

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 264**

51 Int. Cl.:

D01D 5/06 (2006.01)

D01D 5/253 (2006.01)

D01F 6/06 (2006.01)

D02G 1/12 (2006.01)

E04C 5/07 (2006.01)

D02G 1/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2021 PCT/EP2021/066515**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2021 WO21255208**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2021 E 21732913 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2024 EP 4168611**

54 Título: **Fibras poliméricas para reforzamiento de hormigón**

30 Prioridad:

17.06.2020 EP 20180543

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.10.2024

73 Titular/es:

**SIKA TECHNOLOGY AG (100.0%)
Zugerstrasse 50
6340 Baar, CH**

72 Inventor/es:

**FREI, FABIAN;
DURALL, WILLIAM y
LABBE, CARL**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 981 264 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

Fibras poliméricas para reforzamiento de hormigón

Campo técnico

5 La invención se refiere a fibras poliméricas para uso en materiales de construcción, particularmente en composiciones cementosas. En particular, la invención se refiere a fibras macrosintéticas, que son capaces de sufrir una fibrilación progresiva cuando se agitan mecánicamente dentro de un material de matriz a reforzar.

Técnica antecedente

10 El hormigón es el material de construcción artificial más utilizado para aplicaciones estructurales en el mundo. Generalmente, el hormigón es un material frágil que tiene una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tracción (resistencia al agrietamiento). La resistencia a la tracción del hormigón se puede aumentar mediante el uso de aditivos modificadores, como barras de refuerzo y mallas de refuerzo. También se han utilizado fibras poliméricas, metálicas, de vidrio y naturales para mejorar la resistencia a la tracción (resistencia antes de que se produzca la primera grieta) y la tenacidad (resistencia al agrietamiento) del hormigón. Se puede encontrar información relevante de antecedentes, por ejemplo, en el documento JP 2018 203557.

15 Se pueden usar diferentes tipos de fibras para mejorar propiedades específicas del hormigón.

20 Las microfibras sintéticas (microfibras) que tienen una densidad lineal de no más de 644.44 dtex (580 denier (den)) se utilizan normalmente para evitar el agrietamiento por contracción plástica a medida que fragua el hormigón, es decir, para evitar el microfisuramiento del hormigón durante las primeras 24 a 48 horas después de colado. Fibras macrosintéticas (macrofibras) que tienen una densidad lineal superior a 644.44 dtex (580 den) y diámetros iguales o superiores a 0.3 mm, se añaden a las mezclas de hormigón para mejorar la tenacidad general, cuantificada mediante mediciones de resistencia residual después de que se haya producido la primera rotura. Las macrofibras normalmente se añaden a las mezclas de hormigón en dosis de fibra de 1.8 a 8.9 kg/m³. Las macrofibras están disponibles en varias formas, como cuerdas, cintas o palos, y pueden estar retorcidas, serradas o estampadas para mejorar la unión mecánica al hormigón. Las propiedades de refuerzo del hormigón de las fibras sintéticas dependen tanto de la resistencia de la fibra como de la adhesión entre la fibra y la matriz de hormigón.

30 Los beneficios obtenidos con el hormigón reforzado con fibras han llevado al uso generalizado de fibras en lugar del refuerzo convencional de temperatura y contracción, así como a la tenacidad en muchas aplicaciones, incluida las losas de piso. Los materiales plásticos comúnmente utilizados para las fibras de refuerzo de hormigón incluyen polipropileno (PP), polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), aramidas, por ejemplo, Kevlar, poliamidas y fibras de alcohol polivinílico. Todos ellos adolecen de una o más desventajas, tales como alto coste, baja resistencia alcalina, baja tenacidad o baja unión interfacial entre la matriz de hormigón y la fibra. El polipropileno y el polietileno se han utilizado ampliamente como materia prima tanto para micro como para macrofibras. Sus ventajas incluyen una fácil procesabilidad de las fibras mediante procesos de hilado por fusión (extrusión), bajo coste y alta resistencia en ambientes alcalinos. Sin embargo, debido a la baja densidad y la hidrofobicidad, las fibras tienden a florecer en la superficie durante el acabado, es decir, las fibras tienden a sobresalir de la superficie del hormigón antes de completar el curado. Además, el polipropileno y el polietileno no se adhieren bien al hormigón y, por lo tanto, estos tipos de macrofibras generalmente están rizadas o estampadas para permitir la unión mecánica a la matriz. La unión interfacial entre la fibra y el hormigón se puede controlar mediante el uso de recubrimientos aplicados a la superficie de las fibras o mediante modificación química de la superficie de la fibra. Sin embargo, estos métodos normalmente dan como resultado mayores costes y complejidad en el proceso de producción de fibra.

45 Las fibras más grandes en términos de relación de aspecto de fibra son generalmente más adecuadas que las fibras pequeñas para usar en mejorar la tenacidad del hormigón. Las fibras más gruesas tienen una mayor fuerza de rotura, pero también proporcionan menos unión interfacial al hormigón debido a la superficie reducida. Las propiedades de unión de las fibras generalmente se pueden mejorar utilizando fibras más largas y delgadas. Sin embargo, las fibras más largas y delgadas tienden a agruparse en bolas que son difíciles de romper cuando se agregan al hormigón. La resistencia a la formación de bolas se puede mejorar usando fibras que se presentan en "discos" y/o usando fibras que fibrilan en muchas fibras más pequeñas cuando se agitan mecánicamente dentro de un material de matriz que se va a reforzar con las fibras. La fibrilación aumenta la superficie de las fibras, lo que resulta en una mejora de la unión interfacial al hormigón. Sin embargo, la fibrilación excesiva puede provocar problemas de trabajabilidad, distribución de fibras y mezclado y reducir las propiedades de mejora de la tenacidad de fibras más grandes.

50 Los requisitos de acabado de superficie en aplicaciones de losas de piso varían según el tráfico, la textura, interior o exterior, o los requisitos de atractivo estético. Para la mayoría de las aplicaciones interiores de hormigón y metal compuesto, se requieren acabados más suaves con llana de acero duro. Estos acabados lisos son importantes por varias razones, como la reducción del desgaste de la superficie, la facilidad de limpieza y la durabilidad a largo plazo. El hormigón reforzado con macrofibras en aplicaciones con llana de acero duro puede dejar muchas fibras en la superficie, lo que es un resultado indeseable para los usuarios debido a su apariencia. Por lo tanto, una fibra de refuerzo de hormigón que tenga una baja tendencia a sobresalir de la superficie del hormigón antes de completar el curado sería muy valiosa en aplicaciones de losas de piso para permitir un acabado superficial liso.

Por lo tanto, sería deseable proporcionar una fibra macrosintética de bajo coste adecuada para usar en la mejora de propiedades específicas del hormigón, particularmente la tenacidad y durabilidad generales del hormigón, sin tener un impacto negativo en otras propiedades, tales como las características de acabado superficial y/o atractivo estético.

Resumen de la invención

- 5 El objetivo de la presente invención es proporcionar una fibra macrosintética de refuerzo de hormigón, que resuelva uno o más problemas de las fibras macrosintéticas de la técnica anterior.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una fibra macrosintética de bajo coste, que sea altamente efectiva para mejorar la tenacidad y durabilidad del hormigón, presente una buena dispersabilidad en una mezcla de hormigón y buenas propiedades de acabado superficial.

- 10 Se descubrió sorprendentemente que una fibra macrosintética que consta de tres o más filamentos parcialmente fusionados, en donde los filamentos están hechos de una composición polimérica que comprende al menos un polipropileno, puede resolver o al menos mitigar muchos de los problemas relacionados con el uso de las fibras macrosintéticas de la técnica anterior.

El objeto de la presente invención es una fibra macrosintética como se define en la reivindicación 1.

- 15 Una de las ventajas de la fibra macrosintética de la presente invención es que las fibras tienen propiedades de autofibrilación consistentes. Una vez que la fibra se introduce en una mezcla de hormigón, se rompe en partes predeterminadas (filamentos) durante el proceso de mezclado. La rotura aumenta el área de contacto entre la matriz de hormigón y la fibra y aleatoriza aún más la orientación de la fibra. Debido a las constantes propiedades de autofibrilación, las fibras se pueden incorporar fácilmente a una mezcla de hormigón fluidizado con una relación de
20 aspecto baja de <100 para evitar problemas relacionados con la dispersión (aglomeración) y al mismo tiempo obtener propiedades mejoradas del hormigón, particularmente tenacidad del hormigón, a través de la mayor relación de aspecto de los filamentos individuales separados de la fibra durante el proceso de mezcla.

- Otra ventaja de la fibra macrosintética de la presente invención es que las fibras se pueden mezclar en composiciones de hormigón para mejorar la tenacidad sin tener un impacto negativo en las características de acabado de la superficie en aplicaciones de losa sobre rasante. El número de fibras que quedan en una superficie de una losa de hormigón en
25 aplicaciones de llana de acero duro se puede reducir significativamente o incluso eliminar utilizando las fibras de la presente invención.

Otros objetos de la presente invención se presentan en otras reivindicaciones independientes. Aspectos preferidos de la invención se presentan en las reivindicaciones dependientes.

- 30 Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra esquemáticamente una posible forma de sección transversal de una fibra macrosintética según la presente invención.

La Fig. 2 muestra una presentación esquemática de un posible proceso para producir fibras macrosintéticas de la presente invención.

- 35 Descripción detallada de la invención

El objeto de la presente invención es una fibra macrosintética que consta de tres o más filamentos parcialmente fusionados hechos de una composición polimérica que comprende al menos un polipropileno, en donde dicha fibra tiene una forma de sección transversal multilobular con tres o más lóbulos, en donde la fibra macrosintética tiene una densidad lineal de al menos 1111.11 dtex (1000 den), más preferiblemente al menos 1333.33 dtex (1200 den).

- 40 El término "polímero" se refiere a un conjunto de macromoléculas químicamente uniformes producidas por una polirreacción (polimerización, poliadición, policondensación) donde las macromoléculas difieren con respecto a su grado de polimerización, peso molecular y longitud de cadena. El término también comprende derivados de dicho colectivo de macromoléculas resultantes de polirreacciones, es decir, compuestos que se obtienen mediante reacciones tales como, por ejemplo, adiciones o sustituciones, de grupos funcionales en macromoléculas
45 predeterminadas y que pueden ser químicamente uniformes o químicamente no uniformes.

El término "copolímero de propileno" se refiere a copolímeros que comprenden al menos un 50 % en peso, más preferiblemente al menos un 60 % en peso de unidades derivadas de propileno, basado en el peso del copolímero, mientras que el término "copolímero de etileno" se refiere a copolímeros que comprenden al menos 50 % en peso, más preferiblemente al menos 60 % en peso de unidades derivadas de etileno, basado en el peso del copolímero.

- 50 El término "temperatura de fusión" se refiere a una temperatura a la que un material sufre la transición del estado sólido al líquido. La temperatura de fusión (T_m) se determina preferentemente mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) según la norma ISO 11357 usando una velocidad de calentamiento de 2°C/min. Las mediciones se pueden realizar con un dispositivo Mettler Toledo DSC 3+ y los valores de T_m se pueden determinar a partir de la curva DSC medida con la ayuda del software DSC. En caso de que la curva DSC medida muestre varios picos de

temperatura, el primer pico de temperatura proveniente del lado de temperatura inferior en el termograma se toma como temperatura de fusión (T_m).

5 La "cantidad o contenido de al menos un componente X" en una composición, por ejemplo "la cantidad de al menos un polímero termoplástico P1" se refiere a la suma de las cantidades individuales de todos los polímeros termoplásticos P1 contenidos en la composición. Por ejemplo, en caso de que la composición comprenda un 20% en peso de al menos un polímero termoplástico P1, la suma de las cantidades de todos los polímeros termoplásticos P1 contenidos en la composición es igual a un 20% en peso.

El término "temperatura ambiente normal" refiere a 23°C.

10 La fibra macrosintética de la presente invención consta de tres o más filamentos parcialmente fusionados hechos de una composición polimérica que comprende al menos un polipropileno. Se entiende que la expresión "parcialmente fundida" significa en el contexto de la presente invención que la fibra macrosintética se ha obtenido utilizando un proceso que comprende extruir una composición polimérica fundida para proporcionar filamentos extruidos, a los que se les permite entrar en contacto a lo largo de un parte de sus superficies exteriores primarias y fusionarse parcialmente entre sí para formar una fibra no estirada. El término "superficie exterior primaria" de un filamento se refiere a la superficie que se extiende longitudinalmente de dicho filamento.

15 Las fibras compuestas de filamentos parcialmente fusionados se diferencian significativamente de las fibras compuestas de un solo filamento (fibras monofilamento) y de las fibras multifilamento, en las que los filamentos se han unido entre sí de forma adhesiva o mecánica.

20 Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética se ha obtenido usando un proceso que comprende extruir una composición polimérica fundida a través de una matriz extrusora que comprende una pluralidad de orificios para proporcionar fibras no estiradas, en donde al menos parte de dichos orificios consisten en un conjunto de tres o más orificios que están dispuestos próximamente pero que no se superponen entre sí de modo que cuando la composición polimérica fundida se extruye a través de dichos orificios, los filamentos extruidos así obtenidos se fusionan parcialmente para formar una fibra no estirada. Se entiende por superposición entre sí que la distancia entre orificios adyacentes de dicho conjunto es tal que los perímetros de los orificios no se cruzan entre sí.

25 Debido a la estructura del filamento parcialmente fusionado, las fibras de la presente invención son capaces de sufrir una fibrilación progresiva cuando se agitan mecánicamente dentro de una matriz que se va a reforzar con las fibras. La primera parte de la fibrilación ocurre durante la etapa inicial de mezclado, lo que les da a las fibras tiempo adicional para dispersarse dentro de la matriz. La segunda parte de la fibrilación ocurre después de una mezcla considerable, cuando una porción significativa de las fibras ya se ha distribuido en la matriz, lo que disminuye la tendencia de los filamentos individuales separados de las fibras a agruparse en bolas.

30 En general, se ha descubierto que las fibras multifilamento de la técnica anterior tienen propiedades de fibrilación desventajosas. Se ha descubierto que algunas fibras multifilamento presentan fibrilación incompleta y deshilachado de los extremos de las fibras durante el mezclado dentro del hormigón, lo que da como resultado un mayor enredo de las fibras y, por tanto, formación de bolas. En otros casos, se ha descubierto que la separación de los filamentos del centro de la fibra y/o el deshilachado de los extremos de la fibra ocurre antes de la primera etapa de mezclado, lo que también da como resultado mayores problemas con el enredo y el enrollamiento de las fibras durante el mezclado dentro del hormigón. Además, se ha descubierto que las fibras monofilamento que tienen una sección transversal multilobular presentan una fibrilación insuficiente cuando se mezclan con hormigón.

35 Preferiblemente, el al menos un polipropileno comprende al menos el 70% en peso, más preferiblemente al menos el 75% en peso de la composición polimérica. Según una o más realizaciones, el al menos un polipropileno comprende del 70 al 95 % en peso, preferiblemente del 75 al 90 % en peso, más preferiblemente del 80 al 90 % en peso, del peso total de la composición polimérica.

40 El tipo de al menos un polipropileno y de al menos un polietileno no está particularmente restringido en la presente invención.

Los polipropilenos adecuados incluyen homopolímeros de polipropileno (hPP), tales como polipropileno isotáctico (iPP) y polipropileno sindiotáctico (sPP), y copolímeros de propileno, tales como copolímeros de propileno heterofásicos, copolímeros aleatorios de propileno y copolímeros de bloques de propileno.

45 Los copolímeros de propileno heterofásicos son sistemas poliméricos heterofásicos que comprenden una poliolefina base de alta cristalinidad y un modificador de poliolefina amorfa o de baja cristalinidad. La morfología de la fase heterofásica consiste en una fase matricial compuesta principalmente por la poliolefina base y una fase dispersa compuesta principalmente por el modificador de poliolefina. Los copolímeros de propileno heterofásicos disponibles comercialmente adecuados incluyen mezclas de reactor de la poliolefina base y el modificador de poliolefina, también conocidos como "TPO in situ" o "TPO de reactor" o "copolímeros de impacto (ICP)", que normalmente se producen en un proceso de polimerización secuencial. en donde los componentes de la fase de matriz se producen en un primer reactor y se transfieren a un segundo reactor, donde los componentes de la fase dispersa se producen e incorporan como dominios en la fase de matriz denominados "copolímeros de propileno heterofásicos (HECO)", mientras que los

copolímeros de propileno heterofásicos que comprenden copolímero aleatorio de polipropileno como polímero base a menudo se denominan "copolímeros aleatorios de propileno heterofásicos (RAHECO)". El término "copolímero de propileno heterofásico" comprende en la presente divulgación de los tipos HECO y RAHECO de copolímeros de propileno heterofásicos.

- 5 Según una o más realizaciones, el al menos un polipropileno tiene
- un módulo de flexión determinado según la norma ISO 178:2019 de al menos 1000 MPa, preferiblemente al menos 1100 MPa, más preferiblemente al menos 1200 MPa y/o
 - una temperatura de fusión (T_m) determinada por calorimetría diferencial de barrido (DSC) según la norma ISO 11357-3:2018 utilizando una velocidad de calentamiento de 2 °C/min a 115°C o más, preferiblemente a 125°C o más, más preferiblemente a 135°C o más, incluso más preferiblemente a 145°C o más, aún más preferiblemente a 155°C o más y/o
 - un índice de fluidez (230°C/2.16 kg) determinado según la norma ISO 1133 de no más de 100 g/10 min, preferentemente no más de 50 g/10 min, más preferentemente no más de 35 g/10 min, incluso más preferentemente no más de 15 g/10 min, tal como 0.5 - 15 g/10 min, preferentemente 1 - 10 g/10 min, más preferentemente 1 - 5 g/10 min.

Según una o más realizaciones, el al menos un polipropileno comprende o consiste en homopolímero de polipropileno, preferiblemente un polipropileno isotáctico, preferiblemente que tiene un índice isotáctico determinado mediante espectroscopia de ^{13}C -NMR de al menos 80 %, preferiblemente al menos 85 %, más preferentemente al menos el 90 %.

- 20 Según una o más realizaciones, la composición polimérica comprende además al menos 1% en peso, preferiblemente al menos 5% en peso, más preferiblemente al menos 7.5% en peso, de al menos un polietileno, basado en el peso total de la composición polimérica. Sin estar ligado a ninguna teoría, se cree que debido a la composición polimérica de los filamentos que comprenden tanto polipropileno como polietileno, el límite entre los filamentos parcialmente fusionados se rompe más fácilmente que en el caso de filamentos compuestos de polietileno o polipropileno solo. Se cree que esto mejora la capacidad de las fibras para sufrir una fibrilación progresiva cuando se agitan mecánicamente dentro de una matriz que se va a reforzar con las fibras. Según una o más realizaciones, el al menos un polietileno comprende del 1 al 30 % en peso, preferiblemente del 5 al 25 % en peso, más preferiblemente del 10 al 20 % en peso, del peso total de la composición polimérica.

Los polietilenos adecuados incluyen homopolímeros de etileno y copolímeros de etileno.

- 30 Según una o más realizaciones, al menos un polietileno tiene - una temperatura de fusión (T_m), determinada por calorimetría diferencial de barrido (DSC) según la norma ISO 11357-3 usando una velocidad de calentamiento de 2 °C/min, de a o por encima de 90°C, preferiblemente a o por encima de 100°C, más preferiblemente a o por encima de 105°C, tal como 90 - 140°C, preferiblemente 100 - 135°C, más preferiblemente 105 -125°C y/o - una masa fundida índice de fluidez (190°C/2.16 kg) determinado según la norma ISO 1133 de no más de 100 g/10 min, preferiblemente no más de 50 g/10 min, más preferiblemente no más de 35 g/10 min, incluso más preferiblemente no más de 15 g/10 min, tal como 0.5 - 15 g/10 min, preferiblemente 1 - 10 g/10 min, más preferiblemente 1 - 5 g/10 min.

Según una o más realizaciones, el al menos un polietileno comprende o consiste en polietileno de baja densidad (LDPE) o polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), o polietileno de alta densidad (HDPE), preferiblemente polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).

- 40 La fibra macrosintética tiene una forma de sección transversal multilobular con tres o más lóbulos. El término "sección transversal de fibra" se refiere en la presente divulgación a una sección transversal de fibra que se ha cortado en un plano perpendicular a la dirección longitudinal de la fibra. Por analogía, el término "forma de la sección transversal" de una fibra se refiere a una forma de una sección transversal que se ha cortado en un plano perpendicular a la dirección longitudinal de la fibra. Preferiblemente, la fibra macrosintética tiene una forma de sección transversal multilobular con tres o más lóbulos y una sección central que corre axialmente a través de la fibra.

La sección central de la fibra es preferentemente maciza, es decir, no incluye un orificio axial ni un hueco. Según una o más realizaciones, al menos dos de dichos lóbulos se extienden hacia afuera, preferiblemente radialmente desde la sección central. Según una o más realizaciones, al menos dos de dichos lóbulos están conectados entre sí a través de la sección central.

- 50 Preferiblemente, cada lóbulo tiene una porción de punta y una porción de base situada hacia la sección central de la fibra. Además, la porción de punta de cada lóbulo está preferiblemente curvada, más preferiblemente curvada de manera convexa. La figura 1 muestra esquemáticamente la forma de la sección transversal de una fibra macrosintética según una realización de la presente invención compuesta por cuatro filamentos parcialmente fusionados, en donde la fibra (1) tiene una forma de la sección transversal cuadrilobular con cuatro lóbulos (2) que se extiende hacia afuera desde la sección central (3) de la fibra.

Según una o más realizaciones, la porción de base de cada lóbulo tiene un ancho (D2) que es menor que el ancho máximo (D1) de la porción de punta. El término "ancho máximo de la porción de punta" se refiere a la longitud de la línea más larga que se extiende perpendicularmente a una línea longitudinal que conecta la sección central de la fibra

con la porción de punta del lóbulo, en donde la línea longitudinal se extiende hacia el contorno del lóbulo. El término "ancho de la porción de base" se refiere a la longitud de una línea que conecta dos puntos extremos de la porción de base de dos lóbulos adyacentes. En la Figura 1, el ancho máximo de la porción de punta de un lóbulo (2) se indica con la letra "D1", el ancho de la porción de base del lóbulo (2) se indica con la letra "D2", y el ancho longitudinal La línea que conecta la sección central (3) de la fibra con la porción de punta del lóbulo (2) se indica con la letra "L". Los anchos D1 y D2 se pueden determinar a partir de una imagen microscópica de una sección transversal de fibra.

Según una o más realizaciones, en cada lóbulo, la relación entre el ancho máximo de la porción de punta y el ancho de la porción de base (D1:D2) es de 1.1:1 a 3:1, preferiblemente de 1.2:1 a 2.7. :1, más preferiblemente de 1.3:1 a 2.5:1. Se ha descubierto que las fibras macrosintéticas que tienen la relación entre el ancho máximo (D1) de la porción de punta y el ancho (D2) de la porción de base en los rangos mencionados anteriormente son ventajosas ya que los lóbulos y, por tanto, los filamentos parcialmente fusionados de la fibra, tienden a desprenderse o separarse alrededor de la porción de base mediante fuerza de corte, permitiendo así la fibrilación progresiva cuando las fibras se agitan mecánicamente dentro de un material de matriz a reforzar.

Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética está compuesta por cuatro filamentos parcialmente fusionados. En estas realizaciones, la fibra macrosintética tiene preferiblemente una forma de sección transversal cuadrilobular con cuatro lóbulos, en donde preferiblemente al menos dos de dichos lóbulos se extienden hacia afuera, más preferiblemente radialmente desde la sección central de la fibra. Se ha descubierto que tales fibras macrosintéticas son muy eficaces para mejorar la tenacidad del hormigón y presentan una buena dispersabilidad en una mezcla de hormigón y buenas propiedades de acabado superficial. Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética tiene una forma de sección transversal cuadrilobular con cuatro lóbulos que se extienden hacia afuera, preferiblemente radialmente, desde la sección central de la fibra.

La fibra macrosintética tiene una densidad lineal de al menos 1111.11 dtex (1000 den), más preferiblemente al menos 1333.33 dtex (1200 den), incluso más preferiblemente al menos 1444.44 dtex (1300 den), aún más preferiblemente al menos 1666.66 dtex (1500 estudios). El término "den" es una abreviatura de "denier", que se refiere en la presente divulgación a una unidad de medida para la densidad de masa lineal de las fibras, es decir, la masa en gramos por 9000 metros de fibra. Preferiblemente, la fibra macrosintética tiene una longitud de al menos 15 mm, más preferiblemente al menos 20 mm, incluso más preferiblemente al menos 25 mm, aún más preferiblemente al menos 30 mm y/o una relación de aspecto (l/d) de no más de 85, más preferiblemente no más de 80, incluso más preferiblemente no más de 75, aún más preferiblemente no más de 70 y/o un diámetro de fibra de al menos 0.25 mm, más preferiblemente al menos 0.35 mm, incluso más preferiblemente a al menos 0.45, aún más preferiblemente al menos 0.5 mm. El término "relación de aspecto" se refiere en la presente divulgación a la relación entre la longitud y el diámetro de la fibra. El término "diámetro de fibra" se refiere en la presente divulgación al diámetro equivalente de la fibra determinado según la norma EN 14889-2:2006.

Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética tiene:

- una densidad lineal de 1111.11 a 5555.55 dtex (1,000 – 5,000 den), preferentemente 1666.66
- 5.000 dtex (1.500 - 4.500 den), más preferentemente 2222.22 – 4444.44 dtex (2.000 - 4.000 den), incluso más preferentemente 2777.77 – 3888.88 dtex (2.500 - 3.500 den),
- una longitud de 15 - 100 mm, preferiblemente 20 - 85 mm, más preferiblemente 25 - 75 mm, incluso más preferiblemente 25 - 65 mm, aún más preferiblemente 30 - 60 mm y/o
- una relación de aspecto (l/d) de 15 - 85, preferiblemente 25 - 80, más preferiblemente 35 - 75, incluso más preferiblemente 40 - 70, aún más preferiblemente 45 - 70 y/o
- un diámetro de fibra de 0.25 - 1.5 mm, preferiblemente 0.35 - 1.25 mm, más preferiblemente 0.45 - 1.0 mm, incluso más preferiblemente 0.5 - 0.9 mm, aún más preferiblemente 0.55 - 0.8 mm.

Preferiblemente, la fibra macrosintética tiene:

- un módulo de elasticidad un módulo de elasticidad determinado a 23 °C y a una velocidad de deformación del 5 %/min según la norma EN 14889-2:2006 de al menos 5 MPa, preferiblemente al menos 7 MPa y/o
- un alargamiento de rotura determinado a 23 °C según la norma EN 10002-1:2001 no superior al 15 %, preferiblemente no superior al 10 % y/o
- una resistencia a la tracción determinada a 23 °C y a una velocidad de deformación del 5 %/min según la norma EN 14889-2:2006 de al menos 250 MPa, preferiblemente al menos 350 MPa.

Se ha descubierto que las fibras macrosintéticas con propiedades físicas que se encuentran dentro de los rangos citados anteriormente son particularmente adecuadas para su uso como fibras de refuerzo de hormigón.

Las fibras macrosintéticas se estiran preferentemente con una relación de estiramiento de al menos 5:1, más preferentemente 10:1. El estiramiento da como resultado la orientación de las cadenas de polímero en una dirección longitudinal de la fibra, lo que aumenta la resistencia a la tracción y disminuye el alargamiento de la fibra. Además, las fibras estiradas suelen ser menos estirables en la dirección transversal. Finalmente, el estirado también debilita la región de conexión entre los filamentos parcialmente fusionados, lo que da como resultado una fibrilación más eficaz durante el mezclado en una matriz de hormigón.

Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética se estira uniaxialmente con una relación de estiramiento de 7.5:1 a 25:1, preferiblemente de 10:1 a 20:1, más preferiblemente de 10:1 a 17.5:1, incluso más preferiblemente de 12:1 a 15:1. Preferiblemente, la fibra macrosintética es separable en filamentos individuales que tienen una densidad

lineal de no más de 1388.88 dtex (1250 den), preferiblemente no más de 1111.11 dtex (1000 den), más preferiblemente no más de 1000 dtex (900 den) y/o una relación de aspecto (l/d) de al menos 100, preferiblemente al menos 105, más preferiblemente al menos 110, incluso más preferiblemente al menos 115.

Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética es separable en filamentos individuales que tienen:

- 5 - una densidad lineal de 166.66 - 1388.88 dtex (150 - 1250 den), preferiblemente 277.77 - 1277.77 dtex (250 den - 1150 den), más preferiblemente 388.88 - 1111.11 dtex (350-1000 den), incluso más preferiblemente 444.44 - 1055.55 dtex (400 - 950 den) y/o
- una relación de aspecto (l/d) de 100 - 250, preferiblemente 105 - 200, más preferiblemente 110 - 175, incluso más preferiblemente 115 - 150 y/o
- 10 - un diámetro de filamento de 0.1 - 1.0 mm, preferiblemente 0.15 - 0.85 mm, más preferiblemente 0.2 - 0.7 mm, incluso más preferiblemente 0.2 - 0.55 mm, aún más preferiblemente 0.25 - 0.5 mm. La fibra macrosintética puede además estar rizada o estampada, preferiblemente rizada, para incluir una o más deformaciones en la longitud de la fibra. Se ha descubierto que el rizado reduce la rigidez de las fibras y mejora las propiedades de fibrilación. El número de rizos en la longitud de la fibra no está particularmente restringido. Generalmente, el número de rizados debe ser
- 15 suficientemente alto para proporcionar a la fibra propiedades de fibrilación mejoradas sin tener un impacto negativo en otras propiedades, tales como las propiedades de dispersión de las fibras. Según una o más realizaciones, la fibra macrosintética comprende una deformación formada en la longitud de la fibra, en donde la deformación comprende al menos un rizado, preferiblemente al menos tres rizados en la longitud de la fibra.

20 La preferencia dada anteriormente por al menos un polipropileno y al menos un polietileno se aplica a todos los objetos de la presente invención a menos que se especifique lo contrario.

Otro objeto de la presente invención es un método para producir fibras macrosintéticas que comprende las etapas de:

- I) Extruir una composición polimérica fundida que comprende al menos un polipropileno a través de una matriz extrusora para proporcionar fibras no estiradas que consisten en tres o más filamentos parcialmente fusionados,
- 25 II) estirar uniaxialmente las fibras no estiradas preparadas en la etapa I) para proporcionar fibras estiradas,
- III) Opcionalmente rizar las fibras estiradas preparadas en la etapa II) para proporcionar fibras rizadas, y
- IV) Cortar las fibras preparadas en el paso II) o III) a una longitud predeterminada.

Preferiblemente, al menos un polipropileno comprende al menos 70% en peso, más preferiblemente al menos 75% en peso de la composición polimérica fundida.

30 Según una o más realizaciones, la composición polimérica fundida comprende además al menos un 1 % en peso, preferiblemente al menos un 5 % en peso, de al menos un polietileno, basado en el peso total de la composición polimérica fundida.

35 Según una o más realizaciones, el al menos un polipropileno comprende del 70 al 95 % en peso, preferiblemente del 75 al 90 % en peso, más preferiblemente del 80 al 90 % en peso, de la composición polimérica fundida y al menos un el polietileno comprende del 1 al 30 % en peso, preferiblemente del 5 al 25 % en peso, más preferiblemente del 10 al 20 % en peso, de la composición polimérica fundida.

40 La composición polimérica fundida se obtiene preferiblemente mezclando en estado fundido una composición inicial que comprende los constituyentes de la composición polimérica fundida usando un aparato mezclador adecuado. El término "mezcla en estado fundido" se refiere en la presente divulgación a un proceso, en el que al menos un componente polimérico fundido se mezcla íntimamente con al menos otro componente, que puede ser otro componente polimérico fundido o un componente sólido, tal como una carga, hasta que se obtenga una mezcla fundida, es decir, una mezcla sustancialmente homogénea del componente(s) polimérico y los otros constituyentes.

45 La mezcla en estado fundido de la composición inicial se puede realizar como un proceso discontinuo usando cualquier mezclador convencional, tal como un mezclador Brabender, Banbury o de rodillo o como un proceso continuo, usando un mezclador de tipo continuo, preferiblemente una extrusora, tal como una de un solo tornillo o una extrusora de doble tornillo o una extrusora de rodillos planetarios. Los constituyentes de la composición de partida se alimentan preferentemente al mezclador usando un sistema de alimentación convencional que comprende una tolva de alimentación y una extrusora de alimentación. Alternativamente, algunos o todos los constituyentes de la composición inicial se pueden alimentar directamente al mezclador como corrientes individuales, como una premezcla o como una mezcla maestra. Además, los componentes de la composición de partida se pueden procesar primero en una extrusora

50 de mezclas para obtener pellets o gránulos, que luego se alimentan al mezclador.

En la primera etapa I) del método, la composición polimérica fundida se extruye a través de una matriz extrusora como filamentos para proporcionar fibras no estiradas que constan de tres o más filamentos parcialmente fusionados. La matriz extrusora es preferiblemente una hilera que comprende una pluralidad de orificios de hilera que contienen orificios, a través de los cuales se extruye la composición polimérica fundida.

55 Según una o más realizaciones, la etapa I) del método comprende las etapas de:

i) Extruir la composición polimérica fundida a través de una hilera que comprende una pluralidad de orificios de hilera para proporcionar fibras no estiradas y

ii) conducir dichas fibras no estiradas preparadas en la etapa i) a través de un espacio de aire a un baño de enfriamiento, en el que al menos parte de dichos orificios de hilera, preferiblemente cada orificio de hilera, consisten en un conjunto de tres o más orificios que están dispuestos de manera próxima de manera que cuando la composición de polímero fundido se extruye a través de dichos orificios, los filamentos extruidos así obtenidos se fusionan parcialmente para formar una fibra no estirada. El término "cámara de aire" se refiere aquí al espacio entre la hilera y el baño de enfriamiento.

En el segundo paso II) del método, las fibras no estiradas preparadas en el paso I) se estiran uniaxialmente para proporcionar fibras estiradas. Según una o más realizaciones, las fibras no estiradas extruidas se estiran uniaxialmente con una relación de estiramiento de 7.5:1 a 25:1, preferiblemente de 10:1 a 20:1, más preferiblemente de 10:1 a 17.5:1, incluso más preferiblemente de 12:1 a 15:1. El estiramiento de las fibras se puede realizar usando una máquina de estiramiento por calor convencional, tal como una máquina del tipo de rodillo caliente, placa caliente o horno de aire caliente.

El estirado da como resultado la orientación de las cadenas de polímero en una dirección longitudinal de la fibra, lo que aumenta la resistencia a la tracción y disminuye el alargamiento de la fibra no estirada. Además, las fibras estiradas suelen ser menos estirables en la dirección transversal. Finalmente, el estirado también debilita la región de conexión entre los filamentos parcialmente fusionados, lo que da como resultado una fibrilación más eficaz durante el mezclado con la matriz de hormigón.

Según una o más realizaciones, el paso III) del método comprende someter las fibras estiradas preparadas en el paso II) a rizado para proporcionar fibras rizadas. El rizado de las fibras se puede realizar empleando cualquier aparato de rizado convencional, tal como una caja de rizado, por ejemplo, un rizador de cable. En el caso de una caja rizadora, las fibras estiradas se cargan en la caja rizadora que rellena y dobla los rizados en las fibras. Las fibras estiradas también se pueden rizar mecánicamente pasando las fibras a través de un engranaje o conjunto de engranajes para proporcionar rizos en las fibras. Según una o más realizaciones, las fibras estiradas preparadas en la etapa II) se rizan haciendo pasar las fibras a través de un conjunto de engranajes.

En el cuarto paso IV) del método, las fibras estiradas y opcionalmente rizadas preparadas en el paso II) o III) se cortan en trozos con una longitud predeterminada. Según una o más realizaciones, dichas fibras estiradas y opcionalmente rizadas tienen:

- una longitud de 15 - 100 mm, preferiblemente 20 - 85 mm, más preferiblemente 25 - 75 mm, incluso más preferiblemente 25 - 65 mm, aún más preferiblemente 30 - 60 mm y/o
- una relación de aspecto (l/d) de 15 - 85, preferiblemente 25 - 80, más preferiblemente 35 - 75, incluso más preferiblemente 40 - 70, aún más preferiblemente 45 - 70 y/o
- un diámetro de fibra de 0.25 - 1.5 mm, preferentemente 0.35 - 1.25 mm, más preferentemente 0.45 - 1.0 mm, incluso más preferentemente 0.5 - 0.9 mm, aún más preferentemente 0.55 - 0.8 mm y/o
- un módulo de elasticidad un módulo de elasticidad determinado a 23°C y a una velocidad de deformación del 5 %/min según la norma EN 14889-2:2006 de al menos 5 MPa, preferiblemente al menos 7 MPa y/o
- un alargamiento de rotura determinado a 23°C según la norma EN 10002-1:2001 no superior al 15 %, preferiblemente no superior al 10 % y/o
- una resistencia a la tracción determinada a 23°C y a una velocidad de deformación del 5 %/min según la norma EN 14889-2:2006 de al menos 250 MPa, preferiblemente al menos 350 MPa.

La figura 2 muestra una presentación esquemática de una realización del método para producir fibras macrosintéticas de la presente invención. En esta realización, los constituyentes de la composición de partida se alimentan usando un aparato de dosificación y alimentación (4) en un aparato extrusor (5), donde la partida se procesa en estado fundido hasta obtener una composición polimérica fundida. La composición inicial procesada en estado fundido se extruye a través de una hilera (6) que comprende una pluralidad de orificios de hilera. A continuación, las fibras extruidas se conducen a través de una cámara de aire a un baño de agua (7). Las fibras enfriadas se transportan desde el baño de agua (7) a un primer horno (9) (de estiramiento) usando un rodillo de extracción motorizado que comprende un primer soporte de rodillos (8). Las fibras no estiradas se orientan en el primer horno (9) (de estiramiento), se estiran utilizando un segundo soporte de rodillos (10) y se procesan adicionalmente en un segundo horno (11) (de recocido). El calentamiento en el primer y segundo horno (9, 11) se consigue preferentemente con aire caliente forzado a temperatura controlada.

Las fibras estiradas se pasan desde el segundo horno (11) a través de un rizador mecánico (12) compuesto por dos rodillos emparejados que se acoplan parcialmente para deformar la fibra estirada. Las fibras rizadas se transportan desde la rizadora usando un tercer soporte de rodillo (13), se enrollan usando una bobinadora (14) y se cortan a una longitud predeterminada (no se muestra en la Figura 2).

Según una o más realizaciones, las fibras no estiradas constan de tres a seis filamentos parcialmente fusionados. En estas realizaciones, al menos parte de dichos orificios de hilera consisten en un conjunto de tres a seis orificios que están dispuestos de forma próxima.

La forma de los agujeros de dicho conjunto no está particularmente restringida. La sección transversal de los agujeros puede tener una forma circular, elíptica, trilobular o triangular, o una forma de Y, o una forma de estrella, preferiblemente una forma circular.

5 Los orificios de dicho conjunto pueden tener el mismo diámetro o diferente diámetro, preferentemente el mismo diámetro. Preferiblemente, el diámetro de los orificios no es superior a 5.0 mm, más preferiblemente no superior a 4.0 mm, incluso más preferiblemente no superior a 3.0 mm. Según una o más realizaciones, los orificios de dicho conjunto tienen un diámetro de 0.35 - 2.5 mm, preferiblemente 0.5 - 2.0 mm, más preferiblemente 0.75 - 2.0 mm, incluso más preferiblemente 0.85 - 1.75 mm, aún más preferiblemente 0.95 - 1.75 mm.

10 Preferiblemente, los orificios de dicho conjunto están dispuestos de manera próxima pero no superpuestos, es decir, la distancia entre los orificios adyacentes de dicho conjunto está dispuesta de tal manera que los perímetros de los orificios no se cruzan entre sí.

15 Por otra parte, la distancia entre los centros de dos orificios adyacentes no debe ser demasiado alta para evitar que los filamentos extruidos entren en contacto y se fusionen parcialmente entre sí. Según una o más realizaciones, los orificios de dicho conjunto están dispuestos de manera que la distancia entre los perímetros de cualesquiera dos orificios que estén más cerca uno del otro medido a lo largo de una línea que conecta los centros de dichos dos orificios no sea superior a 1.0 mm, preferiblemente no más de 0.85 mm, más preferiblemente no más de 0.75 mm.

Según una o más realizaciones preferidas, las fibras no estiradas constan de cuatro filamentos parcialmente fusionados. En estas realizaciones, al menos parte de dichos orificios de hilera consisten en un conjunto de cuatro orificios que están dispuestos de forma próxima.

20 Según una o más realizaciones preferidas, los cuatro orificios de dicho conjunto están dispuestos en forma de cuadrilátero, preferiblemente seleccionado del grupo que consiste en un trapecoide, cometa, paralelogramo, rombo, rectángulo o cuadrado. Por expresión "dispuestos en forma de cuadrilátero" se entiende que los centros de los orificios de dicho conjunto están situados en los puntos de intersección de los lados del cuadrilátero.

25 Los orificios de la hilera de dicha hilera se pueden colocar en cualquier forma convencional, por ejemplo, en una pluralidad de filas paralelas o círculos concéntricos. Según una o más realizaciones preferidas, todos los orificios de hilera de dicha hilera constan de un conjunto idéntico de orificios en cuanto al número, disposición geométrica, forma y tamaño de los orificios.

Según una o más realizaciones, el método para producir fibras macrosintéticas comprende etapas adicionales de:

30 V) Envasar las fibras preparadas en cualquiera de los pasos II) a IV) en paquetes compactos que contengan cada uno varios miles de fibras y

VI) Envolver los paquetes preparados en el paso V) dentro de una película plástica soluble en agua.

En caso de que las fibras organizadas en paquetes en el paso V) no se hayan cortado en una longitud predeterminada, el método puede comprender un paso VII) adicional de cortar los paquetes envueltos preparados en el paso VI) en una longitud predeterminada.

35 Otro objeto de la presente invención son las fibras macrosintéticas obtenidas utilizando el método para producir fibras macrosintéticas de la presente invención.

Otro objeto más de la presente invención es el uso de las fibras macrosintéticas de la presente invención que mejoran las propiedades, preferiblemente la tenacidad, de una composición cementosa endurecida.

40 El término "composición cementosa" se refiere en la presente divulgación a hormigón, hormigón proyectado, lechada, mortero, pasta o una combinación de los mismos. Los términos "pasta", "mortero", "hormigón", "hormigón proyectado" y "lechada" son términos bien conocidos por los expertos en la técnica. Las pastas son mezclas que comprenden un aglutinante de cemento hidratable, generalmente cemento Portland, cemento de mampostería o cemento de mortero. Los morteros son pastas que contienen además áridos finos, por ejemplo, arena. Los hormigones son morteros que contienen además áridos gruesos, por ejemplo, grava triturada o piedra. El hormigón proyectado es hormigón (o a veces mortero) transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. La lechada es una forma de hormigón particularmente fluida que se utiliza para rellenar huecos. Las composiciones cementosas se pueden formar mezclando las cantidades requeridas de ciertos componentes, por ejemplo, cemento Portland, agua y agregado fino y/o grueso, para producir una composición cementosa específica.

45 Según una o más realizaciones, la composición cementosa se selecciona del grupo que consiste en hormigón, hormigón proyectado, lechada y mortero, preferentemente hormigón y hormigón proyectado, más preferentemente hormigón.

50 Según una o más realizaciones, las fibras macrosintéticas se añaden a la composición cementosa en una cantidad de 0.1 - 3.0 % en volumen, preferiblemente 0.2 - 2.0 % en volumen, más preferiblemente 0.2 - 1.0 % en volumen, basado en sobre el volumen total de la composición cementosa endurecida.

Según una o más realizaciones, la tenacidad de la composición cementosa endurecida medida como resistencia residual después de que se haya producido la primera rotura, mejora en al menos un 5 %, preferiblemente al menos un 10 %, más preferiblemente al menos un 15 %, en comparación con la tenacidad de una composición cementosa endurecida que no contiene las fibras macrosintéticas de la presente invención.

5 Otro objeto más de la presente invención es el material cementoso que comprende:

- a) Un ligante,
- b) 0.1 - 3.0% en volumen, preferiblemente 0.2 - 2.0% en volumen, más preferiblemente 0.2 - 1.0% en volumen, basado en el volumen total del material cementoso, de fibras macrosintéticas según la presente invención,
- c) Agregados, y
- 10 d) Agua.

Según una o más formas de realización, el ligante a) se selecciona del grupo que consiste en ligantes hidráulicos, ligantes no hidráulicos, ligantes hidráulicos latentes y ligantes puzolánicos.

15 El término "ligante hidráulico" se refiere a sustancias que reaccionan con agua en una reacción de hidratación bajo formación de hidratos minerales sólidos o fases de hidratos, que no son solubles en agua o tienen una baja solubilidad en agua. Por lo tanto, los ligantes hidráulicos, como el cemento Portland, pueden endurecerse y conservar su resistencia incluso cuando se exponen al agua, por ejemplo, bajo el agua o en condiciones de alta humedad. Por el contrario, el término "ligante no hidráulico" se refiere a sustancias que se endurecen mediante reacción con dióxido de carbono y que, por tanto, no se endurecen en condiciones húmedas o bajo agua.

20 Ejemplos de ligantes hidráulicos adecuados incluyen cementos hidráulicos y cal hidráulica. El término "cemento hidráulico" se refiere aquí a mezclas de silicatos y óxidos que incluyen alita, belita, aluminato tricálcico y brownmillerita.

25 Los cementos hidráulicos disponibles comercialmente se pueden dividir en cinco tipos principales de cemento según DIN EN 197-1, a saber, cemento Portland (CEM I), cemento Portland compuesto (CEM II), cemento de alto horno (CEM III), cemento puzolánico (CEM IV) y cemento compuesto (CEM V). Estos cinco tipos principales de cemento hidráulico se subdividen a su vez en otros 27 tipos de cemento, que son conocidos por el experto en la técnica y están enumerados en la norma DIN EN 197-1. Naturalmente, también son adecuados todos los demás cementos hidráulicos que se producen según otra norma, por ejemplo, según la norma ASTM o la norma india.

Ejemplos de ligantes no hidráulicos adecuados incluyen cal apagada (cal no hidráulica) y yeso. El término "yeso" se refiere en la presente divulgación a cualquier forma conocida de yeso, en particular sulfato de calcio deshidratado, sulfato de calcio α -hemihidrato, sulfato de calcio β -hemihidrato o sulfato de calcio anhidro o mezclas de los mismos.

30 El término "ligante hidráulico latente" se refiere en la presente divulgación a aditivos para hormigón de tipo II con un "carácter hidráulico latente" tal como se define en la norma DIN EN 206-1:2000. Este tipo de ligantes minerales son aluminosilicatos de calcio que no pueden endurecerse directamente o se endurecen demasiado lentamente cuando se mezclan con agua. El proceso de endurecimiento se acelera en presencia de activadores alcalinos, que rompen los enlaces químicos en la fase amorfa (o vítrea) del aglutinante y promueven la disolución de especies iónicas y la
35 formación de fases de hidrato de aluminosilicato de calcio.

Ejemplos de ligantes hidráulicos latentes adecuados incluyen escoria granulada molida de alto horno. La escoria granulada molida de alto horno se obtiene típicamente enfriando la escoria de hierro fundido de un alto horno en agua o vapor para formar un producto granular vítreo y seguido del secado y molienda del vítreo hasta obtener un polvo fino.

40 El término "ligante puzolánico" se refiere en la presente divulgación a aditivos para hormigón tipo II con "carácter puzolánico" tal como se define en la norma DIN EN 206-1:2000. Estos tipos de aglutinantes minerales son compuestos silíceos o de aluminosilicato que reaccionan con agua e hidróxido de calcio para formar fases de hidrato de silicato de calcio o de hidrato de aluminosilicato de calcio.

45 Ejemplos de ligantes puzolánicos adecuados incluyen puzolanas naturales, tales como cenizas volcánicas, y puzolanas artificiales, tales como cenizas volantes y humo de sílice. El término "cenizas volantes" se refiere en la presente descripción al residuo de ceniza finamente dividido producido por la combustión de carbón pulverizado, que se elimina con los gases expulsados del horno en el que se quema el carbón. El término "humo de sílice" se refiere en la presente descripción a silicio en partículas finas en forma amorfa. El humo de sílice se obtiene normalmente como subproducto del procesamiento de minerales de sílice, como la fundición de cuarzo en una fundición de sílice,
50 que da como resultado la formación de monóxido de silicio gaseoso y que, al exponerse al aire, se oxida aún más para producir pequeñas partículas de sílice amorfa.

Según una o más realizaciones, el ligante es un ligante hidráulico, preferiblemente un cemento hidráulico, tal como cemento Portland.

55 Los agregados adecuados para usar en el material cementoso incluyen agregados gruesos y finos (arena), así como piedras y rocas de varios tamaños, típicamente en el rango de 10 mm - 20 mm (3/8" - 3/4"). Según una o más realizaciones, el material cementoso es una composición de hormigón reforzado con fibras.

Según una o más realizaciones, la relación en peso de la cantidad de agua a la cantidad de ligante está en el intervalo de 0.2:1 a 0.7:1, preferiblemente de 0.3:1 a 0.6:1, más preferiblemente de 0.4:1 a 0.6:1, incluso más preferiblemente de 0.45:1 a 0.55:1.

5 Otro objeto más de la presente invención es un método para formar una superficie de hormigón que comprende las etapas de:

I. Agregar fibras macrosintéticas según la presente invención a una mezcla de hormigón fluidizado bajo rotación del mezclador para proporcionar una mezcla de hormigón modificada,

II. Colar la mezcla de hormigón modificada preparada en el paso I. para proporcionar un cuerpo de hormigón colado,

III. Alisar la superficie del cuerpo de hormigón colado preparado en el paso II., y

10 IV. Curado de la mezcla de hormigón modificado.

Según una o más realizaciones, dicha mezcla de hormigón fluidizada comprende un ligante, áridos y agua.

La relación en peso entre la cantidad de agua y la cantidad de aglutinante está preferentemente en el intervalo de 0.2:1 a 0.7:1, más preferentemente de 0.3:1 a 0.6:1, incluso más preferentemente de 0.4:1 a 0.6:1. aún más preferentemente de 0.45:1 a 0.55:1.

15 Los aglutinantes y agregados preferidos ya se han discutido anteriormente en relación con el material cementoso de la presente invención.

Según una o más realizaciones, la mezcla de hormigón modificada comprende 0.1 - 3.0 % en volumen, preferiblemente 0.2 - 2.0 % en volumen, más preferiblemente 0.2 - 1.0 % en volumen, de las fibras macrosintéticas, basado en el volumen total de la composición cementosa endurecida.

20 El alisado de la superficie del cuerpo de hormigón colado se puede realizar, por ejemplo, utilizando una paleta o una llana.

Ejemplos

Los siguientes compuestos mostrados en la tabla 1 fueron usados en los ejemplos:

Tabla 1

Polipropileno	Homopolímero de PP Isostático, rata de flujo de fusión (230°C, 2.16 kg) 2g/10 min, punto de fusión (ASTM D1238) 164°C
Polietileno	LLDPE, rata fe flujo de fusión (190°C, 2.16 kg) 0.9 g/10 min, densidad 0.918 g/cm ³ (ASTM D1505)
Aditivo	Pigmento de color gris
Cemento tipo I/II	Coosa - Leeds, AL
Arena Natural	Lambert Sand Co.
Piedra granito #57	Vulcan - Lithonia, GA
Agua potable	Lawrenceville, GA

25 Preparación de fibras macrosintéticas.

Las fibras macrosintéticas inventivas y de referencia se produjeron con un proceso que se presenta esquemáticamente en la Figura 2.

30 Las materias primas de las fibras macrosintéticas se alimentan usando un aparato de dosificación y alimentación (4) a una extrusora (5) que comprende una extrusora de un solo tornillo de 110 mm con una relación L/D de 32:1 y dos bombas de fusión que alimentan dos matrices circulares. La composición procesada en estado fundido se extruyó a través de una matriz extrusora (6) que comprendía una pluralidad de orificios de hilera que consistían en un conjunto de orificios y las fibras extruidas se condujeron a través de una cámara de aire a un baño de agua (7). El equipo posterior era un rodillo de extracción motorizado que comprendía un primer soporte de rodillos (8) equipado con cinco rodillos y un rodillo de presión en el rodillo de salida.

35 Las fibras no estiradas obtenidas del rodillo de salida se orientaron en un primer horno (9) (de estiramiento), se estiraron usando un segundo soporte de rodillos (10) compuesto por siete rodillos, y se procesaron adicionalmente en un segundo horno (11) (de recocido) para obtener fibras estiradas. El calentamiento en el primer y segundo horno (9, 11) se logró con aire caliente forzado a temperatura controlada.

En algunos casos, las fibras estiradas obtenidas del segundo horno (11) se hicieron pasar a través de un rizador mecánico (12) compuesto por dos rodillos emparejados que se acoplaron parcialmente para deformar la fibra estirada. Después de salir del rizador (12), las fibras se procesaron adicionalmente a través del tercer soporte de rodillos (13) compuesto por siete rodillos, teniendo el rodillo de salida un rodillo de presión. Finalmente, las fibras estiradas y rizadas se enrollaron usando una bobinadora (14) y se cortaron a una longitud predeterminada.

Las fibras macrosintéticas del ejemplo inventivo Ex-1 se produjeron usando una matriz extrusora con una pluralidad de orificios de hilera, en donde cada orificio consistía en un conjunto de cuatro orificios redondos que no se cruzaban dispuestos en forma de cuadrilátero. Las fibras producidas tenían una forma de sección transversal multilobular con cuatro lóbulos que se extendían radialmente desde el centro de la fibra como se muestra esquemáticamente en la figura 1.

Las fibras macrosintéticas del ejemplo de referencia Ref-1 se produjeron usando una matriz extrusora con una pluralidad de orificios de hilera, en el que cada orificio consistía en un conjunto de tres orificios redondos que se cruzaban dispuestos en forma de triángulo. Las fibras tenían una sección transversal multilobular con tres lóbulos que se extendían radialmente desde el centro de la fibra. Las fibras individuales no estaban compuestas de "filamentos fusionados", ya que no había espacios entre los perímetros de los orificios de los orificios de la hilera. En consecuencia, cada fibra se extruyó como un único filamento. Las fibras extruidas fueron fibriladas mecánicamente pero no rizadas.

Las fibras macrosintéticas del ejemplo de referencia Ref-2 se produjeron usando una matriz extrusora con una pluralidad de orificios de hilera, en donde cada orificio consistía en un conjunto de cuatro orificios redondos conectados por una línea de corte dispuesta en forma de fila recta. Las fibras individuales no estaban compuestas de "filamentos fusionados", ya que no había espacios entre los perímetros de los orificios de los orificios de la hilera. En consecuencia, cada fibra se extruyó como un único filamento. Las fibras extruidas fueron fibriladas mecánicamente pero no rizadas.

Las fibras macrosintéticas del ejemplo de referencia Ref-3 se produjeron usando una matriz extrusora con una pluralidad de orificios de hilera, en el que cada orificio consistía en un conjunto de un orificio redondo. Las fibras individuales no estaban compuestas de "filamentos fusionados", ya que los orificios de la hilera constaban de un solo orificio. En consecuencia, cada fibra se extruyó como un único filamento.

Módulo elástico, resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura.

El módulo elástico y la resistencia a la tracción a la rotura se determinaron a 23°C y a una velocidad de deformación del 5 %/min según la norma EN 14889-2:2006. El alargamiento de rotura se determinó a 23°C según la norma EN 10002-1:2001.

Uso de fibras en material cementoso.

El objetivo era probar el efecto de la adición de macrofibras sintéticas en diferentes dosis a una mezcla de hormigón típica con una resistencia a la compresión de 24 a 31 MPa a una edad de 7 días.

El hormigón se dosificó y mezcló de acuerdo con la práctica estándar ASTM C192-19 para fabricar y curar muestras de prueba de hormigón en el laboratorio. Las fibras se agregaron al comienzo de la secuencia del lote y se mezclaron con la roca y la arena durante un minuto antes de agregar el material cementoso. Luego se mezcló el hormigón durante 3 minutos, se dejó reposar durante 3 minutos, se mezcló durante 2 minutos más y se vació en moldes. Luego se determinaron y registraron las propiedades del hormigón plástico de acuerdo con las normas ASTM aplicables. Las propiedades endurecidas después de 7 días se probaron con cilindros que tenían dimensiones de 6" x 12" (150 x 300 mm) y con vigas que tenían dimensiones de 6" x 6" x 20" (150 x 150 x 500 mm) de acuerdo con ASTM C1609. -19a. Las proporciones de la mezcla, las propiedades plásticas y endurecidas se muestran en las Tablas 3 y 4. Los valores de las propiedades endurecidas se calcularon como promedios de los valores medidos obtenidos de mediciones con seis vigas.

El vaciado de las muestras de vigas de 6" x 6" x 20" se realizó descargando el hormigón directamente desde la carretilla al molde y llenándolo hasta una altura de aproximadamente 1 a 2 pulgadas por encima del borde. Los moldes cilíndricos de 6" x 12" se llenaron usando una pala hasta una altura de aproximadamente 1 a 2 pulgadas por encima del borde del molde. Luego, tanto la viga como las muestras del cilindro se consolidaron por medio de una mesa vibratoria externa a una frecuencia de 60 Hz. La consolidación fue considerada adecuada una vez que el mortero hizo contacto con todos los bordes interiores, así como con las esquinas del molde, y no se observaron huecos mayores a 1/8" de diámetro. Se tuvo cuidado de garantizar que todas las muestras vibraran durante el mismo período de tiempo y en series simultáneas. Luego se terminaron las muestras con una llana de aluminio y se trasladaron a una superficie nivelada.

Las muestras se cubrieron con arpillera húmeda y plástico de manera que no alteraran el acabado de la superficie y evitaran la pérdida de humedad. Después de curar en el molde durante 24 horas, las muestras endurecidas se retiraron de los moldes y se colocaron en un baño de cal saturado a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el momento de la prueba.

Se prepararon seis vigas de cada mezcla a una longitud de luz de 18" (450 mm) usando soportes de rodillos que cumplen con los requisitos de la práctica estándar ASTM C1812-15 para el diseño de soportes de cojinetes lisos para uso en pruebas de vigas de hormigón reforzado con fibra. Como máquina de prueba se utilizó una máquina de prueba servohidráulica dinámica, de circuito cerrado, Satec-Modelo 5590-HVL que cumple con los requisitos de las Prácticas

ES 2 981 264 T3

estándar ASTM E4-20 para la verificación de fuerza de máquinas de prueba. Los datos de carga y deflexión se recopilaron electrónicamente con una frecuencia de 5. Hertz. La carga se aplicó perpendicular a las superficies moldeadas después de que los bordes se rectificaron con una piedra de pulimento. Los valores de deflexión neta, tanto para la adquisición de datos como para el control de la velocidad, se obtuvieron en la mitad del tramo y en la mitad de la altura de las vigas. constante a 0.002 pulg/min de deflexión neta promedio durante toda la duración de cada prueba.

Tabla 2

Composición polimérica [% en peso]	Ej-1	Ref-1	Ref-2	Ref-3
Polipropileno	79	80	80	65
Poliétileno (LLDPE)	20	20	20	35
Aditivo	1	0	0	0
Proceso				
Geometría de orificio	4 orificios redondos no intersectantes en forma de cuadrado (multifilamento)	3 orificios redondos intersectantes en forma de triángulo (monofilamento)	4 orificios redondos conectados por una línea de corte (monofilamento)	1 orificio redondo (monofilamento)
Diámetro de orificio [mm]	1.25	0.64	0.76	2.2
Distancia entre orificios	< 1.25 mm	Conectado	Conectado	Orificio sencillo
Perfil de temperatura de extrusión [°C]	210-235	204-238	204-232	210-235
Velocidad de línea de extrusión [fps]	149	257	300	217-355
Relación de estiramiento	14:1	12.5:1	11.3:1	11:1
Temperatura de horno de estiramiento [°C]	141	160	160	171
Temperatura de horno de recocido [°C]	143	n/a.	n/a.	177
Propiedades de fibra				
Longitud de fibra [mm]	38	38	38	38
Relación D1/D2	2	< 1	n/a.	n/a.
Tipo de deformación	Prensado	Fibrilación mecánica	Fibrilación mecánica	Ninguna
Densidad lineal [den]	2800	1600	2020	1508
Resistencia a la tensión (no-deformada) [MPa]	587	625	603	598
Elongación (no-deformada) [%]	8	6.2	10	8.4
Módulo de elasticidad (no-deformada) [Gpa]	12.7	11	9.1	10.6
Resistencia a la tensión (deformada) [MPa]	567	465	423	450
Elongación (deformada) [%]	9.3	5	7	8
Módulo de elasticidad (deformada) [Gpa]	8.5	11.0	9.2	9

Tabla 3

Composiciones	ASTM	Peso [kg/m ³]	Volumen [dm ³]	Peso [kg/m ³]	Volumen [dm ³]	Peso [kg/m ³]	Volumen [dm ³]
Cemento tipo I/II	C150	380	92.31	380	92.31	380	92.31
Arena natural	C33	722	210.11	718	208.98	715	207.85
Piedra granito #57	C33	955	278.64	955	278.64	955	278.64
Agua potable	C94	218	167.07	218	167.07	218	167.07
Relacion a/c		0.575		0.575		0.575	
Fibras de EJ-1	D7508	1.78	1.42	2.97	2.55	4.15	3.40
Aire de diseño 2.00%	C192	NA	15.29	NA	15.29	NA	15.29
Total		2278	764.84	2275	764.84	2273	764.55
Propiedades plásticas							
Asentamiento ~ después de Fibra [mm]	C143		19.69		17.78		13.97
Contenido de aire - después de Fibra [%]	C231		1.5		1.9		1.4
Peso unitario - después de Fibra [kg/m ³]	C136		3237		2292		2302
Temperatura del hormigón [°C]	C1064		32		21		22
Temperatura ambiental [°C]	C1064		32		23		22
Después de 7 días (cilindros)							
Resistencia a la compresión [MPa]	C39		36.75		26.75		26.06

Tabla 4

Tipo de fibra	Ej-1		
Dosificación de fibra [kg/m³]	1.78	2.97	4.15
Después de 7 días (vigas)			
δ_1 - Deflexión en primera fisura [mm]	C1609	0.0066	0.0061
δ_2 - Deflexión a carga pico [mm]	C1609	0.0074	0.0069
P_1 - Carga a primera fisura [kN]	C1609	29407	27610
P_p - Carga pico [kN]	C1609	30324	29296
P_{600} - Carga residual a L/600 [kN]	C1609	5872	8354
P_{150} - Carga residual a L/150 [kN]	C1609	4973	7308
f_1 - Esfuerzo a primera fisura [kPa]	C1609	3827	3585
f_p - Esfuerzo pico [kPa]	C1609	3930	3792
f_{600} - Esfuerzo residual a L/600 [kPa]	C1609	758	1103
f_{150} - Esfuerzo residual a L/150 [kPa]	C1609	655	931
T_{150} - Tenacidad bajo carga U150 [J]	C1609	19.8	27.1
$f_{t,150}$ o $f_{e,3}$ [kPa]	C1609	848	1158
$R_{T,150}$ o $R_{e,3}$ [%]	C1609	22.3	32.3
			42.2

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una fibra macrosintética que consta de tres o más filamentos parcialmente fusionados hechos de una composición polimérica que comprende al menos un polipropileno, en donde dicha fibra tiene una forma de sección transversal multilobular con tres o más lóbulos, en donde la fibra macrosintética tiene una densidad lineal de al menos 1111.11 dtex (1000 den), preferiblemente al menos 1333.33 dtex (1200 den).
2. La fibra macrosintética según la reivindicación 1 capaz de sufrir una fibrilación progresiva cuando se agita mecánicamente dentro de un material de matriz que se va a reforzar con la fibra.
3. La fibra macrosintética según la reivindicación 1 o 2, en la que al menos un polipropileno comprende al menos el 70% en peso, preferiblemente al menos el 75% en peso, de la composición polimérica.
- 10 4. La fibra macrosintética según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la composición polimérica comprende además al menos 1% en peso, preferiblemente al menos 5% en peso, de al menos un polietileno, basado en el peso total de la composición polimérica.
5. La fibra macrosintética según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que tiene una forma de sección transversal multilobular con tres o más lóbulos y una sección central que corre axialmente a través de la fibra.
- 15 6. La fibra macrosintética según la reivindicación 5, en la que cada lóbulo tiene una porción de punta curvada y una porción de base situada hacia la sección central de la fibra.
7. La fibra macrosintética según la reivindicación 6, en la que la porción de base tiene un ancho (D2) que es menor que el ancho máximo (D1) de la porción de punta.
- 20 8. La fibra macrosintética según la reivindicación 6 ó 7, en la que la relación entre el ancho máximo (D1) de la porción de punta y el ancho (D2) de la porción de base (D1:D2) es de 1.1:1 a 3:1, preferiblemente de 1.2:1 a 2.7:1.
9. La fibra macrosintética según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que consta de cuatro filamentos parcialmente fusionados.
10. La fibra macrosintética según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que tiene una longitud de fibra de al menos 20 mm, preferiblemente al menos 25 mm y/o una relación de aspecto (l/d) de no más de 85, preferiblemente no más de 75 y/o un diámetro de fibra de al menos 0.25 mm, preferiblemente al menos 0.35 mm.
- 25 11. Un método para producir fibras macrosintéticas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, que comprende las etapas de:
 - I) Extruir una composición polimérica fundida que comprende al menos un polipropileno para proporcionar fibras no estiradas que constan de tres o más filamentos parcialmente fusionados,
 - 30 II) estirar uniaxialmente las fibras no estiradas preparadas en la etapa I) para proporcionar fibras estiradas,
 - III) Opcionalmente rizar las fibras estiradas preparadas en la etapa II) para proporcionar fibras rizadas, y
 - IV) Cortar las fibras preparadas en el paso II) o III) a una longitud predeterminada.
12. El método según la reivindicación 11, en el que la etapa I) comprende las etapas de:
 - 35 i) extruir la composición polimérica fundida a través de una hilera que comprende una pluralidad de orificios de hilera para proporcionar fibras no estiradas,
 - ii) Conducir las fibras no estiradas preparadas en la etapa i) a través de un espacio de aire a un baño de enfriamiento,
 en el que al menos parte de dichos orificios de hilera consisten en un conjunto de tres o más orificios que están dispuestos de manera próxima de manera que cuando se extruya la composición de polímero fundido a través de dichos orificios, los filamentos extruidos así obtenidos se fusionan parcialmente entre sí para formar una fibra no

40 estirada.
13. El método según la reivindicación 12, en el que la distancia entre los orificios adyacentes de dicho conjunto se dispone de tal manera que los perímetros de los orificios no se interceptan entre sí.
14. El método según la reivindicación 12 o 13, en el que dicho conjunto consta de cuatro orificios que están dispuestos de forma próxima, en el que los orificios de dicho conjunto están dispuestos preferiblemente en forma de cuadrilátero.
- 45 15. Fibras macrosintéticas obtenidas utilizando el método según una cualquiera de las reivindicaciones 11-14.
16. Uso de fibras macrosintéticas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-10 o según la reivindicación 15 para mejorar la tenacidad de una composición cementosa endurecida.
17. Un material cementoso que comprende:
 - a) Un ligante,
 - 50 b) 0.1 - 3.0 % en volumen, preferiblemente 0.2 - 2.0 % en volumen, basado en el volumen total del material cementoso, de fibras macrosintéticas según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 o según la reivindicación 15.

- c) Agregados, y
- d) Agua.

18. Un método para formar una superficie de hormigón que comprende las etapas de:

- I. Adición de fibras macrosintéticas según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 o según la reivindicación 15 a una mezcla de hormigón fluidizada bajo rotación del mezclador para proporcionar una mezcla de hormigón modificada,
 - II. Colar la mezcla de hormigón modificada preparada en el paso I. para proporcionar un cuerpo de hormigón colado,
 - III. Alisar la superficie del cuerpo de hormigón colado preparado en el paso II., y
 - IV. Curar la mezcla de hormigón modificado.
- 5

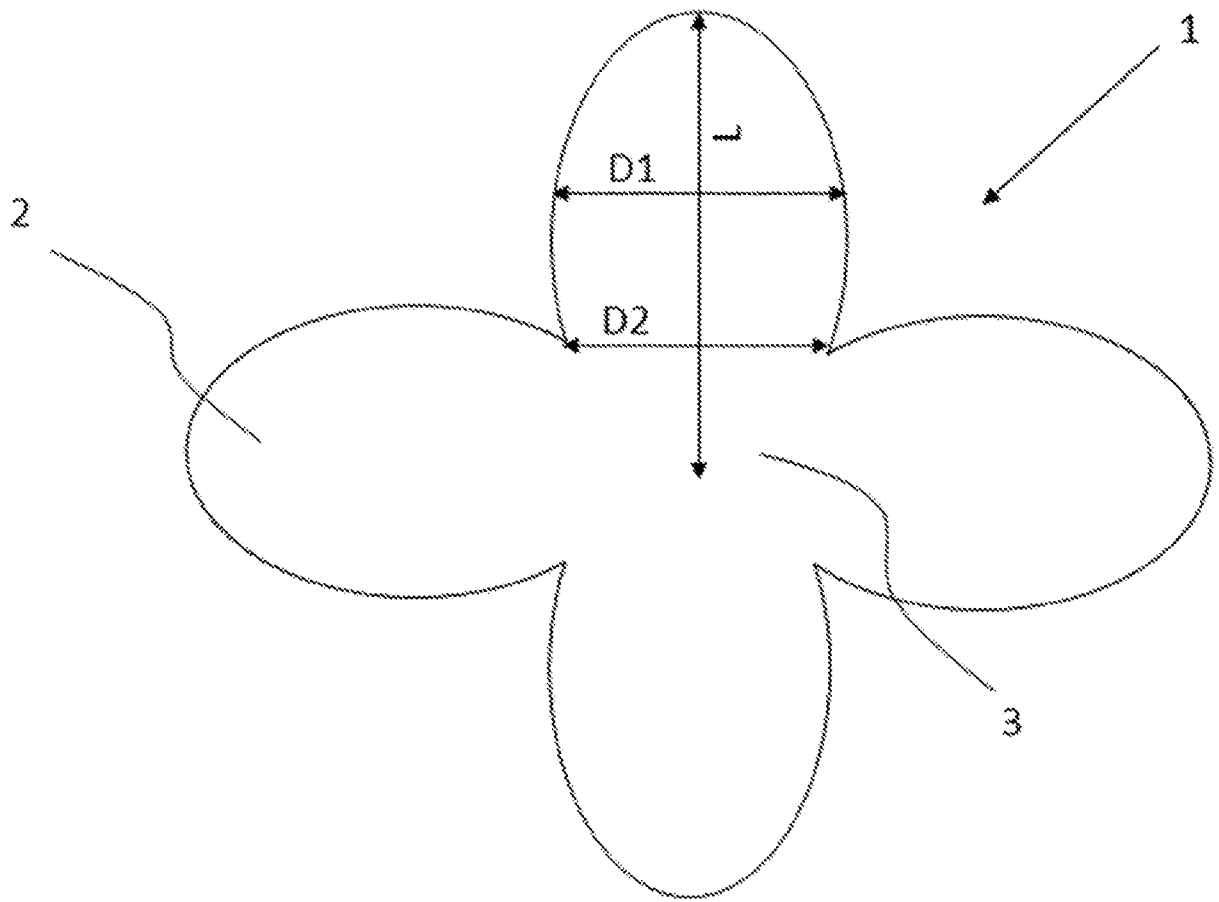


Fig. 1

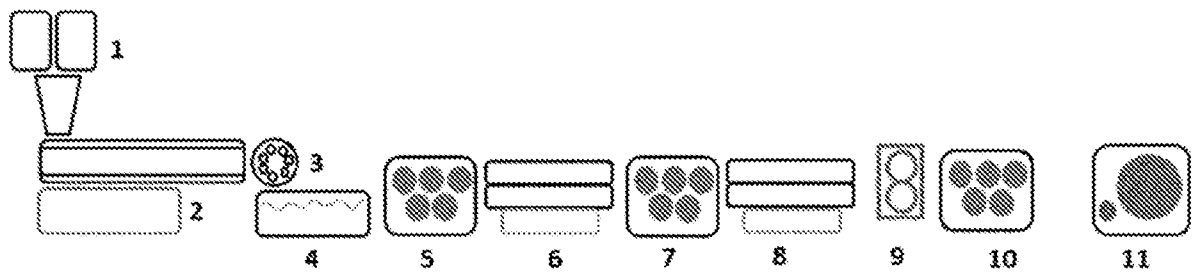


Fig. 2