

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 065**

51 Int. Cl.:

E04C 5/01

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2011 PCT/EP2011/072747**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2012 WO12080326**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2011 E 11794766 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 2652221**

54 Título: **Hormigón reforzado con fibra de acero**

30 Prioridad:

15.12.2010 EP 10195107

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

07.11.2017

73 Titular/es:

**NV BEKAERT SA (100.0%)
Bekaertstraat 2
8550 Zwevegem, BE**

72 Inventor/es:

**LAMBRECHTS, ANN y
VERVAECKE, FREDERIK**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 641 065 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

Hormigón reforzado con fibra de acero

5 Campo técnico

La invención se refiere a una estructura de hormigón reforzado con fibras de acero provista de extremos de anclaje que permiten obtener un buen anclaje cuando están incrustadas en hormigón. Las fibras de acero tienen extremos de anclaje que tienen al menos dos secciones curvadas. Las fibras de acero utilizadas en la presente invención muestran un buen comportamiento en el estado límite de capacidad de servicio (SLS) y en el estado límite último (ULS) cuando están incrustadas en hormigón o mortero.

10

Antecedentes de la técnica

15 El hormigón es un material quebradizo que tiene baja resistencia a la tracción y baja capacidad de deformación. Para mejorar las propiedades del hormigón, tal como la resistencia a la tracción y la capacidad de deformación, se ha desarrollado hormigón reforzado con fibras y, más particularmente, hormigón reforzado con fibras metálicas.

20 Es conocido en la técnica que las propiedades de las fibras como la concentración de fibras, la geometría de las fibras y la relación de aspecto de las fibras influyen en gran medida en el rendimiento del hormigón reforzado.

Con respecto a la geometría de las fibras, se sabe que las fibras que tienen una forma diferente de una forma recta proporcionan un mejor anclaje de la fibra en el hormigón o mortero.

25 Además, es conocido que se prefieren fibras que no muestran la tendencia a formar bolas cuando se añaden a o se mezclan con hormigón o mortero. Numerosos ejemplos de diferentes geometrías de fibras se conocen en la técnica. Existen, por ejemplo, fibras que están provistas de ondulaciones, ya sea sobre toda la longitud o sobre parte de su longitud. Ejemplos de fibras de acero onduladas sobre toda su longitud se describen en el documento WO84/02732. También se conocen en la técnica fibras que tienen extremos en forma de gancho. Dichas fibras se describen, por ejemplo, en el documento US 3.942.955.

30

De manera similar, existen fibras cuyo perfil en sección transversal cambia a lo largo de la longitud, tales como fibras proporcionadas con secciones engrosadas y/o aplanadas.

35 Un ejemplo de una fibra de acero provista de secciones engrosadas es una fibra de acero con engrosamientos en forma de una cabeza de clavo en cada una de las extremidades, como se describe en el documento US 4.883.713.

La patente japonesa 6-294017 describe el aplanamiento de una fibra de acero sobre toda su longitud. El modelo de utilidad alemán G9207598 describe el aplanamiento de solo la porción media de una fibra de acero con extremos en forma de gancho. El documento US 4.233.364 describe fibras de acero rectas provistas de extremos que están aplanados y provistos de una brida en un plano esencialmente perpendicular a los extremos aplanados.

40

Fibras de acero con extremos en forma de gancho aplanados se conocen a partir de los documentos EP 851957 y EP 1282751.

45

El documento KR 2004 06191 Y1 divulga una fibra de acero para refuerzo de hormigón, donde la fibra de acero tiene dos o tres secciones dobladas.

La Hoja Técnica de mayo de 2008 de HE+1/60 divulga una fibra de acero con extremos de anclaje con una sección doblada.

50

Las fibras de la técnica anterior conocidas actualmente para el refuerzo de hormigón funcionan muy bien en los campos de aplicación conocidos, tales como pavimentos industriales, hormigón pulverizado, pavimento, ...

55 Sin embargo, la desventaja de las fibras de la técnica anterior actualmente conocidas es el rendimiento relativamente bajo en estado límite último (ULS) cuando se usan dosis bajas o moderadas de fibras. Para aplicaciones más exigentes estructurales, tal como vigas y losas elevadas, se usan dosis altas, típicamente de 0,5 % en volumen (40 kg/m³) en adelante y no excepcionalmente hasta el 1,5 % en volumen (120 kg/m³) para proporcionar el rendimiento necesario en ULS. Estas altas dosificaciones no facilitan la mezcla y la colocación del hormigón reforzado con fibra de acero.

60

Algunas fibras de la técnica anterior no funcionan a ULS porque se rompen en desplazamientos de apertura de bocas de grietas (CMOD) más bajos que lo que se requiere para ULS. Otras fibras, como las fibras con extremos en forma de gancho, no funcionan bien en ULS, ya que están diseñadas para ser extraídas.

65

Divulgación de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar una estructura de hormigón reforzado con fibras de acero que evite los inconvenientes de la técnica anterior.

5 Es otro objeto proporcionar una estructura de hormigón donde las fibras de acero sean capaces de conectar desplazamientos de apertura de la boca de la grieta mayores de 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm o incluso mayores de 3 mm durante la prueba de flexión de tres puntos, según la norma europea EN 14651 (junio de 2005).

10 Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar una estructura de hormigón con fibras de acero que muestren un buen anclaje en hormigón.

Es un objeto adicional proporcionar una estructura de hormigón donde las fibras de acero no muestren una tendencia a formar bolas cuando se mezclan en el hormigón.

15 Además, un objeto de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón para aplicaciones estructurales mediante el cual las fibras de acero se utilizan en dosis bajas o moderadas, típicamente del 1 % en volumen de fibras de acero o del 0,5 % en volumen de fibras de acero.

20 Además, es otro objeto proporcionar una estructura de hormigón, donde las fibras de acero permiten reducir o evitar el comportamiento de fluencia de hormigón agrietado reforzado con esas fibras en la zona de tensión.

Según la presente invención, se proporciona una estructura de estructura de hormigón según la reivindicación 1, en la que el hormigón tiene una resistencia menor que o igual a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60 como se define en EN206. La estructura de hormigón está reforzada con fibras de acero con una dosificación de dichas fibras de acero inferior al 1 % en volumen. Las fibras de acero comprenden una porción media recta y un extremo de anclaje en uno o ambos extremos de la porción media.

25 La porción media tiene un eje principal. El extremo de anclaje se desvía desde el eje principal de la porción media en una sección de desviación.

El extremo de anclaje está conectado a la porción media de la sección de desviación.

35 El extremo de anclaje tiene n secciones dobladas, con n igual o mayor que 2. Cuando la fibra de acero de acuerdo con la presente invención está en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales en esta superficie horizontal de todas las n secciones dobladas de un extremo de anclaje están situadas en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal del eje principal de la porción media. La porción media de las fibras de acero tiene una elongación a una carga máxima A_{g+e} de al menos un 4 %.

40 La sección de desviación tiene un radio de curvatura. Además, cada una de las secciones dobladas tiene un radio de curvatura: la primera sección doblada tiene un primer radio de curvatura; la segunda sección doblada tiene un segundo radio de curvatura, la tercera sección doblada (si está presente) tiene un tercer radio de curvatura, la n-ésima sección doblada (si está presente) tiene un n-ésimo radio de curvatura.

45 Tal como se especifica anteriormente, un extremo de anclaje de una fibra de acero utilizado en la presente invención tiene al menos n secciones dobladas, siendo n igual o mayor que 2. En realizaciones particulares, un extremo de anclaje de una fibra de acero usada en la presente invención puede comprender más de dos secciones dobladas.

50 En principio, no hay limitación al número de secciones dobladas de un extremo de anclaje de una fibra de acero usada en la presente invención. Sin embargo, las realizaciones más preferidas tienen dos secciones dobladas, tres secciones dobladas o cuatro secciones dobladas.

55 A medida que la sección de desviación también se puede considerar como una sección doblada, la fibra de acero utilizada en la presente invención tiene para cada extremo de anclaje n+1 secciones dobladas: una sección de desviación y n secciones dobladas. Una fibra de acero que tiene dos extremos de anclaje tiene $2x(n+1)$ secciones curvadas.

60 La sección de desviación conecta el extremo de anclaje a la porción media de la fibra de acero y se hace que el extremo de anclaje se desvíe desde el eje principal de la porción media de la fibra de acero. Con "desviación" se quiere decir que se desvía de una línea recta, es decir, se desvía del eje principal de la porción media de la fibra de acero.

65 Cuando una fibra de acero utilizada en la presente invención está en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales en esta superficie horizontal de todas las n secciones dobladas de un extremo de anclaje están situadas en un lado de la proyección

vertical en esta superficie horizontal del eje principal de la porción media, es decir, todas las n secciones dobladas de un extremo de anclaje están situadas en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal de la porción media o en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal de una línea que se extiende desde el eje principal de la porción media de la fibra de acero.

5 Cuando una fibra de acero utilizada en la presente invención está en una posición estable sobre una superficie horizontal, las proyecciones verticales sobre esta superficie horizontal, ninguna de las n secciones dobladas de un extremo de anclaje se encuentra en la proyección vertical del eje principal o en la proyección vertical de una línea que se extiende desde dicho eje principal.

10 Esto significa que solo la proyección vertical sobre esta superficie horizontal de la sección de desviación está al menos parcialmente situada en la proyección vertical sobre esta superficie horizontal del eje principal.

15 Con "posición estable" se entiende la posición en la que una fibra de acero permanece cuando se coloca en una superficie horizontal.

El radio de curvatura de la sección de desviación y de las secciones dobladas está comprendido preferiblemente entre 0,1 mm y 5 mm, por ejemplo, entre 0,5 mm y 3 mm, por ejemplo, 1 mm, 1,2 mm o 2 mm.

20 El radio de curvatura de la sección de desviación y de las diferentes secciones dobladas de un extremo de anclaje de una fibra de acero puede elegirse independientemente entre sí. Esto significa que el radio de la sección de desviación, el radio de la primera sección doblada, el radio de la segunda sección doblada y el radio de cualquier sección doblada adicional (si está presente) puede ser el mismo o puede ser diferente.

25 Un ejemplo de una fibra de acero utilizada en la presente invención comprende una fibra de acero que tiene una sección de desviación en la que el extremo de anclaje está desviado del eje principal de la porción media y un extremo de anclaje que tiene dos secciones dobladas: una primera sección doblada y una segunda sección doblada. El extremo de anclaje está conectado a un extremo de la porción media en la sección de desviación. La primera sección doblada está conectada a la sección de desviación y la segunda sección doblada está conectada a la primera sección doblada. En un primer ejemplo, la primera sección doblada está conectada directamente a la sección de desviación y la segunda sección doblada está conectada directamente a la primera sección doblada.

30 Un ejemplo alternativo de una fibra de acero utilizada en la presente invención comprende una fibra de acero que tiene una sección de desviación en la que el extremo de anclaje está desviado del eje principal de la porción media y un extremo de anclaje que tiene una primera y una segunda sección doblada. El extremo de anclaje está conectado a un extremo de la porción media en la sección de desviación. La primera sección doblada está conectada a la sección doblada de desviación mediante una primera sección recta y la segunda sección doblada está conectada a la primera sección doblada mediante una segunda sección recta.

40 La longitud de una sección recta entre dos secciones dobladas consecutivas de acuerdo con la invención oscila entre 0,1 mm y 5 mm, por ejemplo, 0,5 mm o 2 mm.

"Secciones curvadas consecutivas" significa secciones dobladas que siguen una después de la otra.

45 Las longitudes de las distintas secciones rectas entre dos secciones dobladas consecutivas pueden elegirse independientemente entre sí. Esto significa que las diferentes secciones rectas pueden tener la misma longitud o longitudes diferentes.

50 Un ejemplo comprende una fibra de acero que tiene secciones rectas, teniendo todas las secciones rectas una longitud de 2 mm.

55 Un ejemplo alternativo comprende una fibra de acero que tiene una primera sección recta (es decir, la sección recta entre la sección de desviación y la primera sección doblada) que tiene una longitud de 0,5 mm, una segunda sección recta (es decir, la sección recta entre la primera y la segunda sección doblada) que tiene una longitud de 2 mm.

Una fibra de acero utilizada en la presente invención puede estar provista de un extremo de anclaje en un extremo de la porción media. Preferiblemente, una fibra de acero está provista de un extremo de anclaje en ambos extremos de la fibra de acero.

60 En el caso de que la fibra de acero esté provista de un extremo de anclaje en ambos extremos de la porción media, los dos extremos de anclaje pueden ser iguales o pueden ser diferentes.

65 Para una fibra de acero que tiene un extremo de anclaje en ambos extremos de la porción media, los dos extremos de anclaje pueden doblarse alejándose (desviación) en la misma dirección desde el eje principal de la porción media de la fibra de acero (fibras simétricas).

Alternativamente, un extremo de anclaje puede doblarse alejándose (desviación) en una dirección desde el eje principal de la porción media de la fibra de acero, mientras que el otro extremo de anclaje se dobla alejándose (desviación) en la dirección opuesta desde el eje principal de la porción media de la fibra de acero (fibras asimétricas).

5 Para una fibra de acero utilizada en la presente invención, la porción media y el extremo de anclaje están situados preferiblemente en un plano o están situados sustancialmente en un plano.

10 El otro extremo de anclaje, en su caso, puede estar situado en el mismo plano o en otro plano.

Una ventaja de las fibras de acero usadas en la presente invención es que no se coagulan cuando se mezclan con hormigón o mortero. Esto da como resultado una distribución homogénea de las fibras de acero sobre el hormigón o el mortero. Esto, en contraste con las fibras de acero que tienen pliegues consecutivos en lados opuestos del eje principal de la porción media o que tienen pliegues consecutivos, por lo que uno está situado en el eje principal de la porción media, tienden a coagularse durante el mezclado. La coagulación de las fibras de acero termina en una distribución no homogénea de las fibras de acero sobre el hormigón.

15 Las fibras de acero utilizados en la presente invención funcionan particularmente bien en el estado límite de capacidad de servicio (SLS) de una estructura de hormigón o mortero y en el estado límite último (ULS) cuando se usa a una dosis moderada o baja, es decir, de acuerdo con la invención, a una dosis menor del 1 % en volumen o incluso menor del 0,5 % en volumen, por ejemplo, del 0,25 % en volumen.

20 Es conocido en la técnica que el aumento de la cantidad de fibras en el hormigón influye positivamente en el comportamiento del hormigón reforzado con fibras.

25 Una gran ventaja de la presente invención es que el buen rendimiento en SLS y en ULS se obtiene con dosis moderadas o bajas de fibras de acero.

30 Para esta invención, las propiedades de los materiales utilizados para evaluar el rendimiento en ULS y SLS de hormigón reforzado con fibras de acero es la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,i}$. La resistencia a la tracción por flexión residual se deriva de la carga en un desplazamiento de apertura de boca de grieta (CMOD) predeterminado o desviación de extensión media (δ_R).

35 Las resistencias a la tracción por flexión residual se determinan por medio de un ensayo de flexión de tres puntos según la norma europea EN 14651 (descrita adicionalmente en esta solicitud).

40 La resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$ se determina en $CMOD_1 = 0,5$ mm ($\delta_{R,1} = 0,46$ mm), la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,2}$ se determina en $CMOD_2 = 1,5$ mm ($\delta_{R,2} = 1,32$ mm), la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ se determina en $CMOD_3 = 2,5$ mm ($\delta_{R,3} = 2,17$ mm) y la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,4}$ se determina en $CMOD_4 = 3,5$ mm ($\delta_{R,4} = 3,02$ mm).

La resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$ es el requisito clave para el diseño de SLS.

45 La resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ es el requisito clave para el diseño de ULS.

Para fibras de acero utilizadas en la presente invención - contrariamente a las fibras de acero conocidas en la técnica - la relación entre la resistencia a la flexión residual $f_{R,3}$ y la resistencia a la flexión residual $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$) es alta incluso cuando se usan dosis bajas o moderadas de fibras de acero. Dichas dosis son, según la invención, inferiores al 1 % en volumen o incluso inferiores al 0,5 % en volumen, por ejemplo, 0,25 % en volumen. Para las fibras utilizadas en la presente invención, la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ es preferiblemente mayor que 1, y más preferiblemente superior a 1,05 o superior a 1,15, por ejemplo, 1,2 o 1,2 cuando las dosis son inferiores al 1 % en volumen o dosis menores al 0,5 % en volumen, por ejemplo, 0,25 % en volumen.

50 Para estructuras de hormigón de acuerdo con la presente invención con una dosis de 0,5 % en volumen, la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ usando un hormigón C35/45 es mayor que 3,5 MPa, preferiblemente mayor que 5 MPa, más preferiblemente mayor que 6 MPa, tal como, por ejemplo, 7 MPa.

60 Las fibras conocidas en la técnica, tal como, por ejemplo, fibras de acero que tienen extremos en forma cónica (cabezas de clavo) hechas de acero de bajo carbono funcionan bien para limitar la anchura o el crecimiento de hasta aproximadamente 0,5 mm (SLS). Sin embargo, estas fibras tienen un bajo rendimiento en ULS. Este tipo de fibras de acero se rompe en desplazamientos de apertura de boca de grieta inferiores a los requeridos por ULS.

65 La relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ es inferior a 1 para dosis moderadas en un hormigón de resistencia normal, por ejemplo, hormigón C35/45.

Otras fibras conocidas en la técnica son fibras con extremos en forma de gancho, como se conoce, por ejemplo, a partir del documento EP 851957, están diseñadas para estirar.

5 También para este tipo de fibras, la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ es inferior a 1 para dosis moderadas en un hormigón de resistencia normal.

CAPACIDAD DE CARGA MÁXIMA F_m - RESISTENCIA A LA TRACCIÓN R_m

10 Una fibra de acero utilizada en la presente invención, es decir, la porción media de una fibra de acero utilizada en la presente invención tiene preferiblemente una alta capacidad de carga máxima F_m . La capacidad de carga máxima F_m es la mayor carga que soporta la fibra de acero durante una prueba de tracción.

15 La capacidad de carga máxima F_m de la porción media está directamente relacionada con la resistencia a la tracción R_m de la porción media como la resistencia a la tracción R_m es la máxima capacidad de carga F_m dividida por el área de la sección transversal original de la fibra de acero.

20 Para una fibra de acero utilizada en la presente invención, la resistencia a la tracción de la porción media de la fibra de acero es preferiblemente superior a 1000 MPa, y más particularmente, superior a 1400 MPa, por ejemplo, superior a 1500 MPa, por ejemplo, superior a 1750 MPa, por ejemplo, superior a 2000 MPa, por ejemplo, superior a 2500 MPa.

La alta resistencia a la tracción de las fibras de acero de acuerdo con la presente invención permite que las fibras de acero soporten cargas elevadas.

25 Una resistencia a la tracción superior, por lo tanto, se refleja directamente en una dosis más baja de las fibras. Sin embargo, el uso de fibras de acero que tienen una alta resistencia a la tracción solo tiene sentido si las fibras de acero muestran un buen anclaje en el hormigón.

ELONGACIÓN EN CARGA MÁXIMA

30 Según la invención, la fibra de acero, más particularmente, la porción media de una fibra de acero utilizada en la presente invención tiene una elongación en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %.

35 De acuerdo con realizaciones particulares de la presente invención, la porción media de la fibra de acero tiene una elongación en carga máxima A_{g+e} mayor del 4,25 %, mayor del 4,5 %, mayor del 4,75 %, mayor del 5,0 %, mayor del 5,25 %, mayor del 5,5 %, mayor del 5,75 % o incluso mayor del 6,0 %.

40 En el contexto de la presente invención, la elongación en carga máxima A_{g+e} y no la elongación en fracción A se utiliza para caracterizar la elongación de una fibra de acero, más particularmente, de la porción media de una fibra de acero.

La razón es que una vez que se ha alcanzado la carga máxima, se inicia la constricción de la superficie disponible de la fibra de acero y las cargas más altas no son absorbidas.

45 La elongación en carga máxima A_{g+e} es la suma de la elongación plástica en carga máxima A_g y la elongación elástica.

50 La elongación en carga máxima no comprende la elongación estructural A_s que puede ser debida al carácter ondulado de la porción media de la fibra de acero (si existe). En el caso de una fibra de acero ondulada, primero se endereza la fibra de acero antes de medir la A_{g+e} .

55 El alto grado de elongación en carga máxima A_{g+e} se puede obtener mediante la aplicación de un tratamiento para aliviar la tensión particular, tal como un tratamiento térmico a los cables de acero con los que se hacen las fibras de acero. En este caso, al menos la porción media de la fibra de acero está en un estado de alivio de tensión.

Se prefieren fibras de acero que tienen una alta ductilidad o una alta elongación en carga máxima, estas fibras no se rompen por encima de 0,5 mm de CMOD, por encima de 1,5 mm, por encima de 2,5 mm o por encima de 3,5 mm en la prueba de flexión de tres puntos según la norma EN 14651.

60 FUERZA DE ANCLAJE

Preferiblemente, la fibra de acero utilizada en la presente invención tiene un alto grado de anclaje en hormigón o mortero.

65 Al proporcionar la porción media de la fibra de acero con extremos de anclaje de acuerdo con la presente invención, se mejora considerablemente el anclaje de la fibra de acero en hormigón o mortero.

Un alto grado de anclaje evitará de extracción de las fibras.

Un alto grado de anclaje combinado con una alta elongación en máxima resistencia evitará de extracción de las fibras, evitará el fracaso de la fibra y evitará un fallo de fragilidad del hormigón en tensión.

5 Un alto grado de anclaje combinado con una alta resistencia a la tracción permite que se haga mejor uso de la resistencia a la tracción después de la aparición de grietas.

10 Las fibras de acero utilizadas en la presente invención tienen, por ejemplo, una resistencia a la tracción R_m mayor que 1000 MPa y una elongación en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %.

En realizaciones preferidas, las fibras de acero tienen una resistencia a la tracción R_m de al menos 1500 MPa y una elongación en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %.

15 En otras realizaciones preferidas, las fibras de acero tienen una resistencia a la tracción R_m de al menos 2000 MPa y una elongación en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %.

20 Las fibras que tienen una alta resistencia a la tracción R_m pueden soportar altas cargas. Las fibras caracterizadas por una alta elongación en carga máxima A_{g+e} no se romperán a CMOD por encima de 0,5 mm, por encima de 1,5 mm, por encima de 2,5 mm o por encima de 3 mm en la prueba de flexión de tres puntos según la norma EN 14651.

25 La porción media de la fibra de acero puede ser recta o rectilínea; o puede ser rizada u ondulado. Preferiblemente, la porción media de las fibras de acero es recta o rectilínea. En el caso de que la porción media sea rizada u ondulada, el eje principal de la porción media se define como la línea que cruza la porción media rizada u ondulada de tal manera que el área total de las ondas u ondulaciones superiores por encima de esta línea es la misma que el área total de las ondas u ondulaciones bajo esta línea.

30 Las fibras de acero, más particularmente la porción media, pueden tener cualquier sección transversal, tal como una sección transversal circular, una sección transversal sustancialmente circular, una sección transversal rectangular, una sección transversal sustancialmente rectangular, una transversal ovalada, una sección transversal sustancialmente ovalada, etc.

35 Las fibras de acero, más particularmente la porción media de las fibras de acero, tienen un diámetro D comprendido entre 0,10 mm y 1,20 mm, por ejemplo, comprendido entre 0,5 mm y 1 mm, más particularmente, de 0,7 mm o 0,9 mm. En el caso de que la sección transversal de la fibra de acero, y más particularmente de la porción media de la fibra de acero, no sea redonda, el diámetro es igual al diámetro de un círculo con la misma área superficial que la sección transversal de la porción media de la fibra de acero.

40 Las fibras de acero, más particularmente la porción media de las fibras de acero, tienen una relación de longitud y diámetro L/D que oscila de 40 a 100.

La longitud de las fibras de acero es, por ejemplo, de 50 mm, 55 mm, 60 mm o 65 mm.

45 Con longitud de una fibra de acero se entiende la longitud total de la fibra de acero, es decir, la suma de la longitud de la porción media y la longitud del extremo de anclaje o extremos de anclaje.

La porción media tiene una longitud mayor que 25 mm, por ejemplo, mayor que 30 mm, mayor que 40 mm o mayor que 45 mm.

50 La fibra de acero o parte de la fibra de acero puede ser aplanada o puede estar provista de una o más secciones aplanadas. Por ejemplo, la porción media, parte de la porción media, un extremo de anclaje o parte de un extremo de anclaje puede ser aplanado o puede estar provisto de una o más secciones aplanadas.

55 Si la porción media está provista de una o más secciones aplanadas, la sección o secciones aplanadas están situadas preferiblemente cerca, pero no inmediatamente adyacentes, al extremo de anclaje o extremos de anclaje.

Una estructura de hormigón reforzado según la invención puede estar reforzado o no con refuerzo tradicional (por ejemplo, refuerzo pretensado o postensado) además de las fibras de acero.

60 Para una estructura de hormigón reforzado de acuerdo con la presente invención, la relación entre la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ /resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$) es preferiblemente mayor que 1 y más preferiblemente mayor que 1,05, mayor que 1,15 o mayor que 1,2, por ejemplo, 1,3. Esta relación se alcanza cuando se utilizan dosis bajas de fibras de acero. La dosis es, según la invención, inferior al 1 % en volumen, o incluso inferior al 0,5 % en volumen, o incluso una dosis del 0,25 % en volumen.

65

La resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ de una estructura de hormigón reforzado de acuerdo con la presente invención es preferiblemente mayor que 3,5 MPa, más preferiblemente, la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ es mayor que 4,5 MPa, mayor que 5 MPa, o incluso mayor que 6 MPa.

5 La estructura de hormigón de acuerdo con la presente invención tiene una resistencia residual a grietas de poste promedio a ULS superior a 3 MPa, por ejemplo, más de 4 MPa, por ejemplo, más de 5 MPa, 6 MPa, 7 MPa, 7,5 MPa. Pueden alcanzarse estructuras de hormigón que tengan una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 3 MPa o superior a 4 MPa utilizando hormigón C35/45 y utilizando dosis de menos del 1 % en volumen o incluso menos del 0,5 % en volumen.

10 Según la presente invención, estructuras de hormigón reforzado preferidas tienen una resistencia residual de grietas de poste promedio a ULS superior a 5 MPa usando hormigón C35/45 y usando dosis de menos del 1 % en volumen o incluso menos del 0,5 % en volumen.

15 Es importante indicar que existen estructuras de hormigón reforzado que tienen una resistencia residual de grietas de poste promedio a ULS superior a 3 MPa o 5 MPa. Sin embargo, estas estructuras de hormigón reforzado conocidas en la técnica utilizan altas dosis de fibras de acero (por encima del 0,5 % en volumen o por encima del 1 % en volumen) en hormigón de resistencia normal u hormigón de alta resistencia o usan dosis moderadas de fibras de alta resistencia en hormigón de alta resistencia.

20 Las estructuras de hormigón según la presente invención pueden ser estructuras que llevan carga.

Breve descripción de las figuras en los dibujos

25 La invención se describirá ahora en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, donde

- La figura 1 ilustra una prueba de tracción (prueba de carga-deformación) de una fibra de acero;
- La figura 2 ilustra una prueba de flexión de tres puntos (curva de desplazamiento de abertura de boca de fisura de carga o curva de carga-deformación);
- 30 - La figura 3 ilustra una curva de desplazamiento de abertura de boca de fisura de carga;
- La figura 4, la figura 5 y la figura 6 ilustran una serie de diferentes fibras de acero utilizadas en la presente invención;
- La figura 7, la figura 8, la figura 9, la figura 10a y la figura 10e ilustran una serie de diferentes fibras de acero provistas de extremos de anclaje que no cumplen los requisitos de la presente invención;
- 35 - La figura 10b, la figura 10c, y la figura 10d ilustran algunas realizaciones adicionales de fibras de acero, algunas realizaciones utilizadas en la presente invención y algunas fibras de acero de la técnica anterior.

Modo(s) de realizar la invención

40 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no se limita a las mismas, sino solamente mediante las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala para fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales a la práctica de la invención.

45 Los términos siguientes se proporcionan únicamente para ayudar en la comprensión de las invenciones.

- Capacidad de carga máxima (F_m): la mayor carga que soporta la fibra de acero durante una prueba de tracción;
- 50 - Elongación en carga máxima (%): aumento de la longitud de calibre de la fibra de acero a la fuerza máxima, expresada como un porcentaje de la longitud de calibre original;
- Elongación en fractura (%): aumento de la longitud de calibre en el momento de la fractura, expresado como un porcentaje de la longitud de calibre original;
- 55 - Resistencia a la tracción (R_m): tensión correspondiente a la carga máxima (F_m);
- Tensión: fuerza dividida por el área en sección transversal original de la fibra de acero;
- 60 - Dosis: cantidad de fibras añadidas a un volumen de hormigón (expresada en kg/m^3 o en % en volumen (1 % en volumen corresponde a $78,5 \text{ kg/m}^3$, 0,5 % en volumen corresponde a 40 kg/m^3);
- Hormigón de resistencia normal: hormigón con una resistencia inferior o igual a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60, tal como se define en la norma EN206.

65

- Hormigón de alta resistencia: hormigón con una resistencia superior a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60, tal como se define en la norma EN 206.

5 Para ilustrar la invención, un número de diferentes fibras de acero, ambas fibras de acero de la técnica anterior y fibras de acero utilizadas en la presente invención se someten a dos pruebas diferentes:

- una prueba de tracción (prueba de carga-deformación); y
- una prueba de flexión de tres puntos (curva de desplazamiento de abertura de boca de fisura de carga o curva de carga-deformación).

10 La prueba de tracción se aplica sobre la fibra de acero, más particularmente, sobre la porción media de la fibra de acero. Alternativamente, la prueba de tracción se aplica sobre el cable utilizado para fabricar la fibra de acero.

15 La prueba de tracción se utiliza para determinar la máxima capacidad de carga F_m de la fibra de acero y para determinar la elongación en carga máxima A_{g+e} .

La prueba de flexión de tres puntos se aplica sobre una viga reforzada con muescas como se especifica en la norma EN 14651.

20 La prueba se utiliza para determinar las resistencias a la tracción residuales.

Las pruebas se ilustran en la figura 1 y en la figura 2, respectivamente.

25 La figura 1 muestra una configuración de prueba 60 de una prueba de tracción (prueba de carga-deformación) de una fibra de acero. Con la ayuda de la configuración de prueba 60 se prueban fibras de acero en cuanto a la capacidad de carga máxima F_m (carga de rotura), resistencia a la tracción R_m y elongación total en carga máxima A_{g+e} .

30 Se cortan primero los extremos de anclaje (por ejemplo, los extremos ampliados o en gancho en forma) de la fibra de acero a probar. La porción media restante 14 de la fibra de acero se fija entre dos pares de abrazaderas 62, 63. A través de las abrazaderas 62, 63 se ejerce una fuerza de tracción creciente F sobre la porción media 14 de la fibra de acero. El desplazamiento o la elongación como resultado de esta fuerza de tracción creciente F se mide midiendo el desplazamiento de los agarres 64, 65 del extensómetro. L_1 es la longitud de la porción media de la fibra de acero y es, por ejemplo, de 50 mm, 60 mm o 70 mm. L_2 es la distancia entre las abrazaderas y es, por ejemplo, de 20 mm o 25 mm. L_3 es la longitud de calibración del extensómetro y es mínimo 10 mm, por ejemplo, 12 mm, por ejemplo, 15 mm. Para una sujeción mejorada del extensómetro a la porción media 14 de la fibra de acero, la porción media de la fibra de acero puede revestirse o puede cubrirse con una cinta delgada para evitar el deslizamiento del extensómetro sobre la fibra de acero. Mediante esta prueba se registra una curva de carga-elongación.

40 La elongación total porcentual en carga máxima se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A_{g+e} = \frac{\text{extensión en carga máxima}}{\text{longitud calibración extensómetro } L_3} \times 100$$

45 Con la ayuda de la configuración 60 de la figura 1, un número de diferentes cables se prueban en cuanto a la capacidad máxima de carga F_m (carga de rotura), resistencia a la tracción R_m y la elongación total en carga máxima A_{g+e} .

Se realizan cinco pruebas por espécimen. La Tabla 1 da una visión general de los cables que se prueban.

50

Tabla 1

Tipo de cable	Contenido de carbono	Diámetro (mm)	F_m (N)	R_m (MPa)	A_{g+e} (%)
1	Bajo	1,0	911	1160	1,86
2	Bajo	0,9	751	1181	2,16
3	Alto	0,89	1442	2318	5,06
4	Medio	0,75	533	1206	2,20
5	Medio	0,90	944	1423	1,84

55 Acero bajo en carbono se define como de acero que tiene un contenido de carbono de un máximo del 0,15 %, por ejemplo, 0,12 %; se define acero medio en carbono como acero que tiene un contenido de carbono comprendido entre el 0,15 % y el 0,44 %, por ejemplo, 0,18 %, y acero alto en carbono se define como acero que tiene un contenido de carbono superior al 0,44 %, por ejemplo, 0,5 % o 0,6 %.

La figura 2 muestra la configuración experimental 200 de una prueba de flexión de tres puntos. La prueba de flexión de tres puntos se realizó a los 28 días de acuerdo con la norma europea EN 14651 usando un espécimen prismático 210 de 150 x 150 x 600 mm. En la extensión media del espécimen 210 se cortó una única muesca 512 con una profundidad de 25 mm con una cuchilla de diamante para localizar la grieta. La configuración comprende dos rodillos de soporte 214, 216 y un rodillo de carga 218. La configuración es capaz de operar de una manera controlada, es decir, producir una velocidad de desplazamiento constante (CMOD o desviación). Las pruebas se realizaron con una velocidad de desplazamiento tal como se especifica en la norma EN 14651. Se registra una curva de desplazamiento de abertura de boca de grieta de carga o una curva de carga-deformación.

Un ejemplo de una curva de desplazamiento de boca de abertura de grieta de carga 302 se da en la figura 3.

La resistencia a la flexión residual $f_{R,i}$ ($i = 1, 2, 3$ o 4) se evalúa de acuerdo con la norma EN 14651 y se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$f_{R,i} = \frac{3F_{R,i}L}{2bh_{sp}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

con:

$F_{R,i}$ = la carga correspondiente a CMOD = CMOD_i o $\delta = \delta_{R,i}$ ($i = 1,2,3,4$);

b = anchura del espécimen (mm);

h_{sp} = distancia entre la punta de la muesca y la parte superior del espécimen (mm);

L = longitud de extensión del espécimen (mm).

A continuación, se describen algunas realizaciones de fibras de acero utilizadas en la presente invención.

Una primera fibra de acero 400 se muestra en la figura 4. La fibra de acero 400 comprende una porción media 402 que tiene un eje principal 404. La fibra de acero 400 tiene dos extremos de anclaje 406, 408, uno en cada extremo de la porción media 402. Los extremos de anclaje 406, 408 se desvían del eje principal 404 de la porción media 402 en la sección de desviación 410. Los extremos de anclaje 406, 408 se desvían del eje principal 404 en una primera sección doblada 410. En la realización mostrada en la figura 4, ambos extremos de anclaje se desvían en la misma dirección desde el eje principal 404 de la porción media 402. Sin embargo, es evidente para una persona experta en la técnica que también puede considerar realizaciones con extremos de anclaje que se desvían en diferentes direcciones.

Ambos extremos de anclaje 406, 408 comprenden

Ambos extremos de anclaje 406, 408 tienen dos secciones dobladas: una primera sección doblada 420 y una segunda sección doblada 422. La primera sección doblada 420 está conectada a la sección de desviación 410 mediante una primera sección recta 412; la segunda sección doblada 422 está conectada a la primera sección doblada 420 mediante una segunda sección recta 414. Los extremos de anclaje 406, 408 comprenden además una tercera sección recta 416 conectada a la segunda sección 422. La segunda sección recta 414 se curva hacia el eje principal 404 de la porción media 402 en la sección doblada 420; la tercera sección recta 416 se dobla hacia fuera del eje principal 404 de la porción media 402 en la sección doblada 422.

Cuando la fibra de acero 400 en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales de la primera sección doblada 420 y de la segunda sección doblada 422 están situadas en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal del eje principal 404 de la porción media 402 de la fibra de acero 400.

Ninguna de las proyecciones verticales de la primera sección doblada 420 de la segunda sección doblada 422 está situada en la proyección vertical del eje principal 404 de la porción media 402 de las fibras de acero 400.

Una segunda realización de una fibra de acero 500 utilizada en la presente invención se muestra en la figura 5. La fibra de acero 500 comprende una porción media 502 que tiene un eje principal 504. La fibra de acero 500 tiene dos extremos de anclaje 506, 508, uno en cada extremo de la porción media 502. Ambos extremos de anclaje 506, 508 se desvían del eje principal 504 en la sección de desviación 510. En la realización mostrada en la figura 5, ambos extremos de anclaje se desvían en una dirección opuesta desde el eje principal 504 de la porción media 502. Ambos extremos de anclaje 506, 508 comprenden tres secciones dobladas: una primera sección doblada 520, una segunda sección doblada 522 y una tercera sección doblada 524. La primera sección doblada 520 está conectada a la sección de desviación 510 mediante una primera sección recta 512; la segunda sección doblada 522 está conectada a la primera sección doblada 520 mediante una segunda sección recta 514; la tercera sección doblada 524 está conectada a la segunda sección doblada 522 mediante una tercera sección recta 516. Los extremos de anclaje 506, 508 comprenden además una cuarta sección recta 418 conectada a la tercera sección doblada 524.

ES 2 641 065 T3

La segunda sección recta 514, la tercera sección recta 516 y la cuarta sección recta están todas dobladas hacia fuera del eje principal 504 de la porción media 502, respectivamente, en la primera sección doblada 520, la segunda sección doblada 522 y la tercera sección doblada 524.

5 Cuando la fibra de acero 500 en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales de la primera sección doblada 520, de la segunda sección doblada 522 y de la tercera sección doblada 524 están situadas en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal del eje principal 504 de la porción media 502 de la fibra de acero 500.

10 Ninguna de las proyecciones verticales de la primera sección doblada 520, de la segunda sección doblada 522 o de la tercera sección doblada está situada en la proyección vertical del eje principal 504 de la porción media 502 de las fibras de acero 500.

15 Una tercera realización de una fibra de acero 600 utilizada en la presente invención se muestra en la figura 6. La fibra de acero 600 comprende una porción media 602 que tiene un eje principal 604. La fibra de acero 600 tiene dos extremos de anclaje 606, 608, uno en cada extremo de la porción media 602. Ambos extremos de anclaje 606, 608 se desvían del eje principal 604 en la sección de desviación 610. En la realización mostrada en la figura 6, ambos extremos de anclaje se desvían en direcciones opuestas desde el eje principal 604 de la porción media 602. Ambos extremos de anclaje 606, 608 tienen dos secciones dobladas: una primera sección doblada 620 y una segunda sección doblada 622. La primera sección doblada 620 está conectada a la sección de desviación 610 mediante una primera sección recta 612; la segunda sección doblada 622 está conectada a la primera sección doblada 620 mediante una segunda sección recta 614. Los extremos de anclaje 606, 608 comprenden además una tercera sección recta 616 conectada a la segunda sección doblada 622.

20 La segunda sección recta 614 está orientada paralela o sustancialmente paralela con el eje principal 604 de la porción media 602. La tercera sección recta 624 que se dobla hacia fuera del eje principal 604 de la porción media 602 es la sección doblada 622.

25 Cuando la fibra de acero 600 en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales de la primera sección doblada 620 y de la segunda sección doblada 622 están situadas en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal del eje principal 604 de la porción media 602 de la fibra de acero 600.

30 Ninguna de las proyecciones verticales de la primera sección doblada 620 o de la segunda sección doblada 622 está situada en la proyección vertical del eje principal 604 de la porción media 602 de las fibras de acero 600.

35 La figura 7 muestra una realización adicional de una fibra de acero 700 que no cumple los requisitos de la presente invención. La fibra de acero 700 tiene dos extremos de anclaje 706, 708, uno en cada extremo de la porción media 702.

40 Ambos extremos de anclaje se desvían del eje principal 704 en la sección de desviación 710.

45 Ambos extremos de anclaje 706, 708 comprenden dos secciones dobladas: una primera sección doblada 712 y una segunda sección doblada 714. La primera sección doblada 712 está conectada directamente a la sección de desviación 710; la segunda sección doblada 714 está conectada directamente a la primera sección doblada 712.

50 Cuando la fibra de acero 700 en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales en esta superficie horizontal de la primera sección doblada 712 y de la segunda sección doblada 714 están situadas en un lado de la proyección vertical en esta superficie horizontal del eje principal 704 de la porción media de la fibra de acero 700.

La figura 8 y la figura 9 muestran dos realizaciones de fibras de acero que no cumplen con los requisitos de la presente invención.

55 La figura 8 muestra una fibra de acero 800 que tiene una porción media 802 que tiene un eje principal 804. La fibra de acero 800 tiene dos extremos de anclaje 806, 808, uno en cada extremo de la porción media 802. Ambos extremos de anclaje están conectados a la porción media 802 mediante una sección de desviación 810. Ambos extremos de anclaje 806, 808 comprenden 3 secciones rectas: una primera sección recta 812, una segunda sección recta 814 y una tercera sección recta 816. Los extremos de anclaje 806, 808 comprenden dos secciones dobladas: una primera sección doblada 820 y una segunda sección doblada 822.

60 Cuando la fibra de acero 800 que está en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, las proyecciones verticales en esta superficie horizontal de la primera sección doblada 820 y de la segunda sección doblada 822 están situadas en lados opuestos de la proyección vertical del eje principal 804 de la porción media 802 de la fibra de acero 800.

65

Un inconveniente de este tipo de fibras de acero es que estas fibras tienden a coagularse durante la mezcla. Las fibras de acero se entrelazan y se forman bolas durante el mezclado.

El resultado es que las fibras de acero no se distribuyen homogéneamente en el hormigón o mortero.

La figura 9 muestra una fibra de acero 900 que tiene una porción media 902 que tiene un eje principal 904. La fibra de acero tiene dos extremos de anclaje 906, 908, uno en cada extremo de la porción media 902. Ambos extremos de anclaje 906, 908 están conectados a la porción media 902 mediante una sección de desviación 910. Los extremos de anclaje 906, 908 comprenden dos secciones dobladas: una primera sección doblada 912 y una segunda sección doblada 914. La primera sección doblada 912 está conectada directamente a la sección de desviación 910; la segunda sección doblada 914 está conectada directamente a la primera sección doblada 912.

Cuando la fibra de acero 900 que está en una posición estable sobre una superficie horizontal se proyecta verticalmente sobre esta superficie horizontal, la proyección vertical en esta superficie horizontal de la primera sección doblada 912 está situada en un lado de la proyección vertical del eje principal 904 de la porción media 902 de la fibra de acero 900. La proyección vertical sobre esta superficie horizontal de la segunda sección doblada 914 está situada sobre la proyección vertical del eje principal 904 de la porción media 902 de la fibra de acero 900.

Un inconveniente de este tipo de fibras de acero es que estas fibras tienden a coagularse durante la mezcla. Las fibras de acero se entrelazan y se forman bolas durante el mezclado.

El resultado es que las fibras de acero no se distribuyen homogéneamente en el hormigón o mortero.

Con la ayuda de la configuración 200 de la figura 2, se prueba el rendimiento de un número de diferentes fibras de acero (FIB1 hasta FIB5) en hormigón. Para la prueba, las fibras de acero están incrustadas en hormigón C35/45. El tiempo de curado fue de 28 días.

Una visión general de las fibras de acero que se prueban se da en la Tabla 2. Los resultados de las pruebas de las fibras de acero de la técnica anterior (FIB1 y FIB5) se dan en la Tabla 3. Los resultados de las pruebas de las fibras de acero según la presente invención (FIB2, FIB3 y FIB4) se dan en la Tabla 4.

Las fibras de acero se especifican por la longitud de la fibra de acero, el tipo de alambre utilizado para hacer la fibra de acero, el diámetro de la fibra de acero (más particularmente el diámetro de la porción media de la fibra de acero), el número de secciones rectas del extremo del anclaje, el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta, la orientación de la segunda sección recta hacia la porción media, el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta, la orientación de la cuarta sección recta hacia la porción media, el ángulo incluido entre el eje principal de la cuarta sección recta y el eje principal de la quinta sección recta.

La geometría de las diferentes fibras se muestra en la figura 10a a la figura 10e. Todas las fibras 1000 probadas tienen extremos de anclaje 1002 en ambos extremos de las porciones medias 1004.

FIB1 y FIB5 son fibras de la técnica anterior. FIB1 es una fibra de bajo carbono que tiene extremos de anclaje con dos secciones rectas y una sección doblada (figura 10a). FIB5 es una fibra que tiene en ambos extremos una cabeza de clavo como extremo de anclaje (figura 10e).

FIB2, FIB3 y FIB4 son fibras usadas en la presente invención. FIB2 tiene extremos de anclaje con 2 secciones dobladas y 3 secciones rectas (figura 10b). FIB3 tiene extremos de anclaje con 3 secciones dobladas y 4 secciones rectas (figura 10c). FIB4 tiene extremos de anclaje con 4 secciones dobladas y 5 secciones rectas (figura 10d).

Dos secciones rectas con un vértice común definen dos ángulos. La suma de estos dos ángulos es igual a 360°.

Para el propósito de esta invención, el menor de los dos ángulos definidos por dos secciones rectas con un vértice común se denomina "ángulo incluido".

Esto significa que el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta se define como el ángulo formado por el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta. Del mismo modo, el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta se realiza por el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta.

La fibra de acero 1000 que se muestra en la figura 10a comprende una porción media 1004 y un extremo de anclaje 1002 en ambos extremos de la porción media 1004. La porción media 1004 tiene un eje principal 1003. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 se desvía desde el eje principal 1003 de la porción media 1004 en la sección de desviación 1005. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 comprende una primera sección recta 1006, una

primera sección doblada 1007 y una segunda sección recta 1008. El ángulo incluido entre el eje principal 1003 de la porción media 1004 y el eje principal de la primera sección recta 1006 está indicado por α .

5 La segunda sección recta 1008 es paralela o sustancialmente paralela con el eje principal 1003 de la porción media 1004.

10 La fibra de acero 1000 que se muestra en la figura 10b comprende una porción media 1004 y un extremo de anclaje 1002 en ambos extremos de la porción media 1004. La porción media tiene un eje principal 1003. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 se desvía desde el eje principal 1003 de la porción media 1004 en la sección de desviación 1005. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 comprende una primera sección recta 1006, una primera sección doblada 1007, una segunda sección recta 1008, una segunda sección doblada 1009 y una tercera sección recta 1010. El ángulo incluido entre el eje principal 1003 de la porción media 1004 y el eje principal de la primera sección recta 1006 está indicado por α . El ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta 1008 y el eje principal de la tercera sección recta 1010 está indicado por β .

15 La segunda sección recta 1008 es paralela o sustancialmente paralela con el eje principal 1003 de la porción media 1004.

20 La fibra de acero 1000 que se muestra en la figura 10c comprende una porción media 1004 y un extremo de anclaje 1002 en ambos extremos de la porción media 1004. La porción media tiene un eje principal 1003. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 se desvía desde el eje principal 1003 de la porción media 1002 en la sección de desviación 1005. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 comprende una primera sección recta 1006, una primera sección doblada 1007, una segunda sección recta 1008, una segunda sección doblada 1009, una tercera sección recta 1010, una tercera sección doblada 1011 y una cuarta sección recta 1012. El ángulo incluido entre el eje principal 1003 de la porción media 1004 y el eje principal de la primera sección recta 1006 está indicado por α . El ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta 1008 y el eje principal de la tercera sección recta 1010 está indicado por β .

30 La segunda sección recta 1008 y la cuarta sección recta son paralelas o sustancialmente paralelas con el eje principal 1003 de la porción media 1004.

35 La fibra de acero 1000 que se muestra en la figura 10d comprende una porción media 1004 y un extremo de anclaje 1002 en ambos extremos de la porción media 1004. La porción media 1004 tiene un eje principal 1003. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 se desvía desde el eje principal 1003 de la porción media 1004 en la sección de desviación 1005. Cada uno de los extremos de anclaje 1002 comprende una primera sección recta 1006, una primera sección doblada 1007, una segunda sección recta 1008, una segunda sección doblada 1009, una tercera sección recta 1010, una tercera sección doblada 1011, una cuarta sección recta 1012, una cuarta sección doblada 1013 y una quinta sección recta 1014. El ángulo incluido entre el eje principal 1003 de la porción media 1004 y el eje principal de la primera sección recta 1006 está indicado por α . El ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta 1008 y el eje principal de la tercera sección recta 1010 está indicado por β . El ángulo incluido entre el eje principal de la cuarta sección recta 1012 y el eje principal de la quinta sección recta 1014 está indicado por γ .

40 La segunda sección recta 1008 y la cuarta sección recta 1012 son paralelas o sustancialmente paralelas con el eje principal 1003 de la porción media 1004.

45 La fibra que se muestra en la figura 10e comprende una porción media 1004 proporcionada en ambos extremos de la porción media 1004 con extremos de anclaje 1002. Los extremos de anclaje 1002 comprenden cabezas de clavo.

Tabla 2

Tipo de fibra	Longitud (mm)	Tipo de cable	Díámetro (mm)	Número de secciones rectas	α (grados)	2ª sección recta paralela a la porción media del eje principal (sí/no)	β (grados)	4ª sección recta paralela a la porción media del eje principal (sí/no)	γ (grados)	Fig.
FIB1	60	2	0,90	2	140	Sí	/	/	/	Fig. 10a
FIB2	60	3	0,89	3	140	Sí	140	/	/	Fig. 10b
FIB3	60	3	0,89	4	140	Sí	140	Sí	/	Fig. 10c
FIB4	60	3	0,89	5	140	Sí	140	Sí	140	Fig. 10d
FIB5	54	1	1,00	/	/	/	/	/	/	Fig. 10e
α Ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la 1ª sección recta β Ángulo incluido entre el eje principal de la 2ª sección recta y el eje principal de la 3ª sección recta γ Ángulo incluido entre el eje principal de la 4ª sección recta y el eje principal de la 5ª sección recta										

Tabla 3

Tipo de fibra	Dosis (kg/m ³)	f _L	f _{R,1}	f _{R,2}	f _{R,3}	f _{R,3} /f _{R,1}
FIB1	40	5,48	3,75	3,85	3,68	0,98
FIB5	40	5,80	4,11	4,31	2,83	0,69

Tabla 4

Tipo de fibra	Dosis (kg/m ³)	f _L	f _{R,1}	f _{R,2}	f _{R,3}	f _{R,3} /f _{R,1}
FIB2	40	5,81	5,02	6,01	5,89	1,17
FIB3	40	5,79	5,76	7,40	7,46	1,30
FIB3	20	5,56	3,06	3,51	3,54	1,16
FIB4	40	5,89	5,23	6,65	6,75	1,29

5 A partir de la Tabla 3 y de la Tabla 4, se puede concluir que la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ de las fibras de la técnica anterior (FIB1 y FIB5) es inferior a 1, mientras que la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ de las fibras de acero utilizadas en la presente invención (FIB2, FIB3 y FIB4) es superior a 1.

10 Las resistencias a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ y $f_{R,3}$ de las fibras de la técnica anterior (FIB1 y FIB5) son bajas, es decir, considerablemente inferiores a las resistencias a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ y $f_{R,3}$ de las fibras utilizadas en la invención (FIB2, FIB3 y FIB4).

15 La comparación de las fibras de acero usadas en la presente invención (FIB2, FIB3 y FIB4) utilizando una dosis de 40 kg/m³ con las fibras de acero de la técnica anterior (FIB1 y FIB5) utilizando una dosis de 40 kg/m³, las resistencias a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ y $f_{R,3}$ de las fibras de acero usadas en la presente invención son considerablemente más altas que para las fibras de la técnica anterior.

20 La fibra de acero FIB3 se prueba en dos dosis diferentes: 20 kg/m³ y 40 kg/m³. Incluso cuando se utiliza una dosis de fibra de 20 kg/m³, la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ es superior a 1. Esto indica que tales fibras de acero se comportan como acero de refuerzo tradicional (en base a la tensión-deformación en lugar en base a la abertura de tensión-grieta).

A partir de la comparación de las fibras de acero FIB2, FIB3 y FIB4 se puede concluir que las resistencias a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ y $f_{R,3}$ están aumentando al aumentar el número de secciones rectas de 3 a 4.

25 También la relación de $f_{R,3}/f_{R,1}$ está aumentando al aumentar el número de secciones rectas de 3 a 4.

Al aumentar el número de secciones rectas de 4 a 5, las resistencias a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ y $f_{R,3}$ y la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ no aumenta más.

30 Sorprendentemente, las fibras de acero con extremos de anclaje que tienen cuatro secciones rectas muestran el mejor rendimiento.

35 Cuando las fibras de acero de la Tabla 2 se someten a una prueba de tracción para determinar la fuerza de anclaje, la fibra de acero FIB3 (que tiene cuatro secciones rectas) tiene el mejor anclaje en hormigón.

Como ejemplo, las fibras de acero usadas en la invención se pueden hacer como sigue.

40 El material de partida es una varilla de alambre con un diámetro de, por ejemplo, 5,5 mm o 6,5 mm y una composición de acero que tiene un contenido de carbono mínimo del 0,50 por ciento en peso (% en peso), por ejemplo, igual o mayor que el 0,60 % en peso, un contenido de manganeso comprendido entre el 0,20 % en peso y el 0,80 % en peso, un contenido en silicio comprendido entre el 0,10 % en peso y el 0,40 % en peso. El contenido de azufre es máximo del 0,04 % en peso, y el contenido de fósforo es máximo del 0,04 % en peso.

45 Una composición de acero típica comprende un 0,725 % de carbono, un 0,550 % de manganeso, un 0,250 % de silicio, un 0,015 % de azufre y un 0,015 % de fósforo. Una composición de acero alternativa comprende un 0,825 % de carbono, un 0,520 % de manganeso, un 0,230 % de silicio, un 0,008 % de azufre y un 0,010 % de fósforo. La varilla de alambre se estira en frío en una serie de etapas de estirado hasta su diámetro final, que varía de 0,20 mm a 1,20 mm.

50 Para dar a la fibra de acero su alta elongación en la rotura y en la carga máxima, el alambre así estirado se puede someter a un tratamiento para aliviar la tensión, por ejemplo, haciendo pasar el alambre a través de una bobina de inducción de alta frecuencia o de frecuencia media de una longitud que está adaptada a la velocidad del alambre de paso. Se ha observado que un tratamiento térmico a una temperatura de aproximadamente 300 °C durante un cierto período de tiempo da como resultado una reducción de la resistencia a la tracción de aproximadamente el 10 % sin
55 aumentar la elongación en la rotura y la elongación en carga máxima. Al aumentar ligeramente la temperatura, sin

embargo, a más de 400 °C, se observa una disminución adicional de la resistencia a la tracción y, al mismo tiempo, un aumento en la elongación en la rotura y un aumento en la elongación en carga máxima.

5 Los alambres pueden o pueden no estar recubiertos con un recubrimiento resistente a la corrosión, tal como zinc o un revestimiento de aleación de zinc, más particularmente, un recubrimiento de aluminio zinc o un recubrimiento de aluminio y magnesio zinc. Antes de estirar o durante el estiramiento, los alambres pueden revestirse también con un recubrimiento de cobre o de aleación de cobre para facilitar la operación de estirado.

10 Los alambres con alivio de tensión se cortan después a las longitudes apropiadas de las fibras de acero y a los extremos de las fibras de acero se les da el anclaje o espesamiento apropiado. El corte y la conformación de gancho también se pueden realizar en una misma operación mediante rodillos apropiados.

15 Las fibras de acero así obtenidas pueden o pueden no encolarse entre sí de acuerdo con el documento US-A-4284667.

20 Además, o alternativamente, las fibras de acero obtenidas se pueden poner en un paquete, tal como, por ejemplo, un paquete de cadena o un paquete a modo de correa. Un paquete de cadena se describe por ejemplo en el documento EP-B1-1383634; un paquete a modo de correa se divulga en la solicitud de patente europea con el número de solicitud 09150267.4 del solicitante.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura de hormigón, donde el hormigón tiene una resistencia menor o igual a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60 como se define en EN206, reforzándose dicha estructura de hormigón con fibras de acero (600, 700) con una dosis de dichas fibras de acero de menos del 1 % en volumen, teniendo dichas fibras de acero (600, 700) un diámetro D de 0,1 mm a 1,20 mm y que tienen una relación entre la longitud y el diámetro L/D de 40 a 100, comprendiendo dicha fibra de acero (600, 700) una porción media recta (602, 702) y un extremo de anclaje (606, 608, 706, 708) en uno o ambos extremos de dicha porción media (602, 702), teniendo dicha porción media (602, 702) un eje principal (604, 704), teniendo dicha porción media (602, 702) una longitud superior a 25 mm, desviándose dicho extremo de anclaje (606, 608, 706, 708) de dicho eje principal (604, 704) de dicha porción media (602, 702) en una sección de desviación (610, 710), teniendo dicho extremo de anclaje (606, 608, 706, 708) n secciones dobladas (620, 622, 712, 714), siendo n igual o mayor que 2, con lo cual las secciones dobladas (620, 622) consecutivas están conectadas entre sí mediante una sección recta (614), teniendo dicha sección recta (614) una longitud comprendida entre 0,1 mm y 5 mm, definiendo dichas fibras de acero (600, 700), cuando están en una posición estable sobre una superficie horizontal, una proyección vertical sobre dicha superficie horizontal, las proyecciones verticales de todas dichas n secciones dobladas (620, 622, 712, 714) de dicho extremo de anclaje (606, 608, 706, 708) están situadas en un lado de la proyección vertical de dicho eje principal (604, 704) y en dicha proyección vertical sobre dicha superficie horizontal, la proyección vertical de ninguna de dichas n secciones dobladas (620, 622, 712, 714) está situada en la proyección vertical de dicho eje principal (604, 704) o en la proyección vertical de una línea que se extiende desde dicho eje principal (604, 704), dicha porción media (602, 702) tiene una elongación en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %.
2. La estructura de hormigón según la reivindicación 1, en la que dicha porción media (602, 702) de dichas fibras de acero (600, 700) tiene una resistencia a la tracción R_m de al menos 1000 MPa.
3. La estructura de hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha porción media (602, 702) tiene una elongación en carga máxima A_{g+e} de al menos un 5 %.
4. La estructura de hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichas fibras de acero (600, 700) están en un estado de alivio de tensión.
5. La estructura de hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha porción media (602, 702) de dichas fibras de acero (600, 700) está provista de al menos una sección aplanada.
6. La estructura de hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la relación de resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ dividida por la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$) es mayor que 1 con una dosis de dichas fibras de acero (600, 700) de menos del 1 % en volumen.
7. La estructura de hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ es superior a 5, o incluso superior a 6 con una dosis de dichas fibras de acero de menos del 1 % en volumen.
8. La estructura de hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, siendo dicha estructura de hormigón una estructura portadora de carga.

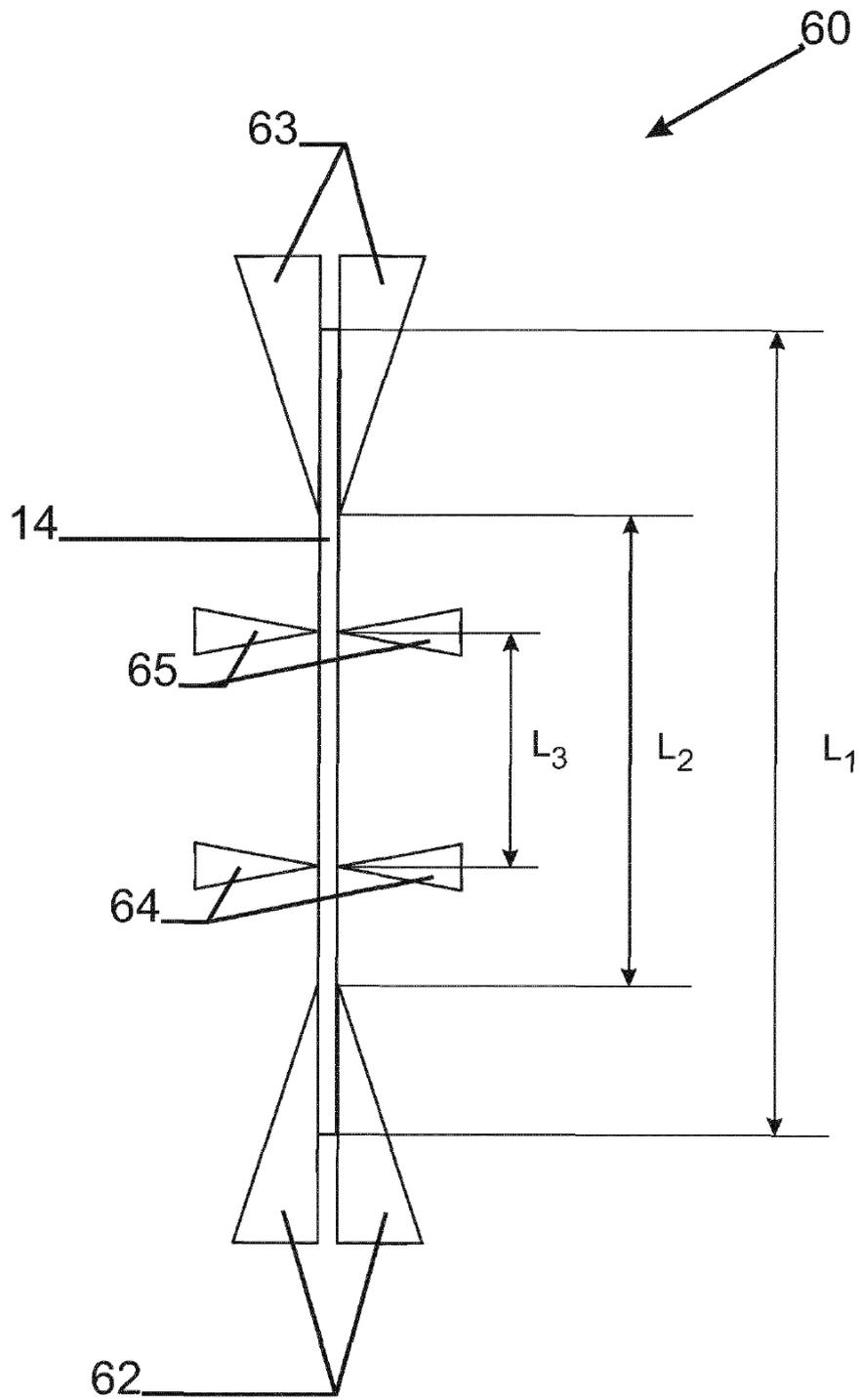


Fig. 1

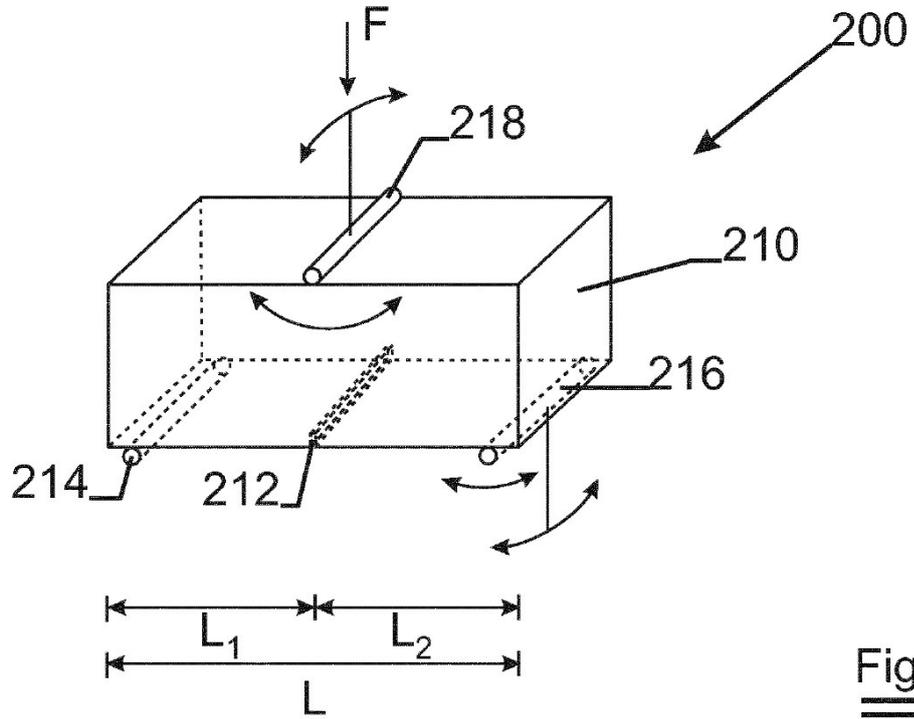


Fig. 2

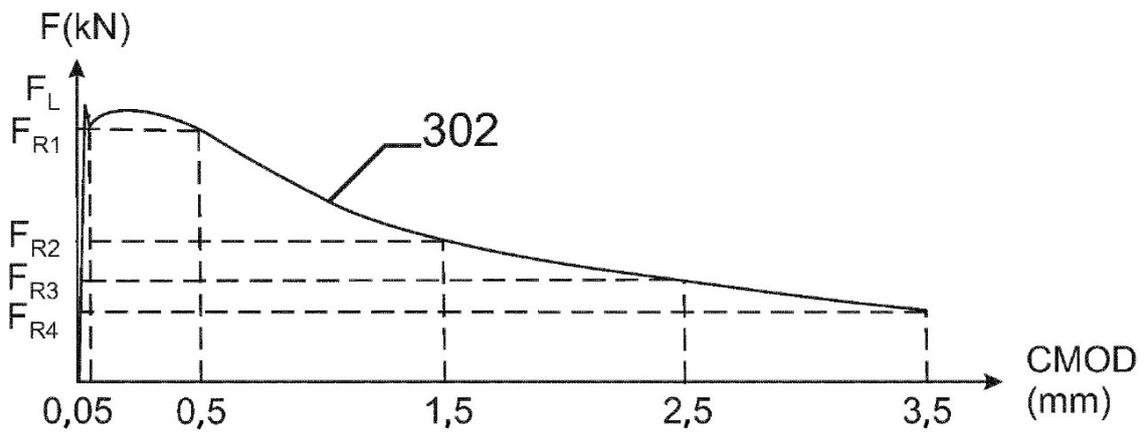


Fig. 3

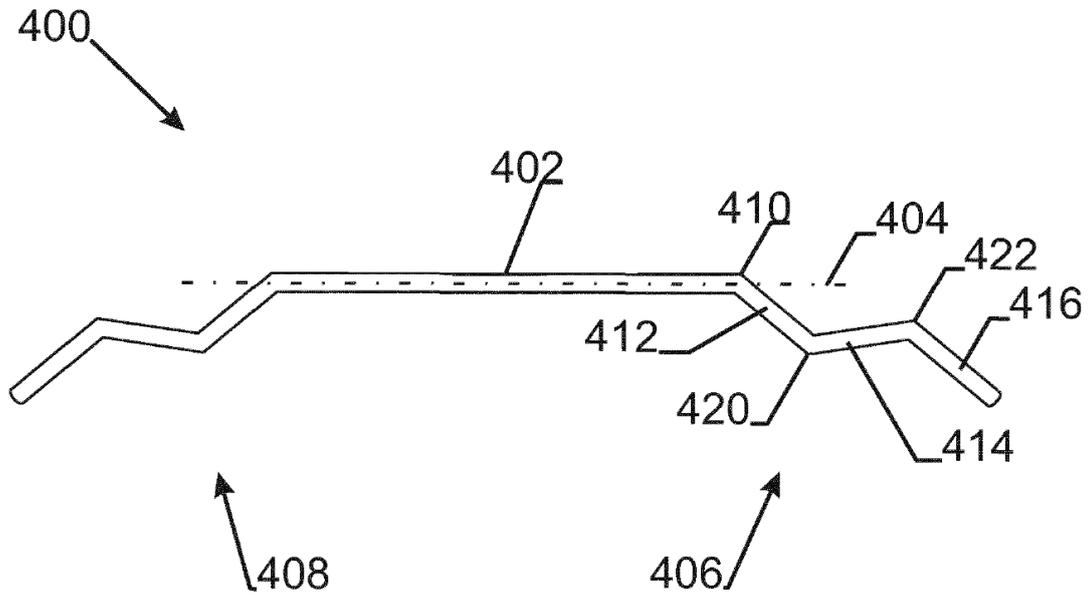


Fig. 4

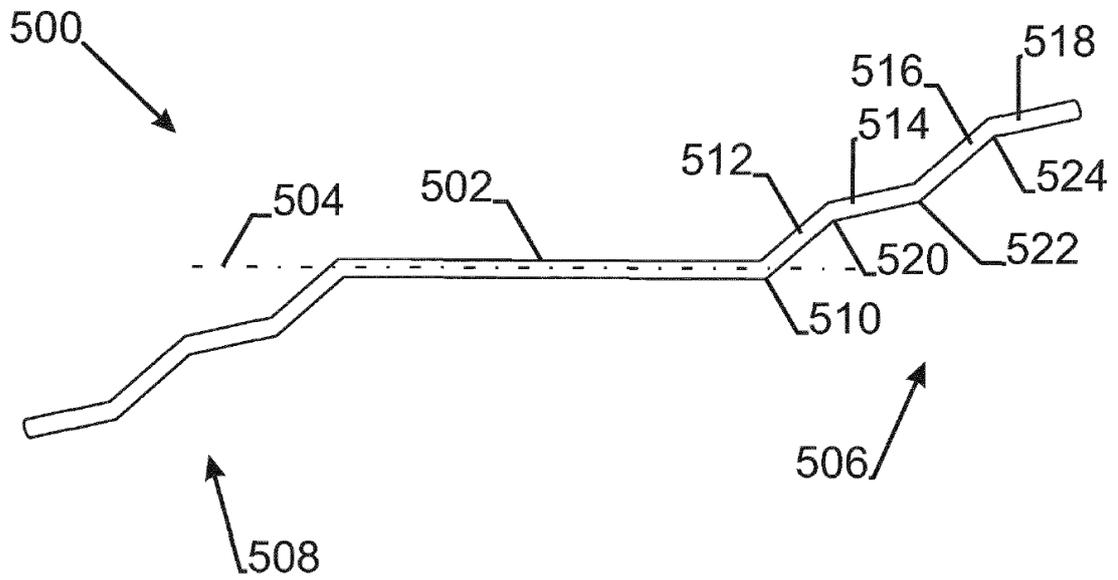


Fig. 5

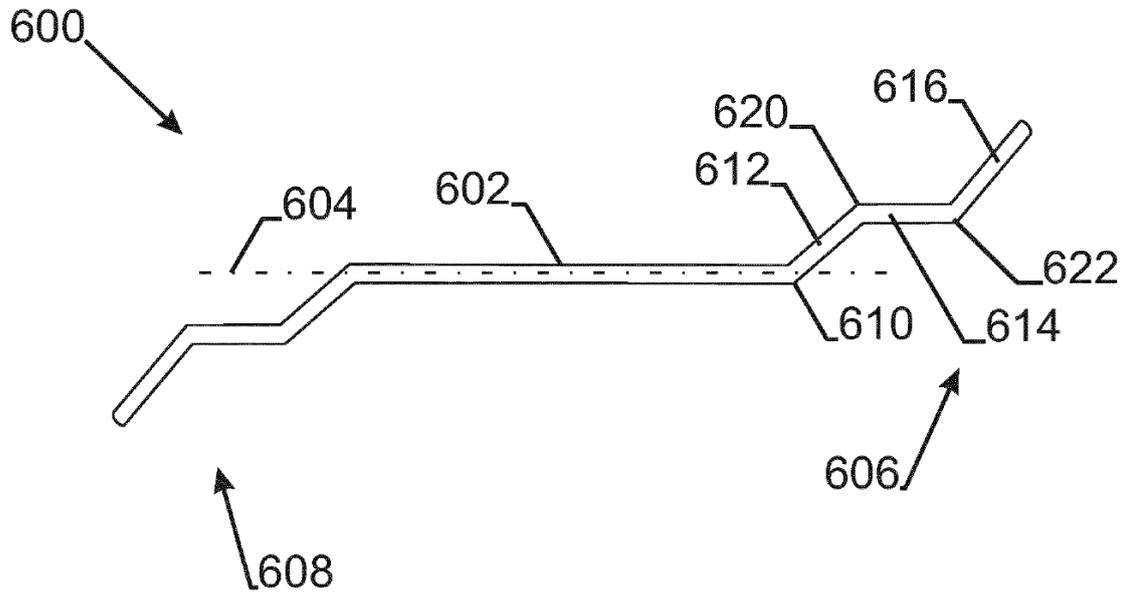


Fig. 6

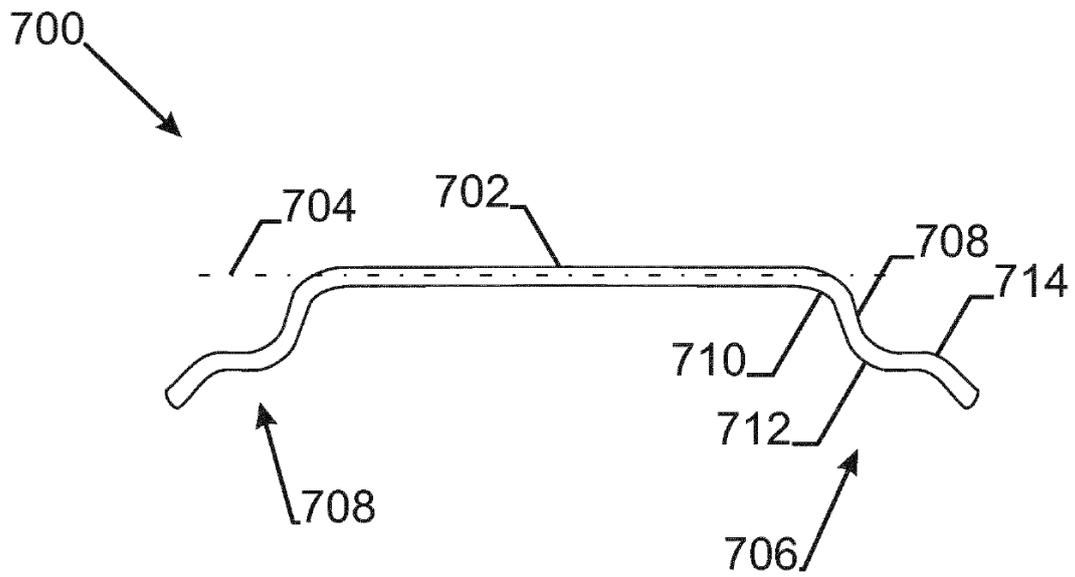


Fig. 7

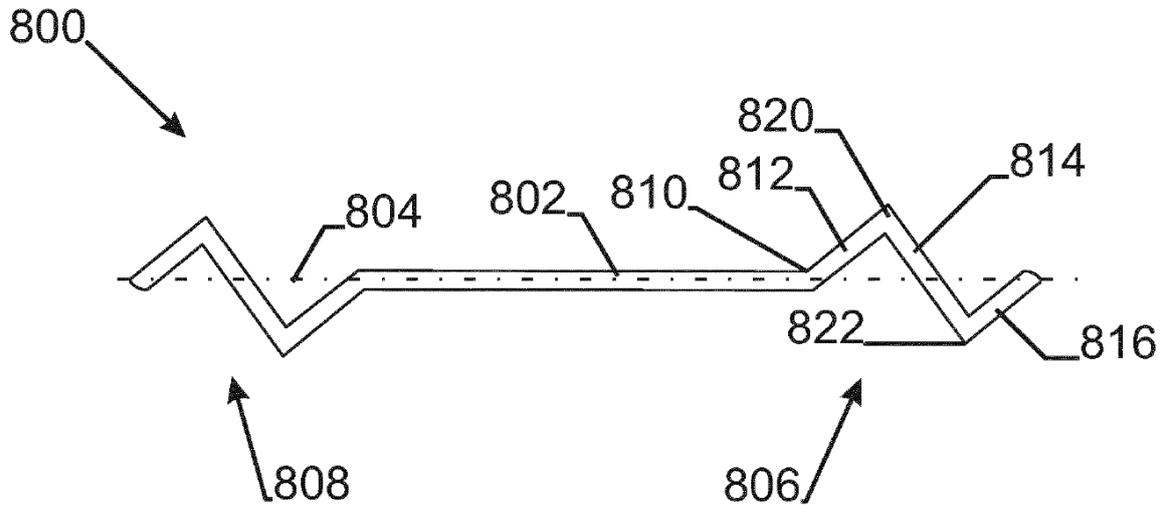


Fig. 8

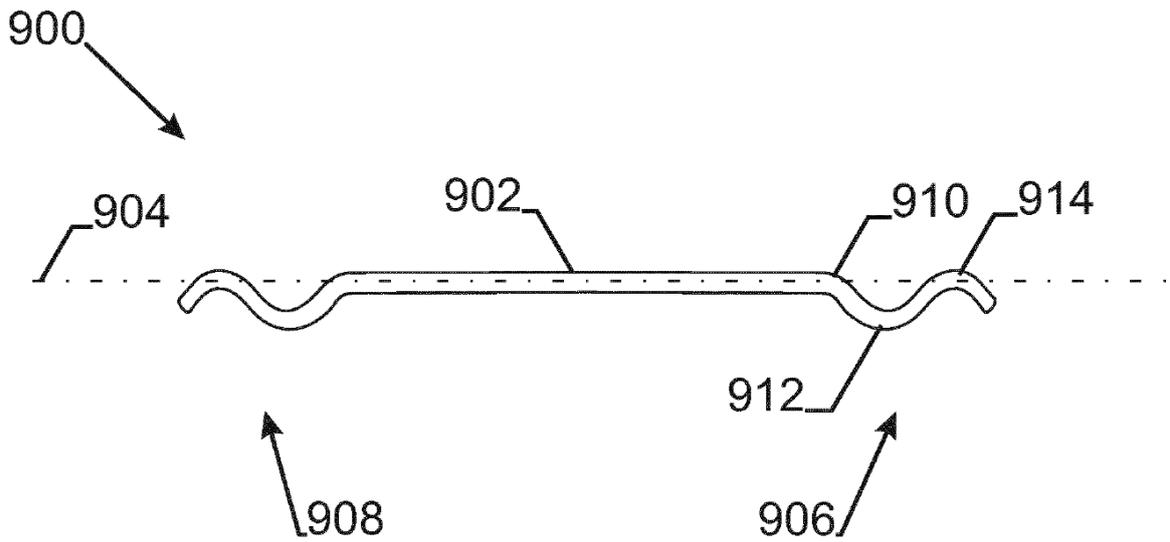


Fig. 9

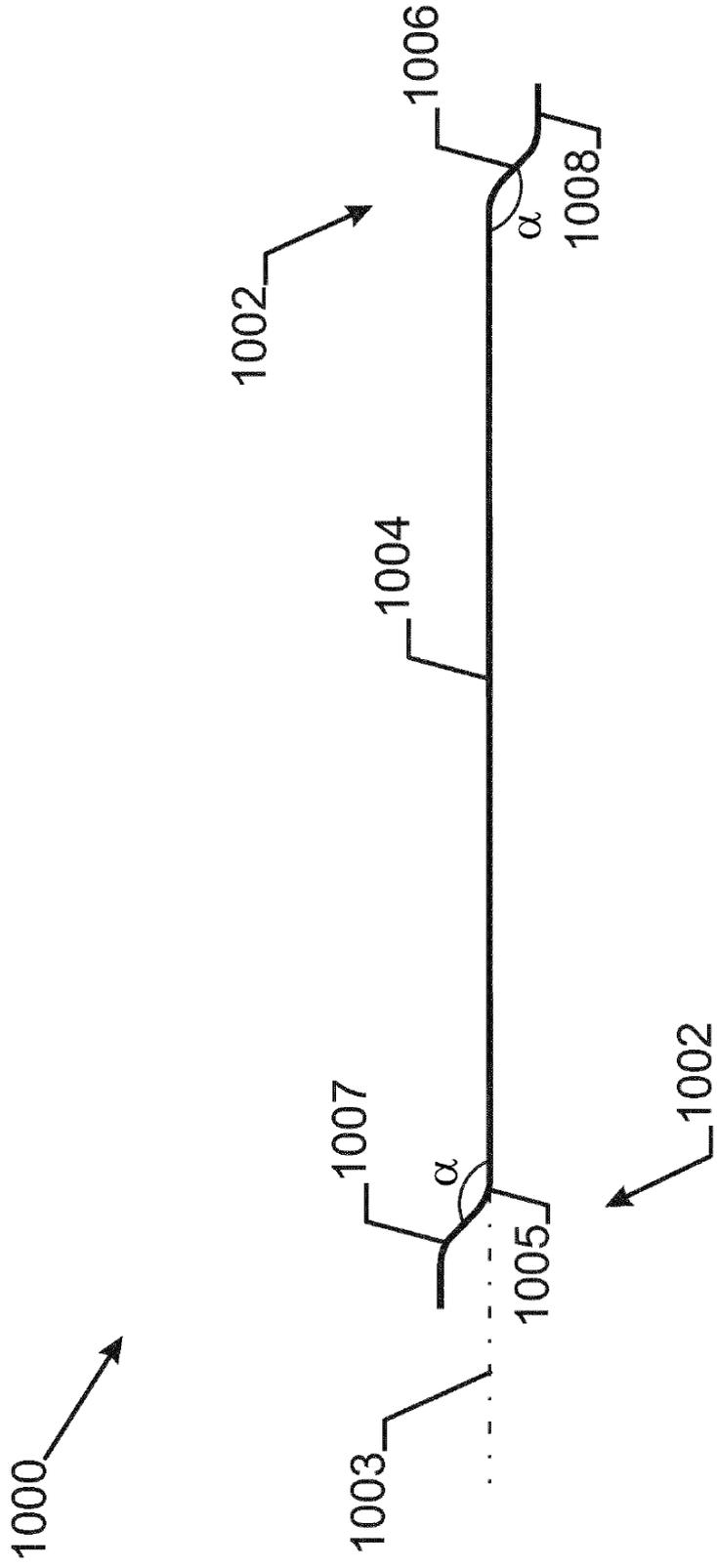


Fig. 10a

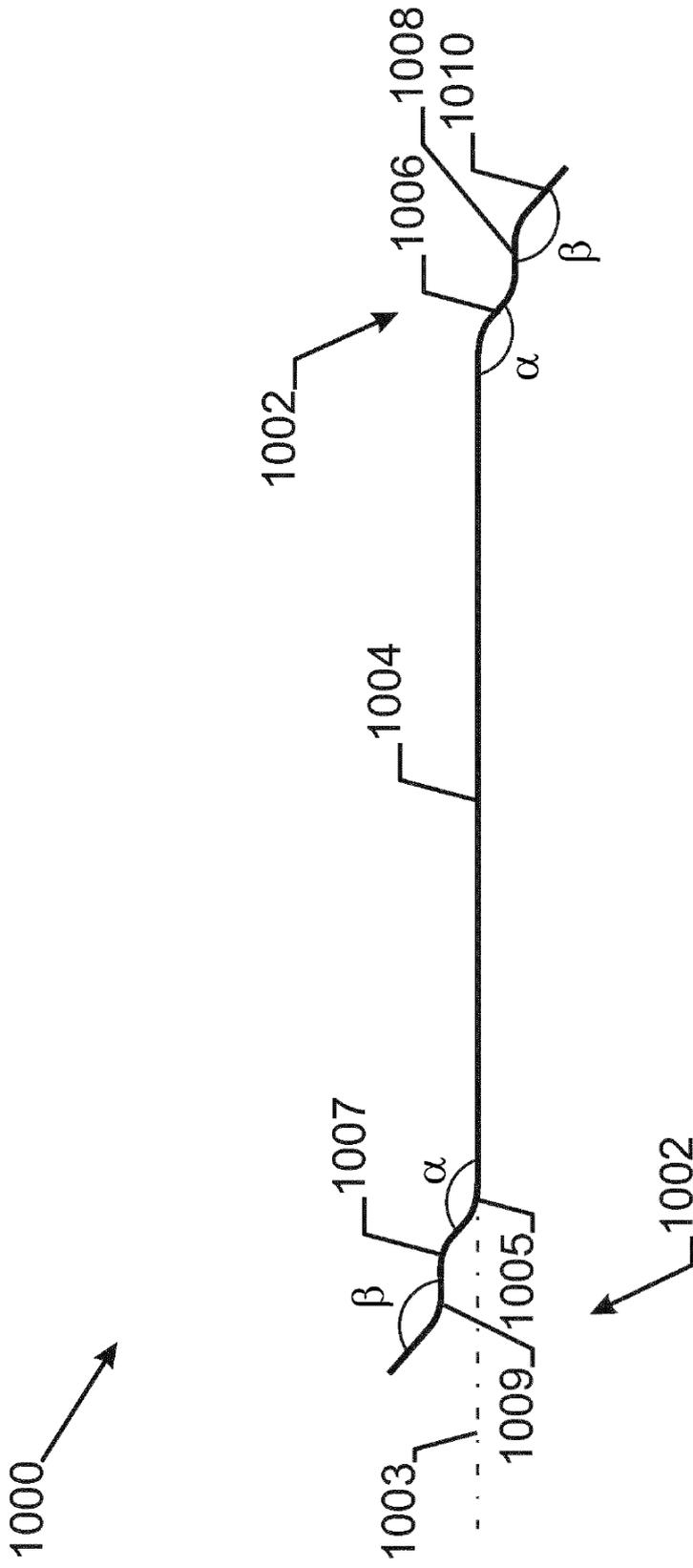


Fig. 10b

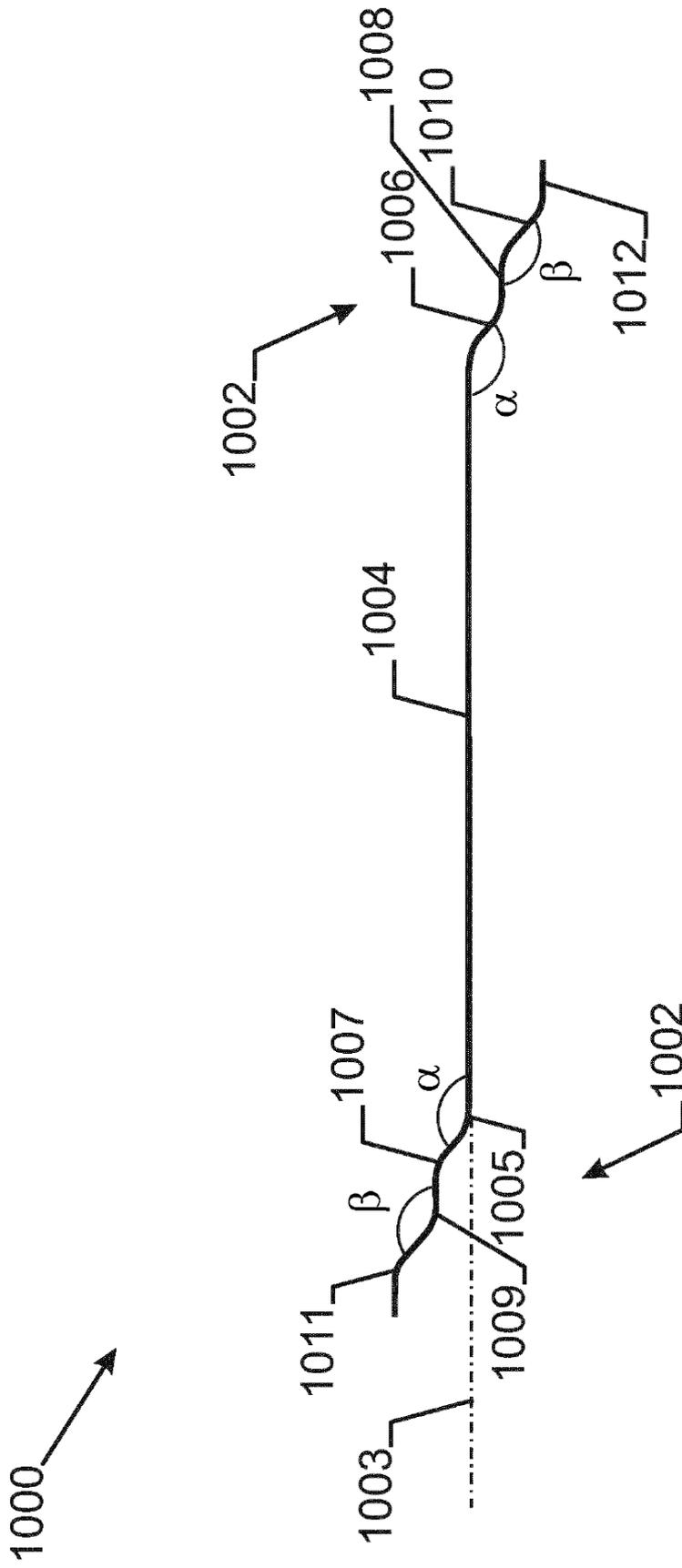


Fig. 10c

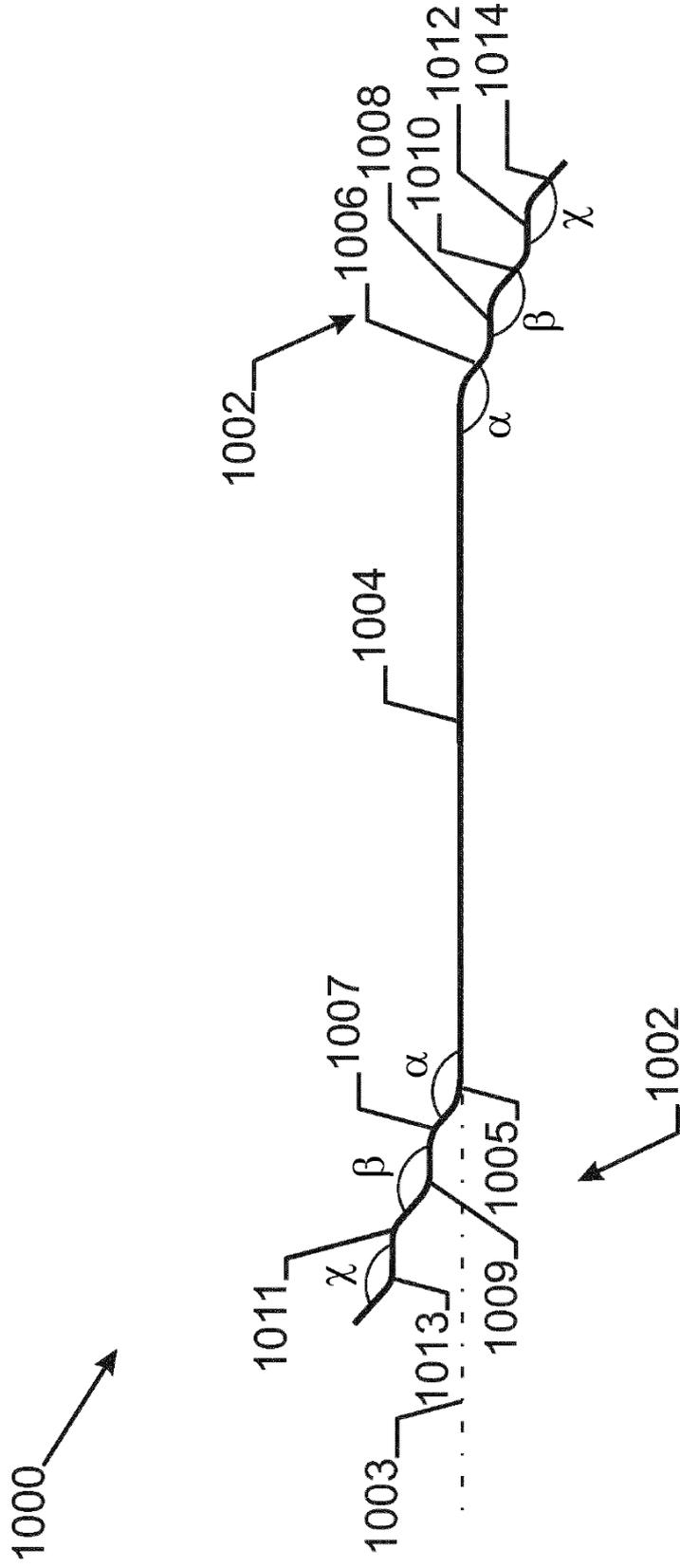


Fig. 10d

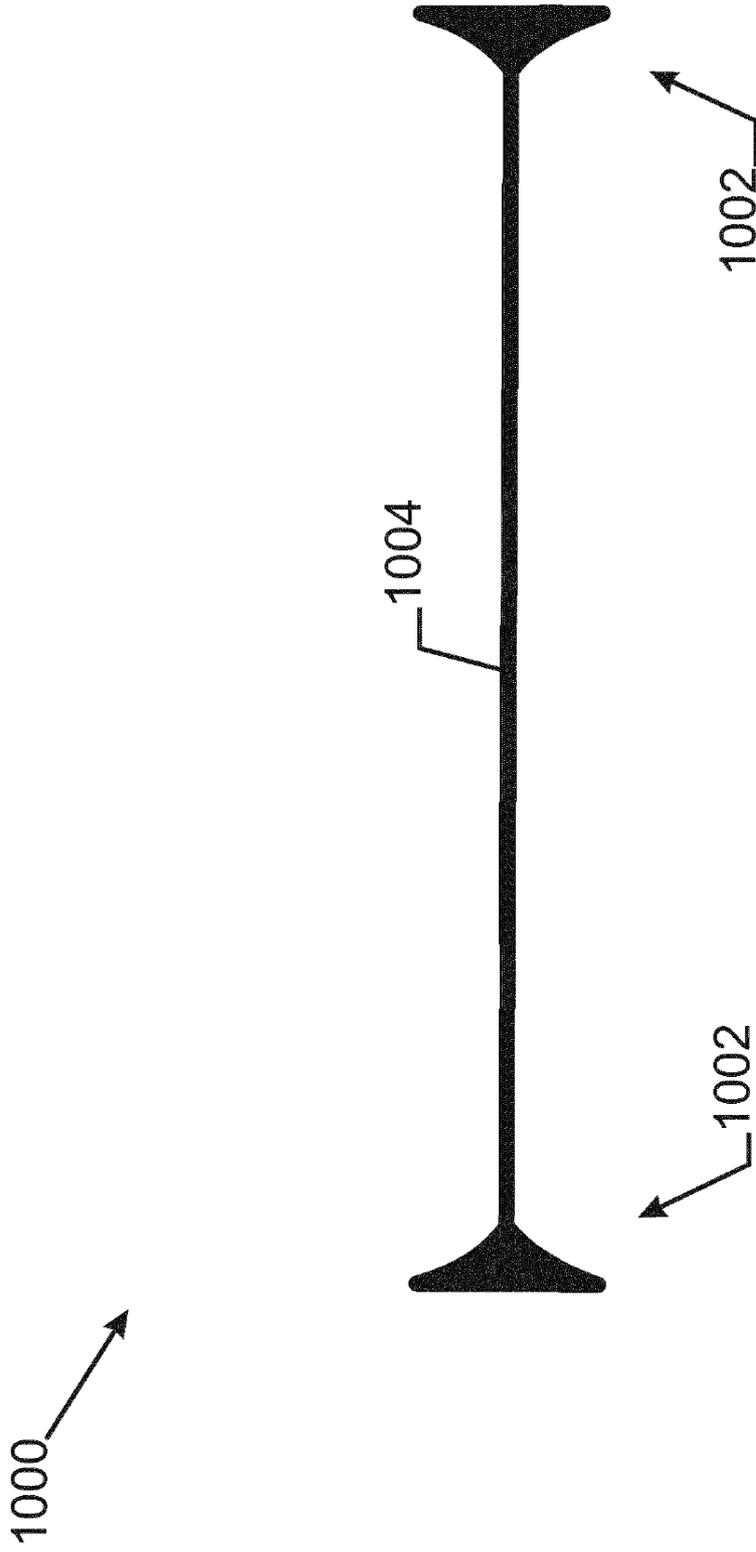


Fig. 10e