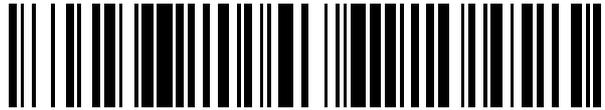


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 580 758**

51 Int. Cl.:

H01B 5/10 (2006.01)

D07B 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2009 E 09790358 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2321830**

54 Título: **Cable de material compuesto trenzado y método de fabricación del mismo y uso**

30 Prioridad:

15.08.2008 US 192436

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.08.2016

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY
(100.0%)**

**3M Center Post Office Box 33427
Saint Paul, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

GRETHER, MICHAEL, F.

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 580 758 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Cable de material compuesto trenzado y método de fabricación del mismo y uso

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere, en general, a cables trenzados y a su método de fabricación y uso. La divulgación se refiere adicionalmente a cables trenzados incluidos cables de material compuesto trenzados helicoidalmente y a su método de fabricación y uso. Dichos cables de material compuesto trenzados helicoidalmente son útiles en cables de transmisión de energía eléctrica y otras aplicaciones.

Antecedentes

El trenzado de cables es un proceso en el que se combinan cables individuales, típicamente en una disposición helicoidal, para producir un cable acabado. Véanse, por ejemplo, las US-5.171.942 y US-5.554.826. El cable o cabo de alambres trenzado resultante proporciona una flexibilidad mucho mayor de la que se dispondría a partir de una barra sólida de área de sección transversal equivalente. La disposición trenzada es también beneficiosa debido a que el cable trenzado helicoidalmente mantiene su forma de sección transversal global redonda cuando el cable se somete a curvado en el manejo, instalación y uso. Dichos cables trenzados helicoidalmente se usan en una variedad de aplicaciones tales como cables de elevación, cables de aeronaves y cables de transmisión de energía.

Los cables trenzados helicoidalmente se producen típicamente a partir de metales útiles tales como acero, aluminio o cobre. En algunos casos, tales como cables de transmisión de energía eléctrica aéreos no revestidos, un núcleo de alambres trenzados helicoidalmente se rodea por una capa conductora de alambres. El núcleo de alambres trenzados helicoidalmente podría comprender alambres de metal dúctil fabricados a partir de un primer material tal como acero, por ejemplo, y la capa exterior conductora de energía podría comprender alambres de un metal dúctil fabricado de otro material tal como aluminio, por ejemplo. En algunos casos, el núcleo de alambres trenzados helicoidalmente puede ser un cable pre-trenzado usado como materia prima en la fabricación de un cable de transmisión de energía eléctrica de diámetro mayor. Los cables trenzados helicoidalmente pueden comprender generalmente tan pocos como siete alambres individuales a construcciones más comunes que contienen 50 o más alambres.

La Figura 1A ilustra un cable de transmisión de energía eléctrica trenzado helicoidalmente de ejemplo, tal como se describe en US-5.554.826. El cable 20 de transmisión de energía eléctrica trenzado helicoidalmente ilustrado incluye un alambre 1 conductor metálico dúctil central, una primera capa 13 de alambres 3 conductores metálicos dúctiles (se muestran seis alambres) trenzados alrededor del alambre 1 conductor metálico dúctil central en una primera dirección de disposición (se muestra en el sentido de las agujas del reloj, correspondiente a una dirección de disposición a mano derecha), una segunda capa 15 de alambres 5 conductores metálicos dúctiles trenzados alrededor de la primera capa 13 en una segunda dirección de disposición opuesta a la primera dirección de disposición (se muestran en dirección contraria a las agujas del reloj, correspondiente a una dirección de disposición a mano izquierda), y una tercera capa 17 de alambres 7 de conductores metálicos dúctiles trenzados alrededor de la segunda capa 15 en una tercera dirección de disposición opuesta a la segunda dirección de disposición (se muestra en la dirección de las agujas del reloj, correspondiente a una dirección de disposición a mano derecha).

Durante el proceso de trenzado del cable, los alambres metálicos dúctiles se someten a tensiones más allá de la tensión de fluencia del material metálico pero por debajo de la tensión de fallo o de rotura. Esta tensión actúa deformando plásticamente el alambre metálico cuando se bobina helicoidalmente alrededor de un radio relativamente pequeño de la capa de alambres precedente o del alambre central. Se han introducido recientemente artículos de cables útiles hechos de materiales que son compuestos y por ello no pueden deformarse plásticamente con facilidad a una nueva forma. Ejemplos comunes de estos materiales incluyen compuestos reforzados con fibra que son atractivos debido a sus mejoradas propiedades mecánicas con relación a los metales pero que son principalmente elásticos en su respuesta a las tensiones de esfuerzos. Los cables de material compuesto que contienen alambres de polímero reforzado con fibra son conocidos en la técnica, tal como lo son los cables de material compuesto que contienen alambres metálicos reforzados con fibra cerámica, véanse, por ejemplo, las US- 6.559.385 y US-7.093.416; y la Solicitud PCT Publicada WO 97/00976.

Un uso de cables de material compuesto trenzados (por ejemplo, cables que contienen un compuesto de matriz de polímero o alambres de material compuesto de matriz metálica) es un elemento de refuerzo en cables de transmisión de energía eléctrica no revestidos. Aunque son conocidos los cables de transmisión de energía eléctrica que incluyen alambres de material compuesto de matriz de aluminio, para algunas aplicaciones hay un deseo continuado de obtener propiedades mejoradas. La técnica busca continuamente cables de material compuesto trenzados mejorados, y métodos mejorados de fabricación y uso de los cables de material compuesto trenzados.

El documento US-2008/081721 A1 desvela un cable trenzado según el preámbulo de la reivindicación 1.

Sumario

En algunas aplicaciones, es deseable mejorar adicionalmente la construcción de los cables de material compuesto trenzados y su método de fabricación. En ciertas aplicaciones, es deseable mejorar las propiedades físicas de los cables de material compuesto trenzados helicoidalmente, por ejemplo, su resistencia a la tracción y su alargamiento hasta rotura del cable. En algunas aplicaciones particulares, es deseable adicionalmente proporcionar un medio conveniente para mantener la disposición helicoidal de los alambres de material compuesto trenzados previamente a su incorporación a un artículo posterior tal como a un cable de transmisión de energía eléctrica. Dichos medios para mantenimiento de la disposición helicoidal no han sido necesarios en núcleos previos con núcleos metálicos dúctiles plásticamente deformables, o con alambres que pueden curarse o endurecerse después de disponerse helicoidalmente.

Ciertas realizaciones de la presente invención están dirigidas a cables de material compuesto trenzados y métodos de trenzar helicoidalmente capas de alambres de material compuesto en una dirección de disposición común que dé como resultado un incremento sorprendente en la resistencia a la tracción del cable de material compuesto cuando se compara con cables de material compuesto trenzados helicoidalmente que usan direcciones de trenzado alternadas entre cada capa de alambres de material compuesto. Dicho incremento sorprendente en la resistencia a la tracción no se ha observado para alambres dúctiles convencionales (por ejemplo, metal, u otro no compuesto) cuando se trenzan usando una dirección de disposición común. Adicionalmente, hay típicamente una baja motivación para el uso de una dirección de disposición común para las capas de alambres trenzados de un cable convencional de alambres dúctiles, debido a que los alambres dúctiles pueden deformarse plásticamente con facilidad, y dichos cables usan generalmente longitudes de disposición más cortas, para las que las direcciones de disposición alternadas pueden preferirse para el mantenimiento de la integridad del cable.

De ese modo, en un aspecto, la presente divulgación proporciona un cable de material compuesto trenzado mejorado. En realizaciones de ejemplo, el cable de material compuesto trenzado comprende un único alambre que define un eje longitudinal central, una primera pluralidad de alambres de material compuesto trenzados alrededor del alambre de material compuesto único en una primera dirección de disposición en un primer ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central y que tiene una primera longitud de disposición, y una segunda pluralidad de alambres de material compuesto trenzados alrededor de la primera pluralidad de alambres de material compuesto en la primera dirección de disposición en un segundo ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central y que tiene una segunda longitud de disposición, siendo la diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición y el segundo ángulo de disposición superior a 0° y no superior a aproximadamente 4° .

En una realización de ejemplo, el cable trenzado comprende adicionalmente una tercera pluralidad de alambres de material compuesto trenzados alrededor de la segunda pluralidad de alambres de material compuesto en la primera dirección de disposición en un tercer ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central y que tiene una tercera longitud de disposición, siendo la diferencia relativa entre el segundo ángulo de disposición y el tercer ángulo de disposición no superior a aproximadamente 4° . En otra realización de ejemplo, el cable trenzado comprende adicionalmente una cuarta pluralidad de alambres de material compuesto trenzados alrededor de la tercera pluralidad de alambres de material compuesto en la primera dirección de disposición en un cuarto ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central y que tiene una cuarta longitud de disposición, siendo la diferencia relativa entre el tercer ángulo de disposición y el cuarto ángulo de disposición no superior a aproximadamente 4° .

En realizaciones de ejemplo adicionales, el cable trenzado puede comprender adicionalmente alambres de material compuesto trenzados alrededor de la cuarta pluralidad de alambres de material compuesto en la primera dirección de disposición en un ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central, en donde los alambres de material compuesto tienen una longitud de disposición característica, y la diferencia relativa entre el cuarto ángulo de disposición y cualquier ángulo de disposición posterior no es superior a aproximadamente 4° .

En ciertas realizaciones de ejemplo, la diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición y el segundo ángulo de disposición, el segundo ángulo de disposición y el tercer ángulo de disposición, el tercer ángulo de disposición y el cuarto ángulo de disposición, y en general, cualquier ángulo de disposición de la capa inferior y el ángulo de disposición de la capa exterior adyacente, es no superior a 4° , más preferiblemente no superior a 3° , con máxima preferencia no superior a $0,5^\circ$. En algunas realizaciones, el primer ángulo de disposición es igual al segundo ángulo de disposición, el segundo ángulo de disposición es igual al tercer ángulo de disposición, el tercer ángulo de disposición es igual al cuarto ángulo de disposición, y en general, cualquier ángulo de disposición de la capa interior es igual al ángulo de disposición de la capa exterior adyacente.

En realizaciones adicionales, una o más de la primera longitud de disposición es menor que o igual a la segunda longitud de disposición, la segunda longitud de disposición es menor que o igual a la tercera longitud de disposición, la cuarta longitud de disposición es menor que o igual a una longitud de disposición inmediatamente posterior, y/o cada longitud de disposición sucesiva es menor que o igual a la longitud de disposición inmediatamente precedente. En otras realizaciones, una o más de la primera longitud de disposición es igual a la segunda longitud de disposición, la segunda longitud de disposición es igual a la tercera longitud de disposición, y la tercera longitud de disposición es igual a la cuarta longitud de disposición. En algunas realizaciones, puede ser preferido el uso de una disposición paralela, como es conocido en la técnica.

5 En un aspecto adicional, la presente divulgación proporciona realizaciones alternativas de un cable de transmisión de energía eléctrica trenzado que comprende un núcleo y una capa conductora alrededor del núcleo, en el que el núcleo comprende cualquiera de los cables de material compuesto trenzados descritos anteriormente. En algunas realizaciones de ejemplo, el cable trenzado comprende adicionalmente una pluralidad de alambres dúctiles trenzados alrededor de los alambres de material compuesto trenzados del núcleo de cable de material compuesto trenzado.

10 En ciertas realizaciones de ejemplo, la pluralidad de alambres dúctiles se trenza alrededor del eje longitudinal central en una pluralidad de capas radiales que rodean los alambres de material compuesto del núcleo de cable de material compuesto. En realizaciones de ejemplo adicionales, al menos una parte de la pluralidad de alambres dúctiles se trenza en una primera dirección de disposición en un ángulo de disposición relativo al eje longitudinal central, y con una primera longitud de disposición de alambres dúctiles. En otras realizaciones de ejemplo, al menos una parte de la pluralidad de alambres dúctiles se trenza en una segunda dirección de disposición en un ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central, y en una segunda longitud de disposición de alambres dúctiles.

15 En cualquiera de los aspectos anteriores de cables trenzados y sus realizaciones relacionadas, las siguientes realizaciones de ejemplo pueden emplearse ventajosamente. De ese modo, en una realización de ejemplo, el alambre único tiene una forma de sección transversal tomada en una dirección sustancialmente normal al eje longitudinal central que es circular o elíptica. En ciertas realizaciones de ejemplo, el alambre único es un alambre de material compuesto. En realizaciones de ejemplo adicionales, cada alambre de material compuesto y/o alambre dúctil tiene una sección transversal, en una dirección sustancialmente normal al eje longitudinal central, seleccionada de entre circular, elíptica, y trapezoidal.

20 En realizaciones de ejemplo adicionales, el cable trenzado comprende adicionalmente un medio de mantenimiento alrededor de al menos una de la primera pluralidad de alambres de material compuesto, la segunda pluralidad de alambres de material compuesto, la tercera pluralidad de alambres de material compuesto, o la cuarta pluralidad de alambres de material compuesto. En algunas realizaciones de ejemplo, el medio de mantenimiento comprende al menos uno de entre un aglutinante o una cinta. En ciertas realizaciones de ejemplo, la cinta comprende una cinta adhesiva envuelta alrededor de al menos una de entre la primera pluralidad de alambres de material compuesto o la segunda pluralidad de alambres de material compuesto. En ciertas realizaciones actualmente preferidas, la cinta adhesiva comprende un adhesivo sensible a la presión.

25 En un aspecto adicional, la divulgación proporciona un método de fabricación del cable trenzado tal como se ha descrito en los aspectos y realizaciones anteriores, que comprende el trenzado de una primera pluralidad de alambres de material compuesto alrededor de un único alambre que define un eje longitudinal central, en donde el trenzado de la primera pluralidad de alambres de material compuesto se lleva a cabo en una primera dirección de disposición en un primer ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central, en donde la primera pluralidad de alambres tiene una primera longitud de disposición; Y el trenzado de una segunda pluralidad de alambres de material compuesto alrededor de la primera pluralidad de alambres de material compuesto, en donde el trenzado de la segunda pluralidad de alambres de material compuesto se lleva a cabo en la primera dirección de disposición en un segundo ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central, y en donde la segunda pluralidad de alambres tiene una segunda longitud de disposición, adicionalmente en donde una diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición y el segundo ángulo de disposición es no superior a 4°. En una realización particular, el método comprende adicionalmente el trenzado de una pluralidad de alambres dúctiles alrededor de los alambres de material compuesto.

35 Realizaciones de ejemplo de cables de material compuesto trenzados según la presente divulgación tienen varios rasgos y características que permiten su uso y proporcionan ventajas en una variedad de aplicaciones. Por ejemplo, en algunas realizaciones de ejemplo, los cables de material compuesto trenzados según la presente divulgación pueden presentar una tendencia reducida a experimentar fracturas o fallos prematuros con valores bajos de tensiones de tracción durante la fabricación o uso, cuando se comparan con otros cables de material compuesto. Además, los cables de material compuesto trenzados según algunas realizaciones de ejemplo pueden presentar una resistencia a la corrosión mejorada, duración medioambiental (por ejemplo, resistencia a los UV y la humedad), resistencia a la pérdida de resistencia a temperaturas elevadas, límite de fluencia, así como un módulo de elasticidad relativamente altos, baja densidad, bajo coeficiente de expansión térmica, elevada conductividad eléctrica, elevada resistencia al pandeo, y elevada resistencia, en comparación con los cables convencionales de alambre metálico dúctil trenzado.

40 En algunas realizaciones de ejemplo, los cables de material compuesto trenzados fabricados según las realizaciones de la presente divulgación pueden presentar un incremento en la resistencia a la tracción del 10% o superior en comparación con cables de material compuesto de la técnica anterior. Los cables de material compuesto trenzados según ciertas realizaciones de la presente divulgación pueden fabricarse también con un coste de fabricación más bajo debido a un incremento en la productividad del proceso de trenzado del cable que cumple los requisitos mínimos de resistencia a la tracción para su uso en ciertas aplicaciones críticas, por ejemplo, el uso en aplicaciones de transmisión de energía eléctrica aérea.

45 Se han resumido varios aspectos y ventajas de las realizaciones de ejemplo de la divulgación. El sumario anterior no se pretende que describa cada realización ilustrada o cada implementación de las ciertas realizaciones de

ejemplo de la presente divulgación. Los dibujos y la descripción detallada que sigue ejemplifican más particularmente ciertas realizaciones preferidas que usan los principios desvelados en la presente memoria.

Breve descripción de los dibujos

5 Las realizaciones de ejemplo de la presente divulgación se describen adicionalmente con referencia a las figuras adjuntas, en donde:

10 La Fig. 1A es una vista en perspectiva de un cable de transmisión de energía eléctrica trenzado helicoidalmente de la técnica anterior.

La Fig. 1B es una vista en perspectiva de un cable de material compuesto trenzado helicoidalmente según realizaciones de ejemplo de la presente divulgación.

15 Las Figs. 2A-2C son vistas esquemáticas, superiores de capas de cables de material compuesto dispuestas según realizaciones ejemplares de la presente divulgación, ilustrando la dirección de disposición, ángulo de disposición y longitud de disposición para cada capa del cable.

20 Las Figs. 3A-3D son vistas desde el extremo de la sección transversal de varios cables de material compuesto trenzados helicoidalmente según realizaciones de ejemplo de la presente divulgación.

25 Las Figs. 4A-4E son vistas desde el extremo de la sección transversal de varios cables de material compuesto trenzados helicoidalmente que incluyen una o más capas que comprenden una pluralidad de alambres dúctiles trenzados alrededor de los alambres de material compuesto trenzados helicoidalmente según otras realizaciones de ejemplo de la presente divulgación.

30 La Fig. 5A es una vista lateral de un cable de material compuesto trenzado helicoidalmente que incluye medios de mantenimiento alrededor del núcleo de alambre de material compuesto trenzado según una realización de ejemplo adicional de la presente divulgación.

Las Figs. 5B-5D son vistas desde el extremo de la sección transversal de un cable de material compuesto trenzado helicoidalmente que incluye varios medios de mantenimiento alrededor del núcleo del alambre de material compuesto trenzado según otras realizaciones de ejemplo de la presente divulgación.

35 La Fig. 6 es una vista esquemática de un aparato de trenzado de ejemplo usado para fabricar el cable según realizaciones de ejemplo adicionales de la presente divulgación

40 La Fig. 7 es una vista desde el extremo de la sección transversal de un cable de material compuesto trenzado helicoidalmente que incluye un medio de mantenimiento alrededor del núcleo de alambre de material compuesto trenzado, y una o más capas que comprenden una pluralidad de alambres dúctiles trenzados alrededor del núcleo de cable de material compuesto trenzado según realizaciones de ejemplo adicionales de la presente divulgación.

45 La Fig. 8 es un trazado del efecto de la diferencia relativa en el ángulo de disposición entre las capas de alambres interior y exterior sobre la resistencia a la tracción medida para cables de material compuesto trenzados helicoidalmente de ejemplo de la presente divulgación.

50 La Fig. 9 es un trazado del efecto de la diferencia relativa en la longitud de disposición entre las capas de alambres interior y exterior sobre la resistencia a la tracción medida para cables de material compuesto trenzados helicoidalmente de ejemplo de la presente divulgación.

La Fig. 10 es un trazado del efecto del ángulo de cruce sobre la resistencia a la tracción medida para cables de material compuesto trenzados helicoidalmente de ejemplo de la presente divulgación.

55 Números de referencia iguales en los dibujos indican elementos iguales. Los dibujos en la presente memoria no están a escala, y en los dibujos, los componentes de los cables de material compuesto se dimensionan para remarcar las características seleccionadas.

Descripción detallada

60 Se usan ciertos términos a todo lo largo de la descripción y las reivindicaciones que, aunque en su mayor parte son bien conocidos, pueden requerir alguna explicación. Se entenderá que, en la presente memoria, cuando se hace referencia a un “alambre” como “quebradizo”, significa que el alambre se facturará bajo una carga de tracción con una mínima deformación plástica.

65 El término “dúctil” cuando se usa para hacer referencia a la deformación de un alambre, significa que el alambre se someterá sustancialmente a deformación plástica durante el doblado sin fractura o rotura.

La expresión “alambre de material compuesto” se refiere a un alambre formado a partir de una combinación de materiales que difieren en composición o forma que se unen juntos, y que presentan un comportamiento quebradizo o no dúctil.

5 La expresión “alambre de material compuesto de matriz metálica” se refiere a un alambre de material compuesto que comprende uno o más materiales de refuerzo unidos en una matriz que consiste en una o más fases de metal dúctil.

10 La expresión “alambre de material compuesto de matriz de polímero” se refiere de modo similar a un alambre de material compuesto que comprende uno o más materiales de refuerzo unidos en una matriz que consiste en una o más fases poliméricas.

15 El término “curvado” o “curvando” cuando se usa para referirse a la deformación de un alambre incluyen deformación por curvado bidimensional y/o tridimensional, tal como curvado del alambre helicoidalmente durante el trenzado. Cuando se hace referencia a que un alambre tiene deformación por curvado, esto no excluye la posibilidad de que el alambre también tenga deformación resultante de fuerzas de tracción y/o torsión.

20 Una deformación “significativa por curvado elástico” significa que tiene lugar una deformación por curvado cuando el alambre se curva hasta un radio de curvatura hasta 10.000 veces el radio del alambre. Tal como se aplica a un alambre de sección transversal circular, esta deformación significativa por curvado elástico impartiría una tensión en la fibra exterior del alambre de al menos el 0,01%

Los términos “cablear” y “trenzar” se usan de modo intercambiable, tal como lo son “cableado” y “trenzado”.

25 El término “disposición” describe la manera en la que los alambres en una capa trenzada de un cable trenzado helicoidalmente se bobinan en una hélice.

30 La expresión “dirección de disposición” se refiere a la dirección de trenzado de los hilos del alambre en una capa trenzada helicoidalmente. Para determinar la dirección de disposición de una capa trenzada helicoidalmente, un observador mira hacia la superficie de la capa de alambre trenzado helicoidalmente tal como el cable apunta separándose del observador. Si los hilos de alambre parecen girar en una dirección en el sentido de las agujas del reloj cuando los hilos progresan separándose del observador, entonces se hace referencia al cable como que tiene una “disposición a mano derecha”. Si los hilos de alambre parecen girar en una dirección contraria a las agujas del reloj cuando los hilos progresan separándose del observador, entonces se hace referencia al cable como que tiene una “disposición a mano izquierda”.

35 Las expresiones “eje central” y “eje longitudinal central” se usan de modo intercambiable para indicar un eje longitudinal común situado radialmente en el centro de un cable multicapa trenzado helicoidalmente.

40 La expresión “ángulo de disposición” se refiere al ángulo, formado por un alambre trenzado, con relación al eje longitudinal central de un cable trenzado helicoidalmente.

La expresión “ángulo de cruce” significa la diferencia relativa (absoluta) entre los ángulos de disposición en capas de alambres adyacentes de un cable de alambres trenzados helicoidalmente.

45 La expresión “longitud de disposición” se refiere a la longitud del cable trenzado en la que un único alambre en una capa trenzada helicoidalmente completa totalmente una revolución helicoidal alrededor del eje longitudinal central de un cable trenzado helicoidalmente.

El término “cerámico” significa vidrio, cerámica cristalina, vidrio-cerámica, y combinaciones de los mismos.

50 El término “policristalino” significa un material que tiene predominantemente una pluralidad de granos cristalinos en el que el tamaño de grano es menor que el diámetro de la fibra en la que están presentes los granos.

55 La expresión “fibra continua” significa una fibra que tiene una longitud que es relativamente infinita cuando se compara con el diámetro medio de la fibra. Típicamente, esto significa que la fibra tiene una relación de aspecto (es decir, relación de la longitud de la fibra al diámetro medio de la fibra) de al menos 1×10^5 (en algunas realizaciones, al menos 1×10^6 , o incluso al menos 1×10^7). Típicamente, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos aproximadamente 15 cm a al menos varios metros, y pueden tener incluso longitudes del orden de kilómetros o más.

60 La presente divulgación proporciona un cable trenzado que incluye una pluralidad de alambres de material compuesto trenzados. Los alambres de material compuesto pueden ser quebradizos y no dúctiles, y por ello pueden no deformarse suficientemente durante los procesos de trenzado del cable convencional de tal manera que mantengan su disposición helicoidal sin rotura de los alambres. Por lo tanto, la presente divulgación proporciona, en ciertas realizaciones, un cable de material compuesto trenzado de resistencia a la tracción más alta, y adicionalmente, proporciona, en algunas realizaciones, un medio para mantenimiento de la disposición helicoidal de los alambres en el cable trenzado. En esta forma, el cable trenzado puede proporcionarse convenientemente como un artículo intermedio o como un artículo final. Cuando se usa como un artículo intermedio, el cable de material

65

compuesto trenzado puede incorporarse posteriormente a un artículo final tal como un cable de transmisión de energía eléctrica, por ejemplo, un cable de transmisión de energía eléctrica aéreo.

5 Se describirán ahora varias realizaciones de ejemplo de la divulgación con referencia particular a los dibujos. Las realizaciones de ejemplo de la presente divulgación pueden recoger varias modificaciones y alteraciones sin apartarse del espíritu y alcance de la divulgación. En consecuencia, se ha de entender que las realizaciones de la presente divulgación no han de estar limitadas a las realizaciones de ejemplo descritas a continuación, sino que han de ser controladas por las limitaciones expuestas en las reivindicaciones y cualesquiera equivalentes de las mismas.

10 Por ello en un aspecto, la presente divulgación proporciona un cable de material compuesto trenzado. En referencia a los dibujos, la Fig. 1B ilustra una vista en perspectiva de un cable 10 de material compuesto trenzado según una realización de ejemplo de la presente divulgación. Tal como se ha ilustrado, el cable 10 de material compuesto trenzado helicoidalmente incluye un único alambre 2 que define un eje longitudinal central, una primera capa 12 que comprende una primera pluralidad de alambres 4 de material compuesto trenzados alrededor del único alambre 2 de material compuesto en una primera dirección de disposición (se muestra en el sentido de las agujas del reloj, correspondiente a una disposición a mano derecha), y una segunda capa 14 que comprende una segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto trenzados alrededor de la primera pluralidad de alambres 4 de material compuesto en la primera dirección de disposición.

20 Opcionalmente, puede trenzarse una tercera capa 16 que comprende una tercera pluralidad de alambres 8 de material compuesto alrededor de la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto en la primera dirección de disposición para formar el cable 10' de material compuesto. Opcionalmente, puede trenzarse una cuarta capa (no mostrada) o incluso más capas adicionales de alambres de material compuesto alrededor de la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto en la primera dirección de disposición para formar un cable 10' de material compuesto. Opcionalmente, el único alambre 2 es un alambre de material compuesto tal como se muestra en la Fig. 1B, aunque en otras realizaciones, el único alambre 2 puede ser un alambre dúctil, por ejemplo un alambre 1 metálico dúctil tal como se muestra en la Fig. 1A.

30 En realizaciones de ejemplo de la de divulgación, dos o más capas trenzadas (por ejemplo 12, 14 y 16) de alambres de material compuesto (por ejemplo 4, 6 y 8) pueden bobinarse helicoidalmente alrededor de un único alambre central 2 que define un eje longitudinal central, siempre que cada capa sucesiva de alambres de material compuesto se bobine en la misma dirección de disposición que cada capa precedente de alambres de material compuesto. Adicionalmente, se entenderá que aunque se ilustra en la Fig. 1B una disposición a mano derecha para cada capa (12, 14 y 16), puede usarse alternativamente una disposición a mano izquierda para cada capa (12, 14 y 16).

35 Con referencia a la Fig. 1B y las Figs. 2A-2C, en realizaciones de ejemplo adicionales, el cable de material compuesto trenzado comprende un único alambre 2 que define un eje 9 longitudinal central, una primera pluralidad de alambres 4 de material compuesto trenzados alrededor del único alambre 2 de material compuesto en una primera dirección de disposición en un primer ángulo α de disposición definido con relación al eje 9 longitudinal central y que tiene una primera longitud de disposición L (Fig. 2A), y una segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto trenzados alrededor de la primera pluralidad de alambres 4 de material compuesto en la primera dirección de disposición en un segundo ángulo de disposición β definido con relación al eje 9 longitudinal central y que tiene una segunda longitud de disposición L' (Fig. 2B).

45 En realizaciones de ejemplo adicionales, el cable trenzado comprende opcionalmente además una tercera pluralidad de alambres 8 de material compuesto trenzados alrededor de la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto en la primera dirección de disposición en un tercer ángulo de disposición γ definido con relación al eje 9 longitudinal central y que tiene una tercera longitud de disposición L'' (Fig. 2C), siendo la diferencia relativa entre el segundo ángulo de disposición β y el tercer ángulo de disposición γ no superior a aproximadamente 4°.

50 En realizaciones de ejemplo adicionales (no mostradas), el cable trenzado puede comprender adicionalmente (por ejemplo, posteriormente) capas (por ejemplo, una cuarta, quinta, u otra capa posterior) de alambres de material compuesto trenzados alrededor de la tercera pluralidad de alambres 8 de material compuesto en la primera dirección de disposición en un ángulo de disposición (no mostrado en las figuras) definido con relación al eje longitudinal 9 común, en el que los alambres de material compuesto en cada capa tienen una longitud de disposición característica (no mostrada en las figuras), siendo la diferencia relativa entre el tercer ángulo de disposición γ y el cuarto o posteriores ángulos de disposición no superior a aproximadamente 4°. Realizaciones en las que se emplean cuatro o más capas de alambres de material compuesto trenzados hacen uso preferiblemente de alambres de material compuesto que tienen un diámetro de 0,5 mm o menor.

60 En algunas realizaciones de ejemplo, la diferencia relativa (absoluta) entre el primer ángulo de disposición α y el segundo ángulo de disposición β no es superior a aproximadamente 4°. En ciertas realizaciones de ejemplo, la diferencia relativa (absoluta) entre uno o más de entre el primer ángulo de disposición α y el segundo ángulo de disposición β , el segundo ángulo de disposición β y el tercer ángulo de disposición γ , no es superior a 4°, no superior a 3°, no superior a 2°, no superior a 1°, o no superior a 0,5°. En ciertas realizaciones de ejemplo, uno o más del primer ángulo de disposición es igual al segundo ángulo de disposición, el segundo ángulo de disposición es igual al tercer ángulo de disposición, y/o cada ángulo de disposición sucesivo es igual al ángulo de disposición inmediatamente precedente.

En realizaciones adicionales, una o más de la primera longitud de disposición es menor que o igual a la segunda longitud de disposición, la segunda longitud de disposición es menor que o igual a la tercera longitud de disposición, la cuarta longitud de disposición es menor que o igual a una longitud de disposición inmediatamente posterior, y/o cada longitud de disposición sucesiva es menor que o igual a la longitud de disposición inmediatamente precedente. En otras realizaciones, una o más de la primera longitud de disposición es igual a la segunda longitud de disposición, la segunda longitud de disposición es igual a la tercera longitud de disposición, y/o cada longitud de disposición sucesiva es igual a la longitud de disposición inmediatamente precedente. En algunas realizaciones, puede preferirse el uso de una disposición paralela, como es conocido en la técnica.

Varias realizaciones de cable de material compuesto trenzado (10, 11, 10', 11') se ilustran mediante vistas en sección transversal en las Figs. 3A, 3B, 3C y 3D, respectivamente. En cada una de las realizaciones ilustradas de las Figs. 3 A-3D, se entiende que los alambres de material compuesto (4, 6 y 8) se trenzan alrededor de un único alambre (2 en las Figs. 3A y 3C; 1 en las Figs. 3B y 3D) que define un eje longitudinal central (no mostrado), en una dirección de disposición (no mostrada) que es la misma para cada capa correspondiente (12, 14 y 16 tal como se muestra en la Fig. 1B) de alambres de material compuesto (4, 6, y 8). Dicha dirección de disposición puede ser en el sentido de las agujas del reloj (disposición a mano derecha tal como se muestra en la Fig. 1B) o contraria a las agujas del reloj (disposición a mano izquierda, no mostrada).

Aunque las Figs. 3A y 3C muestran un único alambre 2 de material compuesto central que define un eje longitudinal central (no mostrado), se entiende adicionalmente que el único alambre 2 puede ser un alambre 1 metálico dúctil, tal como se muestra en las Figs. 3B y 3D. Se entiende adicionalmente que cada capa de alambres de material compuesto presenta una longitud de disposición (no mostrada en las Figs. 3A-3D), y que la longitud de disposición de cada capa de alambres de material compuesto puede ser diferente, o preferiblemente, la misma longitud de disposición.

Adicionalmente, se entiende que en algunas realizaciones de ejemplo, cada uno de los alambres de material compuesto tiene una forma de sección transversal, en una dirección sustancialmente normal al eje longitudinal central, generalmente circular, elíptica, o trapezoidal. En ciertas realizaciones de ejemplo, cada uno de los alambres de material compuesto tiene una forma de sección transversal que es generalmente circular, y el diámetro de cada alambre de material compuesto es al menos aproximadamente de 0,1 mm, más preferiblemente al menos de 0,5 mm; aún más preferiblemente al menos 1 mm, aún más preferiblemente al menos 2 mm, con máxima preferencia al menos 3 mm; y como mucho aproximadamente 15 mm, más preferiblemente como mucho 10 mm, aún más preferiblemente como mucho 5 mm, aún más preferiblemente con mucho 4 mm, con máxima preferencia como mucho 3 mm. En otras realizaciones de ejemplo, el diámetro de cada alambre de material compuesto puede ser menor de 1 mm, o superior a 5 mm.

Típicamente el diámetro medio del único alambre central, que tiene una forma de sección transversal generalmente circular, está en un intervalo de desde aproximadamente 0,1 mm a aproximadamente 15 mm. En algunas realizaciones, el diámetro medio del único alambre central es deseablemente al menos aproximadamente 0,1 mm, al menos 0,5 mm, al menos 1 mm, al menos 2 mm, al menos 3 mm, al menos 4 mm, o incluso hasta aproximadamente 5 mm. En otras realizaciones, el diámetro medio del único alambre central es menor de aproximadamente 0,5 mm, menor de 1 mm, menor de 3 mm, menor de 5 mm, menor de 10 mm, o menor de 15 mm.

En realizaciones de ejemplo adicionales no ilustradas por las Figs. 3A-3D, el cable de material compuesto trenzado puede incluir más de tres capas trenzadas de alambres de material compuesto alrededor del alambre único que define un eje longitudinal central. En ciertas realizaciones de ejemplo, cada uno de los alambres de material compuesto en cada capa del cable de material compuesto puede ser de la misma construcción y forma; sin embargo, esto no se requiere para conseguir los beneficios descritos en la presente memoria.

En un aspecto adicional, la presente divulgación proporciona varias realizaciones de un cable de transmisión de energía eléctrica trenzado que comprende un núcleo de material compuesto y una capa conductora alrededor del núcleo de material compuesto, y en el que el núcleo de material compuesto comprende cualquiera de los cables de material compuesto trenzados descritos anteriormente. En algunas realizaciones, el cable de transmisión de energía eléctrica puede ser útil como un cable de transmisión de energía eléctrica aéreo, o un cable de transmisión de energía eléctrica subterráneo. En ciertas realizaciones de ejemplo, la capa conductora comprende una capa metálica que contacta sustancialmente con toda la superficie del núcleo de cable de material compuesto. En otras realizaciones de ejemplo, la capa conductora comprende una pluralidad de alambres conductores metálicos dúctiles trenzados alrededor del núcleo de cable de material compuesto.

Las Figs. 4A-4E ilustran realizaciones de ejemplo de cables trenzados (30, 40, 50, 60 o 70, correspondientes a las Figs. 4A, 4B, 4C, 4D y 4E) en las que se trenzan helicoidalmente una o más capas adicionales de alambres dúctiles (por ejemplo 28, 28', 28''), por ejemplo, alambres conductores de metal dúctil, alrededor del núcleo 10 de cable de material compuesto de la Fig. 3 A. Se entenderá, sin embargo, que la divulgación no está limitada a estas realizaciones de ejemplo, y que otras realizaciones, que usen otros núcleos de cable de material compuesto (por ejemplo, los cables de material compuesto 11, 10', y 11' de las Figs. 3B, 3C y 3D, respectivamente), están dentro del alcance de la presente divulgación.

Por ello, en la realización particular ilustrada por la Fig. 4A, el cable trenzado 30 comprende una primera pluralidad de alambres dúctiles 28 trenzados alrededor del cable de material compuesto trenzado 10 mostrado en las Figs. 1B, 2A-2B, y 3A. En una realización adicional ilustrada por la Fig. 4B, el cable trenzado 40 comprende una segunda pluralidad de alambres dúctiles 28' trenzados alrededor de la primera pluralidad de alambres dúctiles 28 del cable trenzado 30 de la Fig. 4A. En una realización adicional ilustrada por la Fig. 4C, el cable trenzado 50 comprende una tercera pluralidad de alambres dúctiles 28'' trenzados alrededor de la segunda pluralidad de alambres dúctiles 28' del cable trenzado 40 de la Fig. 4B.

En la realización particular ilustrada por las Figs. 4A-4C, los cables trenzados respectivos (30, 40 o 50) tienen un núcleo que comprende un cable 10 de material compuesto trenzado de la Fig. 3A, que incluye un único alambre 2 que define un eje 9 longitudinal central (Fig. 2C), una primera capa 12 que comprende una primera pluralidad de alambres 4 de material compuesto trenzados alrededor del único alambre 2 de material compuesto en una primera dirección de disposición, una segunda capa 14 que comprende una segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto trenzados alrededor de la primera pluralidad de alambres 4 de material compuesto en la primera dirección de disposición. En ciertas realizaciones de ejemplo, la primera pluralidad de alambres dúctiles 28 se trenza en una dirección de disposición opuesta a la de una capa radial adjunta, por ejemplo, la segunda capa 14 que comprende la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto.

En otras realizaciones de ejemplo, la primera pluralidad de alambres dúctiles 28 se trenza en una dirección de disposición igual a la de una capa radial adjunta, por ejemplo, la segunda capa 14 que comprende la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto. En realizaciones de ejemplo adicionales, al menos una de entre la primera pluralidad de alambres dúctiles 28, la segunda pluralidad de alambres dúctiles 28', o la tercera pluralidad de alambres dúctiles 28'', se trenza en una dirección de disposición opuesta a la de una capa radial adjunta, por ejemplo, la segunda capa 14 que comprende la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto.

En realizaciones de ejemplo adicionales, cada alambre dúctil (28, 28', o 28'') tiene una forma de sección transversal, en una dirección sustancialmente normal al eje longitudinal central, seleccionada de entre circular, elíptica, o trapezoidal. Las Figs. 4A-4C ilustran realizaciones en donde cada alambre dúctil (28, 28', o 28'') tiene una forma de sección transversal, en una dirección sustancialmente normal al eje longitudinal central, que es sustancialmente circular. En la realización particular ilustrada por la Fig. 4D, el cable trenzado 60 comprende una primera pluralidad de alambres 28 dúctiles con forma generalmente trapezoidal trenzados alrededor del cable 10 de material compuesto trenzado mostrado en las Figs. 1B, 2A-2B. En una realización adicional ilustrada por la Fig. 4E, el cable trenzado 70 comprende adicionalmente una segunda pluralidad de alambres 28' dúctiles con forma generalmente trapezoidal trenzados alrededor del cable trenzado 60 de la Fig. 4D.

En realizaciones de ejemplo adicionales, algunos o todos de los alambres dúctiles (28, 28', o 28'') pueden tener una forma de sección transversal, en una dirección sustancialmente normal al eje longitudinal central, que tiene forma de "Z" o "S" (no mostrados). Los alambres de dichas formas son conocidos en la técnica, y pueden ser deseables, por ejemplo, para formar una capa exterior de entrelazado del cable.

En realizaciones adicionales, los alambres dúctiles (28, 28', o 28'') comprenden al menos un metal seleccionado del grupo que consiste en cobre, aluminio, hierro, cinc, cobalto, níquel, cromo, titanio, tungsteno, vanadio, circonio, manganeso, silicio, aleaciones de los mismos, y combinaciones de los mismas.

Los cables de material compuesto trenzados pueden usarse como artículos intermedios que se incorporan posteriormente en artículos finales, por ejemplo, cables de tracción, cables de elevación, cables de transmisión de energía eléctrica aéreos, y similares, mediante el trenzado de una multiplicidad de alambres dúctiles alrededor de un núcleo que comprende alambres de material compuesto, por ejemplo, los cables de material compuesto trenzados helicoidalmente descritos previamente, u otros cables de material compuesto trenzados. Por ejemplo, el núcleo puede estar hecho mediante el trenzado (por ejemplo, bobinado helicoidalmente) de dos o más capas de alambres (4, 6, 8) de material compuesto alrededor de un único alambre central (2) tal como se ha descrito anteriormente usando técnicas conocidas en la técnica. Típicamente, dichos núcleos de cable de material compuesto trenzado helicoidalmente tienden a comprender tan pocos como 19 alambres individuales hasta 50 o más alambres.

Para núcleos de material compuesto de una pluralidad de alambres (2, 4, 6) de material compuesto, es deseable, en algunas realizaciones, mantener los alambres de material compuesto (por ejemplo, al menos la segunda pluralidad de alambres 6 de material compuesto en la segunda capa 14 de las Figs. 5A-5D) juntos durante o después del trenzado usando un medio de sujeción, por ejemplo, una cinta sobre-envuelta, con o sin adhesivo, o un aglutinante (véase, por ejemplo, la US-6.559.385 B1 [Johnson et al.]). Las Figs. 5A-5C ilustran varias realizaciones que usan un medio de sujeción en la forma de una cinta 18 para mantener los alambres de material compuesto juntos después del trenzado.

La Figura 5A es una vista lateral del cable trenzado 10 (Figs. 1B, 2A-2B, y 3A), con un medio de sujeción de ejemplo que comprende una cinta 18 aplicada parcialmente al cable 10 de material compuesto trenzado alrededor de los alambres (2, 4, 6) de material compuesto. Tal como se muestra en la Fig. 5B, la cinta 18 puede comprender un soporte 20 con una capa 22 de adhesivo. Alternativamente, tal como se muestra en la Fig. 5C, la cinta 18 puede comprender solo un soporte 20, sin un adhesivo.

En ciertas realizaciones de ejemplo, la cinta 18 puede envolverse de modo que cada envoltura sucesiva hace tope con la envoltura previa sin un hueco y sin solape, tal como se ha ilustrado en la Fig. 5A. Alternativamente, en algunas realizaciones, las envolturas sucesivas pueden separarse de modo que dejen hueco entre cada envoltura o de modo que solapen la envoltura previa. En una realización preferida, la cinta 18 se mueve de modo que cada envoltura se solape con la envoltura precedente en aproximadamente 1/3 a 1/2 del ancho de la cinta.

La Fig. 5B es una vista desde el extremo del cable trenzado de la Fig. 5A en la que el medio de sujeción es una cinta 18 que comprende un soporte 20 con un adhesivo 22. En esta realización de ejemplo, los adhesivos adecuados incluyen, por ejemplo, adhesivos basados en (co)polímero de (met)acrilato, adhesivos de poli(α-olefina), adhesivos basados en copolímeros en bloque, adhesivos basados en goma natural, adhesivos basados en silicona, y adhesivos de fusión en caliente. Pueden preferirse en ciertas realizaciones adhesivos sensibles a la presión.

En realizaciones de ejemplo adicionales, los materiales adecuados para la cinta 18 o el refuerzo 20 incluyen láminas metálicas, particularmente aluminio; poliéster; poliimida; y soportes reforzados con vidrio; siempre que la cinta 18 sea suficientemente fuerte para mantener la deformación de curvatura elástica y sea capaz de retener su configuración envuelta por sí misma, o esté suficientemente confinada si es necesario. Un soporte 20 particularmente preferido es el aluminio. Dicho soporte tiene preferiblemente un grosor de entre 0,05 a 0,13 mm (0,002 y 0,005 pulgadas), y un ancho seleccionado en base al diámetro del cable trenzado 10. Por ejemplo, para un cable trenzado 10 que tenga dos capas de alambres de material compuesto trenzados tal como se ha ilustrado en la Figura 5A, y que tenga un diámetro de aproximadamente 1,3 cm (0,5 pulgadas), se prefiere una cinta de aluminio que tenga un ancho de 2,5 cm (1,0 pulgadas).

Algunas tintas comercialmente disponibles actualmente preferidas incluyen las siguientes Metal Foil Tapes (disponibles en 3M Company, St. Paul, MN): Tape 438, un soporte de aluminio de 0,13 mm de grosor (0,005 pulgadas) con un adhesivo acrílico y un grosor de cinta total de 0,18 mm (0,0072 pulgadas); Tape 431, un soporte de aluminio de 0,05 mm de grosor (0,0019 pulgadas) con un adhesivo acrílico y un grosor de cinta total de 0,08 mm (0,0031 pulgadas); y Tape 433, un soporte de aluminio de 0,05 mm de grosor (0,002 pulgadas) con un adhesivo de silicona y un grosor de cinta total de 0,09 mm (0,0036 pulgadas). Una cinta de chapa metálica/tejido de vidrio adecuada es Tape 363 (disponible en 3M Company, St. Paul, MN), tal como se describe en los Ejemplos. Una cinta de soporte de poliéster adecuada incluye la Polyester Tape 8402 (disponible en 3M Company, St. Paul, MN), con un soporte de poliéster de 0,03 mm de grosor (0,001 pulgadas), un adhesivo basado en silicona, y un grosor de cinta total de 0,03 mm (0,0018 pulgadas).

La Fig. 5C es una vista desde el extremo del cable trenzado de la Fig. 5A en el que la cinta 18 comprende un soporte 20 sin adhesivo 22. Cuando la cinta 18 es un soporte 20 sin adhesivo, los materiales adecuados para el soporte 20 incluye cualquiera de los recién descritos para su uso con un adhesivo, siendo un soporte preferido un soporte de aluminio que tenga un grosor de entre 0,05 a 0,13 mm (0,002 y 0,005 pulgadas) y un ancho de 2,54 cm (1,0 pulgadas).

Cuando se usa la cinta 18 como el medio de sujeción, bien con o bien sin adhesivo 22, la cinta puede aplicarse al cable trenzado con un aparato de envoltura de cinta convencional tal como es conocido en la técnica. Las máquinas de encintado adecuadas incluyen las disponibles en Watson Machine, International, Patterson, NJ, tal como el modelo número CT-300 Concentric Taping Head. La estación de sobre-envoltura se sitúa generalmente en la salida del aparato de trenzado del cable y se aplica a los cables de material compuesto trenzados helicoidalmente previamente a que el cable 10 sea bobinado sobre un carrete de transporte. La cinta 18 se selecciona de modo que mantenga la disposición trenzada de los alambres de material compuesto elásticamente deformados.

La Fig. 5D ilustra realizaciones de ejemplo alternativas de un cable 34 de material compuesto trenzado con un medio de sujeción en la forma de un aglutinante 24 aplicado al cable trenzado 10 para mantener los alambres (2, 4, 6) de material compuesto en su disposición trenzada. Los aglutinantes adecuados 24 incluyen composiciones adhesivas sensibles a la presión que comprenden uno o más de homopolímeros de poli(alfa-olefina), copolímeros, terpolímeros, y tetrapolímeros derivados de monómeros que contienen 6 a 20 átomos de carbono y agentes reticulantes fotoactivos tal como se describe en US-5.112.882 (Babu et al.). El curado por radiación de estos materiales proporciona películas adhesivas que tienen un equilibrio ventajoso de propiedades adhesivas de despegado y rotura.

Alternativamente, el aglutinante 24 comprende materiales termoestables, que incluyen, pero sin limitarse a epoxis. Para algunos aglutinantes, es preferible extrudir o recubrir en otra forma el aglutinante 24 sobre el cable trenzado 10 mientras los alambres salen de la máquina de formación del cable tal como se ha explicado anteriormente. Alternativamente, el aglutinante 24 puede aplicarse en la forma de un adhesivo suministrado como una cinta de transferencia. En este caso, el aglutinante 24 se aplica a una lámina de transferencia o liberación (no mostrada). La lámina de liberación se envuelve alrededor de los alambres de material compuesto del cable trenzado 10. Se retira entonces el soporte, dejando la capa de adhesivo por detrás como el aglutinante 24.

En realizaciones adicionales, puede aplicarse opcionalmente un adhesivo 22 o aglutinante 24 alrededor de cada capa individual de alambres de material compuesto (por ejemplo 12, 14, 16 en la Fig. 1B) o entre cualquier capa adecuada de alambres de material compuesto (por ejemplo, 2, 4, 6, 8 en la Fig. 1B) según se desee.

En una realización actualmente preferida, los medios de sujeción no se añaden significativamente al diámetro total del cable 10 de material compuesto trenzado. Preferiblemente, el diámetro exterior del cable de material compuesto trenzado que incluye el medio de sujeción no es superior a 110% del diámetro exterior de la pluralidad de alambres (2, 4, 6, 8) de material compuesto trenzados excluyendo el medio de sujeción, más preferiblemente no más del 105%, y con máxima preferencia no más del 102%.

Se reconocerá que los alambres de material compuesto tienen una cantidad significativa de deformación de curvado elástica cuando se trenzan sobre un equipo de formación de cables convencional. Esta deformación de curvado elástica significativa haría que los alambres vuelvan a su forma no trenzada o no curvada cuando no haya un medio de sujeción para el mantenimiento de la disposición helicoidal de los alambres. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el medio de sujeción se selecciona de modo que mantenga una deformación de curvado elástica significativa de la pluralidad de los alambres de material compuesto trenzados (por ejemplo 2, 4, 6, 8 en la Fig. 1B).

Adicionalmente, la aplicación pretendida para el cable trenzado 10 puede sugerir que ciertos medios de sujeción estén mejor adaptados para la aplicación. Por ejemplo, cuando el cable trenzado 10 se use como un núcleo en un cable de transmisión de energía, se seleccionarán o bien el aglutinante 24 o bien la cinta 18 sin un adhesivo 22 de modo que no afecten adversamente al cable de transmisión a las temperaturas y otras condiciones experimentadas en esta aplicación. Cuando se use una cinta adhesiva 18 como el medio de sujeción, tanto el adhesivo 22 como el soporte 20 deberían seleccionarse para ser adecuados para la aplicación pretendida.

En ciertas realizaciones de ejemplo, los alambres de material compuesto trenzados (por ejemplo 2, 4, 6, 8 en la Fig. 1B) comprenden cada uno una pluralidad de fibras continuas en una matriz tal como se explicará con más detalle a continuación. Debido a que los alambres son de compuesto, no adquieren una deformación plástica durante la operación de formación del cable lo que sería posible con alambres dúctiles. Por ejemplo, en disposiciones de la técnica anterior que incluyen alambres dúctiles, el proceso convencional de formación del cable podría llevarse a cabo de modo que deformen plásticamente de modo permanente los alambres de material compuesto en su disposición helicoidal. La presente divulgación permite el uso de alambres de material compuesto que pueden proporcionar unas características deseadas superiores en comparación con alambres no de compuesto convencionales. El medio de sujeción permite que el cable de material compuesto trenzado se maneje convenientemente como un artículo final o se maneje convenientemente antes de ser incorporado en un artículo final posterior.

Aunque la presente divulgación puede ponerse en práctica con cualquier alambre de material compuesto adecuado, en ciertas realizaciones de ejemplo, cada uno de los alambres de material compuesto se selecciona para ser un alambre de material compuesto reforzado con fibra que comprende al menos uno de entre una fibra continua de arrastre o una fibra monofilamento continua en una matriz.

Una realización preferida para los alambres de material compuesto comprende una pluralidad de fibras continuas en una matriz. Una fibra preferida comprende $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino. Estas realizaciones preferidas para los alambres de material compuesto tienen preferiblemente una resistencia a la tracción hasta el fallo de al menos el 0,4%, más preferible al menos el 0,7%. En algunas realizaciones, al menos el 85% (en algunas realizaciones, al menos el 90%, o incluso al menos el 95%) en número de las fibras en el núcleo de compuesto de matriz metálica son continuas.

Otros alambres de material compuesto que se podrían usar con la presente divulgación incluyen alambres de vidrio / epoxi; alambres de material compuesto de carburo de silicio / aluminio; alambres de material compuesto de carbono / aluminio; alambres de material compuesto de carbono / epoxi; alambres de carbono / poliéter éter cetona (PEEK); alambres de carbono / (co)polímero; y combinaciones de dichos alambres de material compuesto.

Ejemplos de fibras de vidrio adecuadas incluyen A-Glass, B-Glass, C-Glass, D-Glass, S-Glass, AR-Glass, R-Glass, fibra de vidrio y paraglass, tal como es conocido en la técnica. Pueden usarse también otras fibras de vidrio; esta lista no está limitada, y hay muchos tipos diferentes de fibras de vidrio disponibles comercialmente, por ejemplo, en Corning Glass Company (Corning, NY).

En algunas realizaciones de ejemplo, pueden preferirse las fibras de vidrio continuas. De forma típica, las fibras continuas de vidrio tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 3 micrómetros a aproximadamente 19 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de vidrio tienen una resistencia media a la tracción de al menos 3 GPa, 4 GPa y o incluso al menos 5 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de vidrio tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 60 GPa a 95 GPa, o de aproximadamente 60 GPa a aproximadamente 90 GPa.

Ejemplos de fibras cerámicas adecuadas incluyen fibras de óxidos metálicos (por ejemplo, alúmina), fibras de nitruro de boro, fibras de carburo de silicio, y combinación de cualquiera de estas fibras. De forma típica, las fibras de óxido cerámico son cerámicas cristalinas y/o una mezcla de cerámica cristalina y vidrio (es decir, una fibra puede contener ambas fases de cerámica cristalina y de vidrio). De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. Típicamente, las fibras de cerámica continuas tienen un diámetro de fibra medio en un intervalo de desde 5 micrómetros a aproximadamente 50 micrómetros, de aproximadamente 5 micrómetros a aproximadamente 25 micrómetros, de aproximadamente 8 micrómetros a aproximadamente 25 micrómetros, o incluso de aproximadamente

8 micrómetros a aproximadamente 20 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,4 GPa, al menos 1,7 GPa, al menos 2,1 GPa y/o incluso al menos 2,8 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen un módulo superior a 70 GPa y aproximadamente no superior a 1000 GPa, o incluso no superior a 420 GPa.

Ejemplos de fibras de cerámica monofilamento adecuadas incluyen las fibras de carburo de silicio. De forma típica, las fibras de carburo de silicio de monofilamento son cristalinas y/o una mezcla de cerámica cristalina y vidrio (es decir, una fibra puede contener fases tanto de cerámica cristalina como de vidrio). De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras continuas de carburo de silicio de monofilamento tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 100 micrómetros a aproximadamente 250 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen una resistencia media a la tracción de al menos 2,8 GPa, al menos 3,5 GPa, al menos 4,2 GPa y/o incluso al menos 6 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen un módulo superior a 250 GPa y aproximadamente no superior a 500 GPa, o incluso no superior a 430 GPa.

Las fibras de alúmina se describen, por ejemplo en US- 4.954.462 (Wood et al.) y 5.185.299 (Wood et al.). En algunas realizaciones, las fibras de alúmina son fibras de alúmina alfa policristalina y que comprenden, en base a un óxido teórico, más del 99 por ciento en peso de Al_2O_3 y el 0,2-0,5 por ciento en peso de SiO_2 , en base al peso total de las fibras de alúmina. En otro aspecto, algunas fibras de alfa-alúmina policristalina deseable comprenden alfa alúmina que tiene un tamaño de grano medio de menos de un micrómetro (o incluso, en algunas realizaciones, menor de 0,5 micrómetros). En otro aspecto, en algunas realizaciones, las fibras policristalinas de alúmina alfa tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,6 GPa (en algunas realizaciones, al menos 2,1 GPa, o incluso, al menos 2,8 GPa). Fibras de alfa alúmina se comercializan con el nombre comercial de "NEXTEL 610" (3M Company, St. Paul, MN).

Las fibras de aluminosilicato se describen, por ejemplo, en US-4.047.965 (Karst et al.). Las fibras de aluminosilicato las comercializa 3M Company of St. Paul, MN, EE. UU., con los nombres comerciales "NEXTEL 440", "NEXTEL 550", y "NEXTEL 720". Las fibras de aluminoborosilicato se describen, por ejemplo, en US-3.795.524 (Sowman). Las fibras de aluminoborosilicato ilustrativas las comercializa 3M Company con el nombre comercial "NEXTEL 312". Las fibras de nitruro de boro pueden fabricarse, por ejemplo, tal como se describe en US-3.429.722 (Economy) y 5.780.154 (Okano et al.). Las fibras de carburo de silicio ilustrativas las comercializa, por ejemplo, COI Ceramics, San Diego, CA, EE. UU, con el nombre comercial "NICALON" en estopas de 500 fibras; Ube Industries, Japón, con el nombre comercial "TYRANNO"; y Dow Corning, Midland, MI, EE. UU., con el nombre comercial "SYLRAMIC".

Las fibras de carbono adecuadas incluyen fibras de carbono disponibles comercialmente tales como las fibras denominadas como PANEX® y PYRON® (disponibles en ZOLTEK, Bridgeton, MO), THORNEL (disponible en CYTEC Industries, Inc., West Paterson, NJ), HEXTOW (disponible en HEXGEL, Inc., Southbury, CT), y TORAYCA (disponible en TORAY Industries, Ltd. Tokio, Japón). Dichas fibras de carbono pueden derivarse de un precursor de poliacrilonitrilo (PAN). Otras fibras de carbono adecuadas incluyen PAN-IM, PAN-HM, PAN UHM, PITCH o sus productos del rayón, tal como es conocido en la técnica.

Fibras adicionales comercialmente adecuadas comercialmente disponibles incluyen ALTEX (disponible en Sumitomo Chemical Company, Osaka, Japón), y ALCEN (disponible en Nitivy Company, Ltd., Tokio, Japón).

Las fibras adecuadas incluye también aleaciones con memoria de forma (es decir, una aleación metálica que se somete a una transformación martensítica de modo que la aleación metálica sea deformable mediante un mecanismo de maclaje por debajo de la temperatura de transformación, en donde dicha deformación es reversible cuando la estructura maclada se invierte a la fase original tras el calentamiento por encima de la temperatura de transformación). Fibras de aleación con memoria de forma comercialmente disponibles, pueden obtenerse, por ejemplo, en Johnson Matthey Company (West Whiteland, PA).

En algunas realizaciones las fibras cerámicas están en estopas. Las estopas son conocidas en la técnica de la fibra y se refieren a una pluralidad de fibras (individuales) (de forma típica, al menos 100 fibras, de forma más típica, al menos 400 fibras) recogidas en forma de mecha. En algunas realizaciones, las estopas comprenden al menos 780 fibras individuales por estopa, en algunos casos al menos 2600 fibras individuales por estopa, y en otros casos al menos 5200 fibras individuales por estopa. Las estopas de fibra cerámica están disponibles generalmente en una variedad de longitudes, incluidas 300 metros, 500 metros, 750 metros, 1000 metros, 1500 metros, 2500 metros, 5000 metros, 7500 metros, y más largas. Las fibras pueden tener una forma de sección transversal que sea circular o elíptica.

Las fibras comercialmente disponibles pueden incluir típicamente un material de encolado orgánico añadido a la fibra durante la fabricación para proporcionar lubricación y para proteger los hilos de fibra durante el manejo. El encolado puede eliminarse, por ejemplo, disolviendo o quemando el encolado para separarlo de las fibras. De forma típica, es deseable eliminar el encolado antes de formar alambres de material compuesto de matriz metálica. Las fibras pueden tener recubrimientos usados, por ejemplo, para mejorar la humectabilidad de las fibras, para reducir o prevenir la reacción entre las fibras y el material de la matriz metálica fundido. Dichos revestimientos y técnicas para proporcionar dichos revestimientos son conocidos en la técnica de las fibras y del material compuesto.

En realizaciones de ejemplo adicionales, cada uno de los alambres de material compuesto se selecciona de entre un alambre de material compuesto de matriz metálica y un alambre de material compuesto de polímero. Los alambres de material compuesto adecuados se desvelan, por ejemplo en US-6.180.232; US-6.245.425; US-6.329.056; US-6.336.495; US-6.344.270; US-6.447.927; US-6.460.597; US-6.544.645; US-6.559.385. US-6.723.451; y US-7.093.416.

Un alambre de material compuesto de matriz metálica reforzado con fibra actualmente preferido es un alambre de material compuesto de matriz de aluminio reforzado con fibra cerámica. Los alambres de material compuesto de matriz de aluminio reforzados con fibra cerámica comprenden preferiblemente fibras continuas de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino encapsulado dentro de una matriz de, o bien aluminio elemental sustancialmente puro o bien una aleación de aluminio puro con hasta aproximadamente el 2% en peso de cobre, en base al peso total de la matriz. Las fibras preferidas comprenden granos equidimensionales de menos de aproximadamente 100 nm de tamaño, y un diámetro de fibra en el intervalo de aproximadamente 1-50 micrómetros. Se prefiere un diámetro de fibra en el intervalo de aproximadamente 5-25 micrómetros siendo más preferido un intervalo de aproximadamente 5-15 micrómetros.

Los alambres de material compuesto reforzados con fibra de la presente divulgación tienen una densidad de fibra de entre aproximadamente 3,90-3,95 gramos por centímetro cúbico. Entre las fibras preferidas están las descritas en US-4.954.462 (Wood et al.). Las fibras preferidas están disponibles comercialmente bajo el nombre comercial de "NEXTTEL 610" fibras basadas en alfa alúmina (disponibles en 3M Company, St. Paul, MN). La matriz de encapsulado se selecciona para que sea tal que no reaccione químicamente de modo significativo con el material de la fibra (es decir, sea relativamente inerte químicamente con respecto al material de la fibra, eliminando de ese modo la necesidad de proporcionar un recubrimiento protector sobre la fibra exterior.

En ciertas realizaciones actualmente preferidas de un alambre de material compuesto, el uso de una matriz que comprende o bien sustancialmente aluminio elemental puro o bien una aleación de aluminio elemental

con hasta aproximadamente el 2% en peso de cobre, en base al peso total de la matriz, se ha demostrado que produce alambres exitosos. En la presente memoria las expresiones "aluminio elemental sustancialmente puro", "aluminio puro" y "aluminio elemental" son intercambiables y se pretende que indiquen aluminio que contiene menos de aproximadamente el 0,05% en peso de impurezas.

En una realización actualmente preferida, los alambres de material compuesto comprenden entre el 30-70% en volumen de fibras de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino, en base al volumen total del alambre de material compuesto, dentro de una matriz de aluminio sustancialmente elemental. Se prefiere actualmente que la matriz contenga menos de aproximadamente el 0,03% en peso de hierro, y con máxima preferencia menos de aproximadamente el 0,01% en peso de hierro, en base al peso total de la matriz. Se prefiere un contenido de fibra de entre aproximadamente el 40-60% de fibra de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino. Dichos alambres de material compuesto, formados con una matriz que tiene un módulo de elasticidad de menos de aproximadamente 20 MPa y fibras que tienen una resistencia a la tracción longitudinal de al menos aproximadamente 2,8 GPa se ha descubierto que tienen excelentes características de resistencia.

La matriz también puede formarse a partir de una aleación de aluminio elemental con hasta aproximadamente el 2% en peso de cobre, en base al peso total de la matriz. Como en la realización en la que se usa una matriz de aluminio elemental sustancialmente puro, alambres de material compuesto que tengan una matriz de aleación de aluminio/cobre comprenden preferiblemente entre aproximadamente el 30-70% en volumen de fibras de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino, y más preferiblemente por lo tanto aproximadamente el 40-60% en volumen de fibras de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino, en base al volumen total del compuesto. Además, preferiblemente la matriz contiene menos de aproximadamente el 0,03% en peso de hierro, y con máxima preferencia menos de aproximadamente el 0,01% en peso de hierro en base al peso total de la matriz. La matriz de aluminio/cobre tiene preferiblemente un módulo de elasticidad de menos de aproximadamente 90 MPa, y, como anteriormente, las fibras de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino tienen una resistencia a la tracción longitudinal de al menos aproximadamente 2,8 GPa.

Los alambres de material compuesto se forman preferiblemente a partir de fibras sustancialmente continuas de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino contenidas dentro de una matriz de aluminio elemental sustancialmente puro o la matriz formada a partir de la aleación de aluminio elemental y hasta aproximadamente el 2% en peso de cobre descrita anteriormente. Dichos alambres se fabrican generalmente mediante un proceso en el que se pasa un carrete de fibras sustancialmente continuas de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ policristalino, dispuestas en una estopa de fibras, a través de un baño del material de matriz fundido. El segmento resultante se solidifica a continuación, proporcionando de ese modo fibras encapsuladas dentro de la matriz.

Materiales de matriz metálica de ejemplo incluyen el aluminio, por ejemplo, aluminio elemental de alta pureza (por ejemplo, superior al 99,95%), cinc, estaño, magnesio, y aleaciones de los mismos (por ejemplo, una aleación de aluminio y cobre). Típicamente, el material de la matriz se selecciona de modo que el material de la matriz no reaccione químicamente de modo significativo con la fibra (es decir sea relativamente inerte químicamente con respecto al material de la fibra), por ejemplo, para eliminar la necesidad de proporcionar un recubrimiento protector sobre la fibra exterior. En algunas realizaciones, el material de matriz incluye, deseablemente, aluminio y sus aleaciones.

En algunas realizaciones, la matriz metálica comprende al menos un 98 por ciento en peso de aluminio, al menos un 99 por ciento en peso de aluminio, más de un 99,9 por ciento en peso de aluminio, o incluso más de un 99,95 por ciento en peso de aluminio. Las aleaciones de aluminio ilustrativas de aluminio y cobre comprenden, al menos, un 98 por ciento en peso de Al y hasta un 2 por ciento en peso de Cu. En algunas realizaciones, las aleaciones útiles son aleaciones de aluminio de serie 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 y/u 8000 (designaciones de la Aluminum Association de EE. UU.). Aunque los metales con mayor pureza tienden a ser deseables para la fabricación de alambres con mayor resistencia a la tracción, también son útiles los metales con formas menos puras.

Existen metales adecuados que pueden obtenerse comercialmente. Por ejemplo, el aluminio está disponible bajo la designación comercial de "SUPER PURE ALUMINUM; 99.99% Al" en Alcoa de Pittsburgh, PA, las aleaciones de aluminio (por ejemplo, Al-2% en peso de Cu [0,03% en peso de impurezas]) pueden obtenerse, por ejemplo, en Belmont Metals, Nueva York, NY. El cinc y el estaño están disponibles, por ejemplo, en Metal Services, St. Paul, MN ("cinc puro"; 99,999% de pureza y "estaño puro"; 99,95% de pureza). Por ejemplo, Magnesium Elektron, Manchester, Inglaterra, comercializa magnesio con el nombre comercial "PURE". Las aleaciones de magnesio (por ejemplo, WE43A, EZ33A, AZ81A, y ZE41A) pueden obtenerse, por ejemplo, en TIMET, Denver, CO, EE. UU.

Los alambres de material compuesto de matriz metálica comprenden típicamente al menos el 15 por ciento en volumen (en algunas realizaciones, al menos 20, 25, 30, 35, 40, 45, o incluso 50 por ciento en volumen) de fibras, en base al volumen combinado total de las fibras y el material de la matriz. De forma más típica, los núcleos y alambres de material compuesto comprenden un intervalo del 40 al 75 (en algunas realizaciones, del 45 al 70) por ciento en volumen de fibras, basado en el volumen total combinado del material de las fibras y de la matriz.

Los alambres de material compuesto de matriz metálica pueden fabricarse usando técnicas conocidas en la técnica. El alambre de material compuesto de matriz metálica continua puede fabricarse, por ejemplo, mediante procesos de infiltración de matriz metálica continua. Se describe un proceso adecuado, por ejemplo, en US-6.485.796 (Carpenter et al.). Los alambres que comprenden polímeros y fibra pueden fabricarse mediante procesos de estirado por extrusión que son conocidos en la técnica.

En realizaciones de ejemplo adicionales, los alambres de material compuesto se seleccionan para incluir alambres de material compuesto de polímero. Los alambres de material compuesto de polímero comprenden al menos una fibra continua en una matriz de polímero. En algunas realizaciones de ejemplo, la al menos una fibra continua comprende metal, carbono, cerámica, vidrio, y combinaciones de los mismos. En ciertas realizaciones actualmente preferidas, la al menos una fibra continua comprende titanio, tungsteno, boro, aleaciones con memoria de forma, nanotubos de carbono, grafito, carburo de silicio, boro, aramida, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)3, y combinaciones de los mismos. En realizaciones adicionales actualmente preferidas, la matriz de polímero comprende un (co)polímero seleccionado de entre un epoxi, un éster, un éster de vinilo, una poliimida, un poliéster, un éster de cianato, una resina fenólica, una resina bis-maleimida, y combinaciones de los mismos.

Son conocidos en la técnica, alambres metálicos dúctiles para trenzado alrededor de un núcleo de material compuesto para proporcionar un cable de material compuesto, por ejemplo un cable de transmisión de energía eléctrica según ciertas realizaciones de la presente divulgación. Los metales dúctiles preferidos incluyen hierro, acero, circonio, cobre, estaño, cadmio, aluminio, manganeso y cinc; sus aleaciones con otros metales y/o silicio; y similares. Los alambres de cobre están disponibles comercialmente, por ejemplo, en Southwire Company, Carrolton, GA. Los alambres de aluminio están disponibles comercialmente, por ejemplo, en Nexans, Weyburn, Canadá o Southwire Company, Carrolton, GA bajo los nombres comerciales de "1350-H19 ALUMINUM" y "1350-H0 ALUMINUM".

Típicamente, los alambres de cobre tienen un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de desde 12 ppm/°C a aproximadamente 18 ppm/°C sobre al menos un intervalo de temperatura de desde 20 °C a aproximadamente 800 °C. Alambres de aleación de cobre (por ejemplo bronce de cobre Cu-Si-X, Cu-Al-X, Cu-Sn-X, Cu-Cd; en las que X = Fe, Mn, Zn, Sn y/o Si; comercialmente disponibles, por ejemplo en Southwire Company, Carrolton, GA.; cobre reforzado por dispersión de óxido, por ejemplo, en OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC, bajo el nombre "GLIDCOP"). En algunas realizaciones, los alambres de aleación de cobre tienen un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de aproximadamente 10 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C en un intervalo de temperatura de al menos aproximadamente 20 °C a aproximadamente 800 °C. Los alambres pueden tener varias formas (por ejemplo, circular, elíptica y trapezoidal).

Típicamente, el alambre de aluminio tiene un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de desde aproximadamente 20 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C sobre al menos un intervalo de temperaturas desde aproximadamente 20 °C a aproximadamente 500 °C. En algunas realizaciones, los alambres de aluminio (por ejemplo, "1350.-H19 ALUMINUM") tienen una resistencia a la rotura por tracción, de al menos 138 MPa (20 ksi), al menos 158 MPa (23 ksi), al menos 172 MPa (25 ksi) o al menos 186 MPa (27 ksi) o al menos 200 MPa (29 ksi). En algunas realizaciones, los alambres de aluminio (por ejemplo, "1350-H0 ALUMINUM") tienen una resistencia a la tracción superior a 41 MPa (6 ksi) hasta no superior a 97 MPa (14 ksi), o incluso no superior a 83 MPa (12 ksi).

Hay disponibles comercialmente alambres de aleación de aluminio, por ejemplo, alambres de aleación de aluminio-circonio comercializados bajo los nombres comerciales "ZTAL", "XTAL", y "KTAL" (disponibles en

Sumitomo Electric Industries, Osaka, Japón), o “6201” (disponible en Southwire Company, Carrolton, GA). En algunas realizaciones, los alambres de aleación de aluminio tienen un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de desde aproximadamente 20 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C sobre al menos un intervalo de temperatura de desde aproximadamente 20 °C a aproximadamente 500 °C.

La presente divulgación se lleva a cabo preferiblemente de modo que proporcione cables trenzados muy largos. Es preferible también que los alambres de material compuesto dentro del cable trenzado 10 en sí sean continuos a todo lo largo de la longitud del cable trenzado. En una realización preferida, los alambres de material compuesto son sustancialmente continuos y de al menos 150 metros de largo. Más preferiblemente, los alambres de material compuesto son continuos y de al menos 250 metros de largo, más preferiblemente de al menos 500 metros, aún más preferiblemente de al menos 750 metros, y con máxima preferencia al menos 1000 metros de largo en el cable trenzado 10.

En un aspecto adicional, la divulgación proporciona un método de fabricación de los cables de material compuesto trenzados descritos anteriormente, comprendiendo el método el trenzado de una primera pluralidad de alambres de material compuesto alrededor de un único alambre que define un eje longitudinal central, en donde el trenzado de una primera pluralidad de alambres de material compuesto se lleva a cabo en una primera dirección de disposición en un primer ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central, y en donde la primera pluralidad de alambres de material compuesto tiene una primera longitud de disposición; y el trenzado de una segunda pluralidad de alambres de material compuesto alrededor de la primera pluralidad de alambres de material compuesto, en donde el trenzado de la segunda pluralidad de alambres de material compuesto se lleva a cabo en la primera dirección de disposición en un segundo ángulo de disposición definido con relación al eje longitudinal central, en donde la segunda pluralidad de alambres de material compuesto tiene una segunda longitud de disposición, y adicionalmente en donde una diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición y el segundo ángulo de disposición no es superior a 4°. En una realización actualmente preferida, el método comprende adicionalmente el trenzado de una pluralidad de alambres dúctiles alrededor de los alambres de material compuesto.

Los alambres de material compuesto pueden trenzarse o bobinarse helicoidalmente como es conocido en la técnica sobre cualquier equipo de trenzado de cables adecuado, tal como trenzadoras de cable planetarias disponibles en Cortinovis, Spa, de Bérgamo, Italia, y de Watson Machinery International, de Patterson, NJ. En algunas realizaciones, puede ser ventajoso emplear una trenzadora rígida tal como es conocido en la técnica

Aunque puede usarse cualquier alambre de material compuesto del tamaño adecuado, se prefiere para muchas realizaciones y muchas aplicaciones que los alambres de material compuesto tengan un diámetro desde 1 mm a 4 mm, sin embargo, pueden usarse alambres de material compuesto mayores o más pequeños;

En una realización preferida, el cable de material compuesto trenzado incluye una pluralidad de alambres de material compuesto trenzados que se trenzan helicoidalmente en una dirección de disposición para tener un factor de disposición de 10 a 150. El “factor de disposición” de un cable trenzado se determina mediante la división de la longitud del cable trenzado en la que un único alambre 12 completa una revolución helicoidal por el exterior nominal del diámetro de la capa que incluye ese trenzado.

Durante el proceso de trenzado del cable, el alambre central, o el cable de material compuesto trenzado sin acabar intermedio que tiene una o más capas adicionales bobinadas alrededor de él, es extraído a través del centro de los diversos portadores, en el que cada portador añade una capa al cable trenzado. Los alambres individuales a ser añadidos como una capa se extraen simultáneamente de sus bobinas respectivas mientras se giran alrededor del eje central del cable por el portador accionado por motor. Esto se hace de forma secuencial para cada capa deseada. El resultado es un núcleo trenzado helicoidalmente. Opcionalmente, puede aplicarse un medio de sujeción, tal como una cinta, por ejemplo, al núcleo de material compuesto trenzado resultante para ayudar a contener juntos los alambres trenzados.

Un aparato 80 de ejemplo para la fabricación de cables de material compuesto trenzados según las realizaciones de la presente divulgación se muestra en la Fig. 6. En general, los cables de material compuesto trenzados según la presente divulgación pueden fabricarse mediante alambres de material compuesto trenzados alrededor de un único alambre en la misma dirección de disposición, tal como se ha descrito anteriormente. El alambre único puede comprender un alambre de material compuesto o un alambre dúctil. Se forman al menos dos capas de alambres de material compuesto mediante el trenzado de alambres de material compuesto alrededor del único alambre del núcleo. Por ejemplo, 19 o 37 alambres formados en al menos dos capas alrededor de un único alambre central, tal como se muestra en la Fig. 1B.

Se proporciona un carrete de alambre 81 en la cabecera de la máquina 80 de trenzado planetaria convencional, en donde el carrete 81 es libre de girar, con una tensión capaz de ser aplicada a través de un sistema de frenado en el que la tensión puede aplicarse al núcleo durante la entrega (en algunas realizaciones, en el intervalo de 0-91 kg [0-200 libras]). El alambre único 90 se enrosca través de portadores 82, 83 de bobina, a través de matrices 84, 85 de cierre, alrededor de ruedas 86 de cabrestante y fijadas al carrete receptor 87.

Previamente a la aplicación de las capas de trenzado exterior, se proporcionan alambres de material compuesto individuales sobre bobinas separadas 88 que se colocan en un número de portadores 82, 83 accionados por motor del equipo de trenzado. En algunas realizaciones, el intervalo de tensión requerida para tirar del cable 89A, 89B de

las bobinas 88 es típicamente 4,5-22,7 kg (10-50 libras). Típicamente, hay un portador para cada capa de cable de material compuesto trenzado acabado. Los alambres 89A, 89B de cada capa se llevan juntos a la salida de cada portador en una matriz 84, 85 de cierre y se disponen sobre el alambre central o sobre la capa precedente.

5 Las capas de alambres de material compuesto que comprenden el cable de material compuesto se trenzan helicoidalmente en la misma dirección tal como se ha descrito anteriormente. Durante el proceso de trenzado del cable de material compuesto, el alambre central, o el cable de material compuesto trenzado sin acabar intermedio que puede tener una o más capas adicionales bobinadas alrededor de él, se extrae a través del centro de los diversos portadores, añadiendo cada portador una capa al cable trenzado. Los alambres individuales a ser
10 añadidos sobre una capa se extraen simultáneamente desde sus bobinas respectivas mientras se giran alrededor del eje central del cable por el portador accionado por motor. Esto se hace de forma secuencial para cada capa deseada. El resultado es un cable 91 de material compuesto trenzado helicoidalmente que puede cortarse y manejarse convenientemente sin pérdida de forma o sin deshacerse.

15 En algunas realizaciones de ejemplo, los cables de material compuesto trenzados comprenden alambres de material compuesto trenzados que tienen una longitud de al menos 100 metros, al menos 200 metros, al menos 300 metros, al menos 400 metros, al menos 500 metros, al menos 1000 metros, al menos 2000 metros, al menos 3000 metros, o incluso al menos 4500 metros o más.

20 La capacidad de manejar el cable trenzado es una característica deseable. Sin pretender imponer ninguna teoría, el cable mantiene su disposición de trenzado helicoidal porque durante la fabricación, los alambres metálicos se someten a tensiones, incluidas las tensiones de flexión, por encima de la tensión de fluencia del material del alambre, pero por debajo de la tensión de rotura o fallo. Esta tensión se imparte cuando el alambre se bobina helicoidalmente alrededor del radio relativamente pequeño de la capa precedente o del alambre central. Se imparten tensiones adicionales en las
25 matrices 84, 85 de cierre que aplican al cable fuerza radial y fuerza transversal durante la fabricación. Los alambres, por lo tanto, se deforman plásticamente y mantienen su forma helicoidalmente trenzada.

El material del alambre central único y de los alambres de material compuesto para una capa dada se lleva a un contacto íntimo mediante las matrices de cierre. En referencia a la Fig. 6, las matrices 84, 85 de cierre se
30 dimensionan típicamente para minimizar las tensiones de deformación sobre los alambres de la capa que está siendo bobinada. El diámetro interno de la matriz de cierre se adapta al tamaño del diámetro de la capa externa. Para minimizar las tensiones en los alambres de la capa, la matriz de cierre tiene una dimensión que se encuentra en el intervalo de 0-2,0% más grande con respecto al diámetro externo del cable, (es decir, los diámetros interiores de la matriz se encuentran en el intervalo de 1,00 a 1,02 veces el diámetro del cable exterior).
35 Las matrices de cierre de ejemplo son cilindros, y se mantienen en su posición, por ejemplo, usando pernos u otras fijaciones adecuadas. Las matrices pueden hacerse, por ejemplo, de acero endurecido para herramientas.

El cable de material compuesto trenzado acabado resultante puede pasar a través de otras estaciones de trenzado, si se desea, y finalmente bobinarse sobre un carrete 87 de recepción de diámetro suficiente para evitar daños al cable. En
40 algunas realizaciones, pueden ser deseables los procedimientos conocidos en la técnica para enderezar el cable. Por ejemplo, el cable terminado puede pasarse a través de un dispositivo enderezador compuesto por rodillos (cada rodillo midiendo, por ejemplo, 10-15 cm [4-6 pulgadas], estando linealmente dispuesto en dos bancos, con, por ejemplo, 5-9 rodillos en cada banco. La distancia entre los dos bancos de rodillos puede variar de forma que los rodillos incidan justo en el cable o causen una flexión importante del cable. Los dos bancos de rodillos se colocan en los lados opuestos del cable, con los rodillos de un banco en correspondencia con los espacios creados por los rodillos opuestos del otro banco. Por lo tanto, los dos bancos pueden desplazarse entre sí. Mientras el cable pasa a través del dispositivo enderezador, el cable se flexiona hacia atrás y hacia adelante sobre los rodillos, permitiendo que los hilos se estiren en el conductor hasta tener la misma longitud, reduciendo o eliminando con ello hilos holgados.
45

50 En algunas realizaciones, puede ser deseable proporcionar el alambre central único a una temperatura elevada (por ejemplo, al menos 25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 400 °C, o incluso, en algunas realizaciones, al menos 500 °C) por encima de la temperatura ambiente (por ejemplo, 22 °C). El alambre central único puede llevarse a la temperatura deseada, por ejemplo, mediante calentamiento del alambre enrollado (por ejemplo, en un horno durante varias horas). El alambre enrollado calentado se coloca sobre el
55 carrete de entrega (véase, por ejemplo, el carrete 81 de entrega en la Fig. 6) de una máquina trenzadora. Deseablemente, el carrete a la temperatura elevada está en el proceso de trenzado mientras el alambre está en o cerca de la temperatura deseada (típicamente durante aproximadamente 2 horas).

Adicionalmente puede ser deseable, para los alambres de material compuestos sobre los carretes de entrega que forman las capas exteriores del cable, estar a la temperatura ambiente. Esto es, en algunas realizaciones, puede ser deseable tener una temperatura diferencial entre el alambre único y los alambres de material compuesto que forman las capas de compuesto exteriores durante el proceso de trenzado. En algunas realizaciones, puede ser deseable conducir el trenzado con una única tensión de alambre de al menos 0,1 kN, 2 kN, 5 kN, 10 kN (100 kg, 200 kg, 500 kg, 1000 kg), o incluso de al menos 49 kN (5000 kg).
60

65

Los cables trenzados de la presente divulgación son útiles en numerosas aplicaciones. Dichos cables trenzados se cree que son particularmente deseables para su uso en cables de transmisión de energía eléctrica, que pueden incluir cables de transmisión de energía eléctrica aéreos y subterráneos, debido a su combinación de bajo peso, elevada resistencia, buena conductividad eléctrica, bajo coeficiente de expansión térmica, altas temperaturas de uso, y resistencia a la corrosión.

La Fig. 7 es una vista del extremo de la sección transversal de un cable 80 de material compuesto trenzado helicoidalmente que incluye una o más capas que comprenden una pluralidad de alambres dúctiles (28, 28') trenzados alrededor de un núcleo 32' (Fig. 5C) que comprende alambres (2, 4, 6, 8) de material compuesto trenzados helicoidalmente trenzados en la misma dirección de disposición y mantenidos en su sitio mediante un medio de sujeción tal como una cinta 18 envuelta alrededor de al menos la segunda capa de los alambres 16 de material compuesto trenzados según otra realización de ejemplo de la presente divulgación.

Dicho cable de material compuesto trenzado helicoidalmente es particularmente útil como un cable de transmisión de energía eléctrica. Cuando se usa como un cable de transmisión de energía eléctrica, los alambres dúctiles (28, 28') actúan como los conductores eléctricos, es decir los conductores de alambre dúctil. Tal como se ha ilustrado, el cable de transmisión de energía eléctrica puede incluir dos capas de alambres (28, 28') conductores dúctiles. Pueden usarse según se desee más capas de alambres conductores (no mostrados en la Fig. 7). Preferiblemente, cada capa conductora comprende una pluralidad de alambres conductores (28, 28') como es conocido en la técnica. Los materiales adecuados para los alambres (28, 28') conductores dúctiles incluyen el aluminio y aleaciones de aluminio. Los alambres (28, 28') conductores dúctiles pueden trenzarse alrededor del núcleo de material compuesto trenzado (por ejemplo 32') mediante el equipo de trenzado de cables adecuado como es conocido en la técnica (véase, por ejemplo, la Fig. 6).

El porcentaje en peso de los alambres de material compuesto dentro del cable de transmisión de energía eléctrica dependerá del diseño de la línea de transmisión. En el cable de transmisión de energía eléctrica, los alambres conductores de aluminio o aleación de aluminio pueden ser cualquiera de los diversos materiales conocidos en la técnica de transmisión de energía en aire, incluidos, pero sin limitarse a, 1350 Al (ASTM B609-91), 1350-H19 Al (ASTM B230-89), o 6201 T-81 Al (ASTM B399-92).

Para una descripción de los cables de transmisión de energía eléctrica adecuados y los procesos en los que pueden usarse los cables trenzados de la presente divulgación, véase, por ejemplo, la especificación estándar para Concentric Lay Stranded Aluminum Conductors, Coated, Steel Reinforced (ACSR) ASTM B232-92; o US-5.171.942 y 5.554.826. Una realización preferida del cable de transmisión de energía eléctrica es un cable de transmisión de energía eléctrica aéreo. En estas aplicaciones, los materiales para el medio de sujeción deberían seleccionarse para su uso a temperaturas de al menos 100 °C, o 240 °C, o 300 °C, dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, el medio de sujeción no debería corroer la capa conductora de aluminio, o expulsar gases no deseables, o perjudicar en otra forma al cable de transmisión a las temperaturas anticipadas durante el uso.

En otras aplicaciones, en las que se ha de usar el cable trenzado como un artículo final en sí, o en las que se ha de usar como un artículo intermedio o componente en un artículo posterior diferente, se prefiere que el cable trenzado esté libre de capas conductoras de energía eléctrica alrededor de la pluralidad de alambres de material compuesto.

La operación de la presente divulgación se describirá adicionalmente con relación a los siguientes ejemplos detallados. Estos ejemplos se ofrecen para ilustrar adicionalmente las diversas realizaciones y técnicas específicas y preferidas. Debería entenderse, sin embargo, que se pueden realizar muchas variaciones y modificaciones mientras se permanece dentro del alcance de la presente divulgación.

Ejemplos

Ejemplo 1

Para este ejemplo, el material de partida consistió en longitudes de 3,7 m (12 pies) cortadas de un carrete de producción normal de cable 3M ACCR de compuesto de matriz de aluminio (AMC) (tipo 795-T16, disponible en 3M Company, St. Paul, MN). Esta construcción comprendía un núcleo que contenía 19 alambres AMC (producidos por 3M Company, St. Paul, MN) que tenían un diámetro de 2,13 mm (0,084 pulgadas), rodeado por 26 alambres metálicos de Al-Zr (aluminio-circonio) extraídos de una barra de Al-Zr (producidos por Lamifil, Inc., Hemiksem, Bélgica) y que tenían un diámetro de 4,45 mm (0,175 pulgadas). La construcción básica de este cable se muestra en la Fig. 4B.

Para construir una muestra de ensayo del cable de material compuesto según las realizaciones de la presente divulgación, la longitud de partida de 3,7 m (12 pies) del cable de producción normal se desmontó primero en sus alambres constitutivos, teniendo cuidado de evitar alterar la forma helicoidal existente de los alambres de Al-Zr. A continuación, se construyeron las dos capas helicoidales del núcleo en la longitud y orientación de disposición deseadas usando una herramienta de sobremesa simple. Para cada capa, los alambres se aseguraron primero en un extremo de una cubierta de manivela de mano y entonces se roscaron a través de una placa de guía con forma de "roseta" para dispersar los alambres de material compuesto individuales en una disposición adecuada para el trenzado.

En etapas de cuarto de vuelta, la manivela se giró simultáneamente por un operador, mientras que otro operador movía la guía de alambres a lo largo de la mesa siguiendo intervalos de cuartos de longitud de disposición marcados.

5 Después de que se completó esta operación para la capa del núcleo interior, su extremo libre se encintó temporalmente para mantenerla en su sitio, y el proceso se repitió para la capa del núcleo exterior. El núcleo de 19 hilos trenzados se envolvió a continuación con cinta de lámina metálica/tela de vidrio tipo 363 (disponible en 3M Company, St. Paul, MN) que tenía un grosor de 182,5 micrómetros (7,3 milésimas) y ancho de 1.9 cm (3/4 de pulgada) para proporcionar un núcleo de material compuesto encintado acabado.

10 Partiendo del núcleo de alambre de material compuesto envuelto con cinta acabado, fue relativamente simple volver a trenzar los alambres de Al-Zr en su sitio, uno cada vez, dada su forma helicoidal retenida. Con cuidado, estos cables simplemente se encajaron de vuelta a su posición, en sus longitudes de disposición originales y muy próximos al diámetro del cable global original. Una vez se completó el montaje, los extremos de una parte central de 3,1 m (10 pies) de largo se aseguran usando cinta de filamento, y el material extra en cada extremo fue recortado usando una sierra de rueda abrasiva.

15 Usando el método anterior, se prepararon un total de 12 muestras experimentales en seis condiciones de trenzado cubriendo longitudes de disposición y ángulos de disposición variables e incluyendo tanto la dirección de disposición a mano izquierda (designada "L") como la dirección de disposición a mano derecha (designada "R"), tal como se resume en la Tabla 1.

Tabla 1 - Cable trenzado compuesto 10

Condición	Muestras	Construcción del núcleo interior				Construcción del núcleo exterior					Ángulo de cruce
		Dirección de disposición	Longitud de disposición (pulg.)	Longitud de disposición (cm)	Ángulo de disposición (grados)	Dirección de disposición	Longitud de disposición (pulg.)	Longitud de disposición (cm)	Ángulo de disposición (grados)	Longitud de disposición relativa	
1	LLO-1, LLO-2	L	16,5	42	-1,84	R	27,4	70	2,21	1,00	4,05
2	LLO-3, LLO-4	L	70	178	-0,43	R	27,4	70	2,21	1,00	2,64
3	LLO-5, LLO-6	R	16,5	42	1,84	R	27,4	70	2,21	1,00	0,37
4	LLO-7, LLO-8	L	19,9	51	-1,52	R	33,2	84	1,83	1,21	3,35
5	LLO-9, LLO-10	L	25,0	64	-1,21	R	41,0	104	1,48	1,50	2,69
6	LLO-11, LLO-12	R	25,0	64	1,21	R	41,0	104	1,48	1,50	0,27

25 Las seis condiciones de trenzado pueden verse como un diseño aproximadamente ortogonal sobre el ángulo de disposición del núcleo interior y la longitud relativa de disposición del núcleo exterior, tal como se describe a continuación. Sin embargo, tal como se muestra al final de la columna de la tabla anterior, ambas de estas variables influyen en el ángulo de cruce (es decir, la diferencia relativa entre los ángulos de disposición de las capas interior y exterior adyacentes del alambre trenzado helicoidalmente) entre los alambres del núcleo interior y exterior, lo que puede ser importante para el mecanismo resultante de la resistencia a la tracción del cable de material compuesto mejorado.

30 Para todas las muestras de cables de material compuesto de ejemplo preparadas, la capa del alambre conductor interior de Al-Zr tiene una dirección de disposición a mano izquierda en una longitud de disposición objetivo de 25,4 cm (10,0 pulgadas), y la capa de alambre conductor de Al-Zr exterior tiene una dirección de disposición a mano derecha en una longitud de disposición objetivo de 33,0 cm (13,0 pulgadas). Los valores medios medidos para estas capas difieren del objetivo en 1,6 cm (0,65 pulgadas) o menos, correctamente dentro de las especificaciones de trenzado deseadas. Los diámetros finales de las muestras de cable conductor variaron desde 28,50 a 28,85 mm (1,122 pulgadas a 1,136 pulgadas), no lejos del diámetro original de 28,55 mm (1,124 pulgadas).

35 Los ensayos de resistencia a la tracción fueron llevados a cabo por Wire Rope Industries (Pointe-Claire, Quebec, Canadá) bajo una obligación por escrito de confidencialidad con 3M Company. La preparación de la muestra y los métodos de ensayo usados fueron similares a los expuestos en el documento 3M TM505, "Preparation of ACCR Samples Using Resin End Terminations" (Disponible en 3M Company, St. Paul, MN). Un esbozo de este método de ensayo se da en los siguientes párrafos.

40 Primero, se eliminó cualquier curvatura en aproximadamente 0,6 m (2 pies) de un extremo de la muestra del cable mediante un cuidadoso "retro curvado" del cable en intervalos estrechos. A una "longitud final" desde este extremo (típicamente aproximadamente 25 cm [10 pulgadas]), se aplicó una abrazadera de manguito a continuación para impedir cualquier perturbación de los alambres dentro del lapso del ensayo interior. Se envolvió entonces una gruesa capa de cinta de tela adyacente a esta abrazadera, para servir tanto como sellado como un dispositivo de centrado en el troquel de fundición de resina. Los extremos de todos los alambres de Al-Zr se dispersaron entonces cuidadosamente ("en forma de escoba") en una forma cónica con un ángulo máximo de aproximadamente 30°, y la cinta del núcleo expuesta se retiró para permitir que los alambres del núcleo se dispersaran naturalmente. Si hubiese cualquier residuo de aceite sobre los alambres procedente de sus operaciones previas, los alambres se limpiarán usando acetona, 2-butanona, o un disolvente similar, seguidos por un cuidadoso secado. Si los cables estuviesen ya limpios, esta etapa no sería necesaria.

El extremo del cable preparado fue situado entonces dentro de un conector de carcasa dividida. Obsérvese que este conector tenía un orificio ahusado, así como agujeros diseñados para asegurarlo posteriormente dentro de una máquina de ensayo de tracción. Las dos semi-carcasas se apretaron juntas, capturando aproximadamente 2,5 cm (1 pulgada) de envoltura de cinta para formar un sellado libre de fugas. Los alambres de Al-Zr se recortaron hasta un nivel justamente por encima del extremo del conector, pero las longitudes completas de los alambres del núcleo se dejaron intactas.

El conector se montó entonces verticalmente, con la muestra del cable colgando desde la parte inferior. Un lote recién preparado de dos partes de "Wirelock" Socket Compound (Millfield Enterprises Ltd., Newburn, Newcastle-upon-Tyne, Inglaterra) se vertió dentro del conector para llenarlo completamente. Una vez gelificado completamente el compuesto (aproximadamente 15 minutos), se añadió un tubo de extensión de cartón alrededor de los alambres del núcleo expuestos. A continuación, se preparó más compuesto Wirelock, y el tubo de extensión también se llenó. Después de permitir que el conjunto curara sin perturbación durante un mínimo de 45 minutos, se repitieron todas las etapas a continuación para el otro extremo de la muestra del cable. Se permitieron otras 12 horas para obtener un curado de resina completo previamente al ensayo de tracción.

La muestra de ensayo acabada se montó entonces dentro de la máquina de ensayo de tracción. Esta máquina es capaz de alcanzar la carga de rotura esperada de la muestra a una velocidad controlada, usando o bien una velocidad de cruceta especificada o bien una velocidad de fuerza especificada, y tenía una célula de carga apropiadamente calibrada. Se tuvo cuidado en asegurar que la muestra se montara con los dos conectores estrechamente alineados a lo largo del eje de la máquina para minimizar las cargas de curvatura. Se retiraron las abrazaderas de manguito de la muestra y se aplicó una suave pretensión, típicamente 4,5-9,0 kN (500-1000 libras). Se verificó la alineación de la muestra, y los extremos del cable fueron meneados para ayudar a liberar cualquier fricción o doblado.

Después del cierre de todas las puertas de seguridad alrededor del recinto de ensayo, se llevó a cabo el ensayo de tracción hasta el punto del fallo de la muestra a una velocidad de carga correspondiente a una tasa de tensión de muestra verdadera del 1% por minuto. La carga de pico se registró como la resistencia a la tracción de cada muestra de ensayo. Obsérvese que los resultados del ensayo pueden invalidarse si el fallo de la muestra tiene lugar dentro del cono de resina, o si los alambres se han deslizado dentro de la resina, o en el caso de una pobre preparación de la muestra o un daño extraño en la muestra. En tales casos, los resultados de la muestra no se usaron. Todos los resultados del ensayo de tracción obtenidos para los ejemplos se tabularon en la tabla 2, a continuación. Obsérvese que, para esta construcción de cable, la resistencia de rotura nominal especificada (RBS) es de 138,49 kN (31.134 libras; [14.134,9 kgf]).

Tabla 2 - Cable de transmisión de energía eléctrica de potencia

Condición	Muestra	Ángulo de disposición del núcleo interior (grados)	Longitud de disposición relativa	Ángulo de cruce (grados)	Resistencia a la tracción (kN)(libras)	Resistencia a la tracción relativa (% RBS)
1	LLO-1	-1,84	1,00	4,05	136 (30600)	98,3%
1	LLO-2	-1,84	1,00	4,05	135 (30400)	97,6%
2	LLO-3	-0,43	1,00	2,64	144 (32400)	104,1%
2	LLO-4	-0,43	1,00	2,64	143 (32200)	103,4%
3	LLO-5	1,84	1,00	0,37	151,7 (34100)	109,5%
3	LLO-6	1,84	1,00	0,37	152 (34200)	109,8%
4	LLO-7	-1,52	1,21	3,35	138 (31000)	99,6%
4	LLO-8	-1,52	1,21	3,35	139 (31300)	100,5%
5	LLO-9	-1,21	1,50	2,69	145 (32700)	105,0%
5	LLO-10	-1,21	1,50	2,69	146 (32900)	105,7%
6	LLO-11	1,21	1,50	0,27	147 (33100)	106,3%
6	LLO-12	1,21	1,50	0,27	151 (34000)	109,2%

La Fig. 8 muestra un trazado del efecto de la diferencia relativa en el ángulo de disposición entre las capas de alambre interior y exterior (ángulo de disposición del núcleo interior), sobre la resistencia a la tracción medida para los cables de material compuesto trenzados helicoidalmente de ejemplo de la presente divulgación. Usando los resultados para las condiciones 1, 2, y 3, la Fig. 8 muestra la respuesta de la resistencia a la tracción a cambios en el ángulo de disposición del núcleo interior. La tendencia es estadísticamente elevadamente significativa, y se describe mediante un ajuste cuadrático con un coeficiente de determinación ajustado (R^2) de 0,994.

La Fig. 9 muestra un trazado del efecto de la diferencia relativa en la longitud de disposición entre las capas de alambre exterior e interior (longitud de disposición del núcleo exterior relativa) sobre la resistencia a la tracción medida para los cables de material compuesto trenzados helicoidalmente de ejemplo de la presente divulgación. De nuevo, la tendencia es estadísticamente elevadamente significativa, y se describe mediante un ajuste cuadrático con un coeficiente de determinación ajustado (R^2) de 0,975.

Hay un cierto número de aspectos sorprendentes en la Fig. 9. Primero, el incremento observado en la resistencia a la tracción del cable con un 50% de incremento en la longitud de disposición relativa (7,4% RBS) es mucho mayor que la que se predeciría por los cálculos de la tensión de doblado de hélice circular original. En consecuencia, la tensión de curvado máxima se reduciría desde 0,00052 a 0,00022, traduciéndose en una mejora de aproximadamente un 4,5% en la resistencia a la tracción del núcleo de material compuesto en solitario. Dado que el núcleo de material compuesto soporta aproximadamente el 60% del total de la carga del conductor en el fallo, esto predeciría un incremento total en la resistencia del conductor de solo aproximadamente el 2,6%. Adicionalmente, los resultados de la resistencia a la tracción de la Condición 6 (106,3% y 109,2% RBS) son sorprendentemente no los más elevados de todos, incluso aunque esta condición representa la combinación de las mejores condiciones tanto para el ángulo de disposición del núcleo interior como la longitud de disposición del núcleo exterior.

Estos aspectos sorprendentes pueden explicarse trazando todos los resultados experimentales en función del ángulo de cruce. La Fig. 10 muestra un trazado de la diferencia relativa entre los ángulos de disposición de las capas interior y exterior (ángulo de cruce de la disposición exterior/interior) sobre la resistencia a la tracción medida para cables de material compuesto trenzados helicoidalmente de ejemplo de la presente divulgación. Esta tendencia es estadísticamente elevadamente significativa, y se describe mediante un encaje cuadrático con un coeficiente de determinación ajustado (R^2) de 0,904.

Como se ha demostrado por estos resultados, la resistencia a la tracción de un cable de material compuesto ACCR con un núcleo de 19 alambres puede incrementarse sustancialmente alterando la construcción del núcleo de modo que se minimice el ángulo de cruce entre los alambres del núcleo interior y exterior. Las longitudes de disposición globales más largas del núcleo proporcionan algún beneficio, principalmente debido a la disminución asociada del ángulo de cruce. Sin embargo, tal como se enseña por la presente divulgación, el método más simple y más efectivo para tener una resistencia a la tracción incrementada es invertir la orientación de la disposición de capas del núcleo alternas de modo que todas las capas del núcleo tengan la misma orientación.

Referencias a todo lo largo de la presente especificación a “una realización”, “ciertas realizaciones”, “una o más realizaciones” o “una realización”, tanto si se incluye como si no la expresión “de ejemplo” siguiendo al término “realización”, significa que un rasgo, estructura, material, o característica particular descrita en conexión con la realización se incluye en al menos una realización de las ciertas realizaciones de ejemplo de la presente divulgación. De ese modo, las apariciones de frases tales como “en una o más realizaciones”, “en ciertas realizaciones”, “en una realización” o “en alguna realización” en varios lugares a todo lo largo de la presente especificación no se refieren necesariamente a la misma realización de las ciertas realizaciones de ejemplo de la presente divulgación. Adicionalmente los rasgos, estructuras, materiales o características particulares pueden combinarse en cualquier forma adecuada en una o más realizaciones.

Aunque la especificación describe en detalle ciertas realizaciones de ejemplo, se apreciará que los expertos en la materia, tras alcanzar una comprensión de lo precedente, pueden concebir fácilmente alteraciones de, variaciones de, y equivalentes a estas realizaciones. En consecuencia, se debería entender que la presente divulgación no ha de estar indebidamente limitada a las realizaciones ilustrativas expuestas en la presente memoria anteriormente. En particular, en la presente memoria, la enumeración de intervalos numéricos mediante puntos extremos se pretende que incluya todos los números subsumidos dentro de ese intervalo (por ejemplo 1 a 5 incluye 1, 1,5, 2, 2,75, 3, 3,80, 4, y 5). Además, todos los números usados en la presente memoria se suponen modificados por el término “aproximadamente”.

Adicionalmente, todas las publicaciones y patentes referenciadas en la presente memoria se incorporan por referencia en su totalidad en el mismo grado que si se indicara específicamente e individualmente para cada publicación o patente individual que se incorpora por referencia. Se han descrito varias realizaciones de ejemplo. Estas y otras realizaciones están dentro del alcance de las reivindicaciones a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Un cable trenzado (10, 10', 11, 11'), que comprende:
 - 5 un alambre único (1, 2) que define un eje (9) longitudinal central;

una primera pluralidad de alambres (4) de material compuesto trenzados alrededor del único alambre (1, 2) en una primera dirección de disposición en un primer ángulo de disposición (α) definido con relación al eje (9) longitudinal central y que tiene una primera longitud de disposición (L); y

 - 10 una segunda pluralidad de alambres (6) de material compuesto trenzados alrededor de la primera pluralidad de alambres (4) de material compuesto en la primera dirección de disposición en un segundo ángulo de disposición definido en relación al eje (9) longitudinal central y que tiene una segunda longitud de disposición (L'), **caracterizado por que** una diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición (α) y el segundo ángulo de disposición (β) es superior a 0° y no superior a aproximadamente 4° .
2. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, en donde el alambre único (1, 2) tiene una sección transversal tomada en una dirección sustancialmente normal al eje (9) longitudinal central, y en donde una forma de la sección transversal del alambre único (1, 2) es circular o elíptica, en donde el alambre único (1, 2) es un alambre (2) de material compuesto.
3. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, en donde cada uno de la primera pluralidad de alambres (4) de material compuesto y de la segunda pluralidad de alambres (6) de material compuesto se trenza helicoidalmente para tener un factor de disposición de 10 a 150.
4. El cable trenzado (10', 11') de la reivindicación 1, que además comprende una tercera pluralidad de alambres (8) de material compuesto trenzados alrededor de la segunda pluralidad de alambres (6) de material compuesto en la primera dirección de disposición en un tercer ángulo de disposición (γ) definido con relación al eje (9) longitudinal central y que tiene una tercera longitud de disposición (L''), en donde una diferencia relativa entre el segundo ángulo de disposición (β) y el tercer ángulo de disposición (γ) es no superior a aproximadamente 4° .
5. El cable trenzado (10', 11') de la reivindicación 4, que además comprende una cuarta pluralidad de alambres de material compuesto trenzados alrededor de la tercera pluralidad de alambres (8) de material compuesto en la primera dirección de disposición en un cuarto ángulo de disposición definido con relación al eje (9) longitudinal central y que tiene una cuarta longitud de disposición, en donde una diferencia relativa entre el tercer ángulo de disposición (γ) y el cuarto ángulo de disposición es no superior a aproximadamente 4° .
6. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, que además comprende una pluralidad de alambres dúctiles (28, 28', 28'') trenzados alrededor de los alambres de material compuesto.
7. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 6, en donde al menos una parte de la pluralidad de alambres dúctiles (28, 28', 28'') se trenza en la primera dirección de disposición.
8. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 6, en donde al menos una parte de la pluralidad de alambres dúctiles (28, 28', 28'') se trenza en una segunda dirección de disposición opuesta a la primera dirección de disposición.
9. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 6, en donde la pluralidad de alambres dúctiles (28, 28', 28'') se trenza alrededor del eje (9) longitudinal central en una pluralidad de capas radiales que rodean los alambres (4, 6) de material compuesto.
10. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 9, en donde cada capa radial se trenza en una dirección de disposición opuesta a la de una capa radial adjunta.
11. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, en donde la diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición (α) y el segundo ángulo de disposición (β) es no superior a 3° .
12. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, en donde la diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición (α) y el segundo ángulo de disposición (β) es no superior a $0,5^\circ$.
13. El cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, en donde la primera longitud de disposición (L) es igual a la segunda longitud de disposición (L').
14. Un método de fabricación del cable trenzado (10, 10', 11, 11') de la reivindicación 1, que comprende:

5 trenzar la primera pluralidad de alambres (4) de material compuesto alrededor de un alambre único (1, 2) que define un eje (9) longitudinal central, en donde el trenzado de la primera pluralidad de alambres (4) de material compuesto se lleva a cabo en una primera dirección de disposición en un primer ángulo de disposición (α) definido con relación al eje (9) longitudinal central, y en donde la primera pluralidad de alambres (4) de material compuesto tiene una primera longitud de disposición (L); y

10 trenzar una segunda pluralidad de alambres (6) de material compuesto alrededor de la primera pluralidad de alambres de material compuesto, en donde el trenzado de la segunda pluralidad de alambres (6) de material compuesto se lleva a cabo en la primera dirección de disposición en un segundo ángulo de disposición (β) definido en relación al eje (9) longitudinal central, y en donde la segunda pluralidad de alambres (6) de material compuesto tiene una segunda longitud de disposición (L'),

adicionalmente en donde una diferencia relativa entre el primer ángulo de disposición y el segundo ángulo de disposición (β) es superior a 0° y no superior a 4° .

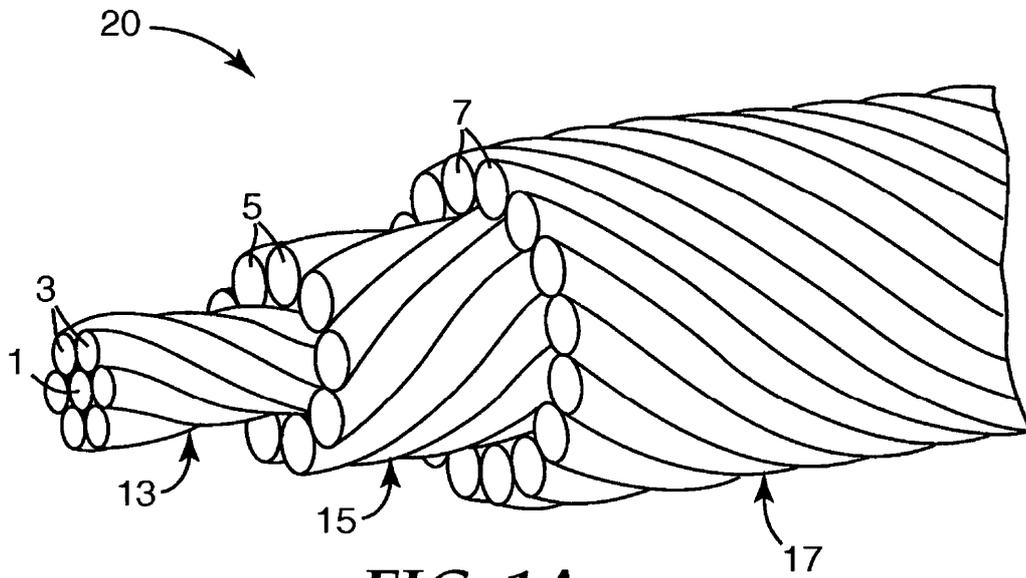


FIG. 1A
Técnica anterior

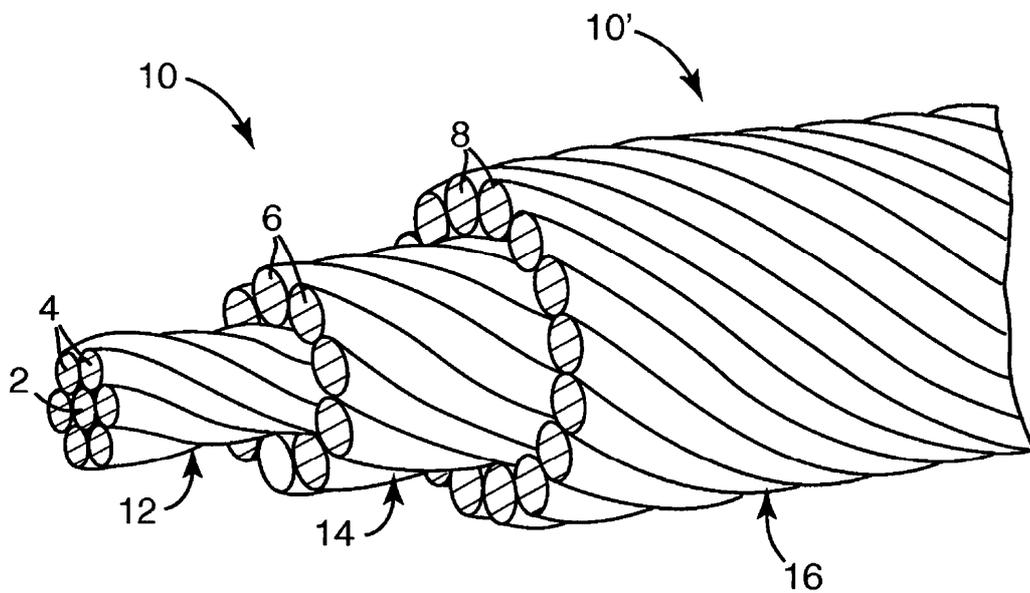


FIG. 1B

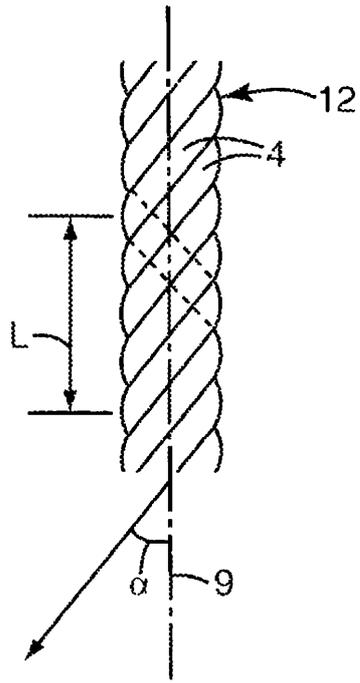


FIG. 2A

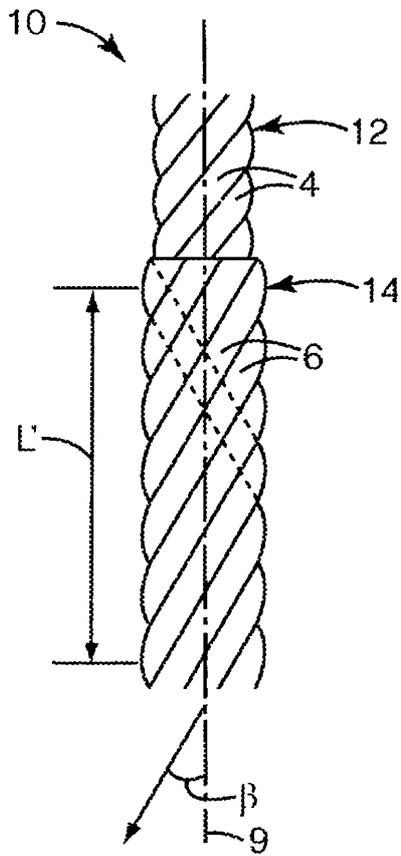


FIG. 2B

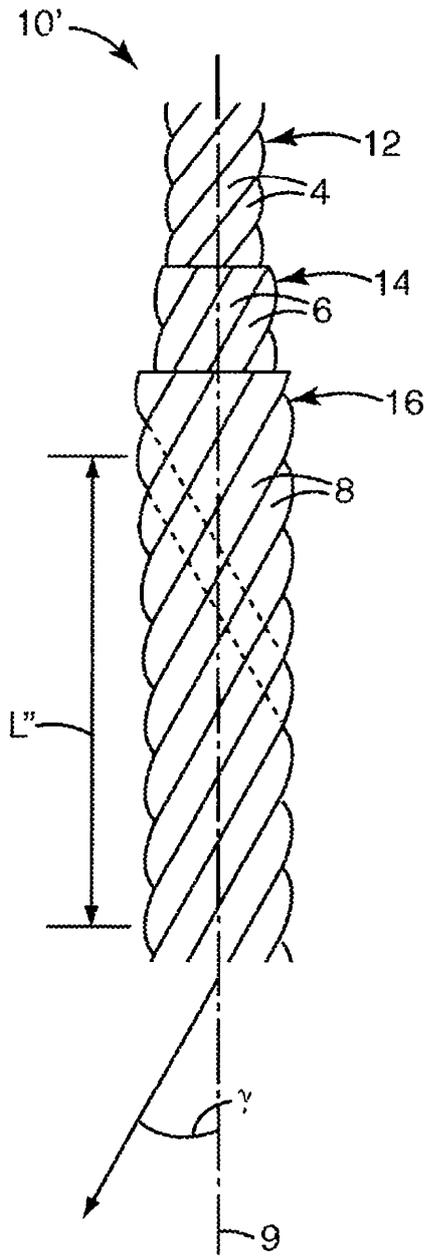


FIG. 2C

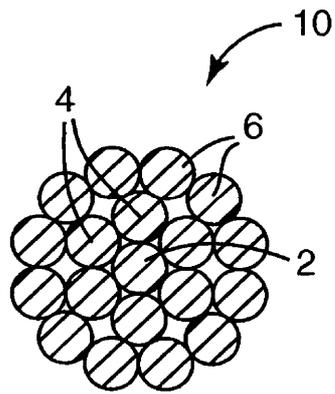


FIG. 3A

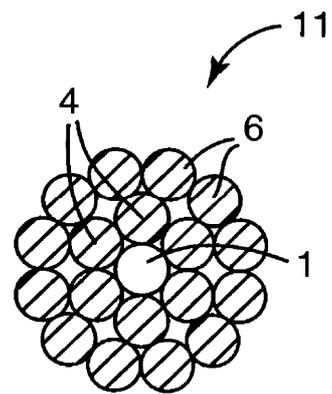


FIG. 3B

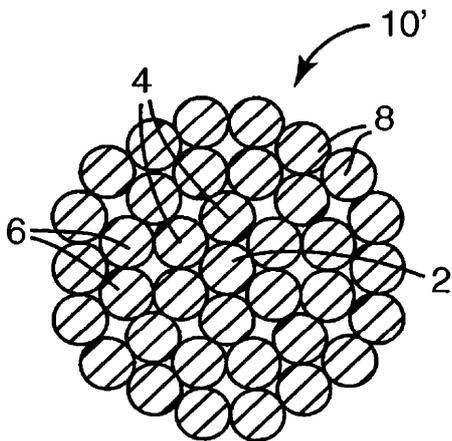


FIG. 3C

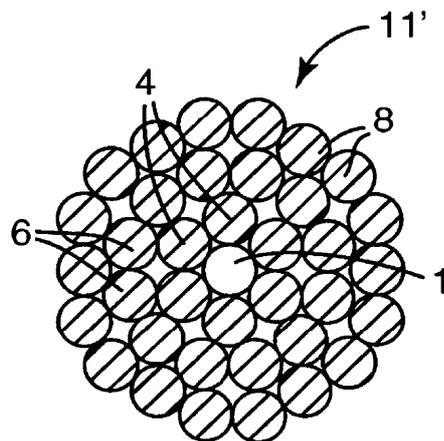


FIG. 3D

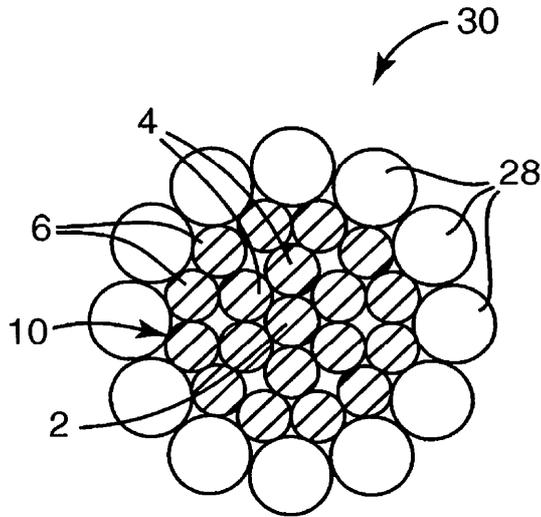


FIG. 4A

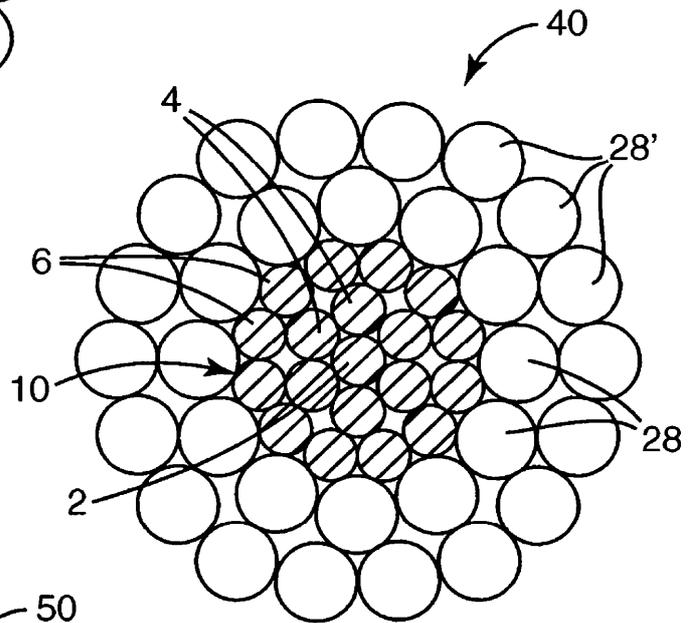


FIG. 4B

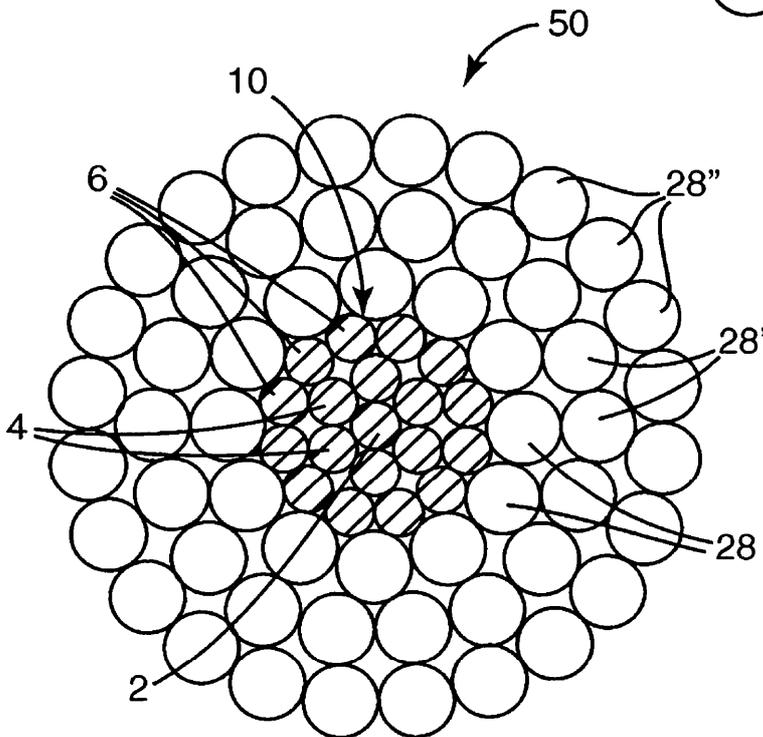


FIG. 4C

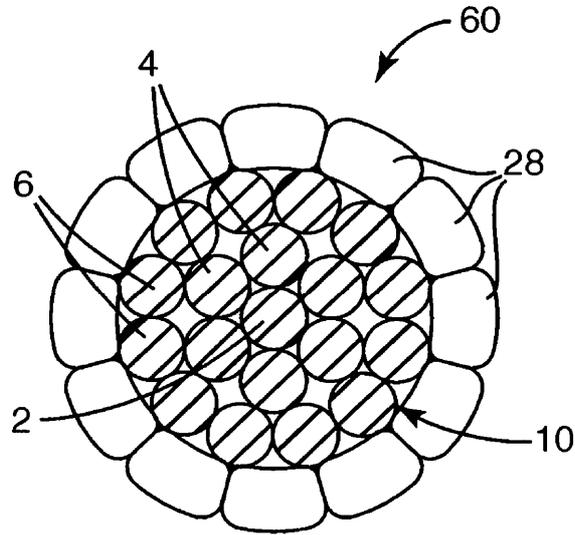


FIG. 4D

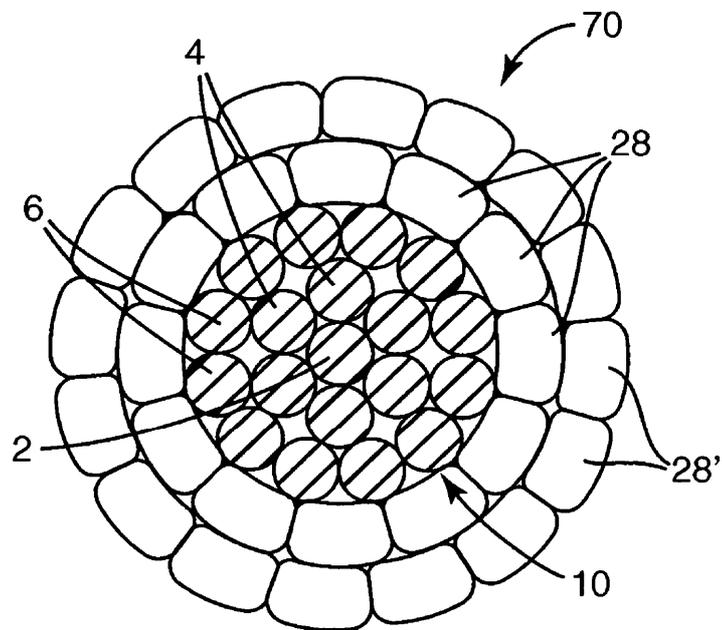
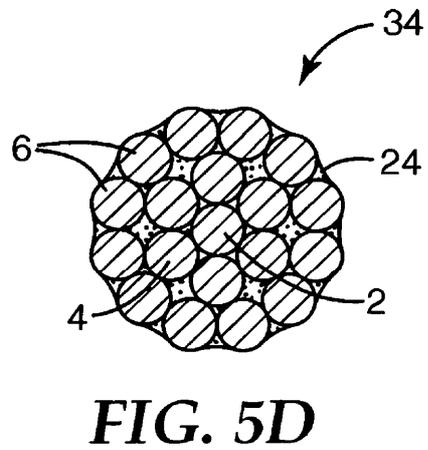
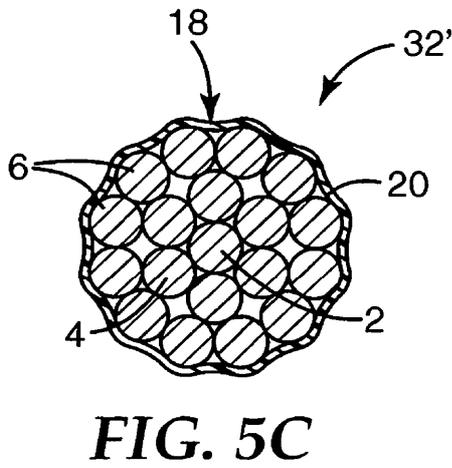
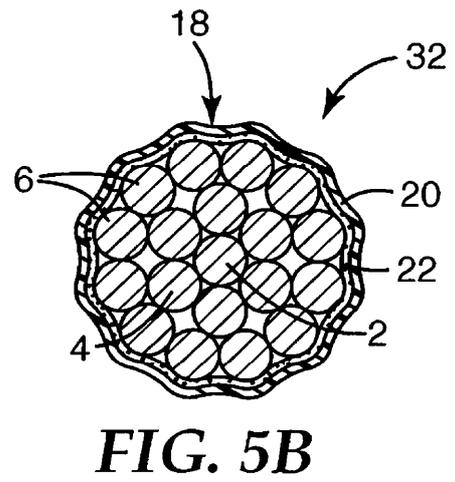
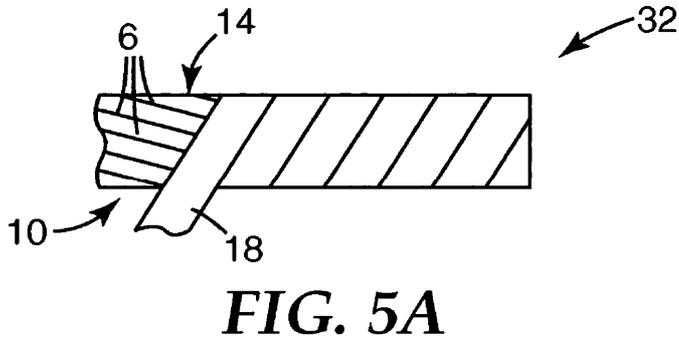


FIG. 4E



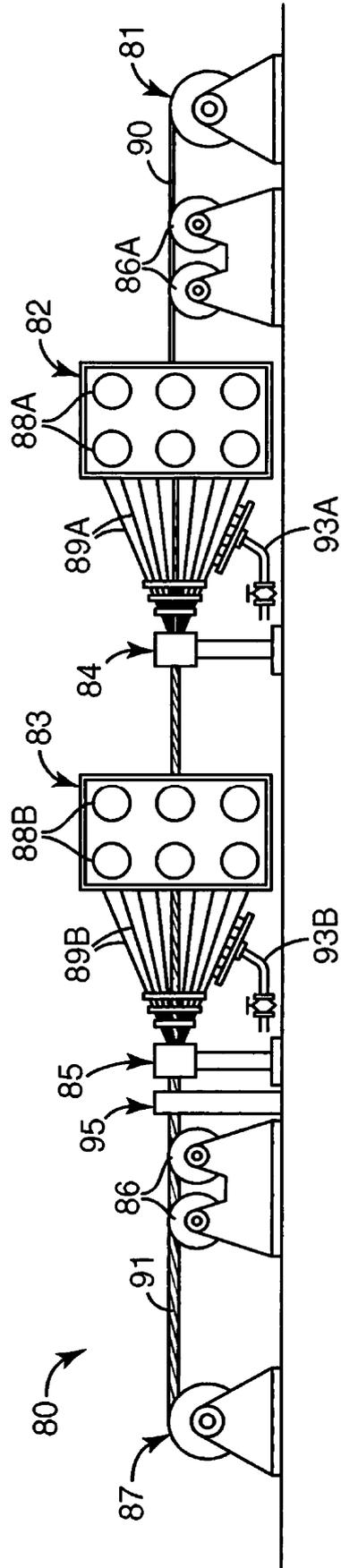


FIG. 6

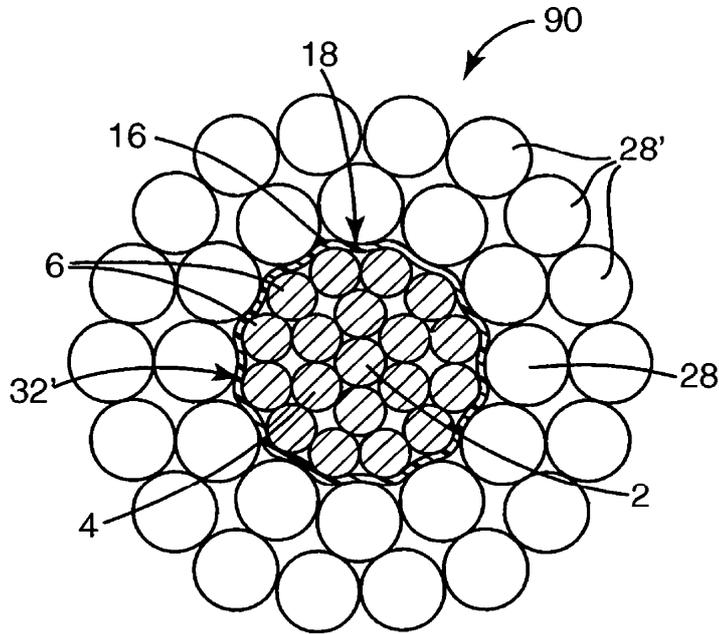


FIG. 7

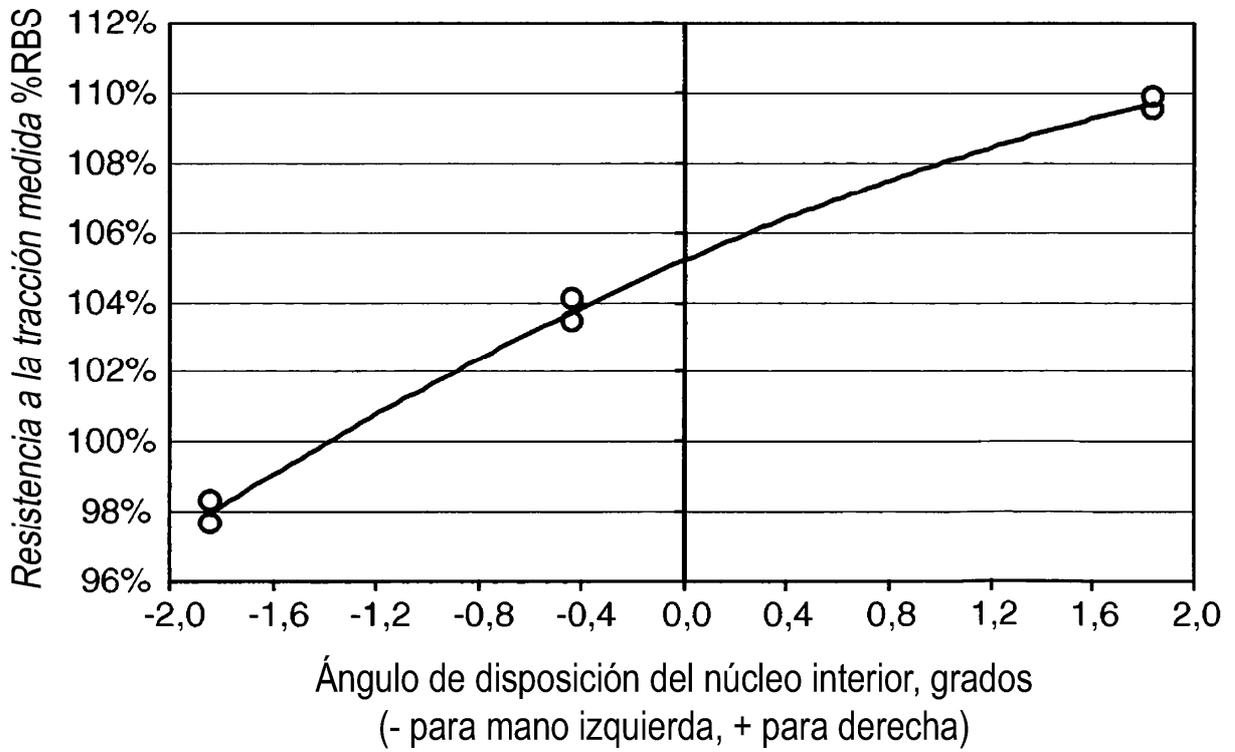


FIG. 8

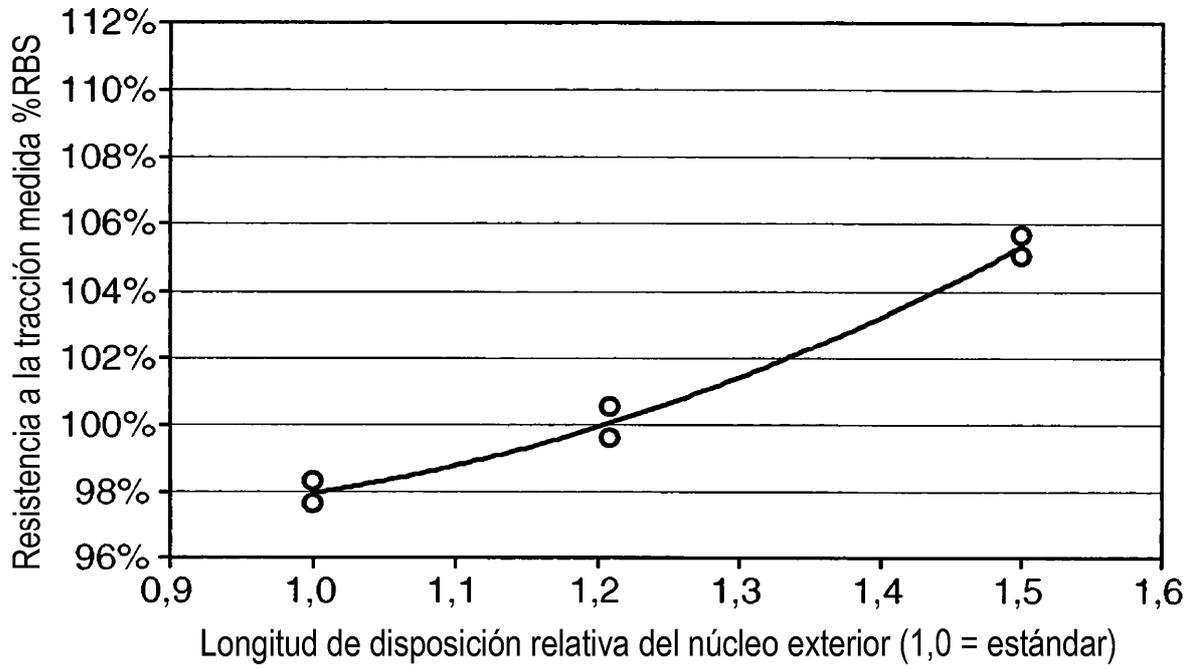


FIG. 9

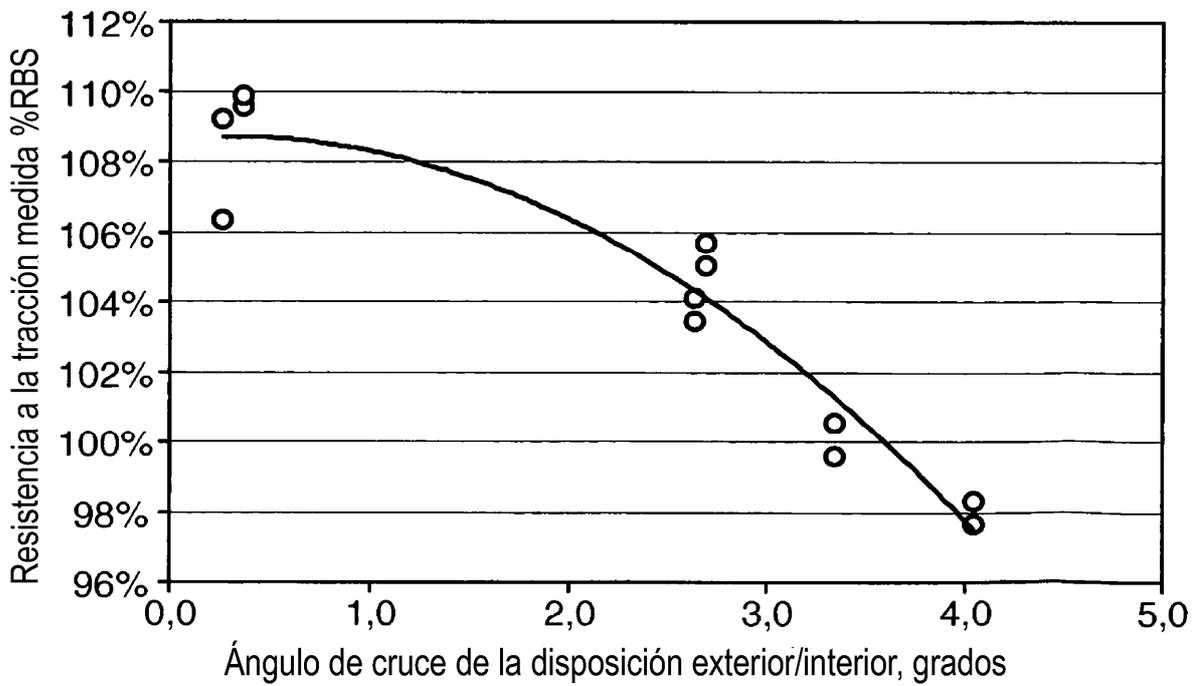


FIG. 10