante a torção. Quando se refere a um fio como tendo deformação de flexão, isto não exclui a possibilidade de o fio ter, também, deformação resultante de forças de tração e/ou de torção.

Deformação por "flexão elástica significativa" significa deformação por flexão que ocorre quando o fio é flexionado para um raio de curvatura de até 10.000 vezes o raio do fio.

Como aplicado a um fio com seção transversal circular, esta deformação por flexão elástica significativa confere um alongamento a uma fibra externa do fio de pelo menos 0,01%.

Os termos "cabeamento" e "torção" são usados de maneira intercambiável, da mesma forma que "cabeado" e "torcido".

O termo "camada" descreve a maneira na qual os fios em uma camada torcida de um cabo torcido de forma helicoidal são enrolados em uma espiral.

O termo "direção de camada" refere-se à direção da torção dos fios em uma camada torcidos de forma helicoidal. Para determinar a direção de camada de uma camada torcida de forma helicoidal, um observador olha a superfície da camada de fio torcido de forma helicoidal à medida que o cabo aponta para longe do observador. Se os fios torcidos parecem girar na direção em sentido horário à medida que os eles progridem para longe do observador, então se diz que o cabo tem uma "camada à direita". Se os fios torcidos parecem girar na direção em um sentido anti-horário à medida que eles progridem para longe do observador, então se diz que o cabo tem uma "camada à esquerda".

Os termos "eixo central" e "eixo longitudinal central" são usados de maneira intercambiável para denotar um eixo longitudinal posicionada radialmente no centro de um cabo multicamada torcido de forma helicoidal.

O termo "ângulo de camada" refere-se ao ângulo, formado por um fio torcido, em relação ao eixo longitudinal central de um cabo torcido de forma helicoidal.

O termo "ângulo transversal" significa a diferença relativa (absoluta) entre os ângulos de camadas das camadas de fio adjacente de um cabo do fio torcido de forma helicoidal.

O termo "comprimento de camada" refere-se ao comprimento do cabo torcido no qual um fio único em uma camada torcida de forma helicoidal completa uma revolução helicoidal completa ao redor do eixo longitudinal central de um cabo torcido de forma helicoidal.

O termo "cerâmico" significa vidro, cerâmica cristalina, vitrocerâmicas e combinações dos mesmos.

O termo "policristalina" significa um material que tem predominantemente uma pluralidade de grãos cristalinos na qual o tamanho do grão é menor que o diâmetro da fibra no qual os grãos estão presentes.

O termo "fibra contínua" significa uma fibra que tem um comprimento que é relativamente infinito quando comparada ao diâmetro da fibra médio. Tipicamente, isto significa que a fibra tem uma razão de aspecto (isto é, razão entre o comprimento da fibra e o diâmetro médio da fibra) de pelo menos 1×10^5 (em algumas modalidades, pelo menos 1×10^6 , ou mesmo pelo menos 1×10^7). Tipicamente, tais fibras têm um comprimento na ordem de pelo menos cerca de 15 cm até pelo menos vários metros, e pode mesmo ter comprimentos na ordem de quilômetros ou mais.

A presente descrição apresenta um cabo torcido que inclui uma pluralidade de fios compósitos torcidos. Os fios compósitos podem ser quebradiços e não dúteis e, dessa forma, podem não ser suficientemente deformados durante os processos convencionais de torção do cabo de modo a manter sua disposição helicoidal sem ruptura dos fios. Portanto, a presente descrição apresenta, em certas modalidades, um cabo compósito torcido com maior resistência à tração, e adicionalmente, fornece, em algumas modalidades, um meio para manter a disposição helicoidal dos fios no cabo torcido. Desta forma, o cabo torcido pode ser convenientemente fornecido como um artigo intermediário ou como um artigo final. Quando usado como um artigo intermediário, o cabo compósito torcido pode ser posteriormente incorporado em um artigo final como um cabo de transmissão de energia elétrica, por exemplo, um cabo aéreo de transmissão de energia elétrica.

Várias modalidades exemplificadoras da presente invenção serão descritas a seguir com referência específica aos desenhos. As modalidades exemplificadoras da presente descrição pode ter várias modificações e alterações sem que se desvie do espírito e escopo da descrição. Consequentemente, deve ser entendido que as modalidades da presente descrição não devem ser limitadas às modalidades exemplificadoras descritas a seguir, mas devem ser controladas pelas limitações estabelecidas nas reivindicações e quaisquer equivalentes das mesmas.

Desta forma, em um aspecto, a presente descrição apresenta um cabo compósito torcido. Com relação aos desenhos, a figura 1B ilustra uma vista em perspectiva de um cabo compósito torcido 10 de acordo com uma modalidade exemplificadora da presente descrição. Como ilustrado, o cabo compósito torcido de forma helicoidal 10 inclui um fio único 2 definindo um eixo longitudinal central, uma primeira camada 12 que compreende uma primeira pluralidade de fios compósitos 4 torcidos ao redor de um fio compósito único 2 em uma primeira direção de camada (é mostrado em sentido horário, correspondendo a uma camada à direita) e uma segunda camada 14 que compreende uma segunda pluralidade de fios compósitos 6 torcidos ao redor da primeira pluralidade de fios compostos 4 na primeira direção de camada.

Opcionalmente, uma terceira camada 16 que compreende uma terceira pluralidade de fios compostos 8 pode ser torcida ao redor da segunda pluralidade de fios compostos 6 na primeira direção de camada para formar um cabo composto 10'. Opcionalmente, uma quarta camada (não mostrado) ou mesmo mais camadas adicionais dos fios compostos 5 pode ser torcida ao redor da segunda pluralidade dos fios compostos 6 na primeira direção de camada para formar o cabo composto 10'. Opcionalmente, o fio único 2 é um fio composto conforme mostrado na figura 1B, embora em outras modalidades, o fio único 2 pode ser um fio dútil, por exemplo, um fio metálico dútil 1, conforme mostrado na figura 1A.

Em modalidades exemplificadoras da descrição, duas ou mais camadas torcidas 10 (por exemplo, 12, 14 e 16) dos fios compostos (por exemplo, 4, 6 e 8) podem ser enroladas de forma helicoidal ao redor de um fio central único 2 definindo um eixo longitudinal central, desde que cada camada sucessiva de fios compostos seja enrolada na mesma direção de camada de cada camada anterior de fios compostos. Além disso, será entendido que embora uma camada à direita seja ilustrada na figura 1B para cada camada (12, 14 e 16), 15 uma camada à esquerda pode alternativamente ser usada para cada camada (12, 14 e 16).

Com referência às figuras 1B e 2A a 2C, em modalidades exemplificadoras adicionais, o cabo composto torcido compreende um fio único 2 definindo um eixo longitudinal central 9, uma primeira pluralidade de fios compostos 4 torcidos ao redor do fio composto único 2 em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada α definido em relação ao eixo longitudinal central 9 e tendo um primeiro comprimento L de camada (figura 2A), e uma segunda pluralidade de fios compostos 6 torcidos ao redor da primeira pluralidade de fios compostos 4 na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada β definido em relação ao eixo longitudinal central 9 e tendo um segundo comprimento L de camada (figura 2B).

Em modalidades exemplificadoras adicionais, o cabo torcido compreende 25 adicionalmente, ainda, uma terceira pluralidade de fios compostos 8 torcidos ao redor da segunda pluralidade dos fios compostos 6 na primeira direção de camada a um terceiro ângulo de camada γ definido em relação ao eixo longitudinal central 9 e tendo um terceiro comprimento L de camada (figura 2C), sendo que a diferença relativa entre o segundo ângulo de camada β e o terceiro ângulo de camada γ não é maior que cerca de 4°.

30 Em modalidades exemplificadoras adicionais (não mostradas), o cabo torcido pode compreender, ainda, camadas (por exemplo, quarta, quinta ou outra camada subsequente) adicionais (por exemplo, subsequente) dos fios compostos torcidos ao redor da terceira pluralidade de fios compostos 8 na primeira direção de camada a um ângulo de camada (não mostrado nas figuras) definido em relação ao eixo longitudinal 9, sendo que os fios 35 compostos em cada camada têm um comprimento de camada característico (não mostrado nas figuras), sendo que a diferença relativa entre o terceiro ângulo de camada γ e o quarto ou subsequente ângulo de camada não é maior que cerca de 4°. As modalidades em que

quatro ou mais camadas de fios compostos torcidos são empregadas, fazem uso, de preferência, de fios compostos tendo diâmetro de 0,5 mm ou menos.

Em algumas modalidades exemplificadoras, a diferença relativa (absoluta) entre o primeiro ângulo de camada α e o segundo ângulo de camada β não é maior que cerca de 4°. Em certas modalidades exemplificadoras, a diferença relativa (absoluta) entre um ou mais dentre o primeiro ângulo de camada α e o segundo ângulo de camada β , o segundo ângulo de camada β e o terceiro ângulo de camada γ , não é maior que 4°, não é maior que 3°, não é maior que 2°, não é maior que 1° ou não é maior que 0,5°. Em certas modalidades exemplificadoras, um ou mais dentre o primeiro ângulo de camada é igual ao segundo ângulo de camada, o segundo ângulo de camada é igual ao terceiro ângulo de camada, e/ou cada ângulo de camada sucessiva é igual ao ângulo de camada imediatamente precedente.

Em modalidades adicionais, um ou mais dentre o primeiro comprimento de camada é menor que ou igual ao segundo comprimento de camada, o segundo comprimento de camada é menor que ou igual ao terceiro comprimento de camada, o quarto comprimento de camada é menor que ou igual a um comprimento de camada sucessiva, e/ou cada comprimento de camada sucessiva é menor que ou igual ao comprimento de camada imediatamente precedente. Em outras modalidades, um ou mais dentre o primeiro comprimento de camada é igual ao segundo comprimento de camada, o segundo comprimento de camada é igual ao terceiro comprimento de camada, e/ou cada comprimento de camada sucessiva é igual ao comprimento de camada imediatamente precedente. Em algumas modalidades, pode ser preferencial usar uma camada paralela, tal como é conhecido na técnica.

Várias modalidades de cabos compostos torcidos (10, 11, 10', 11') são ilustradas nas figuras 3A, 3B, 3C e 3D, vistos em seção transversal, respectivamente. Em cada uma das modalidades ilustradas das figuras 3A a 3D, é entendido que os fios compostos (4, 6 e 8) são torcidos ao redor de um fio único (2 nas figuras 3A e 3C; 1 nas figuras 3B e 3D) definindo um eixo longitudinal central (não mostrado), em uma direção de camada (não mostrada) que é a mesma para cada camada correspondente (12, 14 e 16 conforme mostrado na figura 1B) dos fios compostos (4, 6 e 8). Tal direção de camada pode ser em sentido horário (camada direita conforme mostrado na figura 1B) ou em sentido anti-horário (camada esquerda, não mostrado).

Embora as figuras 3A e 3C mostrem um fio composto central 2 definindo um eixo longitudinal central (não mostrado), é adicionalmente entendido que um fio único 2 pode ser um fio metálico dútil 1, conforme mostrado nas figuras 3B e 3D. É adicionalmente entendido que cada camada dos fios compostos apresentam um comprimento de camada (não mostrado nas figuras 3A a 3D) e que o comprimento de camada de cada camada dos fios compostos pode ser diferente ou, de preferência, o mesmo.

Além disso, é entendido que em algumas modalidades exemplificadoras, cada um dos fios compostos tem um formato de seção transversal, em uma direção substancialmente

perpendicular ao eixo longitudinal central, genericamente circular, elíptico ou trapezoidal. Em certas modalidades exemplificadoras, cada um dos fios compostos tem um formato em seção transversal que é genericamente circular e o diâmetro de cada fio composto é de pelo menos cerca de 0,1 mm, com mais preferência pelo menos 0,5 mm; ainda com mais preferência pelo menos 1 mm, ainda com mais preferência pelo menos 2 mm, com a máxima preferência pelo menos 3 mm; e no máximo cerca de 15 mm, com mais preferência no máximo 10 mm, ainda com mais preferência no máximo 5 mm, com mais preferência ainda no máximo 4 mm, com a máxima preferência no máximo 3 mm. Em outras modalidades exemplificadoras, o diâmetro de cada fio composto pode ser menor que 1 mm ou maior que 5 mm.

Tipicamente o diâmetro médio do fio central, que tem um formato em seção transversal genericamente circular, está em uma faixa de cerca de 0,1 mm a cerca de 15 mm. Em algumas modalidades, o diâmetro médio do fio central único é desejavelmente de pelo menos cerca de 0,1 mm, pelo menos 0,5 mm, pelo menos 1 mm, pelo menos 2 mm, pelo menos 3 mm, pelo menos 4 mm, ou mesmo até cerca de 5 mm. Em outras modalidades, o diâmetro médio do fio central único é menor que cerca de 0,5 mm, menor que 1 mm, menor que 3 mm, menor que 5 mm, menor que 10 mm ou menos que 15 mm.

Em modalidades exemplificadoras adicionais não ilustradas pelas figuras 3A a 3D, o cabo compósito torcido pode incluir mais de três camadas torcidas dos fios compósitos ao redor do fio único definindo um eixo longitudinal central. Em certas modalidades exemplificadoras, cada um dos fios compósitos em cada camada do cabo compósito pode ter a mesma construção e formato; entretanto isto não é necessário para a obtenção dos benefícios aqui descritos.

Em um outro aspecto, a presente descrição apresenta várias modalidades de um cabo de transmissão de energia elétrica torcido que compreende um núcleo compósito e uma camada condutora ao redor do núcleo compósito, e no qual o núcleo compósito compreende qualquer um dos cabos compósitos torcidos descritos acima. Em algumas modalidades, o cabo de transmissão de energia elétrica pode ser útil como um cabo aéreo de transmissão de energia elétrica ou um cabo subterrâneo de transmissão de energia. Em certas modalidades exemplificadoras, a camada condutora compreende uma camada de metal que entra em contato substancialmente uma superfície inteira do núcleo do cabo compósito. Em outras modalidades exemplificadoras, a camada condutora compreende uma pluralidade dos fios condutores metálicos torcidos ao redor do núcleo do cabo compósito.

As figuras 4A a 4E ilustram modalidades exemplificadoras de cabos torcidos (30, 40, 50, 60 ou 70, correspondendo às figuras 4A, 4B, 4C, 4D e 4E) nas quais uma ou mais camadas adicionais de fios dúteis (por exemplo 28, 28' e 28''), por exemplo, fios condutores metálicos dúteis, são torcidos de forma helicoidal ao redor do núcleo do cabo compósito 10 da figura 3A. Será entendido, entretanto, que a descrição não se limita a

essas modalidades exemplificadoras e que outras modalidades, usando outros núcleos do cabo compósito (por exemplo, cabos compósitos 11, 10' e 11' das figuras 3B, 3C e 3D, respectivamente), estão dentro do escopo desta descrição.

Desta forma, na modalidade em particular ilustrada pela figura 4A, o cabo torcido 30 compreende uma primeira pluralidade de fios dúteis 28 torcidos ao redor do cabo compósito torcido 10 mostrado nas figuras 1B, 2A, 2B e 3A. Em uma modalidade adicional ilustrado pela figura 4B, o cabo torcido 40 compreende uma segunda pluralidade de fios dúteis 28' torcidos ao redor da primeira pluralidade de fios dúteis 28 do cabo torcido 30 da figura 4A. Em uma outra modalidade ilustrada pela figura 4C, o cabo torcido 50 compreende uma terceira pluralidade dos fios dúteis 28'' torcidos ao redor da segunda pluralidade de fios dúteis 28' do cabo torcido 40 da figura 4B.

Nas modalidades particulares ilustradas pelas figuras 4A a 4C, os respectivos cabos torcidos (30, 40 ou 50) têm um núcleo que compreende o cabo compósito torcido 10 da figura 3A, que inclui um fio único 2 definindo o eixo longitudinal central 9 (figura 2C), uma primeira camada 12 que compreende uma primeira pluralidade de fios compósitos 4 torcidos ao redor do fio compósito único 2 em uma primeira direção de camada, uma segunda camada 14 que compreende uma segunda pluralidade de fios compósitos 6 torcidos ao redor da primeira pluralidade dos fios compósitos 4 na primeira direção de camada. Em certas modalidades exemplificadoras, a primeira pluralidade de fios dúteis 28 é torcida em uma direção de camada oposta àquela de uma camada radial adjacente, por exemplo, segunda camada 14 que compreende a segunda pluralidade de fios compósitos 6.

Em outras modalidades exemplificadoras, a primeira pluralidade de fios dúteis 28 é torcida em uma direção de camada que é a mesma de uma camada radial adjacente, por exemplo, segunda camada 14 que compreende a segunda pluralidade de fios compósitos 6. Em adicionalmente modalidades exemplificadoras, pelo menos uma dentre a primeira pluralidade de fios dúteis 28, a segunda pluralidade de fios dúteis 28', ou a terceira pluralidade de fios dúteis 28'', é torcida em uma direção de camada oposta àquela de uma camada radial adjacente, por exemplo, segunda camada 14 que compreende a segunda pluralidade de fios compósitos 6.

Em modalidades exemplificadoras adicionais, cada fio dútil (28, 28' ou 28'') tem um formato em seção transversal, em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo longitudinal central, selecionado dentre circular, elíptico ou trapezoidal. As figuras 4A a 4C ilustram modalidades em que cada fio dútil (28, 28' ou 28'') tem um formato de seção transversal, em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo longitudinal central, que é substancialmente circular. Na modalidade em particular ilustrada pela figura 4D, o cabo torcido 60 compreende uma primeira pluralidade de fios dúteis com formato em geral trapezoidal 28 torcido ao redor do cabo compósito torcido 10 mostrado nas figuras 1B, 2A e 2B. Em uma outra modalidade ilustrada pelas figuras 4E, o cabo torcido 70 compreende

adicionalmente uma segunda pluralidade de fios dúteis em geral com formato trapezoidal 28' torcidos ao redor do cabo torcido 60 da figura 4D.

Em modalidades exemplificadoras adicionais, alguns ou todos os fios dúteis (28, 28' ou 28'') podem ter um formato de seção transversal, em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo longitudinal central, isto é em forma de "Z" ou "S" (não mostrado). Os fios de tais formatos são conhecidos na técnica e podem ser desejáveis, por exemplo, para formar uma camada externa entrelaçada do cabo.

Em modalidades adicionais, os fios dúteis (28, 28' ou 28'') compreendem pelo menos um metal selecionado do grupo consistindo em cobre, alumínio, ferro, zinco, cobalto, níquel, cromo, titânio, tungstênio, vanádio, zircônio, manganês, silício, ligas dos mesmos e combinações dos mesmos.

Os cabos compósitos torcidos podem ser usados como artigos intermediários que são posteriormente incorporados em artigos finais, por exemplo, cabos de reboque, cabos de içamento, cabos aéreos de transmissão de energia elétrica, e similares, através da torção de uma multiplicidade de fios dúteis ao redor do núcleo que compreende fios compósitos, por exemplo, os cabos compósitos torcidos de forma helicoidal anteriormente descritos ou outros cabos compósitos torcidos. Por exemplo, o núcleo pode ser produzido por torção (por exemplo, enrolado de forma helicoidal) de duas ou mais camadas de fios compósitos (4, 6 e 8) ao redor de um fio central único (2) conforme descrito acima com o uso técnicas conhecidas na técnica. Tipicamente, tais núcleos do cabo compósito torcido de forma helicoidal tendem a compreender de 19 fios individuais 50 ou mais fios.

Para núcleos que compreendem uma pluralidade de fios compósitos (2, 4 e 6), é desejável, em algumas modalidades, para prender os fios compósitos (por exemplo, pelo menos a segunda pluralidade de fios compósitos 6 na segunda camada 14 das figuras 5A a 5D) juntos durante ou após a torção com o uso de meios de manutenção, por exemplo, um sobre-envólucro de fita, com ou sem adesivo ou um aglutinante (consulte, por exemplo, a patente U.S. nº 6.559.385 B1 (Johnson et al.)). As figuras 5A a 5C ilustram várias modalidades com o uso de meios de manutenção sob a forma de uma fita 18 para prender os fios compósitos juntos após a torção.

A figura 5A é uma vista lateral do cabo torcido 10 (figuras 1B, 2A, 2B e 3A), com meios de manutenção exemplificadores que compreendem uma fita 18 parcialmente aplicada ao cabo compósito torcido 10 ao redor dos fios compósitos (2, 4 e 6). Conforme mostrado na figuras 5B, a fita 18 pode compreender uma substrato 20 com uma camada adesiva 22. Alternativamente, conforme mostrado na figura 5C, a fita 18 pode compreender somente um substrato 20, sem um adesivo.

Em certas modalidades exemplificadoras, a fita 18 pode ser envolvida de modo que cada embalagem sucessiva fica em posição limitrofe à envolver anterior sem um vão

e sem sobreposição, tal como é ilustrado na figura 5A. Alternativamente, em algumas modalidades, as embalagens sucessivas podem ser espaçadas de forma a deixar um vão entre cada embalagem ou de forma a sobrepor a embalagem anterior. Em uma modalidade preferencial, a fita 18 é envolta de modo que cada embalagem se sobreponha à embalagem precedente por aproximadamente 1/3 a 1/2 de largura da fita.

A figura 5B é uma vista de extremidade do cabo torcido da figura 5A em que os meios de manutenção é uma fita 18 compreende um substrato 20 com um adesivo 22. Nesta modalidade exemplificadora, os adesivos apropriados incluem, por exemplo, adesivos à base de (met)acrilato (co)polímero, adesivos de poli(α -olefina), adesivos à base de copolímero de bloco, adesivos à base de borracha natural, adesivos à base de silicone e adesivos hot melt. Os adesivos sensíveis à pressão podem ser preferencial em certas modalidades.

Em modalidades exemplificadoras adicionais, materiais adequados para a fita 18 ou substrato 20 incluem laminados metálicos, particularmente alumínio; poliéster; poliimida; e vidro substratos reforçados; desde que a fita 18 seja forte o suficiente para mantê-la a deformação de flexão elástica e seja capaz de reter sua configuração envolta em si mesma ou é suficiente restrita se necessário. Um substrato particularmente preferencial 20 é alumínio. Tal substrato tem, de preferência, uma espessura de entre 0,05 a 0,13 mm (0,002 e 0,005 polegadas) e uma largura selecionada com base no diâmetro do cabo torcido 10. Por exemplo, para um cabo torcido 10 que tem duas camadas de fios compósitos torcido como ilustrado na figura 5A e que tem um diâmetro de cerca de 1,3 cm (0,5 polegadas), uma fita de alumínio que tem uma largura de 2,5 cm (1,0 polegada) é preferencial.

Algumas fitas preferenciais comercialmente disponíveis no momento incluem as seguintes fitas de laminado metálico (disponíveis junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA): Fita 438, um substrato de alumínio de 0,13 mm (0,005 polegada) de espessura com adesivo acrílico e uma espessura de fita total de 0,18 mm (0,0072 polegadas); Fita 431, um substrato de alumínio de 0,05 mm (0,0019 polegada) de espessura com adesivo acrílico e uma espessura de fita total de 0,08 mm (0,0031 polegadas); e Fita 433, um substrato de alumínio de 0,05 (0,002 polegada) de espessura com adesivo de silicone e uma espessura de fita total de 0,09 mm (0,0036 polegadas). Uma fita de laminado metálico/pano de vidro adequada é a Fita 363 (disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA), conforme descrito nos exemplos. Uma fita com substrato de poliéster adequada inclui a Fita de poliéster 8402 (disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA), com um substrato de poliéster de 0,03 mm (0,001 polegada) de espessura, um adesivo à base de silicone, e uma espessura de fita total de 0,03 mm (0,0018 polegadas).

A figura 5C é uma vista de extremidade do cabo torcido da figura 5A no qual a fita 18 compreende um substrato 20 sem adesivo 22. Quando a fita 18 é um substrato 20 sem adesivo, os materiais adequados para substrato 20 incluem qualquer daqueles descritos para uso com

um adesivo, sendo o substrato preferencial um substrato de alumínio que tem uma espessura entre 0,05 a 0,13 mm (0,002 e 0,005 polegadas) e uma largura de 2,54 cm (1,0 polegada).

Quando a fita é usada 18 como meios de manutenção, com ou sem adesivo 22, a fita pode ser aplicada ao cabo torcido com o aparelho de envolver a fita convencional como conhecido na técnica. As máquinas de fitas adequadas incluem aquelas disponíveis junto à Watson Machine, International, Patterson, NJ, EUA, como o número de modelo CT-300 Concentric Taping Head. A estação de sobre-embalagem da fita está em geral localizada na saída do aparelho de torção do cabo e é aplicada aos fios compósitos torcidos de forma helicoidal antes de o cabo 10 ser enrolado em uma bobina de recolhimento. A fita 18 é selecionada de modo a manter a disposição torcida dos fios compósitos elasticamente deformados.

A figura 5D ilustra modalidades exemplificadoras alternativas de um cabo compósito torcido 34 com meios de manutenção sob a forma de um aglutinante 24 aplicado ao cabo torcido 10 para mantêm os fios compósitos (2, 4, 6) em sua disposição torcida. Os aglutinantes adequados 24 incluem composições adesivas sensíveis à pressão que compreende um ou mais poli(alfa-olefina) homopolímeros, copolímeros, terpolímeros e tetrapolímeros derivados de monômeros que contêm 6 a 20 átomos de carbono e agentes de reticulação fotoativos conforme descrito na patente U.S. nº 5.112.882 (Babu et al.). A cura por radiação desses materiais fornece filmes adesivos que têm um equilíbrio vantajoso de propriedades adesivas de descolamento e cisalhamento.

Alternativamente, o aglutinante 24 pode compreender materiais termofixos, incluindo, mas não se limitando a epóxis. Para alguns aglutinantes, é preferível extrusar ou, de outro modo, revestir o aglutinante 24 sobre o cabo torcido 10 enquanto os fios estão saindo da máquina de cabeamento como discutido acima. Alternativamente, o aglutinante 24 pode ser aplicado sob a forma de um adesivo fornecido como uma fita de transferência. Nesse caso, o aglutinante 24 é aplicado a uma folha de transferência ou proteção removível (não mostrada). A folha de proteção removível é enrolada em torno dos fios compósitos do cabo torcido 10. O substrato é então removido, deixando a camada adesiva para trás como o aglutinante 24.

Em modalidades adicionais, um adesivo 22 ou aglutinante 24 pode, opcionalmente, ser aplicado ao redor de cada camada individual de fios compósitos (por exemplo, 12, 14 e 16 na figura 1B) ou entre qualquer camada adequada de fios compósitos (por exemplo 2, 4, 6 e 8 na figura 1B) conforme desejado.

Em uma modalidade atualmente preferencial, os meios de manutenção não se adicionam significativamente ao diâmetro total do cabo compósito torcido 10. De preferência, o diâmetro externo do cabo compósito torcido incluindo os meios de manutenção não é mais que 110% do diâmetro externo da pluralidade de fios compósitos

torcidos (2, 4, 6 e 8) excluindo os meios de manutenção, com mais preferência não mais que 105%, e com máxima preferência não mais que 102%.

Será reconhecido que os fios compósitos têm uma quantidade significativa de deformação por flexão elástica quando são torcidos em equipamento convencional de cabeamento. Esta deformação por flexão elástica significativa faria os fios retornarem ao seu formato não torcido ou não flexionado se não houver meios de manutenção para manter a disposição helicoidal dos fios. Portanto, Em algumas modalidades, os meios de manutenção são selecionados de modo a manter deformação por flexão elástica significativa da pluralidade de fios compósitos torcidos (por exemplo 2, 4, 6, 8 na figura 1B).

Além disso, a aplicação pretendida para o cabo torcido 10 pode sugerir que certos meios de manutenção são mais bem adequados para a pedido. Por exemplo, quando o cabo torcido 10 é usado como um núcleo em um cabo de transmissão de energia, o aglutinante 24 ou a fita 18 sem um adesivo 22 deve ser selecionado de modo a não afetar adversamente o cabo de transmissão às temperaturas e outras condições ocorridas nesta pedido. Quando uma fita adesiva 18 é usada como meios de manutenção, tanto o adesivo 22 como o substrato 20 devem ser selecionados para serem adequados para a aplicação pretendida.

Em certas modalidades exemplificadoras, os fios compósitos torcidos (por exemplo 2, 4, 6 e 8 na figura 1B) compreendem, cada um, uma pluralidade de fibras contínuas em uma matriz como serão discutidos em maiores detalhes posteriormente. Devido ao fato de que os fios são compósitos, eles não sofrem uma deformação plástica durante a operação de cabeamento que seria possível com fios dúteis. Por exemplo, nas disposições da técnica anterior incluindo fios dúteis, o processo de cabeamento convencional poderia ser executado de forma a permanentemente deformar plasticamente os fios compósitos em sua disposição helicoidal. A presente descrição permite o uso de fios compósitos que podem fornecer características superiores desejadas em comparação aos fios não compósitos. Os meios de manutenção permitem que o cabo compósito torcido seja convenientemente manuseado como um artigo final ou ser convenientemente manuseado antes de ser incorporado em um artigo final subsequente.

Embora a presente descrição possa ser praticada com qualquer fio compósito adequado, em certas modalidades exemplificadoras, cada um dos fios compósitos é selecionado para ser um fio compósito reforçado com fibra que compreende pelo menos um dentre um feixe de fibra contínua ou uma fibra de monofilamento contínua em uma matriz.

Uma modalidade preferencial para os fios compósitos compreende uma pluralidade de fibras contínuas em uma matriz. Uma fibra preferencial compreende policristalina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Essas modalidades preferenciais dos fios compósitos têm, de preferência, um alongamento à tração com falha em pelo menos 0,4%, com mais preferência pelo menos 0,7%. Em algumas modalidades, pelo menos 85% (em algumas modalidades, pelo menos 90%, ou mesmo pelo menos 95%) por número de fibras no núcleo compósito da matriz metálica são contínuos.

Outros fios compósitos que poderiam ser usados com a presente descrição incluem fios de vidro /epóxi; fios compósitos de carbureto de silício/alumínio; fios compósitos de carbono/alumínio; fios compósitos de carbono/epóxi; fios de carbono/poliéter éter cetona (PEEK); fios de carbono / (co)polímero; e combinações de tais fios compósitos.

5 Os exemplos de fibras de vidro adequadas incluem A-vidro, B-vidro, C-vidro, D-vidro, S-vidro, AR-vidro, R-vidro, fibra de vidro e paraglass, conforme conhecido na técnica. Outras fibras de vidro podem, também ser usadas; esta lista não é limitante e há muitos tipos diferentes de fibras de vidro comercialmente disponíveis, por exemplo, junto à Corning Glass Company (Corning, NY, EUA).

10 Em algumas modalidades exemplificadoras, as fibras de vidro contínuas podem ser preferenciais. Tipicamente, as fibras de vidro contínuas têm um diâmetro médio de fibra em uma faixa de cerca de 3 micrômetros a cerca de 19 micrômetros. Em algumas modalidades, as fibras de vidro têm uma resistência à tração média de pelo menos 3 GPa, 4 GPa e/ou mesmo pelo menos 5 GPa. Em algumas modalidades, as fibras de vidro têm um módulo na
15 faixa de cerca de 60 GPa a 95 GPa, ou cerca de 60 GPa a cerca de 90 GPa.

Exemplos de fibras cerâmicas adequadas incluem fibras de óxido metálico (por exemplo, alumina), fibras de nitreto de boro, fibras de carbureto de silício e combinação de qualquer dessas fibras. Tipicamente, as fibras óxidas de cerâmica são cerâmicas cristalinas e/ou uma mistura de cerâmica cristalina e vidro (isto é, uma fibra pode conter tanto as fases
20 de cerâmica cristalina e vítrea). Tipicamente, tais fibras têm um comprimento da ordem de pelo menos 50 metros, e podem ter comprimentos da ordem de até quilômetros ou mais. Tipicamente, as fibras cerâmicas contínuas têm diâmetro da fibra médio em uma faixa de cerca de 5 micrômetros a cerca de 50 micrômetros, cerca de 5 micrômetros a cerca de 25 micrômetros cerca de 8 micrômetros a cerca de 25 micrômetro ou mesmo cerca de
25 8 micrômetros a cerca de 20 micrômetros. Em algumas modalidades, as fibras de cerâmica cristalina têm uma resistência média à tração de pelo menos 1,4 GPa, pelo menos 1,7 GPa, pelo menos 2,1 GPa, e ou mesmo pelo menos 2,8 GPa. Em algumas modalidades, as fibras de cerâmica cristalina têm um módulo maior que 70 GPa a aproximadamente não maior que 1.000 GPa, ou mesmo não maior que 420 GPa.

30 Exemplos de fibras cerâmicas de monofilamento incluem fibras de carbureto de silício. Tipicamente, as fibras de monofilamento de carbureto de silício são cristalinas e/ou uma mistura de cerâmica cristalina e vidro (isto é, uma fibra pode conter ambas as fases de cerâmica cristalina e vítrea). Tipicamente, tais fibras têm um comprimento da ordem de pelo menos 50 metros, e podem ter comprimentos da ordem de até quilômetros ou mais.
35 Tipicamente, as fibras de monofilamento de carbureto de silício têm um diâmetro da fibra médio em uma faixa de cerca de 100 micrômetros a cerca de 250 micrômetro. Em algumas modalidades, as fibras de cerâmica cristalina têm uma resistência média à tração de pelo

menos 2,8 GPa, pelo menos 3,5 GPa, pelo menos 4,2 GPa e ou mesmo pelo menos 6 GPa. Em algumas modalidades, as fibras de cerâmica cristalina têm um módulo maior que 250 GPa a aproximadamente não maior que 500 GPa, ou mesmo não maior que 430 GPa.

As fibras de alumina adequadas são descritas, por exemplo, nas patentes U.S. nº 4.954.462 (Wood et al.) e 5.185.299 (Wood et al.). Em algumas modalidades, as fibras de alumina são fibras policristalinas de alumina alfa, e compreendem, em uma base óxida teórica, mais que 99 por cento, em peso, de Al_2O_3 e 0,2 a 0,5 por cento, em peso, de SiO_2 , com base no peso total das fibras de alumina. Em um outro aspecto, algumas fibras policristalinas de alfa alumina desejáveis compreendem alfa alumina que tem um tamanho de grão médio menor que um micrômetro (ou mesmo, em algumas modalidades, menor que 0,5 micrômetro). Em um outro aspecto, em algumas modalidades, as fibras policristalinas de alfa alumina têm uma resistência média à tração de pelo menos 1,6 GPa (em algumas modalidades, pelo menos 2,1 GPa, ou mesmo, pelo menos 2,8 GPa). As fibras de alfa alumina exemplificadoras são comercializadas sob a designação comercial "NEXTEL 610" (3M Company, St. Paul, MN, EUA).

As fibras de aluminossilicato adequadas são descritas, por exemplo, na patente U.S. nº 4.047.965 (Karst et al.). As fibras de alumínio silicato exemplificadoras são comercializadas sob a designação comercial de "NEXTEL 440", "NEXTEL 550" e "NEXTEL 720" junto à 3M Company de St. Paul, MN, EUA. As fibras de aluminoborossilicato são descritos, por exemplo, na patente U.S. nº 3.795.524 (Sowman). As fibras de alumínio borossilicato exemplificadoras são comercializadas sob a designação comercial de "NEXTEL 312" junto à 3M Company. As fibras de nitreto de boro podem ser produzidas, por exemplo, conforme descrito nas patentes U.S. nº 3.429.722 (Economy) e 5.780.154 (Okano et al.). As fibras de carbeto de silício exemplificadoras são comercializadas, por exemplo, pela COI Ceramics de San Diego, CA, EUA, sob a designação comercial "NICALON" em feixes de 500 fibras, junto à Ube Industries do Japão, sob a designação comercial "TYRANNO", e junto à Dow Corning de Midland, MI, EUA, sob a designação comercial "SYLRAMIC".

As fibras de carbono adequadas incluem fibras de carbono comercialmente disponíveis como as fibras designadas como PANEX® e PYRON® (disponível junto à ZOLTEK, Bridgeton, MO, EUA), THORNEL (disponível junto à CYTEC Industries, Inc., West Paterson, NJ, EUA), HEXTOW (disponível junto à HEXCEL, Inc., Southbury, CT, EUA) e TORAYCA (disponível junto à TORAY Industries, Ltd. Tóquio, Japão). Tais fibras de carbono podem ser derivadas de um precursor de poliácrlonitrilo (PAN). Outras fibras de carbono adequadas incluem PAN-IM, PAN-HM, PAN UHM, PITCH ou subprodutos de raíom, conforme conhecido na técnica.

As fibras adicionais adequadas comercialmente disponíveis incluem ALTEX (disponível junto à Sumitomo Chemical Company, Osaka, Japão) e ALCEN (disponível junto à Nitivy Company, Ltd., Tóquio, Japão).

Fibras adequadas também incluem liga com memória de formato (isto é, uma liga metálica que passa por uma transformação martensítica de forma que a liga metálica é deformável por um mecanismo gêmeo abaixo da temperatura de transformação, sendo que tal deformação é reversível quando a estrutura gêmea reverte para a fase original mediante aquecimento acima da temperatura de transformação). As fibras de liga com memória de formato comercialmente disponíveis estão disponíveis, por exemplo, junto à Johnson Matthey Company (West Whiteland, PA, EUA).

Em algumas modalidades, as fibras cerâmicas estão em feixes não torcidos de filamentos contínuos (tows). Os feixes não torcidos de filamentos contínuos são conhecidos na técnica de fibras e referem-se a uma pluralidade de fibras (individuais) (tipicamente pelo menos 100 fibras, mais tipicamente pelo menos 400 fibras) coletadas em uma forma semelhante a fibras para tecer. Em algumas modalidades, os feixes compreendem pelo menos 780 fibras individuais por feixe, em alguns casos pelo menos 2.600 fibras individuais por feixe e em outros casos pelo menos 5.200 fibras individuais por feixe. Os feixes de fibras cerâmicas estão em geral disponíveis em uma variedade de comprimentos, incluindo 300 metros, 500 metros, 750 metros, 1.000 metros, 1.500 metros, 2.500 metros, 5.000 metros, 7.500 metros e mais longas. As fibras podem ter um formato em seção transversal que é circular ou elíptico.

As fibras disponíveis comercialmente podem tipicamente incluir um material de engomadura orgânico adicionado à fibra durante a fabricação para fornecer lubricidade e para proteger os torcidos de fibra durante o manuseio. A engomadura pode ser removida, por exemplo, dissolvendo ou queimando a engomadura das fibras. Tipicamente, é desejável remover a engomadura antes da formação do fio compósito de matriz metálica. As fibras podem, também, ter revestimentos usados, por exemplo, para melhorar a molhabilidade das fibras, para reduzir ou evitar a reação entre as fibras e material de matriz metálica fundido. Tais revestimentos e técnicas para fornecer tais revestimentos são conhecidos na fibra e técnica de compósito.

Em modalidades exemplificadoras adicionais, cada um dos fios compósitos é selecionado a partir de um fio compósito de matriz metálica e um fio compósito de polímero. Os fios compósitos são apresentados, por exemplo, nas patentes U.S. nº 6.180.232, 6.245.425, 6.329.056, 6.336.495, 6.344.270, 6.447.927, 6.460.597, 6.544.645, 6.559.385, 6.723.451 e 7.093.416.

Um fio compósito de matriz metálica reforçado com fibra presentemente preferencial é um fio compósito de matriz de alumínio reforçado com fibra cerâmica. Os fios compósitos de matriz de alumínio reforçado com fibra cerâmica compreendem, de preferência, fibras contínuas de policristalina α -Al₂O₃ encapsuladas dentro de uma matriz de alumínio elementar substancialmente pura ou de uma liga de alumínio puro com até a cerca de 2%, em peso, de cobre, com base no peso total da matriz. As fibras preferenciais compreendem grãos

equidimensionais menores que cerca de 100 nm de tamanho de um diâmetro da fibra na faixa de cerca de 1 a 50 micrômetros. Um diâmetro da fibra na faixa de cerca de 5 a 25 micrômetros é preferencial e de máxima preferência na faixa de cerca de 5 a 15 micrômetros.

Os fios compósitos reforçados com fibras preferenciais da presente descrição têm uma densidade de fibra entre cerca de 3,90 a 3,95 gramas por centímetro cúbico. Entre as fibras preferenciais estão aquelas descritas na patente U.S. n° 4.954.462 (Wood et al.). As fibras preferenciais estão disponíveis comercialmente sob a designação comercial "NEXTEL 610" fibras à base de alfa alumina (disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA). A matriz encapsulante está selecionada para ser tal que não significativamente reaja quimicamente com o material de fibra (isto é, é relativamente inerte quimicamente com relação ao material de fibra, deste modo eliminando a necessidade de fornecer um revestimento protetor sobre a fibra exterior.

Em certas modalidades presentemente preferenciais de um fio compósito, o uso de uma matriz que compreende alumínio elementar substancialmente puro ou uma liga de alumínio elementar com até a cerca de 2%, em peso, de cobre, com base no peso total da matriz, tem demonstrado produzir fios de forma bem sucedida. Para uso na presente invenção, os termos "alumínio elementar substancialmente puro", "alumínio puro" e "alumínio elementar" são intercambiáveis e pretendem significar alumínio contendo menos que cerca de 0,5%, em peso, de impurezas.

Em uma modalidade presentemente preferencial, os fios compósitos compreendem entre cerca de 30 a 70%, em volume, de fibras de policristalina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, com base no volume total do fio compósito, dentro de uma matriz de alumínio substancialmente elementar. É presentemente preferencial que a matriz contenha menos que cerca de 0,03%, em peso, de ferro e com mais preferência, menos que cerca de 0,01%, em peso, de ferro, com base no peso total da matriz. Um conteúdo de fibra entre cerca de 40 a 60% de fibras de policristalina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ é preferencial. Tais fios compósitos formados com uma matriz que tem um limite elástico menor que cerca de 20 MPa e as fibras que têm uma resistência à tração longitudinal de pelo menos cerca de 2,8 GPa demonstraram ter características de resistência excelente.

A matriz pode também ser formada a partir de uma liga de alumínio elementar com até cerca de 2%, em peso, de cobre, com base no peso total da matriz. Como na modalidade em que uma matriz de alumínio elementar substancialmente puro é usada, os fios compósitos que têm uma matriz de liga de alumínio/cobre compreendem, de preferência, entre cerca de 30 a 70%, em volume, de fibras de policristalina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ e com mais preferência, portanto, cerca de 40 a 60%, em volume, de fibras de policristalina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, com base no volume total do compósito. Além disso, a matriz contém, de preferência, menos que cerca de 0,03%, em peso, de ferro e com mais preferência menos que cerca de 0,01%, em peso, de ferro com base no peso total da matriz. A matriz de alumínio/cobre tem, de preferência, um limite

elástico menor que cerca de 90 MPa e, como acima, as fibras de policristalina α - Al_2O_3 têm uma resistência à tração longitudinal de pelo menos cerca de 2,8 GPa.

Os fios compósitos são formados, de preferência, a partir de fibras policristalinas substancialmente contínuas α - Al_2O_3 contidas dentro da matriz de alumínio elementar substancialmente puro ou a matriz formada a partir da liga de alumínio elementar e até cerca de 2%, em peso, de cobre descrita acima. Tais fios são feitos, em geral por um processo no qual uma bobina de fibras policristalinas substancialmente contínuas α - Al_2O_3 , dispostas em uma feixe de fibra, são puxadas através de um banho de material de matriz fundido. O segmento resultante é então solidificado, deste modo fornecendo fibras encapsuladas dentro da matriz.

Materiais metálicos exemplificadores incluem alumínio, por exemplo, alta pureza, (por exemplo, maior que 99,95%) de alumínio elementar, zinco, estanho, magnésio, e ligas dessas substâncias (por exemplo, uma liga de alumínio e cobre). Tipicamente, o material de matriz é selecionado de modo que ele não reage quimicamente de forma significativa com a fibra (isto é, é relativamente inerte quimicamente com respeito ao material da fibra), por exemplo, para eliminar a necessidade de fornecimento de um revestimento protetor sobre a fibra externa. Em algumas modalidades, o material de matriz inclui, desejavelmente, alumínio e ligas dessa substância.

Em algumas modalidades, a matriz metálica compreende pelo menos 98%, em peso, de alumínio, pelo menos 99%, em peso, de alumínio, mais que 99,9%, em peso, de alumínio, ou mesmo mais que 99,95%, em peso, de alumínio. Ligas de alumínio exemplificadoras de alumínio e cobre compreendem pelo menos 98%, em peso de Al e até 2%, em peso, de Cu. Em algumas modalidades, ligas úteis são ligas de alumínio de série 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000 e/ou 8.000 (designações da Aluminum Association). Embora metais com purezas mais altas tendem a ser desejáveis para a fabricação de fios com resistências à tração mais altas, formas menos puras de metais também são úteis.

Metais adequados estão disponíveis comercialmente. Por exemplo, o alumínio está disponível sob a designação comercial "SUPER PURE ALUMINUM; 99,99% Al" junto à Alcoa de Pittsburgh, PA, EUA. As ligas de alumínio (por exemplo, Al-2%, em peso, de Cu (0,03%, em peso, de impurezas)) podem ser obtidas, por exemplo, junto à Belmont Metals, New York, NY, EUA. Zinco e estanho estão disponíveis, por exemplo, junto à Metal Services, St. Paul, MN, EUA ("zinco puro"; 99,999% de pureza e "estanho puro"; 99,95% de pureza). Por exemplo, magnésio está disponível sob a designação comercial "PURE" junto à Magnesium Elektron, Manchester, Inglaterra. As ligas de magnésio (por exemplo, WE43A, EZ33A, AZ81A e ZE41A) podem ser obtidas, por exemplo, junto à TIMET, Denver, CO, EUA.

O fio compósito de matriz metálica tipicamente compreendem pelo menos 15%, por volume (Em algumas modalidades, pelo menos 20, 25, 30, 35, 40, 45 ou mesmo 50%, por volume) das fibras, com base no total de volume combinado das fibras e material de

matriz. Mais tipicamente, os núcleos e fios compósitos compreendem na faixa de 40 a 75 (em algumas modalidades, 45 a 70) %, por volume, de fibras, com base no volume total de fibras e material de matriz, juntos.

O fio compósito de matriz metálica pode ser produzido com o uso das técnicas conhecidas na técnica. O fio compósito de matriz metálica pode ser produzido, por exemplo, por processos de infiltração de matriz metálica contínuo. Um processo adequado é descrito, por exemplo, na patente U.S. nº 6.485.796 (Carpenter et al.). Os fios que compreendem polímeros e fibra podem ser produzidos por processos de pultrusão que são conhecidas na técnica.

Em modalidades exemplificadoras adicionais, os fios compósitos são selecionados para incluir fios compósitos de polímero. Os fios compósitos de polímeros compreendem pelo menos uma fibra contínua em uma matriz de polímero. Em algumas modalidades exemplificadoras, pelo menos uma fibra contínua compreende metal, carbono, cerâmica, vidro e combinações dos mesmos. Em certas modalidades presentemente preferenciais, pelo menos uma fibra contínua compreende titânio, tungstênio, boro, liga com memória de formato, nanotubos de carbono, grafite, carbureto de silício, boro, aramida, -poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)3, e combinações dos mesmos. Em modalidades presentemente preferenciais, a matriz de polímero compreende um (co)polímero selecionado a partir de um epóxi, um éster, um vinil éster, uma poliimida, um poliéster, um cianato éster, uma resina fenólica, uma resina bis-maleimida, e combinações dos mesmos.

Fios metálicos dúteis para torção ao redor de um núcleo compósito para fornecer um cabo compósito, por exemplo, um cabo de transmissão de energia elétrica de acordo com certas modalidades da presente descrição, são conhecidos na técnica. Metais dúteis preferenciais incluem ferro, aço, zircônio, cobre, estanho, cádmio, alumínio, manganês e zinco; suas ligas com outros metais e/ou silício; e similares. Fios de cobre são comercialmente disponíveis, por exemplo junto à Southwire Company, Carrolton, GA, EUA. Fios de alumínio são comercialmente disponíveis, por exemplo junto à Nexans, Weyburn, Canadá ou Southwire Company, Carrolton, GA, EUA, sob as designações comerciais "1350-H19 ALUMINUM" e "1350-H0 ALUMINUM".

Tipicamente, os fios de cobre têm um coeficiente de expansão térmico em uma faixa de cerca de 12 ppm/°C a cerca de 18 ppm/°C por pelo menos uma faixa de temperatura de cerca de 20°C a cerca de 800°C. Fios de liga de cobre (por exemplo bronze de cobre como Cu-Si-X, Cu-Al-X, Cu-Sn-X, Cu-Cd; onde X = Fe, Mn, Zn, Sn e ou Si; comercialmente disponíveis, por exemplo junto à Southwire Company, Carrolton, GA, EUA; cobre fortalecido por dispersão de óxido disponível, por exemplo, junto à OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC, EUA, sob a designação "GLIDCOP"). Em algumas modalidades, os fios da liga de cobre têm um coeficiente de expansão térmica em uma faixa de cerca de 10 ppm/°C a cerca de 25 ppm/°C em pelo menos uma faixa de temperatura de

cerca de 20°C a cerca de 800°C. Os fios podem estar em qualquer uma de uma variedade de formatos (por exemplo, circulares, elípticos e trapezoidais).

Tipicamente, o fio de alumínio tem um coeficiente de expansão térmica em uma faixa de cerca de 20 ppm/°C a cerca de 25 ppm/°C em pelo menos uma faixa de temperatura de cerca de 20°C a cerca de 500°C. Em algumas modalidades, os fios de alumínio (por exemplo, "1350-H19 ALUMINUM") têm uma resistência de ruptura de tração, de pelo menos 138 MPa (20 Ksi), pelo menos 158 MPa (23 Ksi), pelo menos 172 MPa (25 Ksi) ou pelo menos 186 MPa (27 Ksi) ou pelo menos 200 MPa (29 Ksi). Em algumas modalidades, os fios de alumínio (por exemplo, "1350-H0 ALUMINUM") têm uma resistência tênsil à ruptura de mais de 41 MPa (6 Ksi) a não mais de 97 MPa (14 Ksi), ou mesmo não mais de 83 MPa (12 Ksi).

Os fios de liga de alumínio estão comercialmente disponíveis, por exemplo, fios de liga de alumínio-zircônio disponíveis sob a designação comercial "ZTAL", "XTAL" e "KTAL" (disponível junto à Sumitomo Electric Industries, Osaka, Japão) ou "6201" (disponível junto à Southwire Company, Carrolton, GA, EUA). Em algumas modalidades, os fios de liga de liga de alumínio têm um coeficiente de expansão térmica em uma faixa de cerca de 20 ppm/°C a cerca de 25 ppm/°C em pelo menos uma faixa de temperatura de cerca de 20°C a cerca de 500°C.

A presente descrição é, de preferência, executada de forma a fornecer cabos torcidos muito longos. Também é preferível que os próprios fios compósitos no cabo torcido 10 sejam contínuos por todo o comprimento do cabo torcido. Em uma modalidade preferencial, os fios compósitos são substancialmente contínuos e com pelo menos 150 metros de comprimento. Com mais preferência, os fios compósitos são contínuos e com pelo menos 250 metros de comprimento, com mais preferência pelo menos 500 metros, ainda com mais preferência pelo menos 750 metros e com a máxima preferência pelo menos 1.000 metros de comprimento no cabo torcido 10.

Em um aspecto adicional, a descrição apresenta um método para produzir os cabos compósitos torcidos descritos acima, sendo que o método compreende a torção de uma primeira pluralidade de fios compósitos ao redor de um fio único definindo um eixo longitudinal central, sendo que a torção da primeira pluralidade de fios compósitos é executada em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central, e sendo que a primeira pluralidade de fios compósitos tem um primeiro comprimento de camada; e a torção de uma segunda pluralidade de fios compósitos ao redor da primeira pluralidade de fios compósitos, sendo que a torção da segunda pluralidade de fios compósitos é executada na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central, e sendo que a segunda pluralidade de fios compósitos tem um segundo comprimento de camada, sendo que, adicionalmente, uma diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada e o segundo ângulo de camada não é

maior que 4°. Em uma modalidade presentemente preferencial, o método compreende adicionalmente a torção de uma pluralidade de fios dúteis ao redor dos fios compósitos.

Os fios compósitos podem ser torcidos ou enrolados de forma helicoidal tal como é conhecido na técnica em qualquer equipamento adequado de torção de cabo, como strands de cabo planetários disponíveis junto à Cortinovis, Spa, de Bergamo, Itália, e junto à Watson Machinery International, de Patterson, NJ, EUA. Em algumas modalidades, pode ser vantajoso empregar um strander rígido tal como é conhecido na técnica.

Embora possa ser usado qualquer fio compósito com tamanho adequado, é preferencial para muitas modalidades e muitas aplicações que os fios compósitos tenham um diâmetro de 1 mm a 4 mm, entretanto fios compósitos maiores ou menores podem ser usados.

Em uma modalidade preferencial, o cabo compósito torcido inclui uma pluralidade de fios compósitos torcidos que são torcidos de forma helicoidal em uma direção de camada para ter um fator de camada de 10 a 150. O "fator de camada" de um cabo torcido é determinado pela divisão do comprimento do cabo torcido no qual um fio único completa uma revolução helicoidal pela parte externa nominal do diâmetro da camada que inclui aquele cabo torcido.

Durante o processo de torção do cabo, o fio central ou o cabo compósito torcido intermediário não acabado que terá uma ou mais camadas adicionais enroladas ao redor dele é puxado através do centro de vários carros, com cada carro adicionando uma camada ao cabo torcido. Os fios individuais a serem adicionados como uma camada são simultaneamente puxados a partir de suas bobinas respectivas enquanto são girados ao redor do eixo central do cabo pelo carro acionado por motor. Isto é feito em sequência para cada camada desejada. O resultado é um núcleo torcido de forma helicoidal. Opcionalmente, os meios de manutenção, como fita, por exemplo, podem ser aplicados ao núcleo compósito torcido resultante para ajudar a manter os fios torcidos juntos.

Um aparelho exemplificador para produzir cabos compósitos torcidos de acordo com as modalidades da presente descrição é mostrado na figura 6. Em geral, os cabos compósitos torcidos de acordo com a presente descrição podem ser produzidos pela torção de fios compósitos ao redor de um fio único na mesma direção de camada, conforme descrito acima. O fio único pode compreender um fio compósito ou um fio dútil. Pelo menos duas camadas de fios compósitos são formadas pela torção de fios compósitos ao redor de um núcleo de fio único, por exemplo, fios 19 ou 37 formados em pelo menos duas camadas ao redor de um fio central único, conforme mostrado na figura 1B.

Uma bobina de fio é fornecida na cabeça da máquina de torção convencional com sistema planetário, sendo que a bobina é livre para girar, com tensão capaz de ser aplicada via um sistema de freio onde a tensão pode ser aplicada ao núcleo durante o resultado final (em algumas modalidades, na faixa de 0-91 Kg (0 a 200 lbs.)). O fio único

90 é rosqueado através dos carros de bobina 82 e 83, através de matrizes de fechamento 84 e 85, ao redor das rodas de eixo giratório 86 e fixado à bobina de recolhimento 87.

Antes da aplicação das camadas torcidas externas, os fios compósitos individuais são fornecidos em bobinas separadas 88 que são colocadas em inúmeros carros acionados por 82 e 83 do equipamento de torção. Em algumas modalidades, a faixa de tensão necessária para puxar o fio 89A e 89B a partir das bobinas 88 é tipicamente 4,5 a 22,7 Kg (10 a 50 lbs.). Tipicamente, há um carro para cada camada de cabo compósito torcido acabado. Os fios 89A e 89B de cada camada são reunidos na saída de cada carro em uma matriz de fechamento 84 e 85 e dispostos sobre o fio central ou sobre a camada anterior.

As camadas de fios compósitos que compreende o cabo compósito são torcidos de forma helicoidal na mesma direção conforme anteriormente descrito. Durante o processo de torção do cabo compósito, o fio central ou o cabo compósito torcido intermediário não acabado que pode ter uma ou mais camadas adicionais enroladas ao seu redor, é puxado através do centro de vários carros, com cada carro adicionando uma camada ao cabo torcido. Os fios individuais a serem adicionado como uma camada são simultaneamente puxadas a partir de suas respectivas bobinas enquanto são giradas ao redor do eixo central do cabo pelo carro acionado por motor. Isto é feito em sequência para cada camada desejada. O resultado é um cabo compósito torcido de forma helicoidal 91 que pode ser cortado e manuseado convenientemente sem perda de formato ou deslindamento.

Em algumas modalidades exemplificadoras, os cabos compósitos torcidos compreendem fios compósitos torcidos que têm um comprimento de pelo menos 100 metros, pelo menos 200 metros, pelo menos 300 metros, pelo menos 400 metros, pelo menos 500 metros, pelo menos 1.000 metros, pelo menos 2.000 metros, pelo menos 3.000 metros, ou mesmo pelo menos 4.500 metros ou mais.

A habilidade de manusear o cabo torcido é uma característica desejável. Embora não querendo ater-se à teoria, o cabo mantém sua disposição torcida de forma helicoidal devido ao fato de que durante a fabricação, os fios metálicos estão sujeitos a estresses, incluindo estresse de flexão, além do limite elástico do material do fio mas abaixo do estresse máximo ou falha. Este estresse é conferido à medida que o fio é enrolado de forma helicoidal ao redor do raio relativamente pequeno da camada anterior ou fio central. Estresses adicionais são conferidos nas matrizes de fechamento 84 e 85 que aplicam força radial e de cisalhamento ao cabo durante a fabricação. Os fios, portanto, deformam plasticamente e mantêm seu formato torcido de forma helicoidal.

O material do fio central único e os fios compósitos para uma dada camada são reunidos em um contato íntimo através das matrizes de fechamento. Com referência à figura 6, as matrizes de fechamento 84 e 85 são tipicamente dimensionadas para minimizar os estresses de deformação sobre os fios da camada que está sendo enrolada. O diâmetro

interno da matriz de fechamento é feita para o tamanho do diâmetro da camada externa. Para minimizar os estresses sobre os fios da camada, a matriz de fechamento é dimensionada de forma que esteja na faixa de 0 a 2,0% maior, em relação ao diâmetro externo do cabo, (isto é, os diâmetros interiores da matriz estão na faixa de 1,00 a 1,02 vez o diâmetro do cabo externo). Matrizes de fechamento exemplificadoras são cilindros e são mantidas em posição, por exemplo, com o uso de cavilhas ou outras fixações adequadas. As matrizes podem ser feitas, por exemplo, de aço para ferramentas endurecido.

O cabo compósito torcido acabado resultante pode passar através de outras estações de torção, se desejado, e finalmente enrolado na bobina de recolhimento 87 de diâmetro suficiente para evitar danos ao cabo. Em algumas modalidades, técnicas conhecidas na técnica de alinhamento de cabo podem ser desejáveis. Por exemplo, o cabo acabado pode ser passado através de um dispositivo alinhamento que compreende roletes (cada rolete tendo por exemplo, 10 a 15 cm (4 a 6 polegadas), linearmente dispostos em dois bancos, com, por exemplo, 5 a 9 roletes em cada banco. A distância entre os dois bancos de roletes pode ser variada de modo que os roletes basicamente impactam o cabo ou causam grave flexão do cabo. Os dois bancos de roletes estão posicionados em lados opostos do cabo, com os roletes em um banco de roletes em um banco combinando com os espaços criados pelos roletes opostos em outro banco. Assim, os dois bancos podem compensar um ao outro. À medida que o cabo passa através do dispositivo de alinhamento, o cabo flexiona para frente e para trás sobre os roletes, permitindo que os fios torcidos no condutor se estendam no mesmo comprimento, deste modo reduzindo ou eliminando fios torcidos frouxos.

Em algumas modalidades, pode ser desejável fornecer o fio central único a uma temperatura elevada (por exemplo, pelo menos 25°C, 50°C, 75°C, 100°C, 125°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 400°C, ou mesmo, em algumas modalidades, pelo menos 500°C) acima da temperatura ambiente (por exemplo, 22°C). O fio central único pode ser levado para a temperatura desejada, por exemplo, pelo aquecimento do fio bobinado (por exemplo, em um forno durante algumas horas). O fio bobinado aquecido é colocado em uma bobina final (consulte, por exemplo, bobina final 81 na figura 6) de uma máquina de torção. Desejavelmente, a bobina em temperatura elevada está no processo de torção enquanto o fio está na ou próximo à temperatura desejada (tipicamente em cerca de 2 horas).

Adicionalmente pode ser desejável que os fios compósitos nas bobinas finais que formam as camadas externas do cabo estejam na temperatura ambiente. Isto é, em algumas modalidades, pode ser desejável ter um diferencial de temperatura entre o fio único e os fios compósitos que formam as camadas compostas externas durante o processo de torção. Em algumas modalidades, pode ser desejável conduzir a torção com uma tensão de fio única de pelo menos 100 Kg, 200 Kg, 500 Kg, 1.000 Kg, ou mesmo pelo menos 5.000 Kg.

Os cabos torcidos da presente descrição são úteis em numerosas aplicações. Acredita-se que tais cabos torcidos sejam particularmente desejáveis para uso em cabos de transmissão de energia elétrica, que podem incluir cabos aéreos e subterrâneos de transmissão de energia elétrica, devido à combinação de baixo peso, alta força, boa condutividade elétrica, baixo

5 coeficiente de expansão térmica, altas temperaturas de uso, e resistência à corrosão.

A figura 7 é uma vista de extremidade em seção transversal de um cabo compósito torcido de forma helicoidal 80 incluindo uma ou mais camadas que compreendem uma pluralidade de fios dúteis (28 e 28') torcidos ao redor de um núcleo 32' (figura 5C) que compreende fios compósitos torcidos de forma helicoidal (2, 4, 6 e 8)

10 torcidos na mesma direção de camada e mantidos no lugar por meios de manutenção como fita 18 enrolada ao redor pelo menos da segunda camada dos fios compósitos torcidos 16 de acordo com outra modalidade exemplificadora da presente descrição.

Tal cabo compósito torcido de forma helicoidal é particularmente útil como um cabo de transmissão de energia elétrica. Quando usado como um cabo de transmissão de

15 energia elétrica, os fios dúteis (28 e 28') atuam como condutores elétricos, isto é, condutores de fio dútil. Como ilustrado, o cabo de transmissão de energia elétrica pode incluir duas camadas de fios condutores dúteis (28 e 28'). Mais camadas de fios condutores (não mostradas na figura 7) podem ser usadas como desejado. De preferência, cada camada condutora compreende uma pluralidade de fios condutores (28 e 28') como é conhecido na

20 técnica. Materiais adequados para os fios condutores dúteis (28 e 28') incluem alumínio e ligas de alumínio. Os fios condutores dúteis (28 e 28') podem ser torcidos ao redor do núcleo compósito torcido (por exemplo 32') por um equipamento de torção de cabo adequado como é conhecido na técnica (consulte, por exemplo, a figura 6).

A porcentagem em peso de fios compósitos dentro do cabo de transmissão de

25 energia elétrica dependerá do design da linha de transmissão. No cabo de transmissão de energia elétrica, os fios condutores de alumínio ou de liga de alumínio podem ser de qualquer material dos vários conhecidos na técnica de transmissão de energia por cabo aéreo, incluindo, mas não se limitando a, 1350 Al (ASTM B609-91), 1350-H19 Al (ASTM B230-89) ou 6201 T-81 Al (ASTM B399-92).

Para uma descrição de cabos adequados de transmissão de energia elétrica e processos nos quais o cabo torcido da presente descrição pode ser usado, consulte, por exemplo, Standard Specification for Concentric Lay Stranded Aluminum Conductors, Coated, Steel Reinforced (ACSR) ASTM B232-92; ou patentes U.S. nº 5.171.942 e 5.554.826. Uma modalidade preferencial do cabo de transmissão de energia elétrica é um cabo aéreo de

35 transmissão de energia elétrica. Nessas aplicações, os materiais para os meios de manutenção devem ser selecionados para uso a temperaturas de pelo menos 100°C ou 240°C ou 300°C, dependendo da aplicação. Por exemplo, os meios de manutenção não

devem corroer a camada condutora em alumínio ou expele gases indesejáveis ou, de outro modo, danificam o cabo de transmissão nas temperaturas antecipadas durante o uso.

Em outras aplicações, nas quais o cabo torcido deve ser usado como um artigo final ele próprio ou que deve ser usado como um artigo intermediário ou componente em um artigo subsequente diferente, é preferencial que o cabo torcido esteja livre de camadas condutoras de energia elétrica ao redor da pluralidade de fios compósitos.

A operação da presente descrição será adicionalmente descrita com relação aos exemplos detalhados a seguir. Estes exemplos são oferecidos para melhor ilustrar as diversas modalidades e técnicas específicas e preferenciais. Deve-se compreender, no entanto, que muitas variações e modificações podem ser feitas que estão dentro do escopo da presente descrição.

Exemplos

Exemplo 1

Para este exemplo, o material de partida consiste em um material de 3,7 m (12 pés) de comprimento cortado a partir de um carretel de cabo compósito de matriz de alumínio (AMC) ACCR de produção normal da 3M (tipo 795-T16, disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA). Esta construção compreende um núcleo contendo fios AMC (disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA) tendo um diâmetro de 2,13 mm (0,084 polegada), circundado por 26 fios metálicos Al-Zr (alumínio-zircônio) extraídos da haste Al-Zr (produzida pela Lamifil, Inc., Hemiksem, Bélgica) e tendo um diâmetro de 4,45 mm (0,175 polegada). A construção básica deste cabo é mostrada na figura 4B.

Para construir uma amostra de teste do cabo compósito de acordo com as modalidades da presente descrição, o comprimento inicial de 3,7 m (12 pés) do cabo de produção normal foi primeiramente desmontado cuidadosamente, para evitar a alteração do formato helicoidal existente dos fios Al-Zr, em seus fios constituintes. Em seguida, as duas camadas helicoidais do núcleo foram construídas no comprimento orientação de camada desejados com o uso de um acessório de tampo da mesa. Para cada camada, os fios foram primeiramente presos em uma extremidade a uma tampa com manivela manual e, em seguida, rosqueados através de uma placa de guia em formato de "roseta" para espalhar os fios compósitos individuais em uma disposição adequada para a torção. Em etapas de um quarto de volta, a manivela foi simultaneamente girada por um operador, enquanto outro operador movia o fio guia ao longo da mesa em intervalos de comprimento de camada de um quarto marcados.

Após a conclusão desta operação para a camada do núcleo interno, sua extremidade livre foi temporariamente envolta em fita para mantê-la no lugar e o processo foi repetido para a camada do núcleo externo. O núcleo com 19 fios torcidos foi então embalado com fita em tecido de fibra de vidro/laminado metálico 363 (disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN,

EUA) tendo tem uma espessura de 182,5 micrômetros (7,3 mils) e uma largura de 1,9 cm (¾ polegada) para resultar em um núcleo compósito com fita acabado.

Começando com o núcleo do fio compósito embalado em fita acabado, foi relativamente simples fazer novamente a torção dos fios Al-Zr no local, um por vez, dado seu formato helicoidal retido. Com cuidado, esses fios simplesmente voltaram para a posição, em seu comprimentos de camada originais e muito perto do diâmetro original total do cabo. Assim que o conjunto foi concluído, as extremidades da porção central de 3,1 m (10 pés) de comprimento foram presas com o uso da fita de filamento, e o material extra em cada extremidade foi aparado com o uso de uma serra circular abrasiva.

Usando-se o método acima, um total de 12 amostras experimentais foram preparadas em seis condições de torção cobrindo vários comprimentos de camadas e ângulos de camada e incluindo direção de camada à esquerda (designada como "L") e direção de camada à direita (designada como "R"), como resumido na tabela 1.

Tabela 1 - Cabo compósito torcido 10

Condição	Amostras	Construção do núcleo interno				Construção do núcleo externo					Ângulo transversal
		Direção de camada	Comprimento de camada	Comprimento de camada	Ângulo de camada	Direção de camada	Comprimento de camada	Comprimento de camada	Ângulo de camada	Comprimento relativo de camada	
			(pol)	(cm)	(grau)			(pol)	(cm)		(grau)
1	LLO-1, LLO-2	L	16,5	42	-1,84	R	27,4	27,4	70	1,00	4,05
2	LLO-3, LLO-4	L	70	178	-0,43	R	27,4	27,4	70	1,00	2,64
3	LLO-5, LLO-6	R	16,5	42	1,84	R	27,4	27,4	70	1,00	0,37
4	LLO-7, LLO-8	L	19,9	51	-1,52	R	33,2	33,2	84	1,21	3,35
5	LLO-9, LLO-10	L	25,0	64	-1,21	R	41,0	41,0	104	1,50	2,69
6	LLO-11, LLO-12	R	25,0	64	1,21	R	41,0	41,0	104	1,50	0,27

As seis condições de torção podem ser vistas em um design a grosso modo ortogonal no ângulo de camada do núcleo interno e no comprimento relativo de camada do núcleo externo, conforme descrito abaixo. Entretanto, conforme mostrado na coluna final da tabela acima, ambas as variáveis influenciam o ângulo transversal (isto é, a diferença relativa entre o ângulo de camadas das camadas internas e externas adjacentes do fio torcido de forma helicoidal) entre os fios do núcleo interno e externo, que pode ser importante para o mecanismo resultando em resistência à tração aprimorado do cabo compósito.

Para todos os cabos compósitos exemplificadores preparados, a camada do fio condutor interno Al-Zr tem uma direção de camada à esquerda a um comprimento de camada de alvo de 25,4 cm (10,0 polegadas), e a camada de fio condutor externa Al-Zr tem uma direção de camada à direita a um comprimento de camada alvo de 33,0 cm (13,0 polegadas). Os valores médios medidos para essas camadas diferem do alvo em 1,6 cm (0,65 polegada) ou menos, bem dentro das especificações de torção desejadas. Os diâmetros finais das amostras do cabo condutor situavam-se na faixa de 28,50 a 28,85 mm (1,122 polegada a 1,136 polegada), não muito distante do diâmetro original de 28,55 mm (1,124 polegada).

O teste de resistência à tração foi executado pela Wire Rope Industries (Pointe-Claire, Quebec, Canadá) sob um compromisso escrito de confidencialidade a 3M Company. Os métodos de preparação e teste de amostras usados foram similares aos realizados em 3M TM505, "Preparation of ACCR Samples Using Resin End Terminations" (disponível junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA). Um esboço deste método de teste é dado nos parágrafos a seguir.

Primeiramente, qualquer curvatura dentro de cerca de 0,6 m (2 pés) de uma extremidade da amostra do cabo foi removida através de cuidadosa "flexão para trás" do cabo em intervalos próximos. A um "comprimento final" especificado a partir dessa extremidade (tipicamente cerca de 25 cm (10 polegadas)), uma presilha de mangueira foi, então, aplicada para evitar qualquer perturbação dos fios dentro da amplitude do teste interno. Uma camada espessa de fita vedante foi então aplicada adjacente a esta presilha, para servir como uma vedação e um dispositivo de centralização na matriz de moldagem de resina. As extremidades dos fios Al-Zr foram então cuidadosamente estiradas ("varridas") em um formato cônico a um ângulo máximo de cerca de 30°, e a fita do núcleo exposta foi removida para permitir que os fios de núcleo se estirassem naturalmente. Se houve qualquer resíduo oleoso sobre os fios de operações anteriores, os fios foram limpos com o uso de acetona, 2-butanona ou um solvente similar, seguido de secagem completa. Se os fios já estavam limpos, esta etapa não foi necessária.

A extremidade do cabo preparada foi então posicionada dentro de um soquete de carcaça dividido. Note que este soquete tem um orifício afunilado, bem como orifícios projetados para posteriormente prendê-lo em uma máquina para testes de tração. As duas

metades da carcaça foram então presas juntas, capturando cerca de 2,5 cm (1 polegada) do envoltório de fita para formar uma vedação sem vazamento. Os fios Al-Zr foram então aparados a um nível acima da extremidade do soquete, mas os comprimentos completos dos fios de núcleo foram deixados intactos.

5 O soquete foi então montado verticalmente, com a amostra do cabo pendurada pelo fundo. Um lote recém preparado de "Wirelock" Socket Compound de duas partes (Millfield Enterprises Ltd., Newburn, Newcastle-upon-Tyne, Inglaterra) foi então despejado no soquete até preenchê-lo completamente. Assim que o compósito gelificou (cerca de 15 minutos), um tubo de extensão de papelão foi adicionado ao redor dos fios de núcleo
10 expostos. Então, mais compósito Wirelock foi preparado e o tubo de extensão também foi preenchido. Após a cura do conjunto, sem perturbação, por um mínimo de 45 minutos, todas as etapas foram então repetidas na outra extremidade da amostra de cabo. Outras 12 horas foram necessárias para a cura completa da resina antes do teste de tração.

A amostra de teste acabada foi então montada na máquina para testes de tração.
15 Esta máquina é capaz de atingir a carga de ruptura da amostra a uma taxa controlada, com o uso de uma velocidade cruzada especificada ou uma taxa de força especificada, e tinha uma célula de carga calibrada adequadamente. Cuidado foi tomado para assegurar que a amostra foi montada com os dois soquetes alinhados de perto ao longo do eixo da máquina para minimizar a flexão das cargas. As presilhas de mangueira foram removidas
20 da amostra e uma pré-tensão moderada foi aplicada, tipicamente 4,5 a 9,0 KN (500 a 1.000 lbs). O alinhamento da amostra foi verificado, e as extremidades do cabo foram balançadas para ajudar a liberar qualquer atrito ou ligação.

Todas as portas de segurança ao redor do recinto de teste foram fechadas e o teste de tração até o ponto de falha da amostra foi executado a uma taxa de carregamento
25 correspondente à verdadeira taxa de alongamento da amostra de 1% por minuto. A carga máxima foi anotada como a resistência à tração de cada amostra de teste. Observar que os resultados de teste podem ser invalidados se a falha da amostra ocorrer dentro do cone de resina ou se os fios foram separados dentro da resina, ou no caso de preparação inadequada da amostra ou de dano estranho à amostra. Neste caso, os resultados da
30 amostra não foram usados. Todos os resultados do teste de tração obtidos para os exemplos são organizados na tabela 2, abaixo. Observar que, para esta construção de cabo, a resistência à ruptura classificada especificada (RBS) é 14,134,9 Kg_r (31,134 lb_r).

Tabela 2 - Energia do cabo de transmissão de energia elétrica

Condição	Amostra	Ângulo de camada do núcleo interno	Comprimento de camada relativo	Ângulo transversal	Resistência à tração	Resistência à tração relativa
		(grau)		(grau)	(lb)	(% RBS)
1	LLO-1	-1,84	1,00	4,05	30600	98,3%

Condição	Amostra	Ângulo de camada do núcleo interno	Comprimento de camada relativo	Ângulo transversal	Resistência à tração	Resistência à tração relativa
1	LLO-2	-1,84	1,00	4,05	30400	97,6%
2	LLO-3	-0,43	1,00	2,64	32400	104,1%
2	LLO-4	-0,43	1,00	2,64	32200	103,4%
3	LLO-5	1,84	1,00	0,37	34100	109,5%
3	LLO-6	1,84	1,00	0,37	34200	109,8%
4	LLO-7	-1,52	1,21	3,35	31000	99,6%
4	LLO-8	-1,52	1,21	3,35	31300	100,5%
5	LLO-9	-1,21	1,50	2,69	32700	105,0%
5	LLO-10	-1,21	1,50	2,69	32900	105,7%
6	LLO-11	1,21	1,50	0,27	33100	106,3%
6	LLO-12	1,21	1,50	0,27	34000	109,2%

A figura 8 mostra uma plotagem do efeito da diferença relativa em ângulo de camada entre as camadas de fios interna e externa (ângulo de camada do núcleo interno), na resistência à tração medida para os cabos compósitos torcidos de forma helicoidal exemplificadores da presente descrição. Com o uso dos resultados para as condições 1, 2 e 3, a figura 8 mostra a resposta da resistência à tração às alterações no ângulo de camada do núcleo interno. A tendência é estatisticamente de alta significância e é descrita por um regulador quadrático com um coeficiente ajustado de determinação (R^2) de 0,994.

A figura 9 mostra uma plotagem do efeito da diferença relativa no comprimento de camada entre as camadas de fio externa e interna (comprimento relativo de camada externa e núcleo) sobre a resistência à tração medida para cabos compósitos torcidos exemplificadores de forma helicoidal da presente descrição. Novamente, a tendência é estatisticamente de alta significância e é descrita por um regulador quadrático com um coeficiente ajustado de determinação (R^2) de 0,975.

Há uma série de aspectos surpreendentes da figura 9. Primeiramente, o aumento observado na resistência à tração do cabo com um aumento de 50% no comprimento de camada relativo (7,4% RBS) é muito maior do que seria previsto pelos cálculos do alongamento de flexão circular-hélice. Consequentemente, o alongamento de flexão máximo seria reduzido de 0,00052 a 0,00022, traduzindo uma melhora de cerca de 4,5% na resistência à tração somente do núcleo compósito. Como o núcleo compósito suporta cerca de 60% da carga total do condutor na falha, isto preveria um aumento total na resistência do condutor de somente cerca de 2,6%. Além disso, os resultados da resistência à tração da Condição 6 (106,3% e 109,2% RBS) não são surpreendentemente os maiores de todos, mesmo assim, essa condição representa a combinação das melhores condições para o ângulo de camada de núcleo interno e comprimento de camada de núcleo externo.

Esses aspectos surpreendentes podem ser explicados pela plotagem de todos os resultados experimentais como uma função do ângulo vertical. A figura 10 mostra uma plotagem da diferença relativa entre os ângulos de camadas das camadas internas e externas (ângulo de camada transversal externo/interno) na resistência à tração medida para os cabos compósitos torcidos de forma helicoidal exemplificadores da presente descrição. Esta tendência é estatisticamente de alta significância e é descrita por um regulador quadrático com um coeficiente ajustado de determinação (R^2) de 0,904.

Conforme demonstrado por esses resultados, a resistência à tração de um cabo compósito ACCR com um núcleo de 19 fios pode ser substancialmente aumentada pela alteração da construção do núcleo de forma a minimizar o ângulo transversal entre os fios do núcleo interno e externo. Os comprimentos de camadas em geral mais longos do núcleo fornecem algum benefício, principalmente devido à diminuição do ângulo transversal associado. Entretanto, como apresentado por esta descrição, o método mais simples e eficaz de obter resistência à tração aumentada é reverter a orientação de camada das camadas de núcleo alternativas de modo que todas as camadas de núcleo tenham a mesma orientação.

A referência neste relatório descritivo a "uma modalidade", "certas modalidades", "uma ou mais modalidades" ou "uma modalidade", incluindo ou não o termo "exemplificadora" precedendo o termo "modalidade", significa que uma característica, estrutura, material, ou recurso particular descrito em conexão com a modalidade é incluída em pelo menos uma modalidade de certas modalidades exemplificadoras da presente descrição. Desta forma, o aparecimento de frases como "em uma ou mais modalidades", "em certas modalidades", "em uma modalidade" ou "em uma modalidade" em vários locais neste relatório descritivo não está referindo-se necessariamente à mesma modalidade de certas modalidades exemplificadoras da presente descrição. Além disso, as propriedades específicas, estruturas, materiais, ou características podem ser combinadas de qualquer maneira adequada em um ou mais modalidades.

Enquanto o relatório descritivo descreveu em detalhes certas modalidades exemplificadoras, será apreciado que os versados na técnica, com alcance e entendimento sobre o anteriormente mencionado, podem prontamente conceber alterações, variações e equivalentes destas modalidades. Consequentemente, deve-se compreender que esta invenção não está necessariamente limitada às modalidades ilustrativas apresentadas anteriormente neste documento. Em particular, para uso na presente invenção, a recitação de faixas numéricas por seus pontos de extremidade destina-se a incluir todos os números incluídos dentro desta faixa (por exemplo, 1 a 5 inclui 1, 1,5, 2, 2,75, 3, 3,80, 4 e 5). Além disso, assume-se que todos os números usados na presente invenção sejam modificados pelo termo 'cerca de'.

Além disso, todas as publicações e patentes aqui mencionadas estão aqui incorporadas a título de referência integralmente, na mesma extensão como se cada

publicação ou patente individual fosse específica e individualmente indicada como sendo incorporada por referência. Diversas modalidades exemplificadoras foram descritas. Essas e outras modalidades estão no escopo das reivindicações a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Cabo torcido (10, 10', 11, 11') compreendendo:

um fio único (1, 2) definindo um eixo longitudinal central (9);

uma primeira pluralidade de fios compósitos (4) torcidos ao redor do fio compósito

5 único (1,2) em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada (α) definido em relação ao eixo longitudinal central (9) e tendo um primeiro comprimento de camada (L); e

o referido cabo **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende uma segunda

pluralidade de fios compósitos (6) torcidos ao redor da primeira pluralidade de fios

10 compósitos (4) na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada (β) definido em relação ao eixo longitudinal central (9) e tendo um segundo comprimento de camada (L'), sendo que uma diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada (α) e o segundo ângulo de camada (β) não é maior que cerca de 4°.

2. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1,

15 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o fio único (1, 2) tem uma seção transversal tomada em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo longitudinal central (9), e sendo que um formato de seção transversal do fio único (1, 2) é circular ou elíptico, em que o fio único (1, 2) é um fio compósito (2).

3. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1,

20 **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada uma, da primeira pluralidade de fios compósitos (4) e da segunda pluralidade de fios compósitos (6), é torcida de forma helicoidal para ter um fator de camada de 10 a 150.

4. Cabo torcido (10', 11'), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO**

por compreender adicionalmente uma terceira pluralidade de fios compósitos (8) torcidos

25 ao redor da segunda pluralidade dos fios compósitos (6) na primeira direção de camada a um terceiro ângulo de camada (γ) definido em relação ao eixo longitudinal central (9) e tendo um terceiro comprimento de camada (L''), sendo que uma diferença relativa entre o segundo ângulo de camada (β) e o terceiro ângulo de camada (γ) não é maior que cerca de 4°.

5. Cabo torcido (10', 11'), de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO**

30 por compreender adicionalmente uma quarta pluralidade de fios compósitos torcidos ao redor da terceira pluralidade de fios compósitos (8) na primeira direção de camada a um quarto ângulo de camada definido em relação ao eixo longitudinal central (9) e tendo um quarto comprimento de camada, sendo que uma diferença relativa entre o terceiro ângulo

35 de camada (γ) e o quarto ângulo de camada não é maior que cerca de 4°.

6. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por compreender adicionalmente uma pluralidade de fios dúteis (28, 28', 28'') torcidos ao redor dos fios compósitos.

7. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que pelo menos uma porção da pluralidade de fios dúteis (28, 28', 28'') é torcida na primeira direção de camada.

8. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que pelo menos uma porção da pluralidade de fios dúteis (28, 28', 28'') é torcida em uma segunda direção de camada oposta à primeira direção de camada.

9. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a pluralidade dos fios dúteis (28, 28', 28'') é torcida ao redor do eixo longitudinal central (9) em uma pluralidade de camadas radiais circundando os fios compósitos (4, 6).

10. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada camada radial é torcida em uma direção de camada oposta àquela de uma camada radial adjacente.

11. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada (α) e o segundo ângulo de camada (β) não é maior que 3° .

12. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada (α) e o segundo ângulo de camada (β) não é maior que $0,5^\circ$.

13. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro comprimento de camada (L) é igual ao segundo comprimento de camada (L').

14. Cabo torcido (10, 10', 11, 11'), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro ângulo de camada (α) é igual ao segundo ângulo de camada (β).

15. Método de fabricação de cabo torcido (10, 10', 11, 11') conforme definido na reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por compreender:

torção de uma primeira pluralidade de fios compósitos (4) ao redor de um fio único (1,2) definindo um eixo longitudinal central (9), sendo que a torção da primeira pluralidade de fios compósitos (4) é executada em uma primeira direção de camada a um primeiro ângulo de camada (α) definido em relação ao eixo longitudinal central (9), e sendo que a primeira pluralidade de fios compósitos (4) tem um primeiro comprimento de camada (L); e

torção de uma segunda pluralidade de fios compósitos (6) ao redor da primeira pluralidade de fios compósitos (4), sendo que a torção da segunda pluralidade de fios compósitos (6) é executada na primeira direção de camada a um segundo ângulo de camada (β) definido em relação ao eixo longitudinal central (9), e sendo que a segunda

5 pluralidade de fios compósitos (6) tem um segundo comprimento de camada (L'),

sendo que, adicionalmente, uma diferença relativa entre o primeiro ângulo de camada (α) e o segundo ângulo de camada (β) não é maior que 4° .

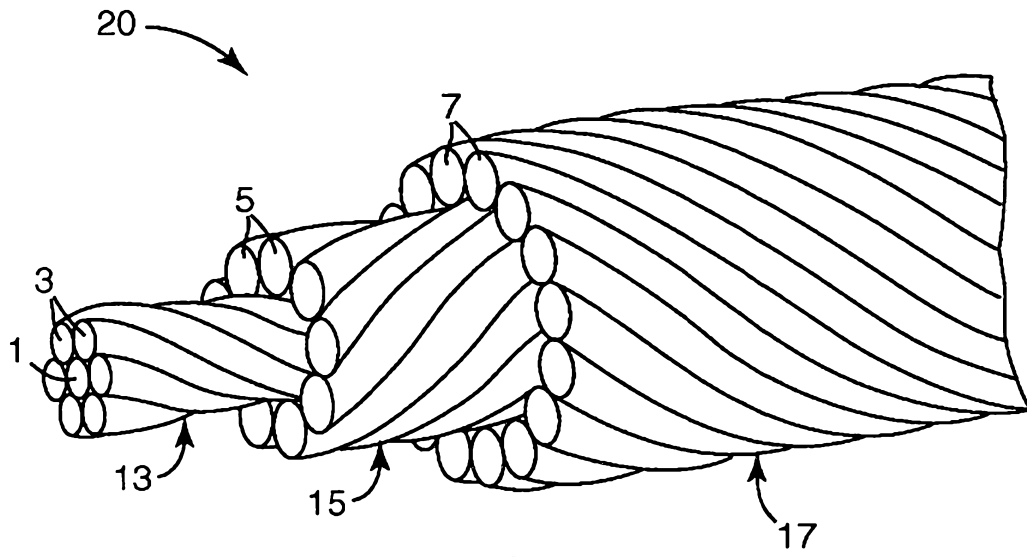


Fig. 1A

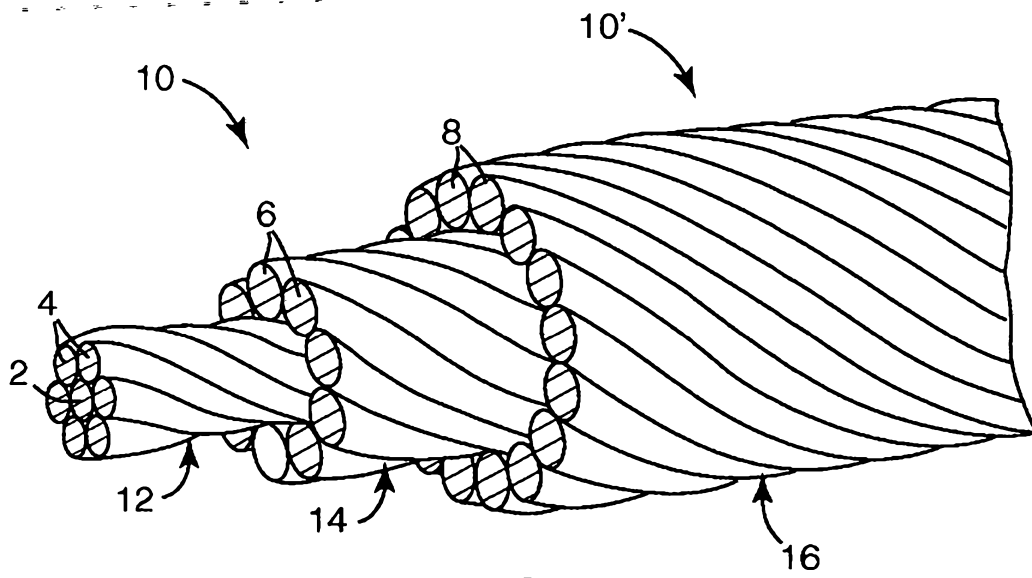


Fig. 1B

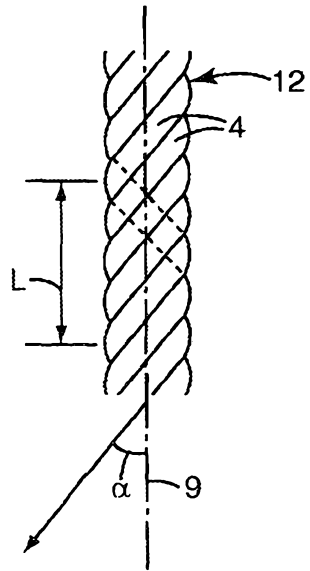


Fig. 2A

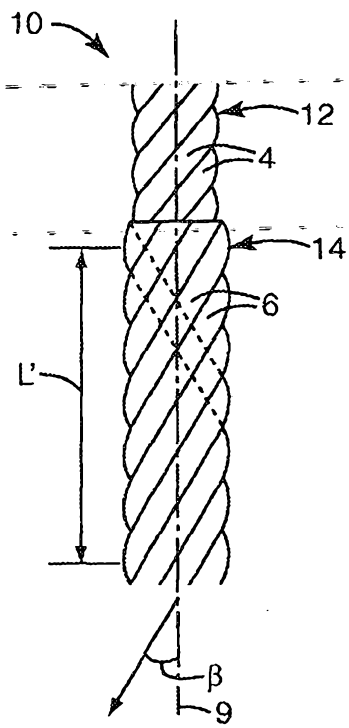


Fig. 2B

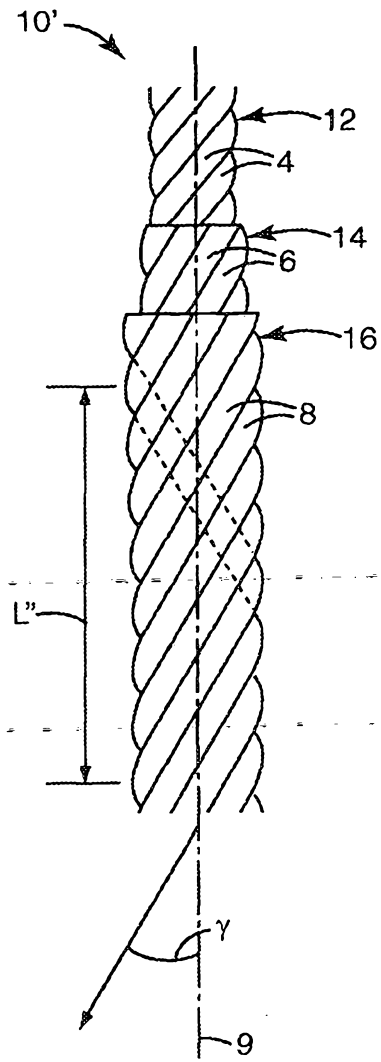


Fig. 2C

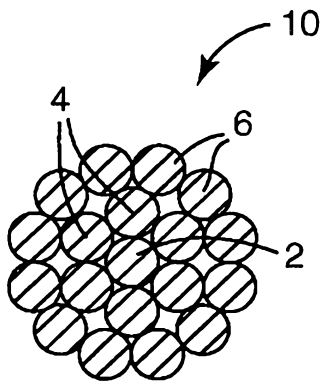


Fig. 3A

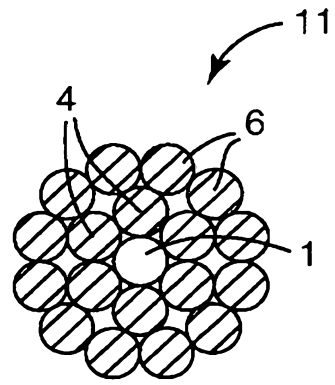


Fig. 3B

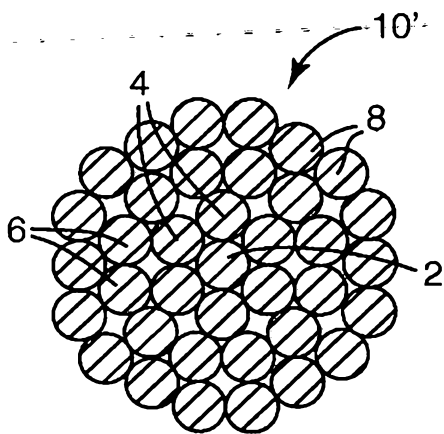


Fig. 3C

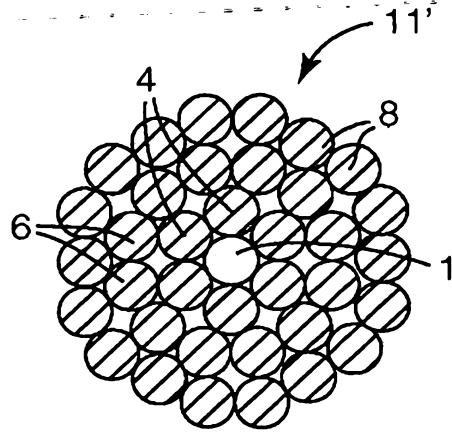
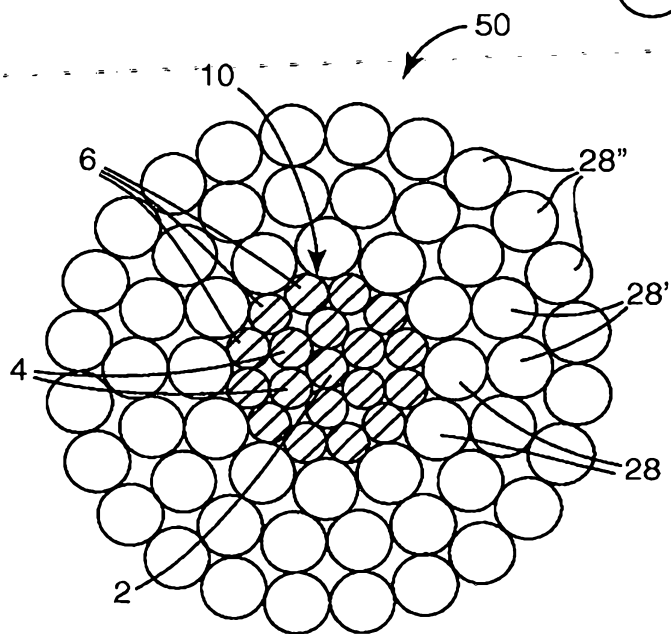
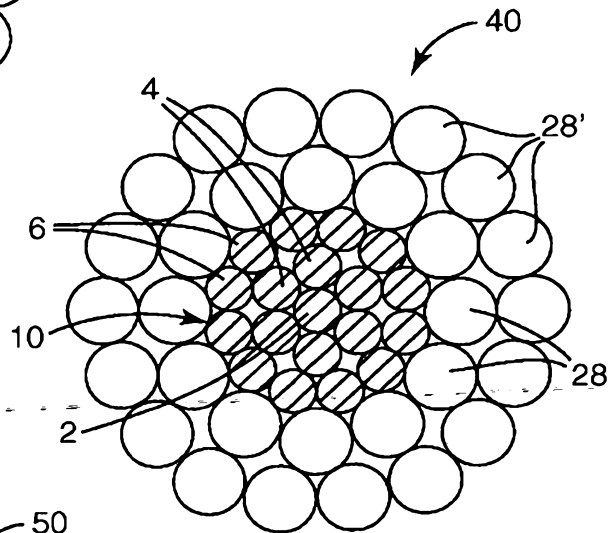
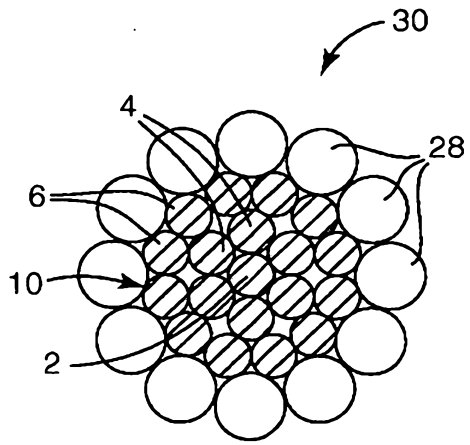


Fig. 3D



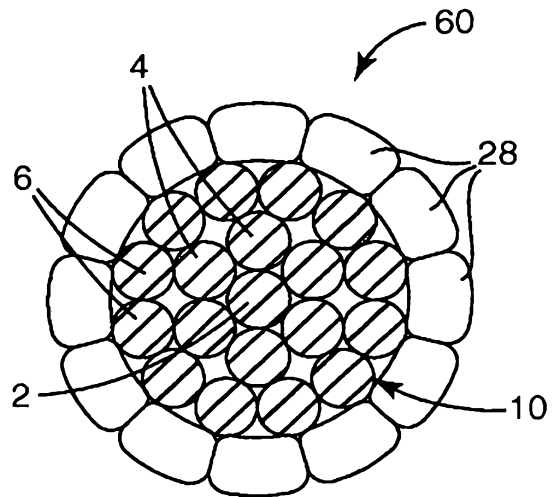


Fig. 4D

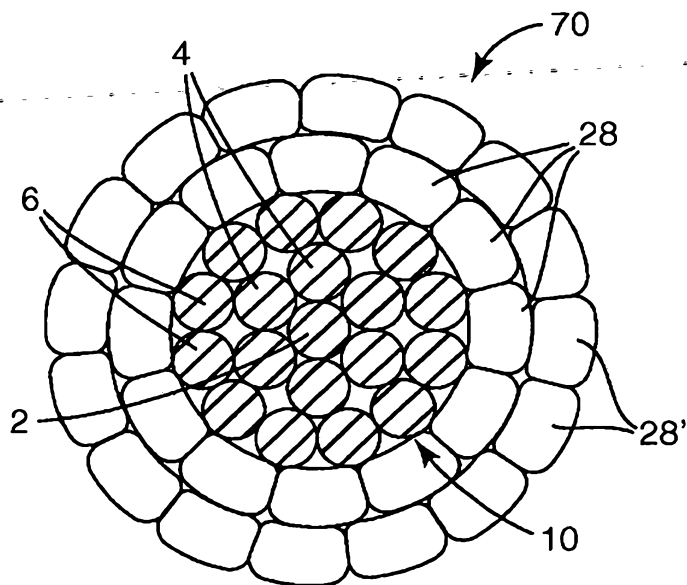


Fig. 4E

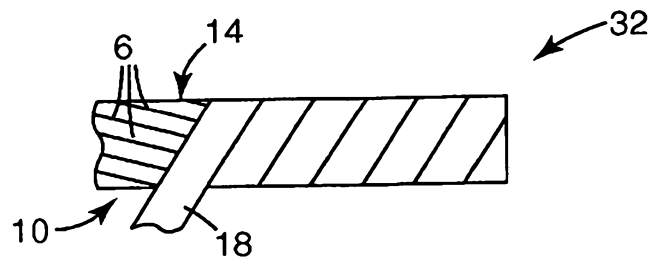


Fig. 5A

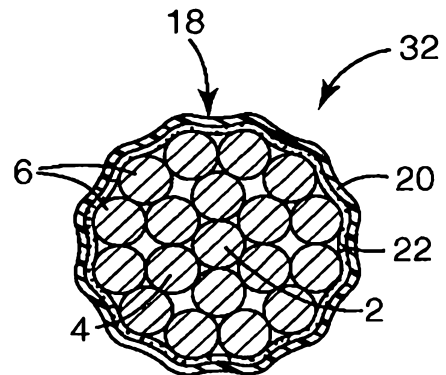


Fig. 5B

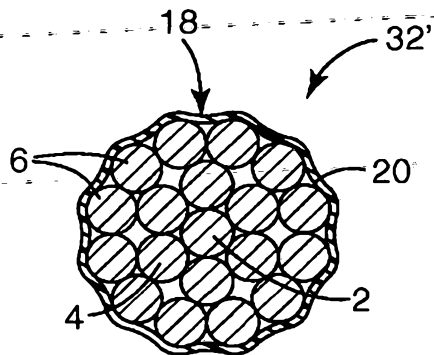


Fig. 5C

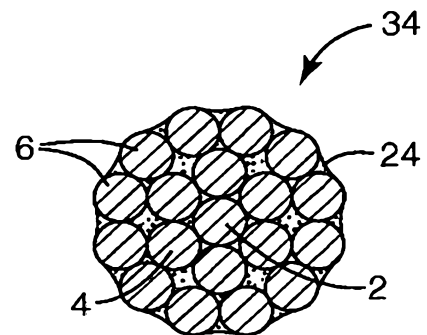


Fig. 5D

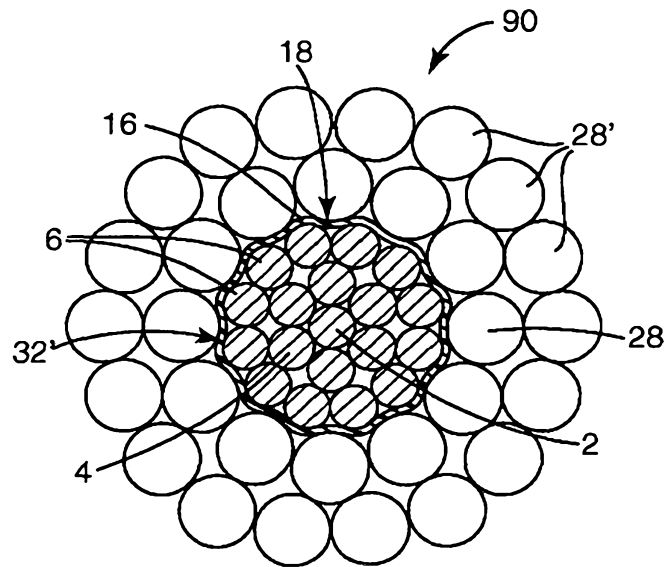


Fig. 7

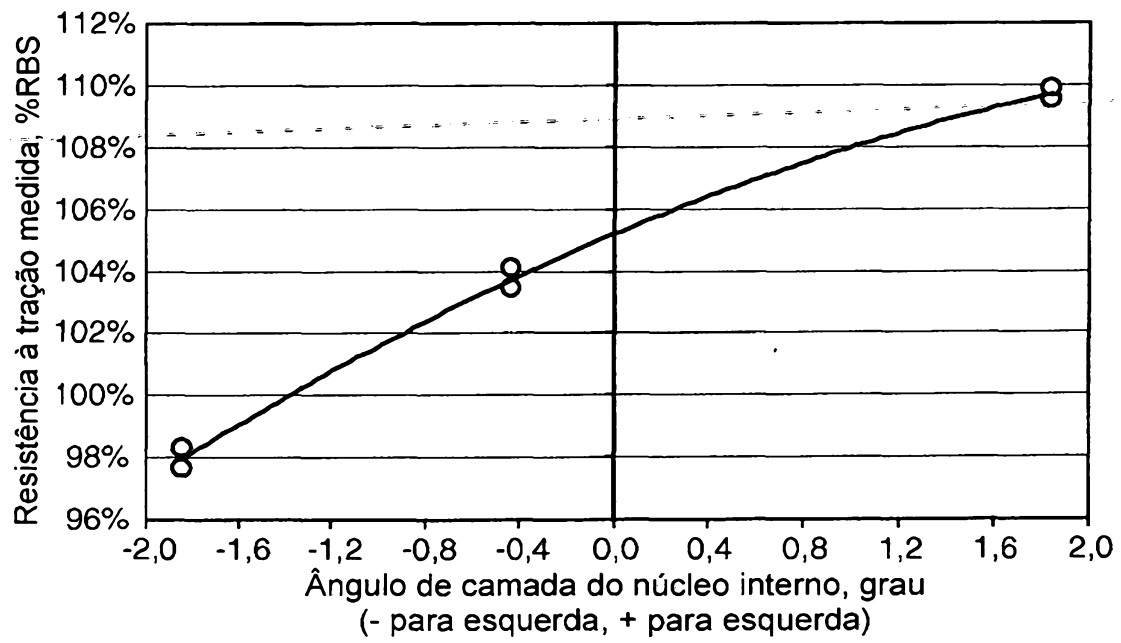


Fig. 8

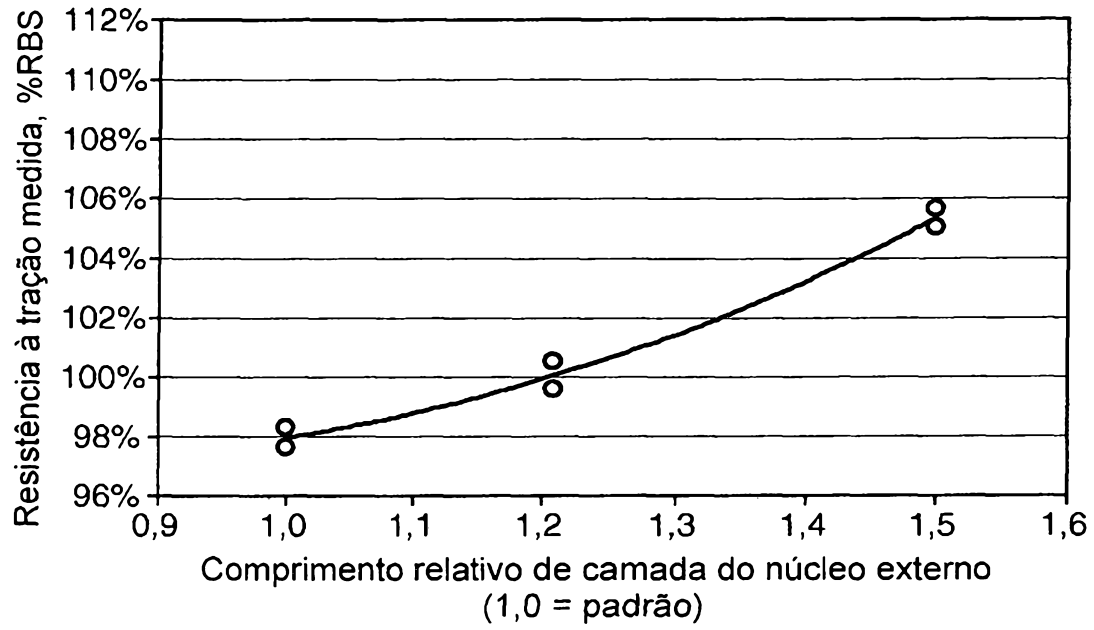


Fig. 9

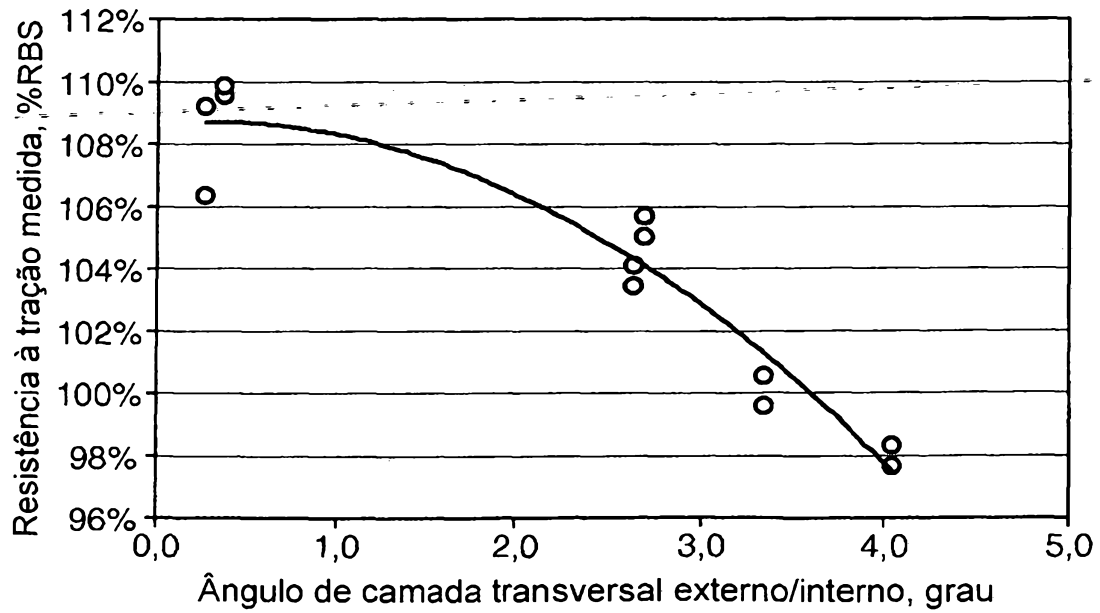


Fig. 10