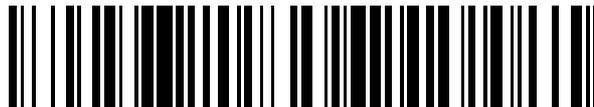


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 563**

51 Int. Cl.:

F28F 13/08 (2006.01)

F28F 3/02 (2006.01)

F28D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2003 E 03255580 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 1398593**

54 Título: **Intercambiadores de placas y aletas con superficies texturadas**

30 Prioridad:

13.09.2002 US 243149

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

13.04.2016

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 HAMILTON BOULEVARD
ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**SUNDER, SWAMINATHAN;
KUZNETSOV, VLADIMIR VASILIEVICH y
HOUGHTON, PATRICK ALAN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 566 563 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

Intercambiadores de placas y aletas con superficies texturadas

5 La presente invención se refiere a intercambiadores de placas y aletas que tienen superficies texturadas y tiene aplicación particular en procesos criogénicos tales como la separación de aire, aunque estos intercambiadores de placas y aletas se pueden usar también en otros procesos térmicos y/o de transferencia de masa.

10 Los intercambiadores de placas y aletas se usan, en general, para intercambiar calor entre corrientes de proceso con el fin de calentar, enfriar, hervir, evaporar o condensar las corrientes. En este caso, se pueden denominar más particularmente intercambiadores de calor de placas y aletas. Las condiciones de proceso en dichos intercambiadores de calor pueden implicar transmisión de calor en fase única o en dos fases, en las que las corrientes de fluido circulan en una dirección generalmente hacia arriba o en una dirección generalmente hacia abajo (aunque los flujos pueden ser también en otras direcciones). Pero en algunos casos, las corrientes de proceso incluyen mezclas de componentes de manera que se lleva a cabo también separación de transferencia de masa, además de transmisión de calor. En este último caso, el vapor y el líquido circulan en direcciones a contracorriente dentro de un paso de corrientes y el intercambiador de calor/masa se puede denominar desfleador.

20 Es conocido por la técnica anterior que existen varios modos para mejorar el comportamiento de los intercambiadores de calor. Véase, por ejemplo, D.A. Reay, "Heat transfer enhancement - review of techniques and their possible impact on energy efficiency in the UK", Heat Recovery System & CHP, volumen 11, n.º 1, págs. 1-40, 1991. Algunos de los métodos conocidos en la técnica anterior incluyen:

- 25 • las superficies de algunos intercambiadores de calor pueden tener rugosidad para mejorar el comportamiento de la transmisión de calor en flujo de fase única, al favorecer la turbulencia en la capa límite;
- las superficies de algunos intercambiadores de calor se pueden tratar con revestimientos especiales o modificar geoméricamente para crear cavidades entrantes que pueden mejorar el comportamiento durante la ebullición nucleada;
- 30 • las superficies de algunos intercambiadores de calor se pueden tratar o modificar geoméricamente para cambiar la humectación mediante líquidos que pueden mejorar el comportamiento al favorecer la condensación en forma de gotas o facilitar el drenaje del condensado; y
- aunque todos los métodos anteriores son aplicables a intercambiadores de calor de placas y aletas, su comportamiento se mejora del modo más fácil por el uso de aletas perforadas, en forma de sierra o sinuosas que aumentan la turbulencia con relación a las aletas lisas.

35 Sin embargo, como reconocerán los expertos en la técnica, cada uno de los métodos de la técnica anterior está limitado en uno o más modos. Por ejemplo, las mejoras obtenibles pueden estar limitadas a aplicaciones de flujo único, a una estrecha gama de condiciones de flujo y funcionamiento o a un modo único, tal como la condensación.

40 En el documento US-A-4.434.842 (Gregory) se describe un ejemplo de las superficies de un intercambiador de calor de placas y aletas que han sido modificadas. En este intercambiador de calor, las aletas en las zonas de ebullición están realizadas por, al menos, dos capas, teniendo al menos una de las capas exteriores una pluralidad de agujeros en la misma. Las láminas onduladas de las aletas están muy próximas entre sí de manera que se presenta la nucleación de burbujas entre las láminas y las burbujas se liberan por los agujeros en las láminas.

45 Una textura superficial en forma de acanaladuras o ranuras (tal como la utilizada en la presente invención) se ha usado en otros tipos de intercambiadores de calor (por ejemplo, intercambiadores de carcasa y tubos) para crear o realzar la turbulencia y mejorar la transmisión de calor. Por ejemplo, véanse los documentos US-A-4.434.842; US-A-6.012.514 y US-A-5.966.809. Sin embargo, además del hecho de que esas patentes no están relacionadas con intercambiadores de calor de placas y aletas, sus enseñanzas no son pertinentes para las enseñanzas de la presente invención.

50 En el campo de los procesos de contacto que usan empaquetadura estructurada, es bien conocido que una textura superficial en forma de ranuras o acanaladuras puede mejorar el rendimiento de la transferencia de masa, como se enseña en el documento US-A-4.296.050 (correspondiente al documento GB-A-1604361). Véanse también los documentos US-A-5.730.000 y US-A-5.876.638. Estas patentes enseñan cómo usar una textura superficial bidireccional en forma de acanaladuras finas aplicada en parches sobre la superficie de placas onduladas de un elemento de empaquetadura, de manera que la textura es sustancialmente horizontal en algunas zonas y sustancialmente vertical en otras zonas. Pero esta mejora se basa en la experiencia de un modo de funcionamiento específico, a saber, el de una película líquida que circula hacia abajo experimentando transferencia de masa frente a vapor que circula hacia arriba en una dirección a contracorriente del flujo de líquido. La presente invención tiene un alcance y una gama de aplicaciones mucho más amplios que eso. Además, las características de forma geométrica y flujo globales dentro de un intercambiador de placas y aletas son muy diferentes de las de una empaquetadura estructurada, incluso para modos de funcionamiento generalmente similares.

65

- 5 El documento EP-A-0448991 describe un intercambiador de calor en el que hay aletas onduladas que se extienden entre láminas sustancialmente paralelas y conectadas al mismo en líneas de contacto respectivas. Las aletas y/o láminas tienen partes curvadas (*Wölbungen*). Las partes curvadas de las aletas se pueden extender transversalmente a las ondulaciones de aleta o en la dirección de las mismas y pueden ser ondulaciones o rebordes estampados paralelos entre sí (*eingepprägten Sicken*). El objetivo principal de estas partes curvadas es aumentar la rigidez de las aletas y, por consiguiente, la posición de las partes de aleta curvadas está limitada a las partes de pared lateral entre líneas de contacto adyacentes. Se da a conocer que las partes curvadas aumentan el área superficial de transmisión de calor y el número de Reynolds, mejorando por ello significativamente el rendimiento del intercambiador de calor.
- 10 El documento SU-A-1575063 describe un intercambiador de calor de placas y aletas para su uso en sistemas de calentamiento y aire acondicionado en los que unas corrientes de intercambio de calor circulan en direcciones mutuamente perpendiculares a través de canales triangulares formados por láminas de separación y aletas onduladas. Las láminas de separación tienen entrantes transversales y las aletas tienen salientes transversales, que están destinados principalmente a facilitar la fabricación del intercambiador de calor y a aumentar la rigidez. Se hace referencia a los entrantes y los salientes que interrumpen el flujo de fluido y aumentan por ello el intercambio de calor, y se realiza la comparación con intercambiadores de calor que tienen los salientes pero no los entrantes.
- 15 Los documentos EP 0 952 419 A1 y EP 0 479 486 A1 describen un hervidor de flujo descendente y un desflemador, respectivamente, que son intercambiadores de calor de placas y aletas que comprenden una pluralidad de aletas onduladas verticalmente que se extienden entre láminas de separación paralelas, definiendo dichas láminas de separación y dichas aletas unos pasos verticales.
- 20 Se desea aumentar el rendimiento y mejorar el comportamiento de los intercambiadores de placas y aletas.
- 25 Además, se desea mejorar las características de humectación de una corriente de vapor-líquido que circula hacia abajo dentro de los pasos de un intercambiador de placas y aletas a fin de mejorar el rendimiento de la transmisión de calor.
- 30 Además, se desea adicionalmente mejorar las características de flujo de una corriente de vapor-líquido que circula hacia arriba dentro de los pasos de un intercambiador de placas y aletas a fin de mejorar el rendimiento de la transmisión de calor.
- 35 Además, se desea adicionalmente mejorar las características de turbulencia de una corriente de fase única dentro de los pasos de un intercambiador de placas y aletas a fin de mejorar el rendimiento de la transmisión de calor.
- 40 Además, se desea adicionalmente mejorar las características de turbulencia dentro de los pasos de flujo de un desflemador a contracorriente a fin de mejorar el rendimiento de la transferencia de masa con relación a un intercambiador de placas y aletas convencional empleado bajo condiciones de funcionamiento similares.
- 45 Además, se desea adicionalmente mejorar las características de humectación de una corriente de vapor-líquido que circula hacia abajo dentro de los pasos de un intercambiador de placas y aletas de manera que se minimiza la tendencia a que precipite cualquier componente disuelto.
- 50 Además, se desea adicionalmente tener un intercambiador o desflemador de placas y aletas que muestre características de alto comportamiento para aplicaciones criogénicas, tales como las utilizadas en la separación de aire, y para otras aplicaciones de transmisión de calor y/o transferencia de masa.
- 55 Además, se desea adicionalmente tener un intercambiador de placas y aletas que supere muchas de las dificultades y desventajas de la técnica anterior, para proporcionar resultados mejores y más ventajosos.
- 60 Además, se desea adicionalmente tener un proceso de separación de aire más eficiente utilizando un intercambiador de placas y aletas o un hervidor de flujo descendente que sea más compacto y/o más eficiente que el de la técnica anterior.
- 65 Además, se desea adicionalmente tener un diseño de intercambiador de placas y aletas que minimice el tamaño, el peso y/o el coste de los hervidores de flujo descendente, lo que daría como resultado un proceso de separación de aire más eficiente y/o menos caro por cantidad unitaria de producto fabricado.
- 60 Además, se desea también tener un método para montar un intercambiador de placas y aletas o un hervidor de flujo descendente que use aletas con una textura superficial sobre las mismas, que confiera un mejor comportamiento que el de la técnica anterior, y que supere también muchas de las dificultades y desventajas de la técnica anterior, para proporcionar resultados mejores y más ventajosos.
- 65 La presente invención proporciona un intercambiador de placas y aletas que tiene superficies texturadas sobre sus aletas. La invención proporciona también un método para mejorar el comportamiento de un intercambiador de placas

y aletas. La “superficie texturada” utilizada en la presente invención para obtener una “textura superficial” tiene la forma de acanaladuras o ranuras formadas o aplicadas en la superficie del material de aleta utilizado en el intercambiador de placas y aletas.

5 Se pueden aplicar superficies texturadas a tipos de aleta lisa, perforada, sinuosa, en forma de sierra o de otra clase. La textura se forma más fácilmente prensando el perfil metálico con ranuras o acanaladuras antes de formar la aleteadura. Las ranuras pueden ser horizontales, inclinadas en una dirección o inclinadas en diferentes direcciones, incluyendo en una disposición entrecruzada. Se pueden usar intercambiadores de calor de placas y aletas texturadas para tratar corrientes en una variedad de condiciones de funcionamiento, que implican calentamiento,
10 enfriamiento, ebullición, evaporación o condensación, y de condiciones de flujo, que incluyen fase única, dos fases, flujo hacia arriba o flujo hacia abajo. La presente invención se puede usar también para tratar corrientes que experimentan la separación por transferencia de masa, además de transmisión de calor.

15 Los expertos en la técnica no esperarían ningún método de mejora única para aumentar el rendimiento de transmisión de calor y/o transferencia de masa en múltiples modos de funcionamiento. Así, un resultado sorprendente e inesperado de la presente invención es que la adición de textura superficial al material de aleta mejora el rendimiento de transmisión de calor y/o transferencia de masa en múltiples modos de funcionamiento, como se ha indicado anteriormente.

20 En un aspecto, la invención proporciona un hervidor de flujo descendente o un desflemador que es un intercambiador de placas y aletas que comprende una primera lámina de separación y una segunda lámina de separación, adyacente y sustancialmente paralela a la primera lámina de separación, con al menos una aleta ondulada que se extiende entre la primera lámina de separación y la segunda lámina de separación, en el que una textura superficial ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras está formada o aplicada en, al menos, una
25 superficie de la aleta.

Según la invención, al menos una parte de la textura superficial tiene la forma de estrías horizontales o al menos una parte de la textura superficial está aplicada con un ángulo con relación a una posición horizontal, en el que el ángulo es mayor que 0 grados y menor que 75 grados, especialmente mayor que 0° y menor que 50°.

30 En otra variación, al menos una parte de la textura superficial está aplicada de manera entrecruzada.

Aún en otra variación, la textura superficial tiene la forma de una acanaladura. La acanaladura puede tener una longitud de onda comprendida en un intervalo de 0,5 mm a 5 mm, preferiblemente en un intervalo de 1 mm a 3 mm; formar un ángulo con relación a una posición horizontal, siendo el ángulo preferiblemente mayor que 0° y menor que 75°; y/o tener una amplitud comprendida en un intervalo de 0,05 mm a 0,75 mm, preferiblemente de 0,15 mm a 0,50 mm.

40 Otro aspecto de la presente invención es una unidad de separación de aire criogénico que tiene un intercambiador de placas y aletas que comprende una primera lámina de separación y una segunda lámina de separación, adyacente y sustancialmente paralela a la primera lámina de separación, con al menos una aleta ondulada que se extiende entre la primera lámina de separación y la segunda lámina de separación, en el que una textura superficial ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras está formada o aplicada en, al menos, una superficie de la aleta, en la que: al menos una parte de la textura superficial tiene la forma de estrías horizontales o al menos una parte de
45 la textura superficial está aplicada con un ángulo con relación a una posición horizontal, en el que el ángulo es mayor que 0° y menor que 75°.

El intercambiador puede ser como en cualquiera de las realizaciones o en variaciones anteriormente descritas de esas realizaciones.

50 La invención proporciona también el uso para mejorar la transmisión de calor, las características de humectación y/o la tendencia a atascarse de un intercambiador de placas y aletas que comprende una primera lámina de separación y una segunda lámina de separación, adyacente y sustancialmente paralela a la primera lámina de separación, con al menos una aleta ondulada que se extiende entre la primera lámina de separación y la segunda lámina de
55 separación, de una textura superficial ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras en, al menos, una superficie de dicha al menos una aleta, en el que: al menos una parte de la textura superficial tiene la forma de estrías horizontales o al menos una parte de la textura superficial está aplicada con un ángulo con relación a una posición horizontal, en el que el ángulo es mayor que 0° y menor que 75°.

60 La invención proporciona además un método para efectuar un intercambio de calor indirecto de una pluralidad de corrientes de fluido en un intercambiador de calor de placas y aletas que tiene un primer grupo de pasos adaptados para transportar una primera corriente de fluido, siendo la primera corriente de fluido de dos fases en, al menos, una parte del primer grupo de pasos, teniendo la parte del primer grupo de pasos una pluralidad de aletas onduladas dispuestas en su interior, con al menos una de las aletas que se extiende entre láminas de separación vecinas
65 sustancialmente paralelas y teniendo una superficie texturada ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras.

Otra realización es un intercambiador de calor de placas y aletas para servicio de hervidor o condensador, comprendiendo el intercambiador de calor un cuerpo paralelepípedo que incluye un conjunto de una pluralidad de láminas de separación sustancialmente paralelas y una pluralidad de aletas onduladas que se extienden entre láminas de separación adyacentes, teniendo al menos una de las aletas una superficie texturada ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras, en el que: al menos una parte de la textura superficial tiene la forma de estrías horizontales, o al menos una parte de la textura superficial está aplicada con un ángulo con relación a una posición horizontal, en el que el ángulo es mayor que 0° y menor que 75°.

Una realización adicional es un hervidor de flujo descendente que tiene un cuerpo generalmente paralelepípedo formado por un conjunto de pasos sustancialmente paralelos que se extienden de modo vertical adaptados para recibir un primer fluido introducido en un primer grupo de pasos y un segundo fluido introducido en un segundo grupo de pasos, alternando en posición los pasos en el segundo grupo de pasos con los pasos en el primer grupo de pasos, teniendo el primer grupo de pasos una pluralidad de aletas dispuestas entre láminas de separación vecinas, incluyendo las aletas unas aletas de difícil recorrido para la distribución de fluido del primer fluido y unas aletas de transmisión de calor onduladas de fácil recorrido, aguas abajo de las aletas de difícil recorrido y que se extienden entre las láminas de separación vecinas, formando las aletas de transmisión de calor una o más secciones de transmisión de calor con área superficial progresivamente decreciente, teniendo al menos una aleta de transmisión de calor, en una primera sección de transmisión de calor, al menos una superficie, comprendiendo la mejora una textura superficial ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras en, al menos, una superficie.

Otro aspecto de la presente invención es un hervidor de flujo descendente según la invención instalado en una columna de una planta de separación de aire, en la que una corriente que contiene oxígeno líquido se hace pasar, a través del primer grupo de pasos, en flujo paralelo a una corriente que contiene nitrógeno y/o que contiene argón, en el segundo grupo de pasos.

Una realización adicional de la invención es una mejora para un hervidor de flujo descendente que tiene un cuerpo generalmente paralelepípedo formado por un conjunto de pasos sustancialmente paralelos que se extienden de modo vertical adaptados para recibir un primer fluido introducido en un primer grupo de pasos y un segundo fluido introducido en un segundo grupo de pasos, alternando en posición los pasos en el segundo grupo de pasos con los pasos en el primer grupo de pasos, teniendo el segundo grupo de pasos una pluralidad de aletas dispuestas entre láminas de separación vecinas, incluyendo las aletas unas aletas de distribución de entrada y salida para un flujo uniforme del segundo fluido hacia dentro y hacia fuera del segundo grupo de pasos y unas aletas de transmisión de calor onduladas que forman, al menos, una sección de transmisión de calor entre las aletas de distribución de entrada y salida y que se extienden entre las láminas de separación vecinas, teniendo al menos una aleta de transmisión de calor, en dicha al menos una sección de transmisión de calor, al menos una superficie, comprendiendo la mejora una textura superficial ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras en dicha al menos una superficie.

Otro aspecto de la invención es un hervidor de flujo descendente según la invención instalado en una columna de una planta de separación de aire, en la que una corriente que contiene oxígeno líquido se hace pasar a través del primer grupo de pasos en flujo paralelo a una corriente que contiene nitrógeno y/o que contiene argón en un segundo grupo de pasos.

Otra realización es un intercambiador de placas y aletas para servicio como desflemador, comprendiendo el intercambiador un cuerpo paralelepípedo que incluye un conjunto de una pluralidad de láminas de separación sustancialmente paralelas y una pluralidad de aletas onduladas que se extienden entre láminas de separación adyacentes, teniendo al menos una de dichas aletas una superficie texturada ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras.

El intercambiador de placas y aletas de la invención se puede preparar mediante un método de múltiples etapas. La primera etapa es proporcionar dos láminas de separación sustancialmente paralelas y una lámina alargada. La segunda etapa es formar una textura superficial ininterrumpida en forma de acanaladuras o ranuras sobre la lámina alargada. La tercera etapa es corrugar la lámina alargada para formar una aleta que tiene la textura superficial sobre la misma. La cuarta etapa es disponer la aleta que tiene la textura superficial sobre la misma entre las láminas de separación.

La invención se describirá a continuación a modo de ejemplo con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

- la figura 1A es una vista, en perspectiva y en despiece ordenado, de un elemento básico o subconjunto de un intercambiador de placas y aletas convencional;
- la figura 1B es una vista, en perspectiva y en despiece ordenado, de un elemento básico o subconjunto de un intercambiador de placas y aletas, con aletas que tienen una superficie texturada según la presente invención;
- las figuras 2A-2D ilustran cuatro tipos de aletas utilizadas típicamente en intercambiadores de placas y aletas;

la figura 3A es un diagrama esquemático que ilustra una superficie texturada que tiene estrías horizontales según la presente invención;
 la figura 3B es un diagrama esquemático de otra superficie texturada que usa estrías con un ángulo (α) respecto a la horizontal;
 5 la figura 3C es un diagrama esquemático que ilustra otra superficie texturada que usa estrías aplicadas de manera entrecruzada;
 la figura 3D es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección de la superficie texturada en la figura 3A, tomada por la línea 3D-3D;
 la figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra una muestra experimental constituida por un apilamiento horizontal de pasos de aleta;
 10 la figura 5 es un gráfico que ilustra el comportamiento de las aletas texturadas según la presente invención en comparación con aletas lisas y perforadas de la técnica anterior desde el punto de vista de los coeficientes de transmisión de calor (HTC) frente a la energía de bombeo (PE) para transmisión de calor en fase única;
 la figura 6 es un diagrama esquemático que ilustra un conjunto de ensayo utilizado para determinar el comportamiento de aletas de la técnica anterior y aletas que tienen superficies texturadas según la presente invención; y
 las figuras 7 a 14 son gráficos que ilustran el comportamiento de aletas que tienen superficies texturadas según la presente invención en comparación con el comportamiento de aletas de la técnica anterior desde el punto de vista de la calidad del vapor (VQ) frente a los coeficientes de transmisión de calor (HTC) bajo las condiciones señaladas anteriormente en cada uno de los gráficos.

Haciendo referencia a la figura 1, un intercambiador de placas y aletas convencional comprende varios pasos, cada uno de los cuales está realizado con material de aleta 28 colocado entre láminas de separación 40, 42 y barras extremas 24A, 24B. Los tipos de aleta más comunes son lisos, perforados, en forma de sierra y sinuosos, como se muestra en las figuras 2A, 2B, 2C y 2D.

Como se muestra en la figura 1B, la presente invención usa aletas que tienen una superficie texturada 50, en lugar de aletas convencionales. Las figuras 3A, 3B, 3C y 3D muestran algunos ejemplos de los tipos de superficies texturadas 50 que se pueden usar. Aunque las estrías formadas por las acanaladuras o ranuras tienen preferiblemente la forma de líneas rectas que son, en general, uniformemente rectas (antes de corrugar la lámina), los expertos en la técnica reconocerán que las estrías no tienen que ser rectas. Por ejemplo, cada estría podría ser curvada, en zigzag o de alguna otra forma. Además, aunque las líneas 52 en las figuras 3A, 3B y 3C son sustancialmente paralelas para formar un patrón uniforme, los expertos en la técnica reconocerán que las líneas de las acanaladuras o ranuras pueden formar otros patrones, tanto uniformes como no uniformes.

Aunque sin querer limitarse a ningún método de fabricación particular, es más ventajoso aplicar la textura superficial a un perfil de chapa metálica plano mediante una operación tal como prensado, justamente antes de que el metal sea conformado adoptando una forma de aleta. Por ejemplo, para aplicar la textura superficial de la presente invención a una aleta perforada, se puede usar el siguiente procedimiento:

- perforar un perfil de chapa metálica plano;
- aplicar la textura superficial mediante una operación tal como prensado;
- formar la aleta perforada sin dañar la textura superficial en el proceso (lo que puede requerir el uso de herramientas especiales); y
- soldar por soldadura fuerte la aleta en un intercambiador de placas y aletas.

El procedimiento para aplicar la invención a otros tipos de aletas (es decir, distintos de una aleta perforada) requeriría etapas similares, pero la secuencia exacta de las operaciones puede ser diferente, como reconocerán los expertos en la técnica.

Las texturas superficiales mostradas en las figuras 3A, 3B y 3C pueden consistir en acanaladuras o ranuras 52 que son casi sinusoidales en una vista en sección, como se muestra en la figura 3D. Los expertos en la técnica reconocerán que otras formas posibles incluyen, pero no están limitadas a una forma ondulante sinuosa, unas ondas pronunciadas, una forma en dientes de sierra o una de onda cuadrada. Los inventores han determinado que son óptimos los siguientes intervalos de dimensiones:

- la longitud de onda A (mostrada en la figura 3D) está comprendida preferiblemente en un intervalo de 0,5 mm a 5 mm, con un intervalo más preferido de 1 mm a 3 mm; y
- la amplitud de pico a pico h (mostrada en la figura 3D), cuando se observa solamente en un lado de la lámina, está comprendida preferiblemente en el intervalo de 0,05 mm a 0,75 mm, con un intervalo más preferido de 0,15 mm a 0,50 mm. La elección de esta dimensión (h) puede estar limitada por la separación física entre aletas adyacentes y/o el grosor del metal (t) (ilustrado en la figura 3D). Una separación muy ajustada entre aletas adyacentes, un alto grosor del metal, o ambos, restringirá la profundidad de las acanaladuras o ranuras que se pueden usar.

En los casos de textura inclinada (figura 3B) y textura entrecruzada (figura 3C), el ángulo α de las ranuras con relación a la horizontal está comprendido preferiblemente en el intervalo de 0 grados a 75 grados, y más preferiblemente en el intervalo de 0 grados a 50 grados. Aunque la figura 3C muestra ángulos iguales ($\alpha=\alpha$) en ambos lados del diagrama, los expertos en la técnica reconocerán que los ángulos no tienen que ser los mismos (es decir, el ángulo en un lado podría ser α y el otro ángulo en el otro lado podría ser mayor o menor que α).

Aunque las enseñanzas de la técnica anterior desde el punto de vista de las mejoras de superficies conducirán a realizaciones diferentes en la medida en que sean aplicables a condiciones de flujo y formas geométricas diferentes, los inventores se sorprendieron al descubrir que una textura superficial en forma de ranuras o acanaladuras puede mejorar el comportamiento de un intercambiador de calor de placas y aletas en todos los modos de funcionamiento, incluyendo en flujo de fase única o de dos fases, flujo hacia arriba o flujo hacia abajo, calentamiento o enfriamiento y evaporación o condensación. Este resultado inesperado sería sorprendente también para otros expertos en la técnica.

La presente invención tiene un valor significativo puesto que los intercambiadores de placas y aletas se pueden realizar más compactos con relación a los intercambiadores de placas y aletas convencionales por el uso de textura superficial sobre el material de aleta. Esto puede ser beneficioso desde el punto de vista del capital y el coste de funcionamiento combinados de una planta, tal como una planta de separación de aire. La presente invención puede reducir también los atascos en corrientes que se evaporan en flujo hacia abajo. En separación de aire criogénico, esto sería particularmente valioso con hervidores de flujo descendente que hacen evaporarse corrientes que contienen oxígeno.

EJEMPLOS

Los Ejemplos en lo que sigue se proporcionan para ilustrar posibles usos de la presente invención. Los expertos en la técnica pueden prever otros ejemplos.

Ejemplo 1

Este Ejemplo ilustra la mejora de la transmisión de calor en flujos de fase única obtenida por la aplicación de una textura superficial según las enseñanzas de la presente invención. Las comparaciones en este Ejemplo son relativas a aletas perforadas y aletas lisas utilizadas comúnmente en intercambiadores de calor de placas y aletas. La figura 4 es un diagrama esquemático de las muestras experimentales y la figura 5 ilustra las comparaciones del comportamiento.

Como se ilustra en la figura 4, las muestras experimentales estaban constituidas por un apilamiento horizontal 60 de nueve pasos de aleta, que tenían aproximadamente 80 mm de ancho y 280 mm de largo. Todas las muestras contenían 22 aletas por pulgada (72 aletas por metro) con un diámetro equivalente de aproximadamente 1,65 mm. Este valor se calculó usando la fórmula bien conocida de cuatro veces el volumen encerrado por las aletas dividido por su área superficial de base, excluyendo los efectos de las perforaciones o la textura. Las muestras perforadas tenían un área abierta de aproximadamente el 10%. El grosor de lámina t para todas las muestras era 0,2 mm. Cuando se usó textura superficial, era aproximadamente sinusoidal con una amplitud h igual a 0,2 mm y una longitud de onda A igual a 1,75 mm, según el diagrama esquemático de la figura 3D. Se estudiaron dos inclinaciones de textura superficial diferentes con los ángulos señalados en la leyenda de la figura 5. El valor de 90 indica una dirección de textura superficial que es perpendicular a la dirección de la aleta, mientras que el valor de 45 indica una dirección de textura superficial que está inclinada (a 45°) con relación a la aleta.

Se realizaron experimentos en las secciones de ensayo en el interior de un túnel aerodinámico. En primer lugar, las muestras se llevaron a una condición de funcionamiento permanente en aire circulante. A continuación, se realizó un cambio de etapa repentino hasta la temperatura del aire entrante 62, a continuación de lo cual se midió la respuesta de salida 64 como una imagen de pulso térmico. El coeficiente de transmisión de calor se calculó en base al gradiente de temperatura de salida máximo según el procedimiento de Locke [Locke, G. L., 1950, "Heat Transfer and Flow Friction Characteristic of Porous Solid", Tr. n.º 10, Mech. Eng. Dept., Universidad de Stanford, Stanford, CA]. La caída de presión se midió con un manómetro de tubo en U inclinado. La caída de presión por rozamiento se calculó después de tener en cuenta los efectos de entrada y salida debido a la aceleración del flujo según los métodos en Kays, W. M and London, A. L., 1984, Compact Heat Exchangers, 3ª Edición, McGraw-Hill, Nueva York.

La figura 5 muestra un trazado gráfico logarítmico de los coeficientes de transmisión de calor (HTC) frente a la energía de bombeo (PE). En tal trazado gráfico, una curva más alta es equivalente a un comportamiento superior. Se puede ver que las aletas perforadas (■) son superiores a las aletas lisas (□), como es bien conocido en la técnica anterior. La adición de textura superficial inclinada (45) (Δ) no mejora el comportamiento de la aleta perforada (■). Sin embargo, la adición de textura superficial perpendicular (90) (◇) produce una mejora del 30 al 50% en los coeficientes de transmisión de calor para la misma energía de bombeo. Estos resultados fueron sorprendentes e inesperados para los inventores, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, y serían sorprendentes e inesperados para otros expertos en la técnica.

Ejemplo 2

Este Ejemplo ilustra la mejora de la transmisión de calor en flujos de dos fases bajo una variedad de condiciones, obtenida por la aplicación de una textura superficial según las enseñanzas de la presente invención. Las comparaciones en este Ejemplo son relativas a aletas perforadas, que se usan comúnmente para servicio de flujos de dos fases en intercambiadores de calor de placas y aletas.

La figura 6 es un diagrama esquemático del conjunto de ensayo y las figuras 7-14 muestran las comparaciones del comportamiento. La orientación de los pasos de ensayo de aleta era vertical en todos los casos, y cuando se usó textura superficial, fue en una dirección que era perpendicular a la dirección de la aleta. En otras palabras, la dirección de la textura superficial era horizontal con relación al laboratorio, lo que corresponde a un ángulo α de 0 grados según el diagrama esquemático en la figura 3A.

Como se ilustra en la figura 6, cada muestra de ensayo 70 estaba constituida por un paso de aleta soldado por soldadura fuerte entre láminas de cierre de aluminio. La muestra estaba abierta en la parte superior e inferior y cerrada por los lados a fin de contener el flujo de fluido en la dirección vertical. Cada paso tenía aproximadamente 70 mm de ancho y 280 mm de largo y se sujetaba de forma similar a un sándwich entre masilla de alta conductividad térmica, placas de cobre 72, uniones Peltier 74 y pasos de flujo de agua 76 en ambos lados. Se usaron uniones Peltier para fijar las fuerzas de activación de la temperatura, de tal modo que los coeficientes de transmisión de calor se pudieron medir con alta precisión incluso a partir de tales muestras pequeñas.

Los flujos entrantes de vapor/líquido entraron en la entrada de vapor-líquido 78 y los flujos salientes salieron en la salida de vapor-líquido 80. El agua de enfriamiento entró en la entrada de agua de enfriamiento 82 y salió en la salida de agua de enfriamiento 84. Una sonda de presión 86 midió las presiones.

Los experimentos se realizaron usando freón 21 en una variedad de modos, incluyendo evaporación y condensación en dos flujos másicos diferentes bajo condiciones de flujo hacia arriba y flujo hacia abajo. Debido al pequeño tamaño de las muestras, en cualquier experimento dado, solamente se presentó un pequeño cambio en la calidad, que representa la parte de la mezcla total de dos fases que está en la fase vapor. Se repitieron los experimentos varias veces a fin de delimitar un amplio intervalo de interés.

Las figuras 7 a 10 muestran los trazados gráficos de los coeficientes de transmisión de calor (HTC) frente a la calidad del vapor (VQ) para unos flujos másicos de evaporación con flujo hacia abajo de $21 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 7) y $57 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 8) y unos flujos másicos de condensación con flujo hacia abajo de $21 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 9) y $57 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 10).

Las figuras 11 a 14 muestran los trazados gráficos de los coeficientes de transmisión de calor (HTC) frente a la calidad del vapor (VQ) para unos flujos másicos de evaporación con flujo hacia arriba de $21 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 11) y $57 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 12) y unos flujos másicos de condensación con flujo hacia arriba de $21 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 13) y $57 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (figura 14).

Como se ve en las figuras 7-14, la muestra de aleta perforada, además de texturada, presenta un comportamiento que es consistentemente superior al de la muestra de aleta perforada. Este efecto se puede ver bajo todas las condiciones de funcionamiento en todas las figuras. Aunque las magnitudes son diferentes en condiciones diferentes, el patrón de mejora es un fenómeno general con la adición de textura superficial. En general, la mejora varía desde el 10% hasta el 50%.

Otro efecto interesante ocurre solamente en la evaporación. Es un fenómeno conocido como resecaión, en el que una degradación de la transmisión de calor se presenta a calidades del vapor muy altas como consecuencia de que las superficies de transmisión de calor empiezan a resecaarse. Esto no ocurre en la condensación. Como se muestra en las figuras 7 y 8 para la evaporación de flujo descendente y en las figuras 11 y 12 para la evaporación de flujo ascendente, la aleta perforada, además de texturada, mantiene mejores coeficientes de transmisión de calor a calidades del vapor altas cuando se compara con la aleta perforada. Esto es una indicación de que la textura superficial del Ejemplo 2 tiene efectos beneficiosos en las características de humectación de las aletas perforadas.

Además de mejorar la transmisión de calor, unas características de humectación mejores pueden proporcionar también un beneficio secundario muy importante, que es la reducción en la tendencia al atasco. Los condensadores hervidores utilizados en plantas industriales de separación de aire hacen evaporarse corrientes que contienen oxígeno frente a corrientes que contienen nitrógeno o que contienen argón. Aunque las plantas de separación de aire modernas tienen lechos de adsorción con tamices moleculares para eliminar la mayoría de los contaminantes del aire antes de la separación por destilación criogénica, cualquier contaminante que desliza a través de los lechos de adsorción tiende a concentrarse en las corrientes de evaporación. Estos incluyen contaminantes inertes tales como dióxido de carbono y óxido nitroso, así como contaminantes reactivos tales como hidrocarburos. El atasco puede conducir a una pérdida de rendimiento, así como a la creación de condiciones potencialmente peligrosas si se acumulan suficientes hidrocarburos en los pasos que contienen oxígeno. El uso de aletas texturadas puede reducir la tendencia al atasco de los intercambiadores de calor de placas y aletas al mejorar sus características de

humectación, que se manifiestan así claramente desde el punto de vista de una mejor transmisión de calor a altas calidades.

5 Unas magnitudes de mejora tan grandes (del 30 al 50% en el Ejemplo 1 y del 10 al 50% en el Ejemplo 2), sin renunciar a nada, son sorprendentes e inesperadas. Estos resultados del comportamiento conseguidos usando superficies texturadas fueron sorprendentes e inesperados para los inventores y serían sorprendentes e inesperados para otros expertos en la técnica.

10 En base a la descripción, los dibujos y los ejemplos anteriores, los expertos en la técnica reconocerán que la presente invención tiene muchos beneficios y ventajas sobre los intercambiadores de calor de placas y aletas que se enseñan en la técnica anterior. Algunos de estos beneficios y ventajas se describen más adelante.

15 Los intercambiadores de calor y los defletores diseñados de acuerdo con la presente invención serán más cortos y más ligeros que los dispositivos de la técnica anterior equivalentes para el mismo servicio. Además, habrá reducciones en el volumen de las cajas frías que contienen tales dispositivos en procesos de separación de aire, dando como resultado costes de capital globales más bajos.

20 Alternativamente, los intercambiadores de calor y los defletores diseñados de acuerdo con la presente invención pueden ofrecer costes de funcionamiento más bajos, con los mismos costes de capital, debido a su rendimiento más alto.

Son posibles también diversas combinaciones ventajosas de los dos efectos anteriores.

25 La presente invención puede reducir también la tendencia a atascarse de un intercambiador de calor de placas y aletas, mejorando por ello su rendimiento de funcionamiento global con el paso del tiempo. Esto es especialmente aplicable a intercambiadores de calor de placas y aletas que contienen corrientes que se evaporan mientras circulan en una dirección generalmente hacia abajo.

30 Las diversas realizaciones de la presente invención se han descrito con referencia a los dibujos y los ejemplos explicados anteriormente. Sin embargo, se debería apreciar que se pueden realizar variaciones y modificaciones en dichas realizaciones, dibujos y ejemplos sin salirse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un intercambiador de calor de placas y aletas, en el que el intercambiador de calor de placas y aletas es un hervidor de flujo descendente o un desflemador, que comprende:
- 5 una primera lámina de separación (40);
 una segunda lámina de separación (42) adyacente y sustancialmente paralela a la primera lámina de separación (40); y
 al menos una aleta (28) verticalmente ondulada que se extiende entre la primera lámina de separación (40) y la segunda lámina de separación (42),
 10 definiendo dichas láminas de separación (40, 42) y dicha aleta (28) unos pasos verticales en dicho intercambiador, **caracterizado por que** dicha aleta (28) tiene una superficie texturada para obtener una textura superficial (50) en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas formadas o aplicadas en, al menos, una superficie de la aleta,
 15 en el que: al menos una parte de la textura superficial (50) tiene la forma de estrías horizontales, o al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada con un ángulo (α) con relación a una posición horizontal,
 en el que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 75° .
2. El intercambiador de placas y aletas según la reivindicación 1, en el que el intercambiador de placas y aletas es un hervidor de flujo descendente que tiene un cuerpo generalmente paralelepípedo formado por un conjunto de pasos sustancialmente paralelos que se extienden de modo vertical adaptados para recibir un primer fluido introducido en un primer grupo de pasos y un segundo fluido introducido en un segundo grupo de pasos, alternando en posición los pasos en el segundo grupo de pasos con los pasos en el primer grupo de pasos, al menos un grupo de pasos que tienen una pluralidad de aletas onduladas (28) que se extienden entre láminas de separación (40, 42) vecinas y que tienen una textura superficial (50) en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas en, al menos, una de sus superficies.
3. El hervidor de flujo descendente según la reivindicación 2, en el que el primer grupo de pasos tienen aletas de difícil recorrido para la distribución de fluido del primer fluido y aletas de transmisión de calor onduladas de fácil recorrido, aguas abajo de las aletas de difícil recorrido y que se extienden entre láminas de separación vecinas, formando las aletas de transmisión de calor una o más secciones de transmisión de calor con área superficial progresivamente decreciente, teniendo al menos una aleta de transmisión de calor, en una primera sección de transmisión de calor, una textura superficial (50) en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas en, al menos, una de sus superficies.
4. El hervidor de flujo descendente según la reivindicación 2, en el que el segundo grupo de pasos tienen aletas de distribución de entrada y salida para un flujo uniforme del segundo fluido hacia dentro y hacia fuera del segundo grupo de pasos y aletas de transmisión de calor onduladas que forman, al menos, una sección de transmisión de calor entre las aletas de distribución de entrada y salida y que se extienden entre láminas de separación vecinas, teniendo al menos una aleta de transmisión de calor, en dicha al menos una sección de transmisión de calor, una textura superficial (50) en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas en, al menos, una de sus superficies.
5. El intercambiador de placas y aletas según la reivindicación 1, en el que el intercambiador de placas y aletas es un desflemador que comprende un cuerpo paralelepípedo que incluye un conjunto de una pluralidad de láminas de separación sustancialmente paralelas y una pluralidad de aletas onduladas que se extienden entre láminas de separación adyacentes, teniendo al menos una de dichas aletas una superficie texturada en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas.
6. El intercambiador de placas y aletas según la reivindicación 1, en el que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 50° .
7. El intercambiador de placas y aletas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada de manera entrecruzada.
8. El intercambiador de placas y aletas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la textura superficial (50) tiene la forma de acanaladuras o ranuras con una longitud de onda (A) comprendida en un intervalo de 0,5 mm a 5 mm.
9. El intercambiador de placas y aletas según la reivindicación 8, en el que la longitud de onda (A) está comprendida en un intervalo de 1 mm a 3 mm.
10. El intercambiador de placas y aletas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la textura superficial tiene la forma de acanaladuras o ranuras con una amplitud pico (h) comprendida en un intervalo de 0,05 mm a 0,75 mm.

11. El intercambiador de placas y aletas según la reivindicación 10, en el que la amplitud (h) está comprendida en un intervalo de 0,15 mm a 0,50 mm.
- 5 12. El intercambiador de placas y aletas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleta que tiene la superficie texturada (50) está perforada.
13. Una unidad de separación de aire criogénico que tiene un intercambiador de placas y aletas para su uso en el tratamiento de corrientes de dos fases, comprendiendo dicho intercambiador:
- 10 una primera lámina de separación (40);
una segunda lámina de separación (42) adyacente y sustancialmente paralela a la primera lámina de separación (40); y
al menos una aleta (28) verticalmente ondulada que se extiende entre la primera lámina de separación (40) y la segunda lámina de separación (42),
15 definiendo dichas láminas de separación (40, 42) y dicha aleta (28) pasos verticales en dicho intercambiador, **caracterizada por que** dicha aleta (28) tiene una superficie texturada para obtener una textura superficial (50) en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas formadas o aplicadas en, al menos, una superficie de la aleta, en la que: al menos una parte de la textura superficial (50) tiene la forma de estrías horizontales, o al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada con un ángulo (α) con relación a una posición horizontal, en la que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 75° .
- 20 14. La unidad de separación de aire criogénico según la reivindicación 13, en la que el intercambiador de placas y aletas es como está definido en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
- 25 15. La unidad de separación de aire criogénico según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en la que el intercambiador de placas y aletas es un hervidor de flujo descendente para recibir una corriente que contiene oxígeno líquido y un flujo paralelo de una corriente que contiene nitrógeno y/o que contiene argón.
- 30 16. Un método para efectuar un intercambio de calor indirecto de una pluralidad de corrientes de fluido en un intercambiador de calor de placas y aletas que tiene un primer grupo de pasos verticales que transportan una primera corriente de fluido, que es de dos fases en, al menos, una parte de dichos pasos, teniendo dicha parte una pluralidad de aletas (28) onduladas verticalmente dispuestas en su interior, con al menos una de las aletas que se extiende entre láminas de separación (40, 42) vecinas sustancialmente paralelas, **caracterizado por que** dicha al menos una aleta tiene una superficie texturada en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas formadas o aplicadas en, al menos, una superficie, en el que: al menos una parte de la textura superficial (50) tiene la forma de estrías horizontales, o al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada con un ángulo (α) con relación a una posición horizontal, en el que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 75° .
- 35 17. El método según la reivindicación 16, en el que al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada de manera entrecruzada, o en el que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 50° .
- 40 18. El método según la reivindicación 16, en el que la textura superficial (50) tiene la forma de acanaladuras o ranuras con una longitud de onda (A) comprendida en el intervalo de 0,5 mm a 5 mm y preferiblemente en el que la longitud de onda (A) está comprendida en un intervalo de 1 mm a 3 mm.
- 45 19. El método según la reivindicación 16, en el que la textura superficial tiene la forma de acanaladuras o ranuras que tienen una amplitud pico (h) comprendida en el intervalo de 0,05 mm a 0,75 mm y preferiblemente en el que la amplitud (h) está comprendida en un intervalo de 0,15 mm a 0,50 mm, o en el que la aleta que tiene la superficie texturada está perforada.
- 50 20. El uso de una textura superficial (50) en forma de acanaladuras o ranuras ininterrumpidas, en el que: al menos una parte de la textura superficial (50) tiene la forma de estrías horizontales, o al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada con un ángulo (α) con relación a una posición horizontal, en el que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 75° , en un intercambiador de placas y aletas, teniendo el intercambiador de placas y aletas un primer grupo de pasos verticales que transportan una primera corriente de fluido, que es de dos fases en, al menos, una parte de dichos pasos, teniendo dicha parte una pluralidad de aletas (28) onduladas verticalmente dispuestas en su interior, con al menos una de las aletas que se extiende entre láminas de separación (40, 42) vecinas sustancialmente paralelas, estando dicha textura superficial formada o aplicada en la superficie de, al menos, una de dichas aletas onduladas verticalmente para mejorar el comportamiento del intercambiador.
- 55 21. El uso según la reivindicación 20, en el que la mejora es en la transmisión de calor, o en el que la mejora es en el comportamiento de humectación o en el que la mejora es en la tendencia a atascarse.
- 60 22. El uso según la reivindicación 21, en el que al menos una parte de la textura superficial (50) está aplicada de manera entrecruzada, o en el que el ángulo (α) es mayor que 0° y menor que 50° , o en el que la textura superficial (50) tiene la forma de acanaladuras o ranuras con una longitud de onda (A) comprendida en el intervalo de 0,5 mm a
- 65

ES 2 566 563 T3

5 mm y preferiblemente en el que la longitud de onda (λ) está comprendida en un intervalo de 1 mm a 3 mm, o en el que la textura superficial tiene la forma de acanaladuras o ranuras con una amplitud pico (h) comprendida en el intervalo de 0,05 mm a 0,75 mm y preferiblemente en el que la amplitud (h) está comprendida en un intervalo de 0,15 mm a 0,50 mm, o en el que la aleta que tiene la superficie texturada está perforada.

5

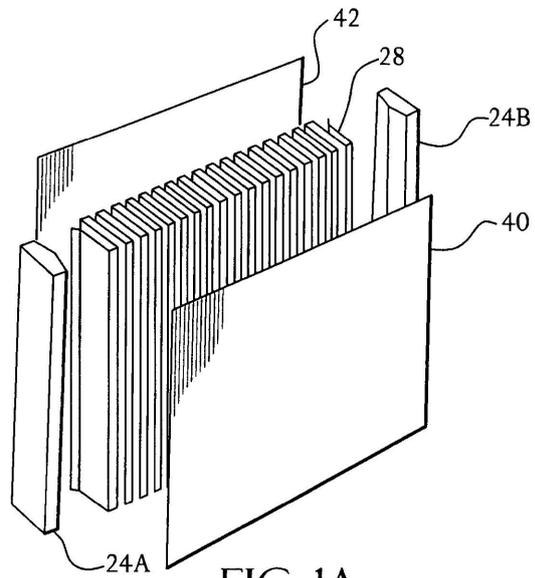


FIG. 1A

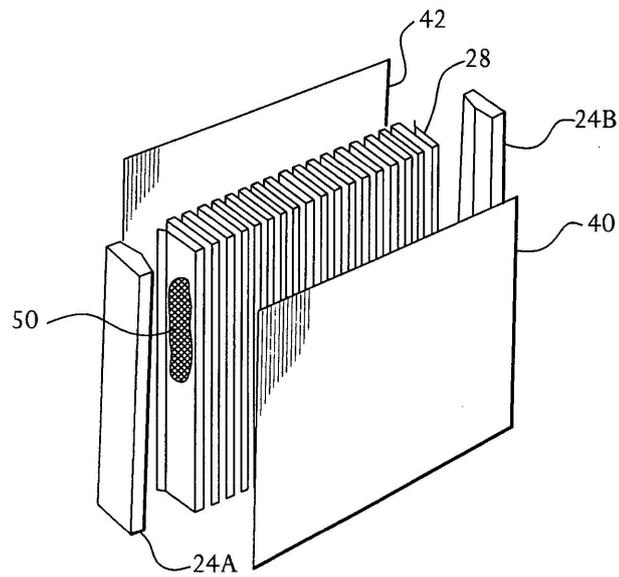


FIG. 1B

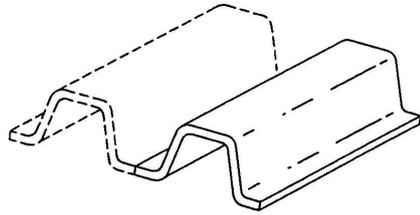


FIG. 2A

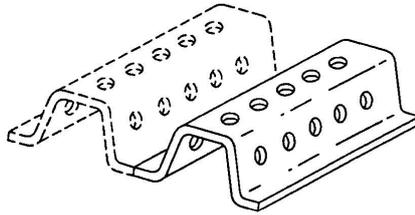


FIG. 2B

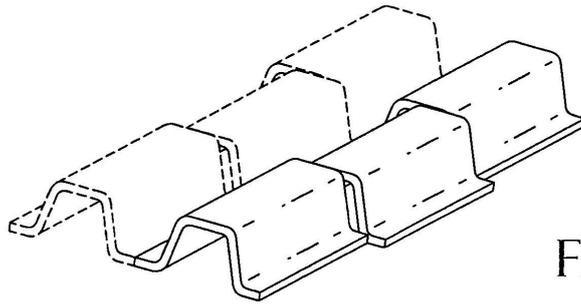


FIG. 2C

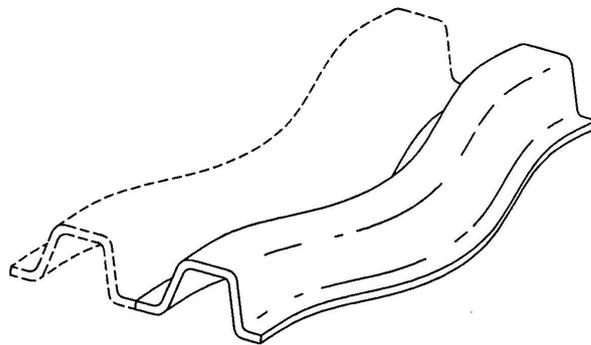


FIG. 2D

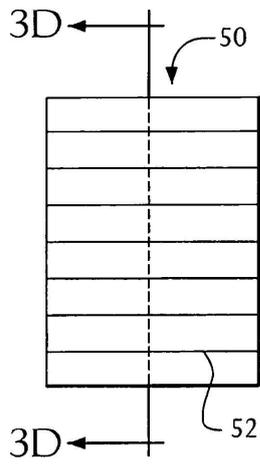


FIG. 3A

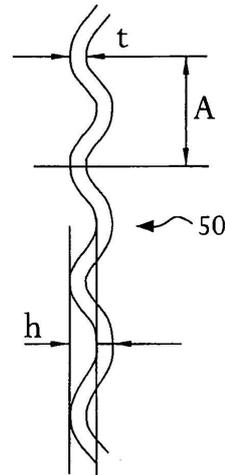


FIG. 3D

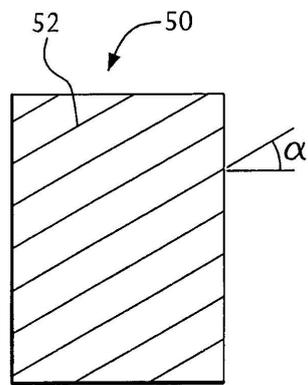


FIG. 3B

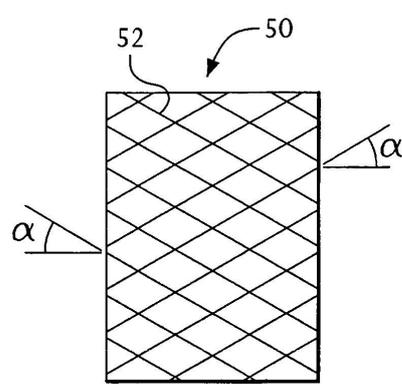


FIG. 3C

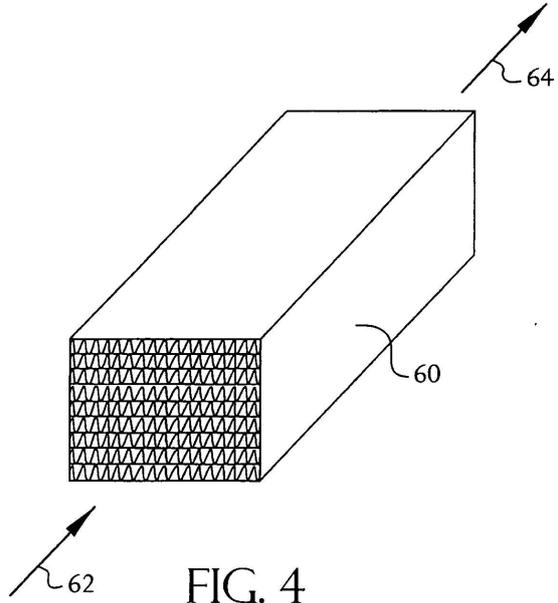


FIG. 4

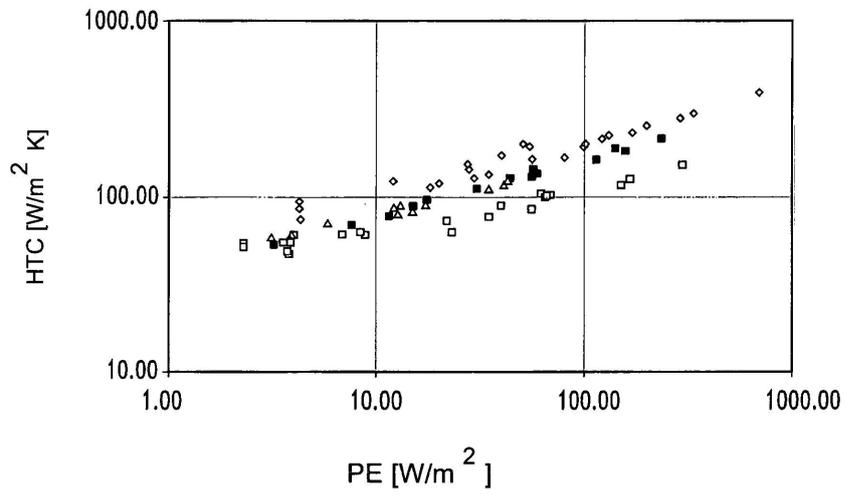


FIG. 5

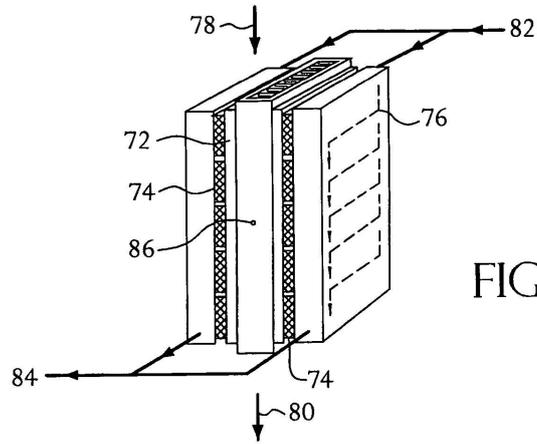


FIG. 6

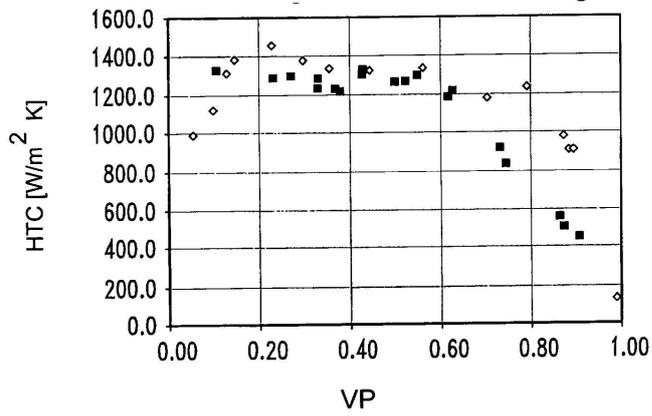


FIG. 7

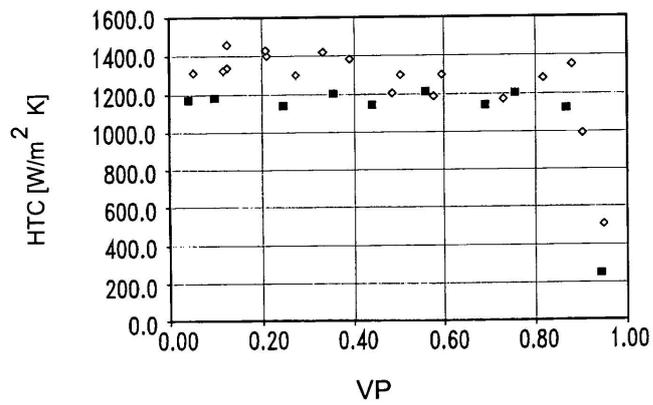


FIG. 8

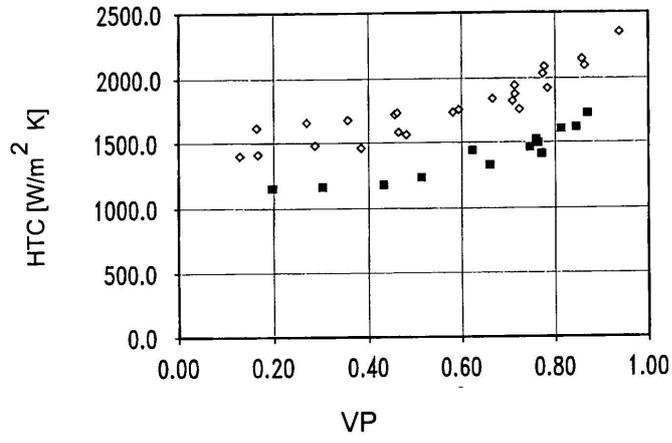


FIG. 9

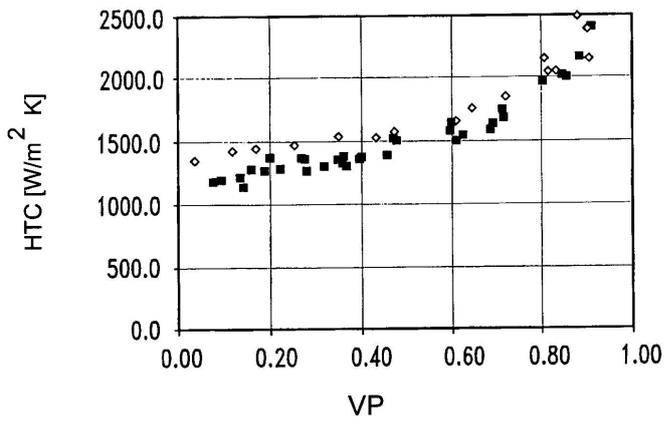


FIG. 10

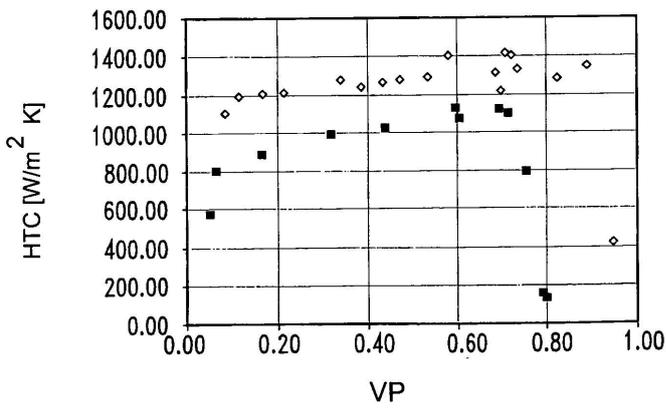


FIG. 11

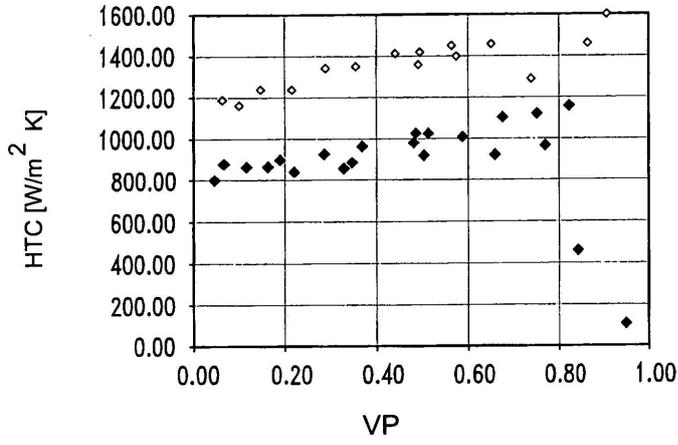


FIG. 12

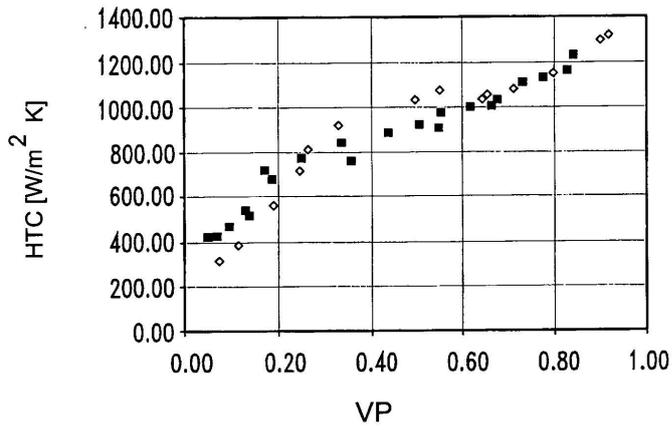


FIG. 13

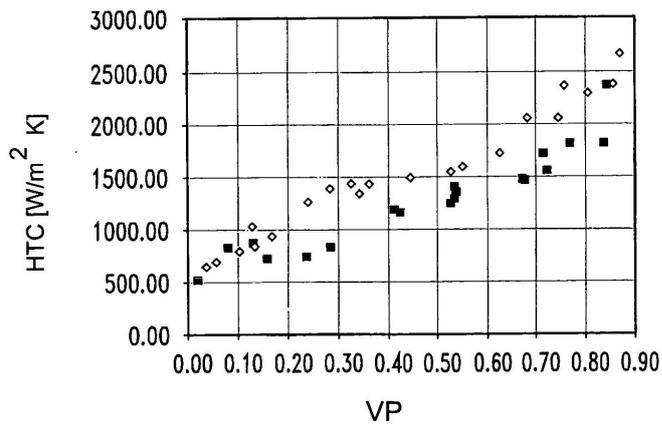


FIG. 14