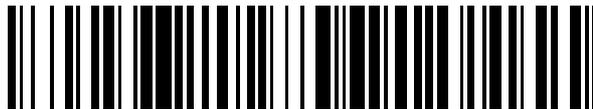


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 791**

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/EP2011/072744**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2012 WO12080323**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2011 E 11796701 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017 EP 2652222**

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

30 Prioridad:

15.12.2010 EP 10195105

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

30.10.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LAMBRECHTS, ANN y
VAN HAEKE, MARTIN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 639 791 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 armado con fibra de acero

5 Campo técnico

La invención se refiere a una estructura de hormigón armado con fibras de acero dotadas de extremos de anclaje que permiten obtener un buen anclaje cuando están incrustados en hormigón o mortero. Las fibras de acero utilizadas en la presente invención tienen al menos un extremo de anclaje con 3 secciones rectas. Las fibras de

10 acero utilizadas en la presente invención muestran un buen comportamiento en el estado límite de capacidad de servicio (SLS) y en el estado límite final (ULS) cuando están incrustadas en hormigón o mortero.

Antecedentes

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 como la resistencia a la tracción y la capacidad de deformación, se ha desarrollado el hormigón armado con fibra y más concretamente el hormigón armado con fibra metálica.

20 En la técnica se sabe que las propiedades de las fibras como la concentración de la fibra, la geometría de la fibra y la relación de aspecto de la fibra influyen mucho en el comportamiento del hormigón armado.

Con respecto a la geometría de la fibra 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 Se sabe además que se prefieren las fibras que no muestran la tendencia a formar bolas cuando se añaden o mezclan con hormigón o mortero.

30 En la técnica se conocen numerosos ejemplos de diferentes geometrías de fibras. 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.

35 De forma similar, hay fibras cuyo perfil de sección transversal cambia a lo largo de la longitud, tales como fibras provistas de secciones espesadas y/o aplanadas.

Un ejemplo de una fibra de acero provista de secciones espesadas es una fibra de acero con espesamiento en forma de una cabeza de clavo en cada una de los extremos como se describe en el documento US 4.883.713.

40 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 rectilíneas provistas de extremos aplastados y provistos de una brida en un plano esencialmente perpendicular a los extremos aplastados.

45 Se conocen fibras de acero con extremos planos en forma de gancho de los documentos EP 851957 y EP 1282751.

Las fibras de acero con extremos en forma de gancho y conocidas por ejemplo de la Ficha de Datos Técnicos de HE + 1/60.

50 La Patente KR2004 06191 Y1 describe fibras de acero con extremos con forma de gancho con tres y cuatro secciones rectas.

La Patente BE 1005815 A3 describe hormigón de alta resistencia reforzado con fibras de acero que tienen una resistencia a la tracción de 2162 MPa.

55 Las fibras de la técnica anterior conocidas actualmente para el refuerzo de hormigón funcionan muy bien en los campos de aplicación conocidos como suelos industriales, hormigón proyectado, pavimento, etc.

60 Sin embargo, la desventaja de las fibras de la técnica anterior conocidas actualmente es el comportamiento relativamente bajo en el estado límite final (ULS) cuando se utilizan dosificaciones bajas o moderadas de fibras. Para aplicaciones estructurales más exigentes, como vigas y placas elevadas, se usan altas dosificación, normalmente del 0,5 % en volumen (40 kg/m³) y no excepcionalmente hasta el 1,5 % en volumen (120 kg/m³) para proporcionar el comportamiento necesario en ULS. Estas altas dosificaciones no facilitan la mezcla y colocación del hormigón armado con fibra de acero.

65

Algunas fibras de la técnica anterior no rinden en ULS puesto que se rompen en desplazamientos de apertura de boca de fisura (CMOD) inferiores a 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.

5 Divulgación de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón armado con fibras de acero que evite los inconvenientes de la técnica anterior.

10 Otro objeto es proporcionar una estructura de hormigón armado con fibras de acero que son capaces de puentear los desplazamientos de apertura de boca de fisura superiores a 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm o incluso más de 3 mm durante el ensayo de flexión de tres puntos según la norma europea EN 14651 (junio de 2005).

15 Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón con fibras de acero que muestren un buen anclaje en el hormigón.

Un objeto adicional es proporcionar una estructura de hormigón con fibras de acero que no muestren la tendencia a formar bolas cuando se mezclan en el hormigón.

20 Además, un objeto de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón con fibras de acero que se puede utilizar ventajosamente para aplicaciones estructurales por las que las fibras de acero se utilizan en dosificación bajas o moderadas, según la invención menos del 1 % en volumen de fibras de acero, por ejemplo, el 0,5 % en volumen de fibras de acero.

25 Adicionalmente, otro objeto es proporcionar una estructura de hormigón con fibras de acero que permitan reducir o evitar el comportamiento de fluencia del hormigón agrietado reforzado con aquellas fibras en la zona de tensión.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una estructura de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1 con fibras de acero para reforzar hormigón o mortero.

30 Las fibras de acero comprenden una porción media y un extremo de anclaje en uno o ambos extremos de la porción media. La porción media tiene un eje principal. El extremo de anclaje o los extremos de anclaje comprenden solamente tres secciones rectas, una primera, una segunda y una tercera sección recta. Cada una de las secciones rectas tiene un eje principal, respectivamente el eje principal de la primera sección recta, el eje principal de la
35 segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta.

La primera sección recta está conectada a la porción media por una primera sección doblada; la segunda sección recta está conectada a la primera sección recta por una segunda sección doblada; la tercera sección recta está conectada a la segunda sección recta por una tercera sección doblada.

40 Esto significa que la primera sección recta se dobla hacia fuera de la porción media por la primera sección doblada; la segunda sección recta se dobla hacia fuera de la primera sección recta por la segunda sección doblada y la tercera sección recta se dobla hacia fuera de la segunda sección recta por la tercera sección doblada.

45 La primera sección recta se dobla hacia fuera del eje principal de la porción media, definiendo de este modo un ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta.

La segunda sección recta es sustancialmente paralela al eje principal de la porción media.

50 La tercera sección recta se dobla hacia fuera del eje principal de la porción media en la misma dirección en que la primera sección recta se dobla hacia fuera del eje principal de la porción media, definiendo de este modo un ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de dicha tercera sección recta.

55 El ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de dicha primera sección recta oscila preferentemente entre 100 y 160 grados. El ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta oscila preferentemente entre 100 y 160 grados.

60 Como se ha mencionado anteriormente, la segunda sección recta es sustancialmente paralela al eje principal de la porción media. Con "sustancialmente paralelo" se quiere decir que puede haber alguna desviación de una posición paralela. Sin embargo, si hay desviación, esta desviación es pequeña o accidental.

Por una pequeña desviación se entiende que la desviación de una posición paralela es menor a 15 grados, más preferentemente menor a 10 grados.

Dos secciones rectas con un vértice común definen dos ángulos. La suma de estos dos ángulos es igual a 360 grados. Para los fines de esta invención, el menor de los dos ángulos definidos por dos secciones rectas con un vértice común se denomina "ángulo incluido".

5 Esto significa que el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta es el ángulo más pequeño definido 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 es el ángulo más pequeño definido por el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta.

10 Como se ha mencionado anteriormente, el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta oscila entre 100 y 160 grados. Esto significa que el ángulo suplementario al ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta oscila entre 20 y 80 grados.

15 Si el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta es superior a 160 grados (o el ángulo suplementario de este ángulo incluido es inferior a 20 grados), el anclaje en hormigón o mortero es limitado y además el comportamiento en SLS y ULS es pobre. Dicha fibra muestra la tendencia a extraerse. Si el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta es inferior a 100 grados (o el ángulo suplementario de este ángulo incluido es superior a 80 grados), las fibras se coagulan y no se mezclan homogéneamente en el hormigón o en el mortero.

20 Más preferentemente, el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta oscila entre 110 y 160 (por consiguiente, el ángulo suplementario oscila entre 20 y 70 grados), por ejemplo, entre 120 y 160 grados (por consiguiente, el ángulo suplementario oscila entre 20 y 60 grados), por ejemplo 150 grados (por consiguiente, el ángulo suplementario es de 30 grados) o 140 grados (por consiguiente, el ángulo suplementario es de 40 grados).

25 De forma similar, el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta oscila entre 100 y 160 grados. Esto significa que el ángulo suplementario al ángulo incluido entre la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta oscila entre 20 y 80 grados. Si el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta es superior a 160 grados (o el ángulo suplementario de este ángulo incluido es inferior a 20 grados), el anclaje en hormigón o mortero es limitado y además el comportamiento en SLS y ULS es pobre. Dicha fibra muestra la tendencia a extraerse.

30 Si el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta es inferior a 100 grados (o el ángulo suplementario de este ángulo incluido es superior a 80 grados), las fibras se coagulan y no se mezclan homogéneamente en el hormigón o mortero.

35 Más preferentemente, el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta oscila entre 110 y 160 (por lo tanto, el ángulo suplementario oscila entre 20 y 70 grados), por ejemplo, entre 120 y 160 (por lo tanto, el ángulo suplementario es de entre 20 y 60 grados), por ejemplo 150 grados (por lo tanto, el ángulo suplementario es de 30 grados) o 140 grados (por consiguiente, el ángulo suplementario es de 40 grados).

40 El ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta y el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta pueden ser iguales o pueden ser diferentes.

45 En una realización particular, el ángulo incluido entre el eje principal de la porción media y el eje principal de la primera sección recta y el ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta y el eje principal de la tercera sección recta son el mismo o sustancialmente el mismo. En esta realización particular, el eje principal de la primera sección recta y el eje principal de la tercera sección recta son paralelos o sustancialmente paralelos.

50 Las secciones rectas, es decir la primera, segunda y tercera sección recta, tienen una longitud que oscila entre 0,1 mm y 8 mm, preferentemente entre 0,1 mm y 5 mm, por ejemplo 0,5 mm o 2 mm. Las longitudes de las diferentes secciones rectas se pueden seleccionar independientemente entre sí. Esto significa que las diferentes secciones rectas pueden tener la misma longitud o longitudes diferentes.

55 En realizaciones preferidas, la longitud de las diferentes secciones rectas es igual.

60 Un ejemplo comprende una fibra de acero que tiene una primera, segunda y tercera secciones rectas, todas las secciones rectas que tienen una longitud de 2 mm.

Un ejemplo alternativo comprende una fibra de acero que tiene una primera sección recta que tiene una longitud de 0,5 mm, una segunda sección recta que tiene una longitud de 2 mm, una tercera sección recta que tiene una longitud de 0,5 mm.

5 La primera sección doblada tiene un primer radio de curvatura, la segunda sección doblada tiene un segundo radio de curvatura, y la tercera sección doblada tiene un tercer radio de curvatura. El radio de curvatura de las secciones dobladas está comprendido preferentemente 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.

10 El radio de curvatura de las diferentes secciones dobladas de la fibra de acero se puede seleccionar independientemente entre sí. Esto significa que el radio de la primera sección doblada, de la segunda sección doblada y de la tercera sección doblada puede ser igual o puede ser diferente.

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

20 En 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.

Para una fibra de acero que tiene un extremo de anclaje en ambos extremos de la porción media, ambos extremos de anclaje pueden estar doblados hacia fuera (desviarse) en la misma dirección del eje principal de la porción media de la fibra de acero (fibras simétricas).

25 Como alternativa, un extremo de anclaje puede estar doblado hacia fuera (desviarse) en una dirección desde el eje principal de la porción central de la fibra de acero, mientras que el otro extremo de anclaje está doblado hacia fuera (desviándose) en la dirección opuesta al eje principal de la porción central de la fibra de acero (fibras asimétricas).

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

El otro extremo de anclaje, si lo hay, puede estar situado en el mismo plano o en otro plano.

35 Una ventaja de las fibras de acero utilizadas en la presente invención es que no se coagulan cuando se mezclan con hormigón o mortero. Esto da lugar a una distribución homogénea de las fibras de acero sobre el hormigón o el mortero.

40 Las fibras de acero usadas en la presente invención tienen un comportamiento particularmente bueno tanto en el estado límite de capacidad de servicio (SLS) de una estructura de hormigón o de mortero como en el estado límite final (ULS) cuando se usan a dosificación de moderadas o bajas, es decir, a una dosificación menor al 1 % en volumen o menos del 0,5 % en volumen, por ejemplo, del 0,25 % en volumen.

45 En la técnica se sabe que el aumento de la cantidad de fibras en el hormigón influye positivamente en el comportamiento del hormigón armado con fibras.

Una gran ventaja de la presente invención es que se obtiene un buen comportamiento en SLS y ULS con una dosificación moderada o baja de fibras de acero.

50 Para esta invención las propiedades de los materiales utilizados para evaluar el rendimiento en ULS y SLS del hormigón armado con fibra de acero es la resistencia a la tracción por flexión residual. La resistencia a la tracción por flexión residual se deriva de la carga en un desplazamiento de apertura de boca de fisura (CMOD) predeterminado o en deflexión del tramo medio (δ_R).

55 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 más adelante en esta solicitud).

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

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

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

5 Para las fibras de acero utilizadas en la presente invención, a diferencia de las fibras de acero conocidas en la técnica, la proporción de resistencia a la flexión residual $f_{R,3}$ dividida por resistencia a la flexión residual $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$) es alta incluso cuando se utilizan dosificaciones bajas o moderadas de fibras de acero como, por ejemplo, dosificaciones inferiores al 1 % en volumen o dosificación inferiores al 0,5 % en volumen, por ejemplo, del 0,25 % en volumen.

10 Para las fibras utilizadas en la presente invención, la relación $f_{R,3}/f_{R,1}$ es preferentemente superior a 1 y más preferentemente superior a 1,05 o superior a 1,15 por ejemplo de 1,2 o 1,3 cuando según la invención se utilizan dosificación inferiores al 1 % en volumen o incluso inferiores al 0,5 % en volumen, por ejemplo, del 0,25 % en volumen.

15 Para el hormigón armado con fibras de acero utilizadas en la presente invención con una dosificación del 0,5 % en volumen, la resistencia a la flexión residual $f_{R,3}$ con un hormigón C35/45 es superior a 3,5 MPa, preferentemente superior a 5 MPa, más preferentemente superior a 6 MPa, como por ejemplo de 7 MPa.

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

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

25 Otras fibras conocidas en la técnica son fibras con extremos en forma de gancho como por ejemplo las conocidas de la patente EP 851957 que están diseñadas para su extracción.

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

30 CAPACIDAD MÁXIMA DE CARGA F_m - RESISTENCIA A LA TRACCIÓN R_m

Una fibra de acero de acuerdo con la presente invención, es decir, la porción media de una fibra de acero usada en la presente invención preferentemente tiene una capacidad de carga máxima elevada F_m . La capacidad de carga máxima F_m es la mayor carga que soporta la fibra de acero durante un ensayo de tracción.

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, ya que la resistencia a la tracción R_m es la capacidad máxima de carga F_m dividida por el área de sección original de la fibra de acero.

40 Para una fibra de acero utilizada en la presente invención, la resistencia a la tracción de la porción media de la fibra de acero está por encima de 1500 MPa, por ejemplo, por encima de 1750 MPa, por ejemplo, por encima de 2000 MPa, por ejemplo, por encima de 2500 MPa.

45 La alta resistencia a la tracción de las fibras de acero utilizadas en la presente invención permite que las fibras de acero soporten altas cargas.

50 Por lo tanto, una mayor resistencia a la tracción se refleja directamente en una dosificación 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.

ALARGAMIENTO EN CARGA MÁXIMA

55 De acuerdo con una realización preferida, la fibra de acero usada en la presente invención, más en particular la porción media de una fibra de acero usada en la presente invención tiene un alargamiento en carga máxima A_{q+e} de al menos el 2,5 %.

60 Según las formas de realización particulares de la presente invención, la porción media de la fibra de acero tiene un alargamiento en carga máxima A_{q+e} superior al 2,75 %, superior al 3,0 %, superior al 3,25 %, superior al 3,5 %, superior al 3,75 %, superior al 4,25 %, superior al 4,5 %, superior al 4,75 %, superior al 5,0 %, superior al 5,25 %, superior al 5,75 % o incluso superior al 6,0 %.

65 En el contexto de la presente invención, para caracterizar el alargamiento de una fibra de acero, más en particular de la porción media de una fibra de acero, se utiliza el alargamiento en carga máxima A_{q+e} y no el alargamiento en la fracción A_t .

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

5 El alargamiento en carga máxima A_{g+e} es la suma del alargamiento plástico a carga máxima A_g y el alargamiento elástico.

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

15 El alto grado de alargamiento en carga máxima A_{g+e} se puede obtener aplicando un tratamiento de alivio de esfuerzos particular tal como un tratamiento térmico a los cables de acero de los que estarán hechos las fibras de acero. En este caso, por lo menos la porción media de la fibra de acero se encuentra en un estado carente de restricciones.

Se prefieren fibras de acero que tienen una alta ductilidad o un alto alargamiento en carga máxima, estas fibras 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 3,5 mm en el ensayo de flexión de tres puntos de acuerdo con la norma EN 14651.

20 FUERZA DE ANCLAJE

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

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

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

30 Un alto grado de anclaje combinado con un alto alargamiento a la máxima resistencia evitará la extracción de las fibras, evitará el fallo de la fibra y evitará el fallo quebradizo del hormigón en tensión.

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

35 En una realización preferida, las fibras de acero tienen una resistencia a la tracción R_m de al menos 1500 MPa y un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 1,5 %, una resistencia a la tracción R_m de al menos 1500 MPa y un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 2,5 %, una resistencia a la tracción R_m de al menos 1500 MPa y un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %.

40 En otras realizaciones preferidas, las fibras de acero tienen una resistencia a la tracción R_m de al menos 2000 MPa y un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 1,5 %, una resistencia a la tracción R_m de al menos 2000 MPa y un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 2,5 %, una resistencia a la tracción R_m de al menos 2000 MPa y un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 4 %. Las fibras que tienen una alta resistencia a la tracción R_m pueden soportar altas cargas. Las fibras caracterizadas por un alto alargamiento en carga máxima A_{g+e} no se romperán en 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 el ensayo de flexión de tres puntos de acuerdo con la norma EN 14651.

45 La porción media de la fibra de acero puede ser recta o rectilínea; o puede ser ondulante u ondulada. Preferentemente, la porción media de las fibras de acero es recta o rectilínea. En caso de que la porción media sea ondulante u ondulada, el eje principal de la porción media se define como la línea que cruza la porción media ondulante 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.

55 Las fibras de acero, más en particular 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 sección transversal ovalada, una sección transversal sustancialmente ovalada, etc.

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

65 Las fibras de acero normalmente tienen una relación L/D de longitud a diámetro comprendida entre 40 y 100.

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

Por 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.

5 La porción media tiene una longitud superior a 25 mm, por ejemplo, superior a 30 mm, superior a 40 mm o superior a 45 mm.

10 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 provista de una o más secciones aplanadas. También se pueden considerar combinaciones.

15 Si la porción media está provista de una o más secciones aplanadas, la sección o secciones aplanadas se sitúan preferentemente cerca pero no inmediatamente adyacentes al extremo de anclaje o extremos de anclaje.

La estructura de hormigón armado de acuerdo con la invención puede o puede no estar reforzada con refuerzo tradicional (por ejemplo, refuerzo pretensado o postensado) además de fibras de acero.

20 Para una estructura de hormigón armado de acuerdo con la presente invención, la relación de 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 preferentemente superior a 1 y más preferentemente superior a 1,05, superior a 1,15 o superior a 1,2, por ejemplo 1,3. Esta relación se alcanza cuando se utilizan dosificaciones bajas de fibras de acero, de acuerdo con la invención, una dosificación inferior al 1 % en volumen o incluso una dosificación inferior al 0,5 % en volumen, o incluso con una dosificación del 0,25 % en volumen.

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

35 La estructura de hormigón de acuerdo con la presente invención tiene una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 3 MPa, por ejemplo, superior a 4 MPa, por ejemplo, superior a 5 MPa, 6 MPa, 7 MPa, 7,5 MPa. Mediante el uso de fibras de acero de acuerdo con la presente invención, se pueden alcanzar estructuras de hormigón que tienen una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 3 MPa o superior a 4 MPa usando hormigón C35/45 y usando dosificación inferiores al 1 % en volumen o incluso inferiores al 0,5 % en volumen.

40 De acuerdo con la presente invención, las estructuras de hormigón armado preferidas tienen una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 5 MPa usando hormigón C35/45 y usando dosificaciones inferiores al 1 % en volumen o incluso inferiores al 0,5 % en volumen.

45 Es importante notar que existen estructuras de hormigón armado que tienen una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 3 MPa o 5 MPa. Sin embargo, esta estructura de hormigón armado conocida en la técnica usa altas dosificaciones de fibras de acero (por encima del 0,5 % en volumen o por encima del 1 % en volumen) en hormigón de resistencia normal o de alta resistencia o usa dosificaciones moderadas de fibras de alta resistencia en hormigón de alta resistencia.

La estructura de hormigón de acuerdo con la presente invención puede ser una estructura portadora de carga.

50 Breve descripción de las figuras en los dibujos

La invención se describirá ahora con mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 55 - La Figura 1 ilustra un ensayo de tracción (ensayo de carga-deformación) de una fibra de acero;
- la Figura 2 ilustra un ensayo de flexión de tres puntos (curva de carga-desplazamiento de apertura de boca de fisura o curva de carga-deflexión);
- la Figura 3 ilustra una curva de carga-desplazamiento de apertura de boca de fisura;
- 60 - la Figura 4a y la Figura 4c ilustran una serie de realizaciones diferentes de fibras de acero de la técnica anterior y fibras de acero que no cumplen los requisitos de la presente invención. La Figura 4b ilustra una fibra de acero usada en la presente invención.

Modo(s) para llevar a cabo la invención

65 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a las mismas sino solo por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no

ES 2 639 791 T3

estar dibujado a escala para fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales a la práctica de la invención.

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

- 5
- Capacidad de carga máxima (F_m): la mayor carga que soporta la fibra de acero durante un ensayo de tracción;
 - Alargamiento en carga máxima (%): aumento de la longitud de la fibra de acero a la fuerza máxima, expresada como un porcentaje de la longitud del calibre original;
 - Alargamiento hasta fractura (%): aumento de la longitud del calibre en el momento de la fractura, expresado como un porcentaje de la longitud del indicador original;
 - Resistencia a la tracción (R_m): tensión correspondiente a la carga máxima (F_m);
 - Estrés: fuerza dividida por el área de la sección transversal original de la fibra de acero;
 - Dosificación: cantidad de fibras añadidas a un volumen de hormigón (expresado en kg/m^3 o en % en volumen (el 1 % en volumen corresponde a $78,50 \text{ kg/m}^3$, 0,5 % en volumen corresponde a 40 kg/m^3));
 - 15 - Hormigón de resistencia normal: hormigón cuya resistencia es inferior o igual a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60, tal como se define en la norma EN206;
 - Hormigón de alta resistencia: hormigón cuya resistencia es superior a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60, tal como se define en la norma EN 206.

20 Para ilustrar la invención, varias fibras de acero diferentes, las fibras de acero de la técnica anterior y las de acero usadas en la presente invención, se someten a dos ensayos diferentes:

- Un ensayo de tracción (ensayo de carga-deformación); y
- 25 - Un ensayo de flexión de tres puntos (curva de carga-desplazamiento de apertura de boca de fisura o una curva de carga-deformación).

El ensayo de tracción se aplica sobre la fibra de acero, más en particular sobre la porción media de la fibra de acero. Como alternativa, el ensayo de tracción se aplica sobre el cable utilizado para fabricar la fibra de acero.

30 El ensayo de tracción se utiliza para determinar la capacidad máxima de carga F_m de la fibra de acero y para determinar el alargamiento en carga máxima A_{g+e} .

El ensayo de flexión de tres puntos se aplica sobre una viga reforzada con muescas según se especifica en la norma EN 14651.

35 El ensayo se utiliza para determinar las resistencias a la tracción residual.

Los ensayos se ilustran en la Figura 1 y Figura 2 respectivamente.

40 La Figura 1 muestra una configuración de ensayo 60 de un ensayo de tracción (ensayo de carga-deformación) de una fibra de acero. Con la ayuda de la configuración de ensayo, se analizan 60 fibras de acero en cuanto a su capacidad de carga máxima F_m (carga de rotura), resistencia a la tracción R_m y alargamiento total a carga máxima A_{g+e} .

45 Los extremos de anclaje (por ejemplo, los extremos ensanchados o en forma de gancho) de la fibra de acero a analizar primero se cortan. 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. Se mide el desplazamiento o el alargamiento como resultado de esta fuerza de tracción creciente F midiendo el desplazamiento de las empuñaduras 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 del manómetro del extensómetro y es de 10 mm como mínimo, por ejemplo, de 12 mm, por ejemplo, de 15 mm. Para un mejor agarre 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 fina para evitar que el extensómetro resbale sobre la fibra de acero. Mediante este ensayo se registra una curva de carga-alargamiento.

55 El porcentaje de alargamiento total a la carga máxima se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A_{g+e} = \frac{\text{Extensión en carga máxima}}{\text{Longitud del extensómetro } L_3} \times 100$$

60 Con la ayuda de la configuración 60 de la Figura 1, se analizan varios cables diferentes en cuanto a capacidad de carga máxima F_m (carga de rotura), resistencia a la tracción R_m y alargamiento total a carga máxima A_{g+e} .

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

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

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

10 La Figura 2 muestra la configuración experimental 200 de un ensayo de flexión de tres puntos. El ensayo de flexión de tres puntos se realizó a los 28 días de acuerdo con la norma europea EN 14651 usando una muestra prismática 210 de 150 x 150 x 600 mm. En el tramo medio de la muestra 210 se cortó una única muesca 212 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 funcionar de manera controlada, es decir, producir una velocidad de desplazamiento constante (CMOD o deflexión). Los ensayos se llevaron a cabo con una velocidad de desplazamiento tal como se especifica en la norma EN 14651. Se registra una curva de carga-desplazamiento de apertura de boca de fisura o una curva de carga-deformación.

15 Un ejemplo de una curva de carga-desplazamiento de apertura de boca de fisura 302 se da en figura 3.

20 La resistencia de 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:

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

25 con :

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

b = anchura de la muestra (mm);

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

30 L = Longitud de la muestra (mm).

35 Con la ayuda de la configuración 200 de la Figura 2, se analiza el comportamiento de varias fibras de acero diferentes (FIB1, FIB2 y FIB5) en hormigón. Para el ensayo, las fibras de acero están incrustadas en hormigón C35/45. El tiempo de curado fue de 28 días.

Los resultados de los ensayos de las fibras de acero de la técnica anterior (FIB1 y FIB5) se dan en la Tabla 3. Los resultados de los ensayos de las fibras de acero de acuerdo con la presente invención (FIB2) se dan en la Tabla 4.

40 Las fibras de acero se especifican por la longitud de la fibra de acero, el tipo de cable utilizado para fabricar la fibra de acero, el diámetro de la fibra de acero (más en particular el diámetro de la porción media de la fibra de acero), el número de secciones rectas del extremo de 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 4a a Figura 4c. Todas las fibras analizadas 400 tienen extremos de anclaje 402 en ambos extremos de las porciones intermedias 404.

50 Las fibras de acero FIB1 y FIB5 son fibras de la técnica anterior. La fibra de acero FIB1 es una fibra baja en carbono que tiene extremos de anclaje con dos secciones rectas. La fibra de acero FIB5 es una fibra que en ambos extremos tiene una cabeza de clavo como extremo de anclaje. La fibra de acero FIB2 es una fibra utilizada en la presente invención. La fibra de acero FIB2 tiene extremos de anclaje con 3 secciones rectas (Figura 4b).

55 La fibra de acero 400 mostrada en la Figura 4a comprende una porción media 404 y un extremo de anclaje 402 en ambos extremos de la porción media 404. La porción media 404 tiene un eje principal 403. Cada uno de los extremos de anclaje 402 comprende una primera sección doblada 405, una primera sección recta 406, una segunda

sección doblada 407 y una segunda sección recta 408. El ángulo incluido entre el eje principal 403 de la porción media 404 y el eje principal de la primera sección recta 406 está indicado por α .

La segunda sección recta 408 es paralela o sustancialmente paralela al eje principal 403 de la porción media 404.

La fibra de acero 400 mostrada en la Figura 4b comprende una porción media 404 y un extremo de anclaje 402 en ambos extremos de la porción media 404. La porción media tiene un eje principal 403. Cada uno de los extremos de anclaje 402 comprende una primera sección doblada 405, una primera sección recta 406, una segunda sección doblada 407, una segunda sección recta 408, una tercera sección doblada 409 y una tercera sección recta 410. El ángulo incluido entre el eje principal 403 de la porción media 404 y el eje principal de la primera sección recta 406 está indicado por α . El ángulo incluido entre el eje principal de la segunda sección recta 408 y el eje principal de la tercera sección recta 410 está indicado por β .

La segunda sección recta 408 es paralela o sustancialmente paralela al eje principal 403 de la porción media 404.

La fibra mostrada en la Figura 4c comprende una porción media 404 provista en ambos extremos de la porción media 404 con extremos de anclaje 402. Los extremos de anclaje 402 comprenden cabezas de clavos.

Tabla 2

Tipo de fibra	Longitud (mm)	Tipo de cable	Diámetro (mm)	N. 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.
FIB 1	60	2	0,90	2	140	Sí	/	/	/	Fig. 4a
FIB 2	60	3	0,89	3	140	Sí	140	/	/	Fig. 4b
FIB 5	54	1	1,00	/	/	/	/	/	/	Fig. 4e

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

Tabla 3

Tipo de fibra	Dosificación (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	Dosificación (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

A partir de la Tabla 3 y 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.

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). Al comparar las fibras de acero utilizados en (FIB2) utilizando una dosificación de 40 kg/m³ con las fibras de acero de la técnica anterior (FIB1 y FIB5) utilizando una dosificación de 40 kg/m³, las resistencias a la tracción por flexión residuales $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ 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.

Como ejemplo, las fibras de acero utilizadas en la invención se pueden fabricar como sigue.

El material de partida es un cable 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 de, por ejemplo, el 0,50 por ciento en peso (por ejemplo, igual o superior al 0,60 % en peso), un contenido de manganeso que oscila del 0,20 % en peso al 0,80 % en peso, un contenido en silicio que oscila entre el 0,10 % en peso y el 0,40 % en peso. El contenido de azufre es un máximo del 0,04 % en peso y el contenido de fósforo es un máximo del 0,04 % en peso.

Una composición de acero típica comprende el 0,725 % de carbono, el 0,550 % de manganeso, el 0,250 % de silicio, el 0,015 % de azufre y el 0,015 % de fósforo. Una composición de acero alternativa comprende el 0,825 % de carbono, el 0,520 % de manganeso, el 0,230 % de silicio, el 0,008 % de azufre y el 0,010 % de fósforo. El cable se estira en frío en una serie de pasos de estiramiento hasta que su diámetro final oscila de 0,20 mm a 1,20 mm.

- 5 Para dar a la fibra de acero su alto alargamiento hasta rotura y a la carga máxima, el cable así estirado se puede someter a un tratamiento de alivio de esfuerzos, por ejemplo, pasando el cable a través de una bobina de inducción de alta frecuencia o de frecuencia media de una longitud que se adapta a la velocidad de paso del cable. 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 aumentar el alargamiento hasta rotura y el alargamiento en carga máxima. Sin embargo, al aumentar ligeramente la temperatura, a más de 400 °C, se observa una disminución adicional de la resistencia a la tracción y al mismo tiempo un aumento en el alargamiento hasta fractura y un aumento en el alargamiento en carga máxima.
- 10 Los cables pueden estar o no recubiertos con un recubrimiento resistente a la corrosión tal como un recubrimiento de zinc o aleación de zinc, más en particular un recubrimiento de zinc-aluminio o un recubrimiento de zinc-aluminio-magnesio. Antes de estirar o durante el estirado, los cables también pueden revestirse con un recubrimiento de cobre o aleación de cobre para facilitar la operación de estirado.
- 15 Los cables carentes de restricciones a continuación se cortan a las longitudes apropiadas de las fibras de acero y los extremos de las fibras de acero reciben el anclaje o espesamiento apropiado. El corte y la conformación en gancho también se pueden realizar en una misma operación mediante rodillos apropiados.
- 20 Las fibras de acero así obtenidas pueden o pueden no estar encoladas juntas de acuerdo con el documento US-A-4284667.
- 25 Además, o como alternativa, las fibras de acero obtenidas se pueden poner en un paquete, como por ejemplo un paquete de cadena o un paquete similar a una cinta. Un paquete de cadena se describe, por ejemplo, en el documento EP-B1-1383634; un paquete similar a una cinta se describe en la solicitud de patente europea con el número de solicitud 09150267.4 del solicitante.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura de hormigón en la que el hormigón tiene una resistencia menor o igual a la resistencia del hormigón de las clases de resistencia C50/60 como se define en la norma EN206, dicha estructura de hormigón que está reforzada con fibras de acero (400) con una dosificación de dichas fibras de acero de menos del 1 % en volumen,
 5 dichas fibras de acero (404) que comprenden una porción media (404) y un extremo de anclaje (402) en uno o ambos extremos de dicha porción media (404), dicha porción media (404) que tiene un eje principal (403), dicho extremo de anclaje (402) que tiene solamente tres secciones rectas, una primera (406), una segunda (408) y una
 10 tercera (410) sección recta, dicha primera sección recta (406) que está conectada a dicha porción media (404) por una primera sección doblada (405), dicha segunda sección recta (408) que está conectada a dicha primera sección recta (406) por una segunda sección doblada (407), dicha tercera sección recta (410) que está conectada a dicha segunda sección recta (408) por una tercera sección doblada (409), cada una de dichas primera (406), segunda
 15 (408) y tercera (410) sección recta que tiene un eje principal, dicha porción media (404) que tiene una longitud superior a 25 mm y dicha primera (406), dicha segunda (408) y dicha tercera (410) sección recta que tiene una longitud que oscila entre 0,1 y 8 mm, dicha porción media (404) que tiene un diámetro D que oscila entre 0,1 mm y 1,20 mm, dicha fibra de acero (400) que tiene una relación de longitud a diámetro L/D que oscila de 40 a 100,
 20 en la que dicha primera sección recta (406) se dobla hacia fuera del eje principal (403) de dicha porción central (404) definiendo de este modo un ángulo incluido (α) entre el eje principal (403) de dicha porción media (404) y el eje principal de dicha primera sección recta (406), que dicha segunda sección recta (408) es sustancialmente paralela al eje principal (403) de dicha porción media (404), y que dicha tercera sección recta (410) se dobla hacia fuera del eje principal (403) de dicha porción media (404) en la misma dirección en que dicha primera sección recta (406) se
 25 dobla hacia fuera del eje principal (403) de dicha porción media (404), definiendo de este modo un ángulo incluido (β) entre el eje principal de dicha segunda sección recta (408) y el eje principal de dicha tercera sección recta (410), dicho ángulo incluido (α) entre el eje principal (403) de dicha porción media (404) y el eje principal de dicha primera sección recta (406) y dicho ángulo incluido (β) incluido entre el eje principal de dicha segunda sección recta (408) y el eje principal de dicha tercera sección recta (410) oscilan entre 100 y 160 grados, dichas fibras de acero que tienen una resistencia a la tracción de al menos 1500 MPa.
2. La estructura de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el ángulo incluido (α) entre el eje principal (403) de dicha porción media (404) y el eje principal de dicha primera sección recta (406) y el ángulo incluido (β)
 35 entre el eje principal de dicha segunda sección recta (408) y el eje principal de dicha tercera sección recta (410) son iguales o sustancialmente iguales.
3. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha porción media (404) de dichas fibras de acero (400) tiene una resistencia a la tracción R_m de al menos 1750 MPa.
- 40 4. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha porción media (404) tiene un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 2,5 %.
5. La estructura de hormigón de acuerdo con la reivindicación 4, en la que dicha porción media (404) tiene un alargamiento en carga máxima A_{g+e} de al menos el 5 %.
- 45 6. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichas fibras de acero (400) están en un estado carente de restricciones.
7. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha porción media de dichas fibras de acero (400) está provista de al menos una sección aplanada.
- 50 8. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la relación de la 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 superior a 1 con una dosificación de dichas fibras de acero de menos del 1 % en volumen.
- 55 9. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la resistencia a la tracción por flexión residual $f_{R,3}$ es superior a 5 MPa con una dosificación de dichas fibras de acero de menos del 1 % en volumen.
- 60 10. La estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha estructura es una estructura de soporte de carga.

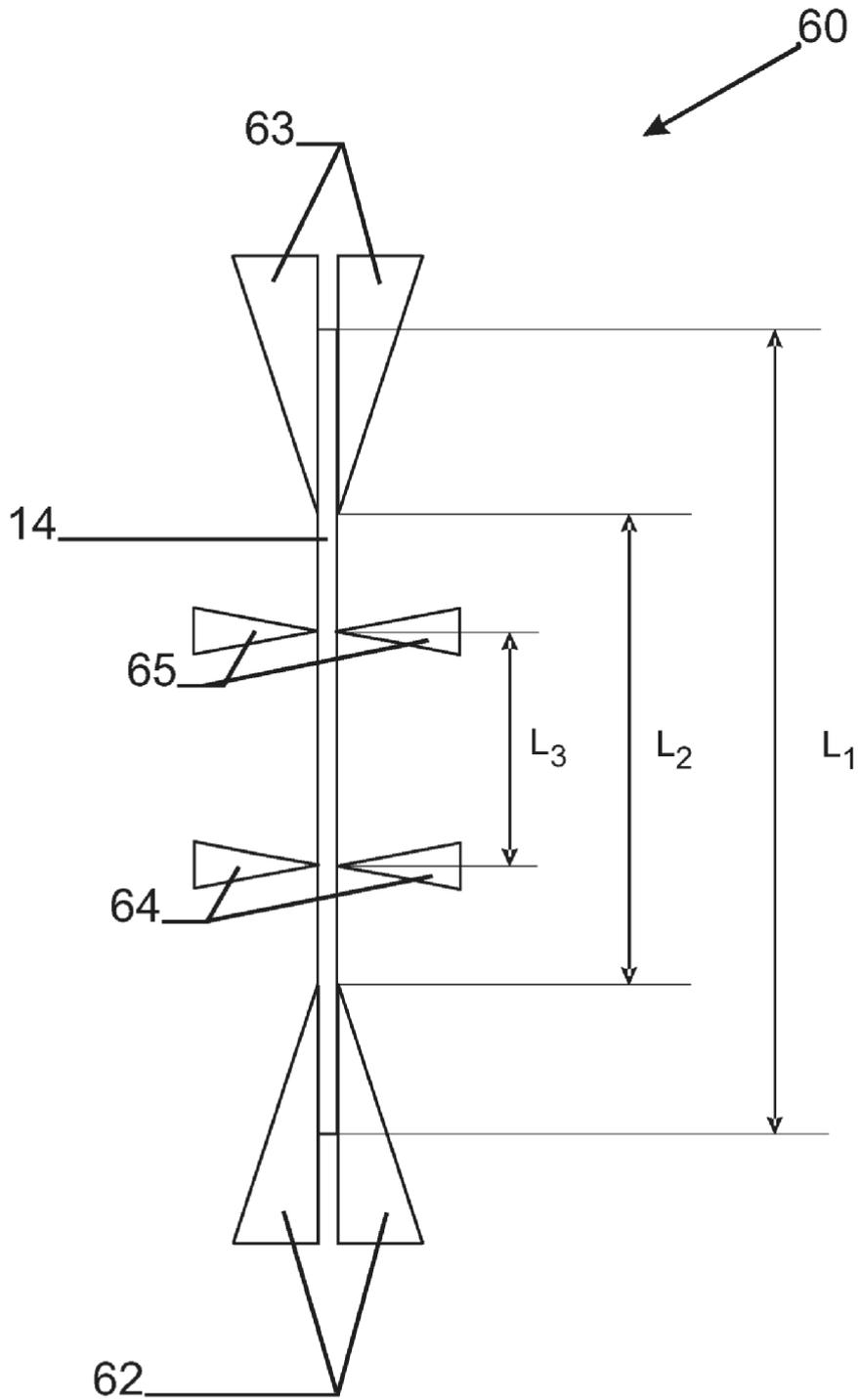


Fig. 1

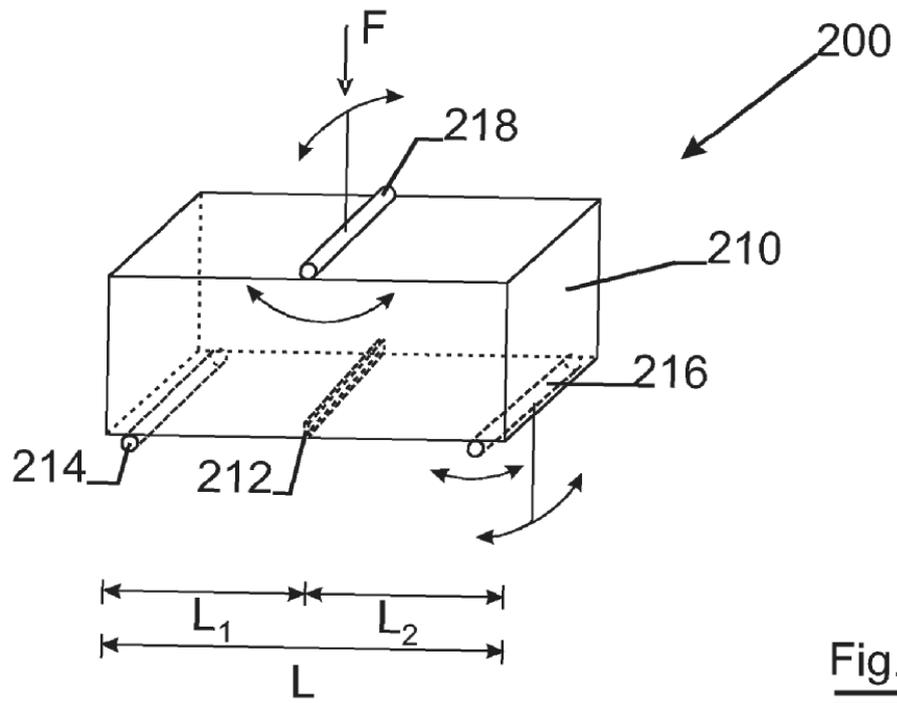


Fig. 2

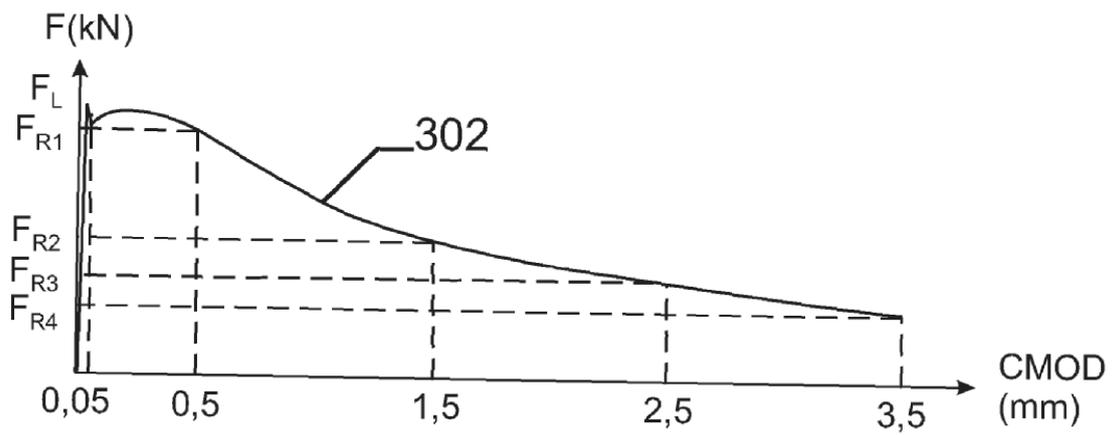


Fig. 3

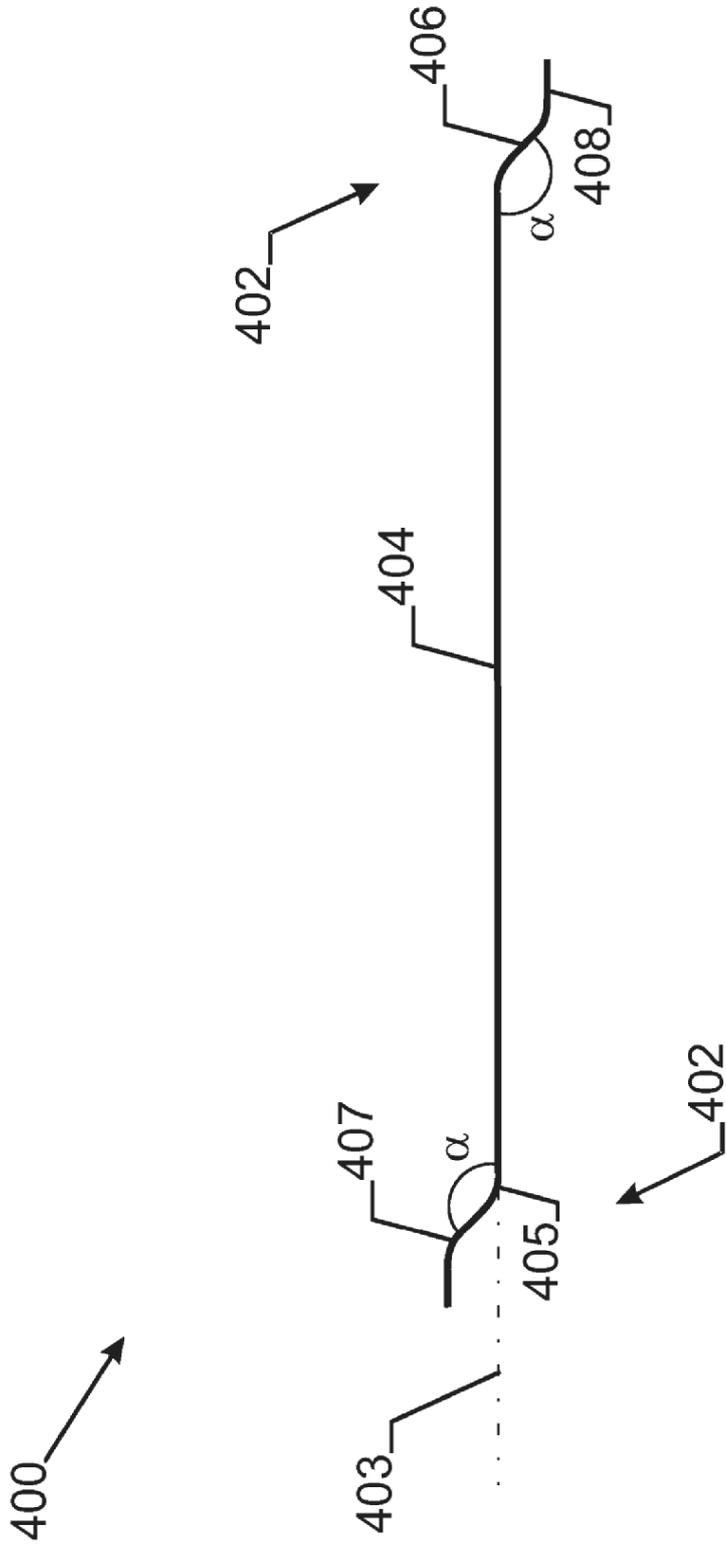


Fig. 4a

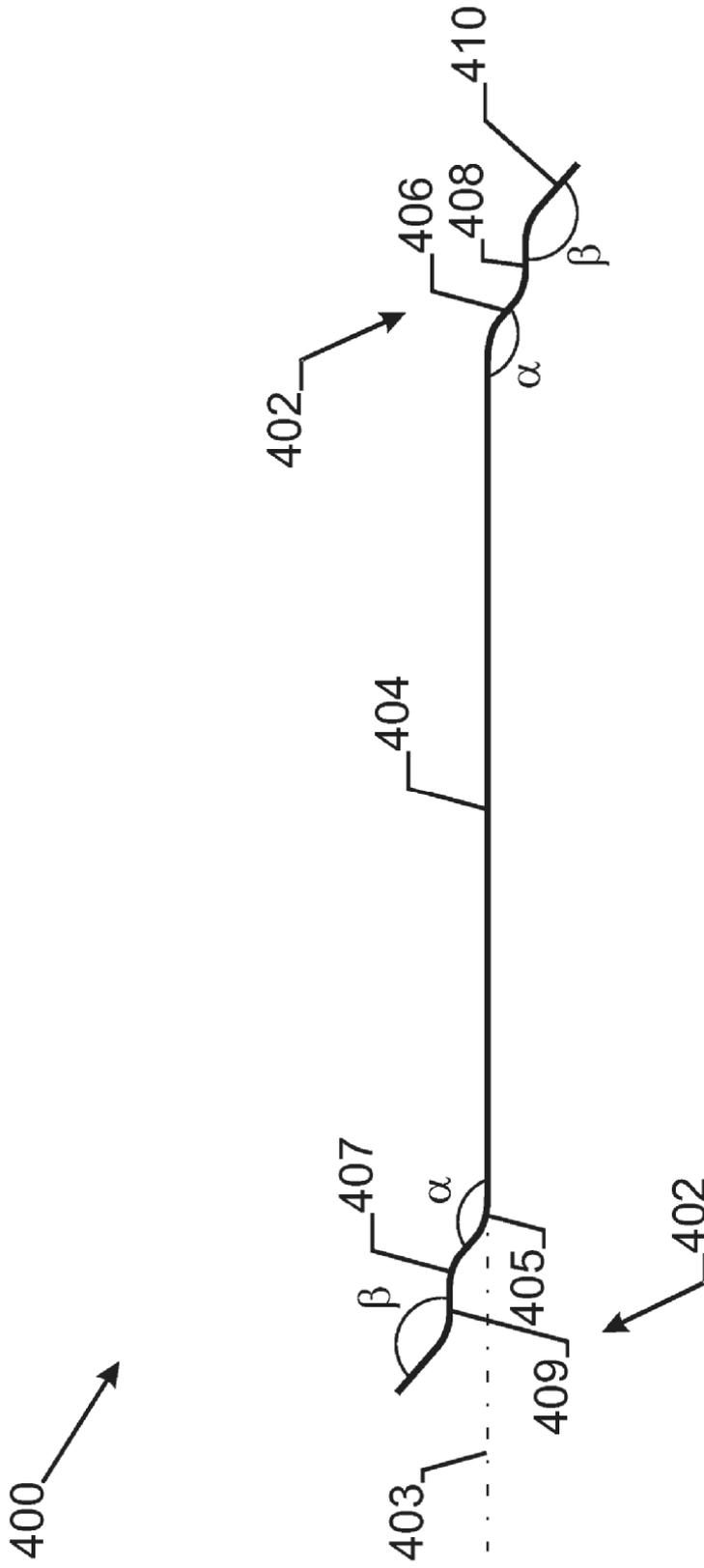


Fig. 4b

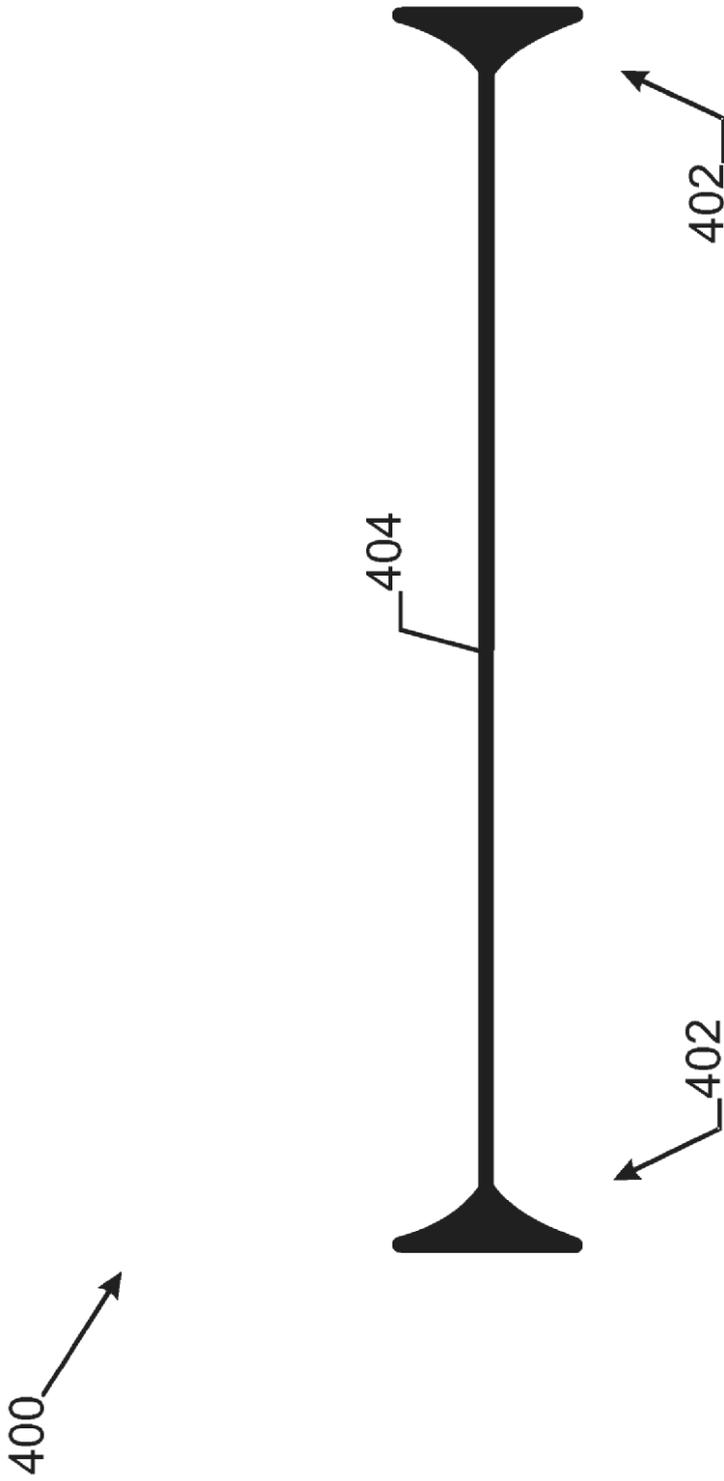


Fig. 4c