

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 927 152**

51 Int. Cl.:

B01D 69/10 (2006.01)

B01D 71/48 (2006.01)

F24F 3/147 (2006.01)

F28D 21/00 (2006.01)

B01D 63/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.01.2016** **PCT/IB2016/000041**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.07.2016** **WO16116806**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2016** **E 16709100 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2022** **EP 3247485**

54 Título: **Elemento intercambiador de entalpía, intercambiador de entalpía que comprende dichos elementos y método para su producción**

30 Prioridad:

23.01.2015 EP 15000189

11.04.2015 EP 15001039

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

02.11.2022

73 Titular/es:

ZEHNDER GROUP INTERNATIONAL AG (50.0%)

Moortalstrasse 1

5722 Gränichen, CH y

SYMPATEX TECHNOLOGIES GMBH (50.0%)

72 Inventor/es:

HIRSCH, CHRISTIAN;

BIER, CHRISTIAN;

MAYERSHOFER, MARTIN y

BRANDT, STEFAN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 927 152 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

Elemento intercambiador de entalpía, intercambiador de entalpía que comprende dichos elementos y método para su producción

5 La presente invención se refiere a elementos intercambiadores de entalpía y a intercambiadores de entalpía que comprenden dichos elementos. Es más, la invención describe un método para producir dichos elementos intercambiadores de entalpía e intercambiadores de entalpía.

10 Es bien conocido el uso de diferentes tipos de intercambiadores de calor para diferentes fines. Habitualmente, los intercambiadores de calor se usan para recuperar energía térmica de un fluido o medio a otro. Este tipo de energía calorífica se denomina energía sensible. La energía calorífica o energía sensible de un fluido, normalmente aire, se recupera en otro que discurre adyacente, p. ej., paralelo, en contraflujo o en flujo transversal, al primero donde el fluido se encuentra a menor temperatura. Al invertir los flujos de fluido, el intercambio entre los dos generará un fluido más frío. Los intercambiadores de calor usados para la recuperación de energía sensible habitualmente están hechos de elementos metálicos o poliméricos. Hay diferentes tipos, ya que puede haber configuraciones de flujo transversal, flujo paralelo o contraflujo. Los elementos están definiendo canales de flujo entre ellos de modo que los fluidos puedan fluir entre los elementos. Dichos dispositivos se usan, p. ej., en ventilación residencial y comercial (HRV).

15 Otro tipo de intercambiadores de energía se refiere a la llamada energía latente que incluye la humedad del aire. Para intercambiar la energía latente es conocido el uso de sustratos de metal o polímero recubiertos con desecante o membranas hechas de celulosa o polímero impregnadas con desecante. Entre placas hechas de celulosa o polímero, se definen o crean pasajes de aire para permitir que los fluidos pasen a lo largo de la superficie de las placas, transfiriendo así la humedad de un fluido al otro. Como las membranas habitualmente no tienen resistencia estructural, es conocida la combinación de las membranas con marcos o rejillas que definen así espacios entre las membranas.

20 En caso de una combinación de los anteriores, es decir, intercambio de calor e intercambio de humedad, los intercambiadores de energía se denominan intercambiadores de entalpía. Esos intercambiadores de entalpía permiten el intercambio de energía sensible y latente, dando como resultado una recuperación total de energía.

25 Los materiales de membrana disponibles actualmente se suministran mediante el rollo. El material de membrana es la parte más crítica de un intercambiador de entalpía. La membrana debe fijarse y sellarse a una especie de rejilla o marco y disponerse de manera que permita que un fluido fluya entre cada capa de membrana. Por tanto, es obvio que los intercambiadores de entalpía de la técnica conocida son un compromiso. Habitualmente perderán en el intercambio de energía sensible para ganar en el intercambio de energía latente como resultado del alcance selectivo y las características de las membranas usadas actualmente.

30 Dicho intercambiador de entalpía construido a partir de elementos respectivos es, p. ej., el documento WO 02/072242 A1. En rejillas, se sitúan las respectivas membranas hechas de fibras. Rejillas que contienen una membrana o espaciadores entre membranas adyacentes, es decir, espaciadores y membranas en secuencia alterna, están grapadas o apiladas, alterando así la dirección de las placas para crear diferentes direcciones de flujo de aire.

35 El documento US 2006 090 650 A1, el documento US 2010 032 145 A1, los documentos WO 2013 091 099 A1 y WO 2015 006 856 A1 describen otros intercambiadores de calor de la técnica anterior.

40 Teniendo en cuenta el estado de la técnica mencionado, es un **objetivo** de la invención proporcionar elementos intercambiadores de entalpía e intercambiadores de entalpía, así como un método para su producción que permite la creación de intercambiadores de entalpía donde se incrementa la eficiencia tanto del intercambio de energía sensible como del intercambio de energía latente en cada elemento intercambiador de entalpía y donde se reduce el coste de fabricación de los elementos intercambiadores de entalpía y de los intercambiadores de entalpía fabricados con dichos elementos.

Es otro objetivo de la invención proporcionar elementos intercambiadores de entalpía e intercambiadores de entalpía con una alta área específica de intercambio para vapor de agua, así como un método para su producción.

45 Para lograr este objetivo, la invención proporciona un método para producir elementos intercambiadores de entalpía según la reivindicación 1. El método comprende

a) proporcionar un elemento laminar permeable al aire;

b) estratificar al menos un lado del elemento laminar con una película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua; y

50 c) formar el elemento laminar estratificado en una forma deseada que exhibe un patrón de ondulación tridimensional.

Como resultado, se obtiene un elemento intercambiador de entalpía que permite tanto la transferencia de calor como de moléculas de agua en forma de vapor a través del elemento de un lado del elemento al otro lado del elemento casi en toda el área superficial del elemento que ahora tiene un área de intercambio específica mayor que dichos elementos en la técnica anterior. Por el contrario, moléculas más grandes o menos polares que las moléculas de agua, tales

como el dióxido de carbono y las moléculas relacionadas con el olor, tienen prohibido el paso a través del elemento. Además, el elemento laminar y el material de barrera transmisible selectivamente por vapor de agua estratificados en al menos un lado del elemento laminar se forman en la forma ondulada deseada usando solo una etapa de formación ("formación en una etapa"). Por tanto, en el elemento intercambiador de entalpía según la invención, la eficiencia de transferencia de energía total (es decir, sensible más latente) aumenta por un lado mientras que el coste de fabricación se reduce por otro lado.

Características de transmisión de vapor de agua significa una tasa de transmisión de vapor de agua de al menos 500 g/m²/24h, preferiblemente de al menos 1000 g/m²/24h, aún más preferiblemente de al menos 1500 g/m²/24h y la más preferida de al menos 2000 g/m²/24h, medida usando el método de la copa vertical según la norma ASTM E 96-66 B modificada; modificaciones: T_{agua} = 30 °C, T_{aire} = 21 °C, humedad rel. = 60%, flujo de aire = 2 m/s.

La etapa c) de formar el elemento laminar estratificado en una forma deseada que exhibe un patrón de ondulación tridimensional puede incluir una primera etapa c1) y una segunda etapa c2).

La etapa c1) comprende formar un primer patrón de ondulación o reforzar el patrón de ondulación con ondulaciones que se extienden en una primera dirección y que tienen una estructura relativamente fina. El primer patrón de ondulación puede tener un perfil periódico sinusoidal, rectangular o triangular. Preferiblemente, este primer perfil periódico del primer patrón de ondulación tiene un período de 0,5 mm a 2 mm y una amplitud de 0,5 mm a 1 mm. El primer patrón de ondulación puede comprender crestas adyacentes. Puede haber un espacio entre crestas vecinas, es decir, el espacio del elemento laminar estratificado o aún no estratificado entre crestas vecinas es una región sustancialmente plana y las crestas vecinas pueden sobresalir en la misma dirección o en direcciones opuestas desde el elemento laminar. La altura o profundidad así como el ancho de estas crestas ubicadas individualmente pueden ser de 0,2 mm a 1 mm. El espacio entre crestas puede ser de 1 a 10 veces el ancho de la cresta.

Esta primera etapa opcional c1) contribuye a la rigidez general del elemento intercambiador de entalpía.

La etapa c2) comprende formar un segundo patrón de ondulación o patrón de ondulación principal con ondulaciones que se extienden en una segunda dirección y que tienen una estructura relativamente gruesa que define la geometría de sección transversal del canal de la placa del intercambiador de calor. Una vez más, el segundo patrón de ondulación puede tener un perfil periódico sinusoidal, rectangular o triangular, pero con dimensiones mayores que el primer patrón de ondulación. Preferiblemente, este segundo perfil periódico del segundo patrón de ondulación tiene un período de 2 mm a 10 mm y una amplitud de 2 mm a 10 mm.

Como resultado, la primera etapa opcional c1) y la segunda etapa necesaria c2) proporcionan un elemento intercambiador de entalpía con doble ondulación y rigidez mejorada.

La primera dirección, es decir, la dirección de las crestas del primer patrón de ondulación, forma un ángulo con respecto a la segunda dirección, es decir, la dirección de las crestas del segundo patrón de ondulación, preferiblemente un ángulo de 45° a 90°, más preferiblemente un ángulo de 85° a 90° y lo más preferiblemente aproximadamente 90°.

El material laminar del elemento laminar comprende un polímero, preferiblemente un polímero termoplástico. Por tanto, el elemento laminar se presta, por ejemplo, al procesamiento térmico en la etapa de formación c). Preferiblemente, poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), viscosa o poliéster, tales como tereftalato de polietileno (PET) o copoliéster se seleccionan como polímero termoplástico. Preferiblemente, el polímero del material laminar no incluye ningún plastificante. El polímero del material laminar puede incluir un biocida (bactericida y/o fungicida).

El elemento laminar es una tela, preferiblemente una tela no tejida. La tela puede incluir solo fibras termoplásticas o una combinación de fibras termoplásticas y fibras termoestables o una combinación de fibras termoplásticas y una resina o una combinación de fibras termoplásticas y fibras inorgánicas. Lo más preferiblemente, la tela incluye fibras multicomponente o bicomponente junto con fibras termoestables y/o termoplásticas estándar. Preferiblemente, la tela incluye más del 50% en peso de fibras multicomponente o bicomponente y puede incluir únicamente fibras multicomponente o bicomponente. Además, la tela puede incluir fibras metálicas y/o fibras de mecha que proporcionen alta conductividad térmica junto con resistencia mecánica y alta acción capilar ("conductividad de la humedad"), respectivamente. Las fibras inorgánicas pueden ser fibras de vidrio, fibras de carburo de silicio o cualquier fibra mineral.

De manera alternativa, el elemento laminar es una tela tejida, preferiblemente que tiene una estructura anisótropa y propiedades anisótropas resultantes de la misma. Por ejemplo, la tela tejida puede tener fibras de polímero más gruesas en una primera dirección de fibra y fibras de polímero más delgadas en una segunda dirección de fibra. La segunda dirección de fibra puede estar entre 90° y 100°, preferiblemente aproximadamente 90°, con respecto a la primera dirección de fibra. Debido a las fibras de polímero más gruesas en la primera dirección de la fibra, la tela tejida anisótropa puede resistir más estiramiento a lo largo de la primera dirección de fibra sin debilitarse mecánicamente (o incluso dañarse) que a lo largo de la segunda dirección de fibra con fibras de polímero más delgadas.

De manera alternativa, el elemento laminar puede comprender una tela no tejida que puede tener una estructura anisótropa y propiedades anisótropas resultantes de la misma, y una tela tejida, preferiblemente que tiene una estructura anisótropa y propiedades anisótropas resultantes de la misma.

- El elemento laminar puede comprender fibras de refuerzo adicionales para proporcionar resistencia extra. Estas fibras de refuerzo pueden ser al menos una de fibras metálicas, fibras de carbono o fibras poliméricas termoplásticas. Las fibras de refuerzo pueden extenderse en una primera dirección general dentro del elemento laminar. Preferiblemente, las fibras de refuerzo no son rectas. En particular, pueden tener un patrón en forma de onda, p. ej., con un patrón plano triangular o sinusoidal, preferiblemente con periodos de 1 mm a 3 mm y amplitudes de 1 mm a 3 mm. De manera alternativa, pueden tener una forma rizada, p. ej., una forma helicoidal, preferiblemente que tenga un diámetro de hélice de menos de 1 mm.
- Las fibras de refuerzo pueden ser fibras continuas o fibras cortadas con una longitud mínima de 5 mm. Las fibras metálicas se pueden seleccionar de fibras de aluminio, cobre, plata o acero con un diámetro entre 10 μm y 200 μm , preferiblemente entre 20 μm y 100 μm .
- Preferiblemente, la primera dirección general del patrón en forma de onda y/o la forma rizada de las fibras de refuerzo forman un ángulo con respecto a la dirección del segundo patrón de ondulación que define la geometría de sección transversal del canal de la placa del intercambiador de calor. Preferiblemente, forman un ángulo de 45° a 90°, más preferiblemente un ángulo de 85° a 90° y lo más preferiblemente un ángulo de aproximadamente 90° entre sí.
- Durante la etapa c) o en particular durante las etapas c1) y c2), pero principalmente durante la etapa c2), las fibras de refuerzo no rectas se enderezan. En particular, el patrón en forma de onda y/o la forma rizada se estira y, por tanto, su perfil se aplanan, es decir, la amplitud del patrón en forma de onda se reduce y su período aumenta y/o el diámetro de la forma rizada/helicoidal se reduce y su período (o paso) aumenta. Una vez que las fibras de carbono y/o metal no rectas estén completamente enderezadas, se evitará que el elemento laminar se estire más a lo largo de la primera dirección general.
- Además, si el elemento laminar se calienta más allá de la temperatura de reblandecimiento de las fibras de polímero termoplástico antes o durante la etapa c) o, en particular, antes o durante las etapas c1) y/o c2), las fibras termoplásticas se deformarán al experimentar estiramiento y/o flexión locales. Después de la etapa de formación c) o las etapas de formación c1) y c2), la deformación permanente de las fibras de polímero termoplástico contribuirá a la estabilidad dimensional, es decir, retención de forma, del elemento intercambiador de entalpía.
- Preferiblemente, si se incluyen fibras de carbono dentro del elemento laminar, se extienden a lo largo de la segunda dirección del segundo patrón de ondulación (principal). Por tanto, durante la etapa c) de formación o durante la etapa secundaria c2 de formación), las fibras de carbono no experimentarán ninguna flexión. Sin embargo, contribuyen a la resistencia total del elemento laminar antes y después de la etapa de formación c) o c2).
- Preferiblemente, si se incluyen fibras de metal dentro del elemento laminar, pueden extenderse a lo largo de cualquier dirección dentro del elemento laminar. Por tanto, durante la etapa de formación c) o durante la subetapa de formación c2), las fibras metálicas experimentarán flexión en condiciones de deformación en frío del metal, incluso si el elemento laminar se calienta más allá de la temperatura de reblandecimiento de las fibras de polímero termoplástico. Después de la etapa de formación c) o las etapas de formación c1) y c2), la deformación permanente de las fibras metálicas contribuirá a la estabilidad dimensional, es decir, retención de forma, del elemento intercambiador de entalpía.
- Preferiblemente, las fibras de la tela tienen diámetros de fibra entre 1 μm y 40 μm , más preferiblemente entre 3 μm y 40 μm y lo más preferiblemente entre 5 μm y 20 μm . Como resultado, cuando la tela se estratifica con la película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua en la etapa de estratificación b), las fibras de la tela en contacto directo con la película delgada de polímero cubrirán solo una pequeña porción de la superficie de la película delgada de polímero, minimizando así cualquier bloqueo de la película delgada de polímero. Además, incluso si no se deforma permanentemente como se describió anteriormente para fibras de polímero termoplástico o fibras metálicas, cualquier fibra de la tela que experimente una flexión elástica durante la etapa c) tendrá un alto grado de flexibilidad que ayuda a que la etapa de formación c) sea más fácil de realizar.
- Preferiblemente, las fibras o filamentos de tela dentro del elemento laminar y en particular aquellos en una superficie no estratificada del elemento laminar, pueden tener densidades de masa lineales (pesos de filamento) entre 1 y 10 dtex (1 tex = 1 g/1000 m; 1 dtex = 1 g/10000 m). Estas fibras finas exhiben un fuerte efecto absorbente que les permite transportar la humedad más rápido. Además, cuando se usan en una superficie laminar o en ambas superficies laminares, proporcionan una superficie más lisa y menos abrasiva. En primer lugar, esto ayuda a reducir el riesgo de daño a una capa de membrana funcional adyacente muy delgada estratificada en la superficie respectiva. En segundo lugar, esto ayuda a prevenir la formación de cualquier capa límite de aire en una superficie laminar no estratificada.
- Las fibras de la tela pueden tener secciones transversales sustancialmente circulares, triangulares u ovaladas. Asimismo, las fibras de la tela pueden tener secciones transversales de tipo X o en forma de estrella. La tela puede incluir fibras que tienen diferentes secciones transversales, preferiblemente elegidas entre los tipos mencionados de secciones transversales.
- Además, la tela puede incluir un impregnante superficial, preferiblemente un polímero termoplástico o termoestable, para mejorar la estabilidad estructural después de la etapa de formación. Además o de manera alternativa, la tela puede incluir un impregnante superficial que puede reticularse después de la etapa de formación c), preferiblemente una resina que pueda curarse mediante radiación UV después de la etapa de formación c).

La tela o el elemento intercambiador de entalpía puede incluir una capa tratada hidrofóbicamente en uno de sus lados y una película delgada de polímero en el otro lado, es decir, una sola impregnación hidrófuga.

- 5 Esto se puede lograr estratificando solo un lado de la tela con una película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua en la etapa b) y proporcionando al otro lado de la tela un tratamiento de hidrofobización antes, durante o después de la etapa de estratificación b). El tratamiento de hidrofobización se puede llevar a cabo incluso después de la etapa de formación c).

- 10 Preferiblemente, el tratamiento de hidrofobización de la tela se lleva a cabo antes de la etapa de estratificación b), es decir, antes, durante o después de la etapa de provisión a). Esto evita que la película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua se vuelva hidrófoba accidentalmente en su superficie que mira hacia la tela.

La tela o el elemento intercambiador de entalpía puede incluir una capa tratada hidrofóbicamente en ambos de sus lados y una película delgada de polímero en el interior que se extiende entre y "paralelamente" a la primera capa tratada hidrofóbicamente y a la segunda capa tratada hidrofóbicamente de la tela o el elemento intercambiador de entalpía, es decir, una doble impregnación hidrófuga.

- 15 Esto se puede lograr mediante las siguientes etapas:

En primer lugar, proporcionar un lado de una primera tela o toda la primera tela con un tratamiento de hidrofobización antes, durante o después de cualquier etapa de estratificación b).

En segundo lugar, proporcionar un lado de una segunda tela o toda la segunda tela con un tratamiento de hidrofobización antes, durante o después de cualquier etapa de estratificación b).

- 20 En tercer lugar, estratificar un lado de la primera tela con un primer lado de una película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua.

En cuarto lugar, estratificar un lado de la segunda tela con un segundo lado de la película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua produciendo una estructura de sándwich que tiene la película delgada de polímero intercalada entre la primera tela y la segunda tela.

- 25 Finalmente, según la etapa c), este elemento laminar estratificado que tiene una estructura tipo sándwich de primera tela/película delgada/segunda tela se forma en una forma deseada que exhibe el patrón de ondulación tridimensional.

- 30 Preferiblemente, las etapas tres y cuatro se llevan a cabo al mismo tiempo, es decir, coestratificar o estratificar en una sola etapa la primera tela y la segunda tela con una película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua produciendo la estructura de sándwich con la película delgada de polímero intercalada entre las dos láminas de tela.

Preferiblemente, el tratamiento de hidrofobización de la primera tela y/o de la segunda tela se realiza antes de cualquier etapa de estratificación b), es decir, antes, durante o después de la etapa de provisión a) de la tela. Una vez más, esto evita que cualquier película delgada de polímero con características de transmisión de vapor de agua se vuelva hidrófoba accidentalmente en su superficie que mira hacia la tela, es decir, la primera tela o la segunda tela.

- 35 En cambio, el tratamiento de hidrofobización de la primera tela y/o de la segunda tela puede llevarse a cabo después de la etapa de formación c).

- 40 El elemento laminar podrá estar compuesto por una sola capa de tela que comprenda cualquiera de las combinaciones de fibras mencionadas en el párrafo anterior. De manera alternativa, el elemento laminar puede estar compuesto por varias, preferiblemente dos o tres, capas apiladas de tela unidas entre sí y que comprenden, cada una, una diferente de las combinaciones de fibras mencionadas en el párrafo anterior.

Las varias capas apiladas de tela pueden tener diferentes pesos de filamento. Pueden comprender una primera capa que tiene filamentos relativamente finos, p. ej., de 1 a 10 dtex, y una segunda capa que tiene filamentos relativamente gruesos, p. ej., de 10 a 40 dtex.

- 45 Preferiblemente, la segunda capa con los filamentos más gruesos o más pesados se une a la película (membrana) delgada de polímero, proporcionando una pequeña área de contacto directo entre la superficie del elemento laminar y la película delgada de polímero unida a él, aumentando así el área superficial de membrana activa de la película delgada de polímero. Preferiblemente, al menos una porción de los filamentos más pesados son fibras bicomponente que permiten unir la película delgada de polímero a la superficie del elemento laminar con menos cola o sin cola.

- 50 De manera alternativa, dependiendo del tipo de filamentos, puede ser ventajoso que la primera capa con filamentos más finos se ponga en contacto y se una a la película (membrana) delgada de polímero, proporcionando una superficie lisa en la interfaz entre el elemento laminar y la película delgada de polímero que no dañe la película de polímero durante la etapa c) de formación del patrón de ondulación o durante la subetapa c2) de formación del segundo patrón de ondulación o durante el uso final.

Independientemente de su posición dentro del elemento laminar, la segunda capa con filamentos más pesados o más gruesos proporcionará una capa abierta y altamente permeable al aire y al vapor del elemento laminar.

Además, el elemento laminar puede comprender filamentos o fibras finos con fuertes propiedades absorbentes para mejorar el transporte de humedad a través del elemento laminar. Preferiblemente, los filamentos o fibras finos, cuando se miden según la norma DIN 53924, exhiben alturas de ascensión de al menos 30 a 60 mm después de 30 segundos y más preferiblemente alturas de ascensión de al menos 40 a 60 mm después de 30 segundos.

Si la formación en la etapa c) o en la etapa c2) se realiza mediante formación al vacío con el apoyo de una herramienta de plisado superior, el elemento laminar puede tener una estructura asimétrica en todo su grosor. En particular, puede tener una capa con filamentos relativamente finos en el lado de aplicación de vacío, proporcionando una buena replicación de la geometría del molde, y filamentos relativamente gruesos frente a la herramienta de plisado superior, proporcionando la resistencia estructural requerida al elemento laminar.

El elemento laminar puede comprender una capa de tela no tejida y una capa de tela tejida unidas entre sí. Preferiblemente, la tela tejida tiene una estructura anisótropa y propiedades mecánicas anisótropas resultantes de la misma, como se describió anteriormente.

Una porción de las fibras dentro del elemento laminar, preferiblemente del 5 al 60% en peso, pueden ser fibras huecas. Una porción de las fibras dentro del elemento laminar, preferiblemente del 20 al 70% en peso, pueden ser fibras bicomponente. Estas fibras bicomponente pueden tener secciones transversales circulares y/o no circulares.

Una porción de las fibras dentro del elemento laminar, preferiblemente del 5 al 60% en peso, pueden ser fibras hidrófilas que muestran fuertes propiedades absorbentes para aumentar el transporte de humedad. Preferiblemente, dichas fibras absorbentes son hidrófilas en su superficie e hidrófobas en su centro.

Una porción de las fibras dentro del elemento laminar, preferiblemente del 5 al 30% en peso, pueden ser fibras absorbentes de agua, preferiblemente hidropolímeros, para crear un tampón de agua para el exceso de humedad.

El elemento laminar puede tener una superficie texturizada y/o una estructura de rejilla integrada. Como resultado, este tipo de elemento laminar cubrirá un área superficial mínima de la película delgada de polímero adyacente unida al elemento laminar. La estructura de rejilla integrada puede ser el primer patrón de ondulación o de refuerzo descrito anteriormente formado en la primera etapa de formación c1).

Además o de manera alternativa a las medidas descritas anteriormente para aumentar la resistencia estructural del elemento laminar,

1) hidroentrelazamiento y/o "spunlacing"; y/o

2) texturización superficial; y/o

3) integración de una estructura de rejilla con un patrón adaptado a la geometría del segundo o principal patrón de ondulación se pueden aplicar al elemento laminar aún no estratificado antes de la estratificación subsiguiente.

Además o como alternativa a las medidas descritas anteriormente para aumentar la resistencia estructural y la formabilidad del elemento laminar, el elemento laminar puede fabricarse con una distribución de fibra anisótropa que proporcione una mayor resistencia general del elemento laminar y/o una mayor resistencia en una dirección preferida del elemento laminar. En particular, como se ha mencionado anteriormente, la distribución de fibra anisótropa puede ser proporcionada por al menos una de las fibras de carbono, fibras de metal o fibras de polímero termoplástico incluídas en al menos una de las varias capas del elemento laminar.

Preferiblemente, las fibras de metal y/o las fibras de polímero termoplástico están orientadas en una relación casi ortogonal con respecto a la segunda dirección del segundo patrón de ondulación (principal) o pueden extenderse a lo largo de cualquier dirección dentro del elemento laminar. Preferiblemente, las fibras de carbono están orientadas en paralelo a la segunda dirección del segundo (principal) patrón de ondulación.

La etapa de estratificación b) puede comprender la unión, preferiblemente unión por calor, soldadura y/o encolado, de la película delgada de polímero al elemento laminar. Preferiblemente, se usa un adhesivo termoplástico (adhesivo termofusible), un adhesivo termoendurecible o un adhesivo curable por UV para la unión entre la película de polímero y el elemento laminar.

La película delgada de polímero es una membrana monolítica, es decir, una membrana sin poros que exhibe un mecanismo de transporte de difusión en solución para moléculas de agua individuales. La membrana monolítica tiene un alargamiento máximo entre el 100% y el 300%, más preferiblemente entre el 150% y el 200%.

En otra realización preferida, la película delgada de polímero es una película multicapa que comprende una secuencia de capas de polímero de diferentes tipos de polímero. Por tanto, con unos pocos tipos de polímero dados, se pueden diseñar y producir películas delgadas de polímero de diferentes características de transmisión de vapor de agua.

Preferiblemente, el tipo de polímero de cada capa de polímero se selecciona del grupo que consiste en éster de poliéter, amida de poliéter y uretano de poliéter.

Preferiblemente, el grosor total de la película multicapa delgada de polímero está entre 5 μm y 200 μm , más preferiblemente entre 10 μm y 150 μm .

- 5 El grosor de cada capa de polímero individual dentro de la película multicapa delgada de polímero puede estar entre 1 μm y 20 μm , preferiblemente entre 4 μm y 20 μm y lo más preferiblemente entre 4 μm y 15 μm .

- En general, la(s) película(s) de polímero o la(s) capa(s) de polímero deben ser lo más delgadas posible para velocidades de transporte elevadas. En la configuración del elemento intercambiador de entalpía según la invención, la capa limitante para el transporte de vapor de agua es el elemento laminar tridimensional ubicado junto al estratificado de polímero o entre los dos estratificados de polímero. Con el fin de lograr resistencia mecánica y robustez del(de los) estratificado(s) por un lado y altas velocidades de transporte por otro lado, se elige una configuración con un grosor de película (estratificado) de polímero entre 1 μm y 20 μm , preferiblemente entre 4 μm y 20 μm y lo más preferiblemente entre 4 μm y 15 μm . Asimismo, el elemento laminar tridimensional es lo más delgado posible y lo más permeable posible. Preferiblemente, el elemento laminar es una tela que tiene un grosor entre 200 μm y 600 μm , preferiblemente entre 300 μm y 500 μm . Preferiblemente, el elemento laminar es una tela que tiene una porción de volumen de fibra entre el 10% y el 65% del volumen de tela, preferiblemente entre el 20% y el 50% del volumen de tela.

- Preferiblemente, el(los) polímero(s) termoplástico(s) de la película delgada de polímero no incluye ningún plastificante. En cambio, la película delgada de polímero puede incluir un biocida (bactericida y/o fungicida). El biocida ayudará a prevenir el crecimiento de bacterias y hongos en el polímero y así conseguir periodos de funcionamiento más prolongados sin limpieza.

- Como se mencionó anteriormente con respecto al polímero termoplástico, la etapa de formación c) es una etapa de termoformado, preferiblemente una etapa de formación al vacío. Al menos una primera parte de molde (p. ej., la herramienta inferior) que tiene primeras formaciones de ondulación que definen el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía a fabricar, se proporciona en la etapa de termoformado. Además de la al menos primera parte de molde, una segunda parte de molde (p. ej., la herramienta superior) que tiene segundas formaciones de ondulación complementarias a las primeras formaciones de ondulación y/o un vacío de formación que codefine el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía a fabricar, se proporciona/n en la etapa de termoformado.

- Preferiblemente, antes de la operación de formación real del elemento laminar estratificado a una temperatura de formación predeterminada específica de la primera parte de molde o a temperaturas de formación predeterminadas específicas de la primera y segunda partes de molde, el elemento laminar estratificado se precalienta a una temperatura de precalentamiento unos pocos grados por debajo de la temperatura de formación.

Preferiblemente, la temperatura de formación es proporcionada por la primera y/o la segunda partes de molde calentadas internamente.

- 35 Preferiblemente, la temperatura de precalentamiento se proporciona exponiendo la lámina estratificada aún no formada a radiación electromagnética (p. ej., a frecuencias infrarrojas o de microondas) y/o a ondas mecánicas (p. ej., a frecuencias ultrasónicas).

- La invención también proporciona un elemento intercambiador de entalpía, preferiblemente producido usando el método como se define en los párrafos anteriores, que incluye un elemento laminar y un patrón de ondulación predeterminado, en donde se estratifica una primera película delgada de polímero en un primer lado del elemento laminar y/o se estratifica una segunda película delgada de polímero en un segundo lado del elemento laminar, teniendo ambas películas delgadas de polímero características de transmisión de vapor de agua.

- La primera película delgada de polímero y la segunda película delgada de polímero pueden ser idénticas entre sí. Si ambos lados del elemento laminar están estratificados, se obtiene un elemento intercambiador de entalpía que tiene excelentes propiedades higiénicas. Si solo un lado del elemento laminar está estratificado, el polímero termoplástico del material laminar preferiblemente se somete a un tratamiento de hidrofobización y/o incluye un biocida (bactericida y/o fungicida) y una vez más, se obtiene un elemento intercambiador de entalpía que tiene excelentes propiedades higiénicas.

- La primera película delgada de polímero y la segunda película delgada de polímero pueden ser diferentes entre sí. Esto proporciona libertad adicional para ajustar y optimizar las características de transferencia de calor y humedad del elemento intercambiador de entalpía.

- Finalmente, la invención proporciona un intercambiador de entalpía que tiene al menos tres elementos intercambiadores de entalpía en forma de láminas o placas como se define en cualquiera de los párrafos anteriores, que se apilan y se fijan entre sí con sus respectivos patrones de ondulación en orientación paralela para formar trayectorias de fluido paralelas que permiten que los fluidos fluyan a su través. Los elementos intercambiadores de entalpía individuales pueden fijarse entre sí y sellarse mediante soldadura, preferiblemente mediante soldadura por

láser y/o encolado, preferiblemente usando epoxi.

Una realización no limitante de la invención se describe con más detalle a continuación con referencia a los dibujos, en donde:

- 5 La figura 1 es una representación esquemática del método para producir elementos intercambiadores de entalpía según la invención;
- la figura 2 es una representación esquemática de un intercambiador de entalpía según la invención o una porción del mismo que incluye una pluralidad de elementos intercambiadores de entalpía según la invención;
- 10 la figura 3 es una microfotografía SEM (microscopio electrónico de barrido) de una vista en sección transversal de una parte de un producto intermedio producido durante el método para producir un elemento intercambiador de entalpía según la invención;
- la figura 4 es una microfotografía SEM de una vista en sección transversal de una porción de un elemento intercambiador de entalpía producido mediante el método según la invención;
- 15 la figura 5 es una microfotografía SEM similar a la de la figura 3 que muestra una vista en sección transversal a mayor escala de una porción más pequeña de un producto intermedio producido durante el método para producir un elemento intercambiador de entalpía según la invención; y
- La figura 6 es una microfotografía SEM similar a la de la figura 4 que muestra una vista en sección transversal a menor escala de una porción más grande de un elemento intercambiador de entalpía producido mediante el método según la invención.
- 20 En la figura 1, se muestra una representación esquemática del método para producir elementos intercambiadores de entalpía según la invención. Secciones transversales de los productos intermedios, es decir, los resultados de cada una de las etapas S1, S2 e S3, se muestran.
- En una primera etapa S1, se proporciona un elemento laminar 1 permeable al aire que tiene huecos o aberturas 2.
- En una segunda etapa S2, ambos lados 1a, 1b del elemento laminar 1 están estratificados con una película delgada de polímero 3, 4 con características de transmisión de vapor de agua.
- 25 En una tercera etapa S3, el elemento laminar estratificado 1 se forma en una forma deseada que exhibe un patrón de ondulación tridimensional 5.
- El elemento laminar 2 es una tela no tejida que incluye únicamente fibras termoplásticas o una combinación de fibras termoestables y fibras termoplásticas. La tela puede incluir fibras bicomponente junto con fibras termoestables y/o termoplásticas estándar.
- 30 La película delgada de polímero 3, 4 es una película multicapa que puede comprender una secuencia (no mostrada) de capas de polímero de diferentes tipos de polímero.
- La etapa de formación S3 es una etapa de termoformado, preferiblemente una etapa de formación al vacío. Al menos una primera parte de molde (p. ej., herramienta inferior, no mostrada) que tiene primeras formaciones de ondulación que codefinen el patrón de ondulación predeterminado 5 del elemento intercambiador de entalpía E, E' a fabricar, se usa en la etapa de termoformado S3. Además de la al menos primera parte de molde, una segunda parte de molde (p. ej., herramienta superior, no mostrada) que tiene segundas formaciones de ondulación complementarias a las primeras formaciones de ondulación y/o un vacío de formación que codefine el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía E, E' a fabricar, se usa/n en la etapa de termoformado S3.
- 35 El elemento intercambiador de entalpía E resultante que tiene una primera película delgada de polímero 3 en el primer lado 1a del elemento laminar 1 y una segunda película delgada de polímero 4 en el segundo lado 1b del elemento laminar 1 comprende una estructura ondulada 5 con porciones comprimidas alternas 5a y porciones comprimidas/estiradas 5b. Las porciones comprimidas 5a se extienden en una primera dirección (dirección horizontal en la figura 1) y las porciones comprimidas/estiradas 5b se extienden en una segunda dirección diferente de la primera dirección. Preferiblemente, el ángulo α entre la primera dirección y la segunda dirección en el patrón de ondulación 5 del elemento intercambiador de entalpía E está entre 90° y 120°, preferiblemente entre 95° y 105°, un ejemplo de lo cual se muestra en la figura 1. De manera alternativa, a diferencia del ejemplo que se muestra en la figura 1, el ángulo α entre la primera dirección y la segunda dirección en el patrón de ondulación 5 del elemento intercambiador de entalpía E está entre 80° y 90°, preferiblemente entre 85° y 90°.
- 40 El elemento intercambiador de entalpía E resultante que tiene una primera película delgada de polímero 3 en el primer lado 1a del elemento laminar 1 y una segunda película delgada de polímero 4 en el segundo lado 1b del elemento laminar 1 comprende una estructura ondulada 5 con porciones comprimidas alternas 5a y porciones comprimidas/estiradas 5b. Las porciones comprimidas 5a se extienden en una primera dirección (dirección horizontal en la figura 1) y las porciones comprimidas/estiradas 5b se extienden en una segunda dirección diferente de la primera dirección. Preferiblemente, el ángulo α entre la primera dirección y la segunda dirección en el patrón de ondulación 5 del elemento intercambiador de entalpía E está entre 90° y 120°, preferiblemente entre 95° y 105°, un ejemplo de lo cual se muestra en la figura 1. De manera alternativa, a diferencia del ejemplo que se muestra en la figura 1, el ángulo α entre la primera dirección y la segunda dirección en el patrón de ondulación 5 del elemento intercambiador de entalpía E está entre 80° y 90°, preferiblemente entre 85° y 90°.
- 45 En la figura 2, se muestra una representación esquemática de un intercambiador de entalpía de primer tipo E1-E2-E3 o intercambiador de entalpía de segundo tipo E1'-E2'-E3' según la invención. El primer tipo E1-E2-E3 incluye una pluralidad de elementos intercambiadores de entalpía E1, E2, E3 donde la primera película delgada de polímero 3 y la segunda película delgada de polímero 4 (figura 1) son películas del mismo tipo. El segundo tipo E1'-E2'-E3' incluye una pluralidad de elementos intercambiadores de entalpía E1', E2', E3' donde la primera película delgada de polímero
- 50

3 y la segunda película delgada de polímero 4 (figura 1) son películas de diferentes tipos, incluyendo el caso en el que una de las dos películas 3, 4 tiene grosor cero, es decir, el elemento intercambiador de entalpía tiene solo una película delgada de polímero 3 o 4 en un lado 1a o 1b del elemento laminar 1.

5 En la figura 2, no se muestran las paredes exteriores de la carcasa/embalaje del intercambiador de entalpía E1-E2-E3 o E1'-E2'-E3'. Las porciones de entrada/salida de aire (no mostradas) del intercambiador de entalpía E1-E2-E3 o E1'-E2'-E3' están provistas de patrones de distribución de aire tales que la dirección del flujo de aire en los conductos de aire adyacentes en el intercambiador de entalpía E1-E2-E3 o E1'-E2'-E3' están en direcciones opuestas, como lo muestra el símbolo O que indica flujo de aire hacia el espectador y el símbolo X que indica flujo de aire que se aleja del espectador.

10 La figura 3 muestra una microfotografía SEM (microscopio electrónico de barrido) de una vista en sección transversal de un elemento laminar permeable al aire 1 estratificado en su lado superior 1a con una primera película delgada de polímero 3 y estratificado en su lado inferior 1b con una segunda película delgada de polímero 4 como resultado de la etapa b) del método según la invención.

15 La etapa de estratificación b) puede comprender la unión, preferiblemente unión por calor y/o encolado, de las películas delgadas de polímero 3, 4 al elemento laminar 1. Se puede usar un adhesivo termoplástico (adhesivo termofusible) para la unión entre la película de polímero 3 y 4 y el elemento laminar 1.

20 El elemento laminar 1 es una tela no tejida que comprende una pluralidad de fibras 6. Las fibras 6 pueden ser solo fibras termoplásticas o una combinación de fibras termoestables y/o fibras minerales por un lado y fibras termoplásticas por otro lado. Lo más preferiblemente, la tela incluye fibras multicomponente o bicomponente junto con fibras termoestables y/o termoplásticas estándar. Como se puede ver mejor comparando la figura 3 con la figura 4, las fibras 6 del elemento laminar de tela no tejida 1 que se muestra en la figura 3 están menos densamente empaquetadas que las fibras 6 del elemento laminar de tela no tejida 1 del elemento intercambiador de entalpía que se muestra en la figura 4.

25 La figura 4 muestra una microfotografía SEM de una vista en sección transversal de una porción de un elemento intercambiador de entalpía E producido formando el elemento laminar estratificado 1 de la figura 3 en una forma deseada que exhibe un patrón de ondulación tridimensional como resultado de la etapa c) del método según la invención.

30 La etapa de formación c) es una etapa de termoformado, preferiblemente una etapa de formación al vacío. Al menos una primera parte de molde (p. ej., herramienta inferior, no mostrada) que tiene primeras formaciones de ondulación que definen o codefinen el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía E, E' a fabricar, se proporciona para y se usa en la etapa de termoformado. Además de la al menos primera parte de molde, una segunda parte de molde (p. ej., herramienta superior, no mostrada) que tiene segundas formaciones de ondulación complementarias a las primeras formaciones de ondulación y/o un vacío de formación que codefine el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía E, E' a fabricar, puede proporcionarse en la etapa de termoformado.

35 La primera parte de molde (p. ej., herramienta inferior) puede comprender boquillas u orificios pasantes conectados neumáticamente a una fuente de vacío que proporciona un vacío para la etapa de formación de vacío.

40 Además de la primera parte de molde y/o la segunda parte de molde usada en la etapa de formación c), preferiblemente para soportar la acción de vacío en la etapa de formación de vacío, se pueden proporcionar boquillas conectadas a una fuente de aire presurizado. Estas boquillas pueden instalarse en las inmediaciones de, preferiblemente adyacentes a, la primera parte de molde y/o la segunda parte de molde. Preferiblemente, la fuente de aire presurizado comprende un dispositivo de calentamiento de aire para calentar el aire presurizado.

45 El uso combinado de la primera herramienta y la fuente de vacío en la etapa de termoformado c) puede complementarse con la segunda herramienta y/o la fuente de aire presurizado, preferiblemente con dispositivo de calentamiento de aire. Como resultado, usando al menos algunos de estos complementos, un elemento laminar 1 estratificado con una primera película delgada de polímero 3 y una segunda película delgada de polímero opcional 4 se puede presionar con más fuerza contra las primeras formaciones onduladas de la primera parte de molde, produciendo así un elemento intercambiador de entalpía E con una mejor copia de las primeras formaciones onduladas de la primera parte de molde que definen o codefinen el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía E a fabricar.

50 El elemento laminar 1 del elemento intercambiador de entalpía E tiene sus fibras 6 mucho más densamente empaquetadas que el elemento laminar 1 de la figura 3. Durante la etapa de plisado o termoformado c), el elemento laminar de tela 1 con su primera película delgada de polímero 3 y su segunda película delgada de polímero 4 se comprime y se calienta. Al menos las fibras termoplásticas o las fibras multicomponente o bicomponente de la pluralidad de fibras 6 se reblandecen o se funden parcialmente durante la etapa de plisado o termoformado c). Como resultado, después del enfriamiento y endurecimiento de las fibras termoplásticas o de las fibras multicomponente o bicomponente de la pluralidad de fibras 6, el elemento laminar de tela 1 con su primera película delgada de polímero 3 y su segunda película delgada de polímero 4 se transforma en un elemento intercambiador de entalpía E según la

invención con una estructura de fibras más compacta en el elemento laminar de tela 1 y con un patrón de ondulación tridimensional.

5 La figura 5 muestra una microfotografía SEM similar a la de la figura 3 que muestra una vista en sección transversal a mayor escala de una porción más pequeña del elemento laminar de tela 1 permeable al aire estratificado en su lado superior 1a con la primera película delgada de polímero 3 y estratificado en su lado inferior 1b con la segunda película delgada de polímero 4 como resultado de la etapa b) del método según la invención.

La figura 6 muestra una microfotografía SEM similar a la de la figura 4 que muestra una vista en sección transversal a menor escala de una porción más grande del elemento intercambiador de entalpía E producido mediante el método según la invención.

10 **Números de referencia:**

- 1 elemento laminar de tela
- 1a primera superficie
- 1b segunda superficie
- 2 huecos o aberturas
- 3 primera película delgada de polímero
- 4 segunda película delgada de polímero
- 5 ondulación
- 5a porción comprimida
- 5b porción comprimida y/o estirada
- S1 etapa de provisión
- S2 etapa de estratificación
- S3 etapa de formación (coformación)
- O dirección del flujo de aire hacia el espectador
- X dirección del flujo de aire lejos del espectador
- 6 fibra
- α ángulo (en patrón de ondulación)

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir elementos intercambiadores de entalpía (E, E') que comprende las etapas de:

- a. proporcionar un elemento laminar permeable al aire (1);
- b. estratificar al menos un lado (1a, 1b) del elemento laminar (1) con una película delgada de polímero (3, 4) con características de transmisión de vapor de agua;
- c. formar el elemento laminar estratificado (1) en una forma deseada que exhibe un patrón de ondulación tridimensional (5);

en donde en la etapa a) el material laminar del elemento laminar (1) comprende un polímero, el elemento laminar (1) es una tela; en la etapa b) la película delgada de polímero es una membrana monolítica en donde dicha membrana monolítica es una membrana sin poros que tiene un alargamiento máximo entre el 100% y el 300% y que exhibe un mecanismo de transporte por difusión en solución para moléculas de agua individuales, y la etapa de estratificación comprende al menos uno de unión, preferiblemente unión por calor, soldadura y encolado, de la película delgada de polímero (3, 4) al elemento laminar (1); en donde la etapa de formación c) es una etapa de termoformado y en donde al menos una primera parte de molde que tiene primeras formaciones de ondulación que definen o codefinen el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía (E, E') a fabricar, se proporciona para y se usa en la etapa de termoformado c).

2. El método según la reivindicación 1, en donde el elemento laminar (1) es una tela no tejida.

3. El método según la reivindicación 1 o 2, en donde al menos el 50% en peso de las fibras (6) de la tela son fibras multicomponente, preferiblemente bicomponente.

4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde al menos una película delgada de polímero (3, 4) en el al menos un lado (1a, 1b) del elemento laminar (1) es una película de polímero impermeable al aire.

5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la película delgada de polímero (3, 4) es una película multicapa que comprende una secuencia de capas de polímero de diferentes tipos de polímero.

6. El método según la reivindicación 5, en donde el grosor total de la película multicapa delgada de polímero está entre 5 µm y 200 µm, más preferiblemente entre 10 µm y 150 µm.

7. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde una segunda parte de molde que tiene segundas formaciones de ondulación complementarias a las primeras formaciones de ondulación que codefinen el patrón de ondulación predeterminado del elemento intercambiador de entalpía (E, E') a fabricar, se proporciona para y se usa en la etapa de termoformado c).

8. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde se proporcionan boquillas conectadas a una fuente de aire presurizado y se usan en la etapa de termoformado c).

9. El método según la reivindicación 8, en donde las boquillas se proporcionan en las inmediaciones de la primera parte de molde y/o la segunda parte de molde.

10. Un elemento intercambiador de entalpía (E; E'), producido usando el método como se define en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que incluye un elemento laminar permeable al aire (1) y un patrón de ondulación tridimensional predeterminado (5), en donde una primera película delgada de polímero (3) se estratifica en un primer lado (1a) del elemento laminar (1) y/o una segunda película delgada de polímero (4) se estratifica en un segundo lado (1b) del elemento laminar (1), teniendo ambas películas delgadas de polímero (3, 4) características de transmisión de vapor de agua.

11. El elemento intercambiador de entalpía (E) según la reivindicación 10, en donde la primera película delgada de polímero (3) y la segunda película delgada de polímero (4) son idénticas entre sí.

12. Un intercambiador de entalpía que tiene al menos tres elementos intercambiadores de entalpía en forma de lámina o en forma de placa (E1, E2, E3; E1', E2', E3') como se define en la reivindicación 10 u 11 que se apilan y se fijan entre sí, preferiblemente por medio de soldadura tal como soldadura por láser o soldadura ultrasónica o por medio de encolado, con sus respectivos patrones de ondulación tridimensionales (5) en orientación paralela para formar trayectorias de fluido paralelas que permitan que los fluidos fluyan a su través.

Fig. 1

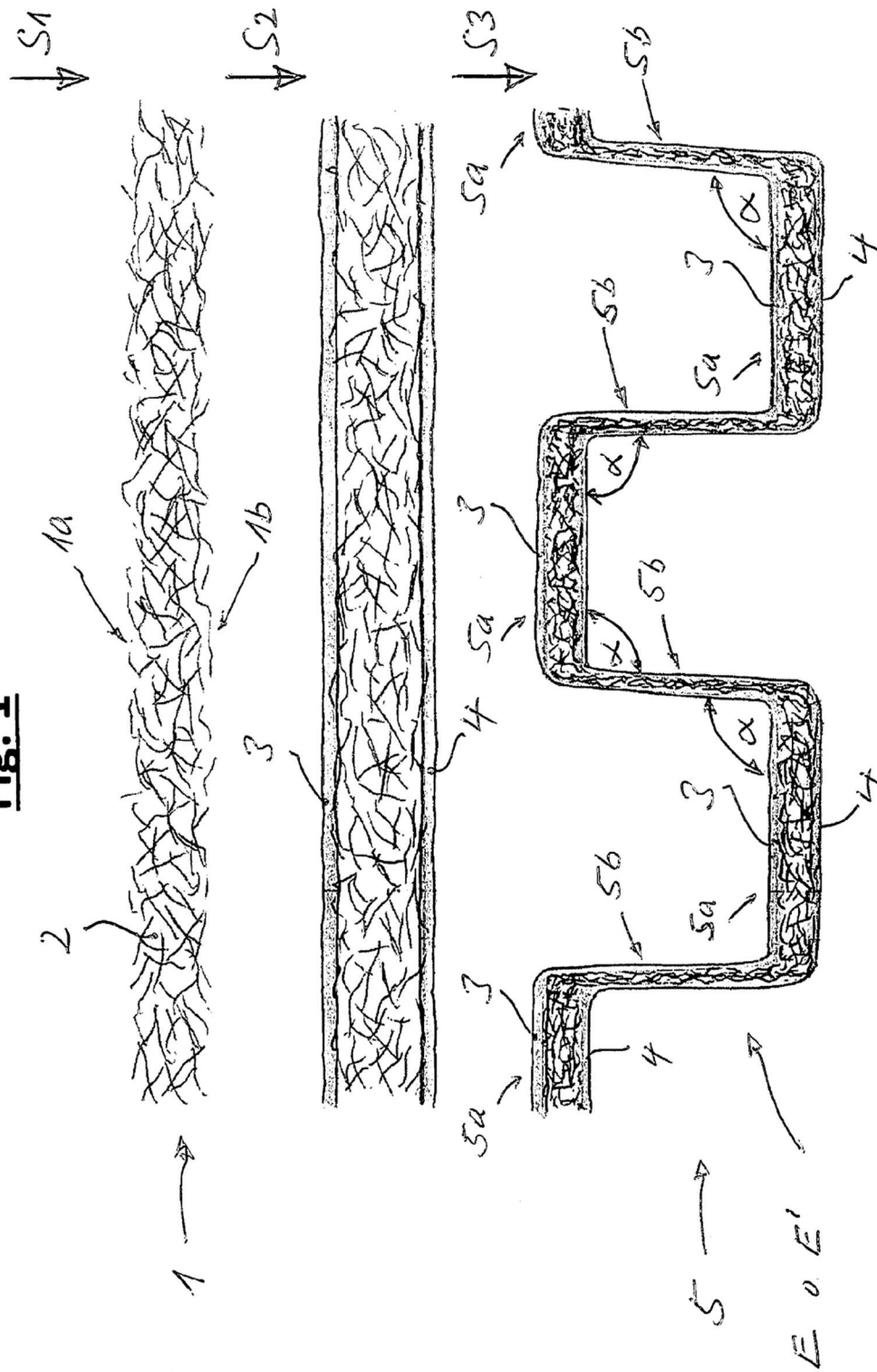


Fig. 2

