



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 268 454**

51 Int. Cl.:
F28F 1/40 (2006.01)
F28F 13/18 (2006.01)
F28F 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03780029 .9**
86 Fecha de presentación : **22.11.2003**
87 Número de publicación de la solicitud: **1567818**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **31.08.2005**

54

Título: **Dispositivo para prolongar el tiempo de servicio de un intercambiador de calor de haces tubulares en instalaciones UHT de calentamiento indirecto para alimentos.**

30

Prioridad: **02.12.2002 DE 102 56 232**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2007

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2007

73

Titular/es: **Tuchenhagen Dairy Systems GmbH**
Voss Strasse 11-13
31157 Sarstedt, DE

72

Inventor/es: **Schwenzow, Uwe;**
Tacke, Ludger y
Buss, Helmut

74

Agente: **Gil Vega, Víctor**

ES 2 268 454 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

Dispositivo para prolongar el tiempo de servicio de un intercambiador de calor de haces tubulares en instalaciones UHT de calentamiento indirecto para alimentos.

Campo técnico

La invención se refiere a un dispositivo para prolongar el tiempo de servicio de un intercambiador de calor de haces tubulares en instalaciones UHT de calentamiento indirecto para alimentos, en particular para leche o productos lácteos, según el preámbulo de la reivindicación 1.

Estado actual de la técnica

Por procedimiento UHT (UHT: *Ultra High Temperature*) de calentamiento indirecto de un producto por intercambio térmico a través de un medio portador de calor en una pared se entiende un tratamiento térmico del producto, también llamado calentamiento aséptico, gracias al cual se eliminan prácticamente todos los microorganismos, como mínimo todos los microorganismos que provocan el deterioro del producto, que se hayan podido desarrollar durante la fase de almacenamiento del producto a temperatura ambiente. Por consiguiente, se eliminan todos los microorganismos excepto algunas esporas resistentes al calor que eventualmente sobreviven al proceso de calentamiento. No obstante, éstas no se desarrollan por encima de un valor crítico durante la fase de almacenamiento a temperatura ambiente normal. El calentamiento indirecto del producto a través de un intercambio térmico en una pared se puede llevar a cabo tanto con las denominadas instalaciones intercambiadoras de calor de placas como con los llamados intercambiadores de calor de haces tubulares, como es el presente caso. A continuación se describe la problemática habitual en el caso de la leche o de productos lácteos con viscosidades cinemáticas ν aproximadamente iguales, ya que éstos casos representan un campo de aplicación esencial de las instalaciones UHT del tipo indicado.

Una instalación de calentamiento UHT de calentamiento indirecto del producto incluye, en primer lugar, un precalentador para calentar el producto. Después, en esta instalación de calentamiento UHT indirecto, en la mayoría de los casos la leche se conduce a través del denominado homogeneizador. A continuación sigue otro intercambio de calor; el proceso conocido como mantenimiento de calor previo para la estabilización de las proteínas lácteas para el posterior proceso de calentamiento de la misma; a continuación un calentamiento UHT propiamente dicho con mantenimiento de calor; posteriormente el enfriamiento con intercambio térmico con la leche de entrada y, en caso necesario, un enfriamiento posterior. Dependiendo de la tecnología empleada en cada caso, la homogeneización puede realizarse antes o después del calentamiento UHT. Como medio portador de calor se utiliza agua, que fluye en un circuito y que, según el desarrollo temperatura-tiempo, al avanzar la leche a temperatura superior calienta la leche en contracorriente y, en el retorno de la leche, enfría la misma también en contracorriente. Este intercambio de calor se produce de forma regenerativa, pudiendo recuperarse hasta un 90% de la energía empleada. El calentador UHT está excluido de este intercambio térmico regenerativo y el calentamiento restante necesario se lleva a cabo mediante calentamiento indirecto con vapor con desvío del circuito de agua (Principio *FINNAH*, Ahaus; *H. KESSLER*, Molkereiverfahrenstechnik, 3ª edición, 1988).

Una instalación de calentamiento UHT indirecto frecuentemente utilizada con éxito en la práctica lleva a cabo tanto el intercambio de calor regenerativo como el intercambio de calor no regenerativo en el calentador UHT mediante los llamados intercambiadores térmicos de haces tubulares (DE-U-94 03 913; Principio *Tuchenhausen Dairy Systems GmbH*, Ahaus), en los que están previstos tubos interiores conectados en paralelo por los que fluye la leche, mientras que el medio portador de calor, generalmente agua o vapor, fluye en contracorriente por el intersticio anular (canal exterior) del tubo envolvente (envolvente exterior) que rodea los tubos interiores conectados en paralelo. Para conservar el calor se utiliza generalmente un sistema de un solo tubo sin intercambio térmico.

En el calentamiento de alimentos en general, y en este caso de la leche en particular, surge el problema que se puede describir con la expresión "formación de precipitado de producto". En el caso de la leche, la formación de un precipitado se debe principalmente a las proteínas lácteas y a las sales minerales. Es sabido que a medida que aumenta la temperatura del producto también aumenta la velocidad de precipitación de las proteínas, es decir, un aumento de temperatura aumenta fuertemente la velocidad de reacción. También es sabido que mediante un conservador de calor preconectado a una temperatura de 90 a 95 grados Celsius se produce menos precipitado en el calentador postconectado a una temperatura máxima de 142 grados Celsius, lo que es atribuible a la desnaturalización de las proteínas de la leche y a la degradación de la sobresaturación de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ por formación de gérmenes cristalinos en el conservador de calor. El pH de la leche también influye en la formación de precipitado, además de la composición, es decir, la carga básica, entre otras cosas con gérmenes. Cuando se reduce el valor pH = 6,68 a 6,62 ya se puede predecir un fuerte aumento de la sedimentación.

La velocidad de flujo del producto, leche o un producto lácteo, también influye de forma decisiva en la precipitación del producto, ya que el proceso de sedimentación debido a la formación del precipitado se ve superada por la erosión debida a fuerzas de cizallamiento en el área de la capa límite de la corriente de la pared tubular interior. Este último efecto se aprovecha en especial medida en las instalaciones de calentamiento UHT con intercambiadores de calor de haces tubulares en comparación con los intercambiadores de calor de placas, dado que, por circunstancias constructivas, la velocidad de la corriente en los tubos interiores es relativamente alta, con lo que se obtiene un índice Reynold relativamente alto, que igualmente influye en la capa límite de la corriente y que disminuye el tiempo de

ES 2 268 454 T3

permanencia de los contenidos lácteos. El índice Reynold Re es un parámetro adimensional que caracteriza el estado de la corriente (grado de laminaridad o turbulencia). Se calcula a partir de la velocidad de corriente media v en el tubo interior, el diámetro interior hidráulico (equivalente) d_{hidr} del mismo y la viscosidad cinemática ν del producto de acuerdo con la relación $Re = v d_{hidr} / \nu$. Los intercambiadores de calor de haces tubulares conocidos de las instalaciones de calentamiento UHT del tipo en cuestión funcionan actualmente para leche o productos lácteos con índices Reynold Re entre 15.000 y 30.000. Por ejemplo, con un tubo de $\phi 14 \times 1$ y una viscosidad cinemática $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ en el caso de la leche, resulta una velocidad de corriente media v en el tubo interior $v = 1,25$ a $2,5 \text{ m/s}$.

Debido a la gran influencia de la temperatura del producto anteriormente indicada en la velocidad de formación de precipitado, el calentador UHT y el conservador de calor UHT constituyen la zona crítica de una instalación de calentamiento UHT en lo que respecta al problema de la formación de precipitado. Es evidente que la precipitación del producto por una parte empeora el intercambio de calor en los tubos interiores, es decir, reduce considerablemente el coeficiente de transmisión térmica k y, por otra parte, la formación de precipitado aumenta claramente la pérdida de presión Δp_v en los tubos interiores, que es inversamente proporcional a la quinta potencia del diámetro interior del tubo D_i . El deterioro de la transmisión térmica hace que finalmente ya no se puedan transmitir las corrientes de calor necesarias para asegurar una temperatura suficiente que elimine los microorganismos y que además se produzca una pérdida de presión Δp_v , que, en un caso límite, puede ser muy superior a la pérdida de presión inicial. Se produce un fallo de funcionamiento en forma de una interrupción de la producción. La instalación de calentamiento UHT ya no puede seguir en servicio.

Bajo condiciones favorables se pueden lograr tiempos de funcionamiento, que también se pueden caracterizar con la expresión "períodos de servicio" de la instalación de calentamiento UHT de hasta 20 horas sin interrupción hasta su limpieza. Después se ha de interrumpir la producción y la instalación se ha de limpiar y, en caso dado, esterilizar de nuevo. Para ello se aplica, por una parte, la denominada limpieza intermedia estéril, que se lleva a cabo por ejemplo durante 1,5 horas a altas temperaturas. Una segunda posibilidad consiste en realizar la denominada limpieza principal, que dura aproximadamente dos horas, para esterilizar a continuación de nuevo toda la instalación durante un período de aproximadamente una hora.

Independientemente del procedimiento de limpieza correspondiente, la eliminación de los sedimentos y el nuevo establecimiento de condiciones asépticas representan una interrupción del servicio, lo que constituye un considerable factor de coste tanto por la interrupción de la producción como por el propio procedimiento de limpieza. Por consiguiente, en la práctica de la tecnología de calentamiento a temperatura ultraelevada, la prolongación del período de servicio es un objetivo prioritario para reducir los costes de producción. Un punto de partida esencial para prolongar el período de servicio consiste en reducir la velocidad de formación del precipitado. Para ello básicamente se busca una desnaturalización lo más completa posible de las proteínas potencialmente formadoras de precipitado aplicando las medidas constructivas correspondientes. Si se han agotado las posibilidades de reducción en el área de la conservación de precalentamiento de la leche, la atención se ha de fijar en otra reducción en el área de los intercambiadores de calor de haces tubulares en las zonas de alta temperatura correspondientes de la instalación de calentamiento UHT.

Por otra parte, el tiempo de limpieza y esterilización constituye aproximadamente del 10 al 15% del período de servicio, de modo que a este respecto también existe el deseo y la necesidad de reducir este tiempo de forma absoluta y no sólo de forma relativa con respecto a un período de servicio prolongado. Para la limpieza, en particular si se utilizan productos químicos, se ha de tener en cuenta que los gérmenes de los fondos topográficos (profundidad de rugosidades), en especial en caso de superficies laminadas, recocidas, decapadas químicamente y no tratadas después de forma mecánica, requieren tiempos de actuación correspondientemente más largos. Después, en referencia a las condiciones de higiene finales, se plantea el problema de que todas las sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas han de ser eliminadas por lavado de la superficie sin dejar residuos.

El documento DE 692 15 988 T3 da a conocer un tubo de transferencia de calor que se utiliza como tubo de evaporación y condensación en dispositivos tales como intercambiadores de calor y tuberías de calor y que presenta estructuras macrorrugosas en la superficie de su pared tubular interior, las cuales se extienden formando un ángulo con respecto a la dirección longitudinal del tubo de transferencia de calor. Estas estructuras macrorrugosas consisten en numerosas ranuras principales paralelas entre sí que se extienden formando tal ángulo, con una sección transversal trapezoidal y cuya profundidad oscila entre 0,15 y 0,35 mm. Por otra parte están previstas numerosas ranuras estrechas paralelas entre sí que se extienden en ángulo con respecto a la dirección longitudinal del tubo de transferencia de calor. Estas ranuras estrechas sólo se encuentran en determinadas zonas del tubo y cada una de ellas presenta una superficie de fondo y dos superficies laterales y está configurada dentro de las ranuras principales paralelamente con respecto a éstas. Las superficies laterales de dichas ranuras estrechas están muy inclinadas hacia la superficie de fondo, configurando cada una de las superficies laterales y la superficie de fondo una entalladura aguda en cada caso. Con el tubo de transferencia de calor conocido, cuando se utiliza como tubo de condensación, se logra un mayor rendimiento en la licuefacción intensificando las turbulencias de los vapores y también favoreciendo la formación del núcleo de cristalización para la fase líquida, lo cual viene provocado por el efecto de las irregularidades superficiales. Cuando el tubo de transferencia de calor se utiliza en evaporadores, los bordes de las ranuras han de actuar como puntos de formación de núcleos para burbujas. Los tubos de transferencia de calor de este tipo no son adecuados para utilizarlos en instalaciones UHT de calentamiento indirecto para alimentos, ya que sobre todo las ranuras estrechas favorecen la formación de precipitados de producto y, en consecuencia, reducen el período de servicio de las instalaciones UHT.

Además, en el documento DE 197 51 405 A1 se describe un tubo de transferencia de calor en el que la superficie de intercambio de calor en su lado orientado hacia el medio en circulación presenta zonas de diferente rugosidad superficial. Estas zonas están configuradas en forma de estrías y se extienden con un pequeño ángulo de inclinación con respecto a la dirección de la corriente principal del medio. Evidentemente, el funcionamiento de este tubo de transferencia de calor conocido depende por completo de las zonas estriadas de diferente rugosidad superficial dispuestas de forma alternante, ya que esta disposición produce, en la zona de transición entre el medio en circulación y la superficie de intercambio de calor, una distribución de velocidad de corriente tal que rompa la capa límite térmica. Dichas zonas apenas se pueden calificar de estructuras macrorrugosas relativamente grandes y, en lo que respecta a las diferentes rugosidades superficiales, dicho documento no da ninguna indicación sobre si éstas favorecerían o inhibirían la formación de precipitados de producto en calentadores UHT y/o en conservadores de calor UHT subordinados.

El objetivo de la invención consiste en proporcionar un dispositivo del tipo indicado con el que se prolongue significativamente el período de servicio de las instalaciones UHT y, como efecto adicional, se optimice el proceso de limpieza y se reduzca la frecuencia de esterilización.

Sumario de la invención

Este objetivo se resuelve mediante un dispositivo con las características indicadas en la reivindicación 1. Las subreivindicaciones indican formas de realización preferentes del dispositivo propuesto.

El dispositivo propuesto según la invención forma parte del denominado intercambiador de calor de haces tubulares, que generalmente consiste en numerosos haces tubulares, cada uno de los cuales presenta varios tubos interiores conectados en paralelo con una entrada común y una salida común para un producto a calentar. Cada grupo de tubos interiores está rodeado por una envolvente exterior, la cual está provista, cerca de sus extremos, de una tubuladura de conexión que, respectivamente, entra o sale de forma radial para un medio portador de calor que circula a través de un canal exterior, delimitado por la envolvente exterior frente a los tubos interiores, en contracorriente con respecto a la corriente de los tubos en un canal interior delimitado por los tubos interiores.

La solución según la invención hace uso de dos mecanismos. Uno de ellos consiste en el aumento de la turbulencia en la capa límite térmica e hidráulica de la corriente en el tubo interior. Esto se logra gracias a que cada tubo interior del calentador UHT y del conservador de calor UHT subordinado presenta, como mínimo en la superficie de su pared interior, estructuras macrorrugosas M_R orientadas con un ángulo de incidencia $35 \geq \alpha \geq 25$ grados con respecto al eje longitudinal del tubo interior. Esto provoca a su vez un intercambio transversa de impulsos turbulentos con respecto a la dirección de la corriente principal en la zona de la capa límite térmica y dinámica, lo que inhibe la formación de precipitados de producto. Estas estructuras macrorrugosas han de estar configuradas de tal modo que sobresalgan por encima de la capa inferior laminar de la capa límite y, de este modo, generen o favorezcan el intercambio de impulsos deseado. Además, estas estructuras macrorrugosas han de estar orientadas con respecto a la dirección de la corriente principal de los tubos de tal modo que no se favorezca la sedimentación de los precipitados de producto.

La invención también hace uso de un segundo mecanismo que depende de forma decisiva de la condición microscópica de la superficie de la pared interna del tubo interior. Aquí se propone que la superficie de la pared interior del tubo así estructurada esté tratada al completo con un procedimiento de pulido electroquímico, generándose una condición microsúperficial m_R que se distingue tanto estructural como energéticamente por una menor tendencia a la adherencia de sustancias extrañas. Sin embargo, en esencia no se trata de la característica estructural de la superficie determinada por el llamado valor de profundidad de rugosidad, por ejemplo la profundidad de rugosidad promedio R_z o el valor de rugosidad medio aritmético R_a (definición según DIN EN ISO 4287), ya que es una conclusión errónea querer definir la calidad de una superficie metálica indicando el valor de la profundidad en la rugosidad, pues de este modo sólo se indica una magnitud de comparación cuantitativa que no puede transmitir una idea real de la configuración y las demás condiciones de la superficie (a este respecto, véase G. HENKEL, A-4830 Waidhofen/Thaya; artículo nº 35, 2001, "Moderne Oberflächenbehandlung von hochwertigen Edelstahlrohren für den Wärmetauschereinsatz"; separata de PROCESS, año 8, marzo de 2001 "Der Schein trügt").

Prevenir la formación de depósitos sobre las superficies de acero fino, o como mínimo reducirlas o inhibirlas, lo cual constituye el objetivo prioritario de la presente invención con vistas a prolongar el período de servicio o a reducir el tiempo de limpieza y esterilización, está determinada esencialmente por las condiciones físicas superficiales. En este contexto son especialmente interesantes los mecanismos de unión microscópicos de los contaminantes a la superficie. Además de las fuerzas de Van der Waals, éstos consisten sobre todo en puentes de enlace y también en anclajes mecánicos.

Las realizaciones de superficies interiores sencillas de los tubos de acero fino estándar, como las producidas por ejemplo mediante estirado en frío o laminado y recocido y posterior decapado, pudiendo estas superficies además estar rectificadas mecánicamente en casos excepcionales, son relativamente activas ya que entre la superficie y el medio circulante, el producto, en especial en caso de una corriente turbulenta, en la capa límite calmada, vista desde un punto técnico la capa inferior laminar, se producen las llamadas reacciones químico-físicas de partículas del medio con las superficies de contacto. De este modo, sobre la superficie de acero fino se forma una capa de sedimento que crece en forma de puntos y que tiene el carácter de una capa intermedia o límite en la que se favorece el anclaje de las partículas y después se acumulan otras partículas del medio, con lo que finalmente se forman capas cerradas. En

ES 2 268 454 T3

el presente caso, en las instalaciones de calentamiento UHT se trata de la acumulación de sustancias formadoras de precipitados potenciales.

De acuerdo con la invención, se propone una condición microsuperficial m_R que modifica más la condición energética que la condición estructural de la superficie de acero fino correspondiente. Esto se logra mediante un pulido electroquímico eficiente (a este respecto, véase la publicación de la empresa *HENKEL* Beiz- und Elektropolier-technik, A-3830 Waidhofen/Thaya, “Die Oberfläche sichert den Wert des Bauteils”).

A continuación se ofrecen datos cuantitativos comparativos para demostrar la eficacia de la medida propuesta. Estos datos resultan de ensayos con tubos de acero fino con un tratamiento superficial del tipo arriba indicado. Tanto los tubos pulidos electroquímicamente como los no tratados de este modo habían sido rectificadas mecánicamente en su estado inicial. En los intercambiadores de calor de haces tubulares de las instalaciones UHT del tipo indicado, por motivos de costes generalmente se utilizan tubos de acero fino con cordón de soldadura longitudinal que, debido al cordón de soldadura axial continuo, se calibran adicionalmente por la parte interior pero, como ya se ha mencionado más arriba, no se rectifican adicionalmente de forma mecánica. Por consiguiente, los resultados de ensayo no se pueden trasladar sin más cuantitativamente a los tubos interiores de los intercambiadores de calor de haces tubulares, pero al menos evidencian el cambio cualitativo producido por el pulido electroquímico en la condición física superficial de la pared interior del tubo.

Por una parte, mediante el pulido electroquímico, la superficie de estos tubos se reviste con una capa pasiva continua consistente en una capa de óxido de cromo relativamente gruesa (> 2 nm frente a < 1 nm en el caso de la realización con rectificado previo pero sin pulido electroquímico). Por otra parte, a causa de la erosión por pulido electroquímico libre de carga, la superficie está libre de tensiones y presenta un nivel energético específico típico del material de 1,3 N/m (frente a aproximadamente 2,2 N/m en el caso del rectificado previo mecánico). La pasivación y la reducción del nivel energético dan como primer resultado una reducción de la tendencia a la adhesión de las sustancias extrañas; es decir, una reducción considerable de la tendencia a la formación de depósitos.

La erosión producida por el proceso de pulido electroquímico oscila entre aproximadamente 10 y 15 μm . Se ha comprobado y demostrado, por ejemplo gracias a ciertos estudios (*G. HENKEL*), que en este caso 1 cm^2 de superficie proyectada tiene aproximadamente de 2,5 a 4 cm^2 de superficie real (frente a los 12 a 14 cm^2 en el caso del rectificado previo mecánico). La condición microsuperficial estructural m_R también influye en la formación de precipitados de producto, pero apenas afecta al valor de rugosidad medio R_a , que en el estudio era $R_a = 0,2$ a $0,25 \mu\text{m}$ en el caso de la superficie pulida electroquímicamente y $R_a = 0,3$ a $0,5 \mu\text{m}$ en el caso de la superficie con rectificado previo mecánico. También es sabido que la tendencia a la formación de precipitados se inhibe cuando los fondos topográficos de una superficie, cuya cantidad se relaciona con la superficie real anteriormente mencionada, son como mínimo iguales, preferentemente más pequeños, que el tamaño representativo de las partículas que se depositan de forma no deseada. En el caso del calentamiento de la leche, los precipitados de producto consisten en proteínas con un tamaño de 1 a 2 μm , microorganismos $> 1,5 \mu\text{m}$ y azúcares y sales con un tamaño entre 0,7 y 0,8 μm .

Los tubos interiores de acero laminado con cordón de soldadura longitudinal y calibrado posterior, tales como los utilizados hasta ahora en los intercambiadores de calor de haces tubulares del tipo en cuestión, presentan por regla general valores de rugosidad medios $R_a \leq (0,7 \text{ a } 0,8) \mu\text{m}$ y en la zona del cordón de soldadura aproximadamente $R_a \leq 1,2 \mu\text{m}$.

En la siguiente tabla se describen estas circunstancias en un ejemplo de crecimiento de gérmenes sobre acero fino inoxidable 1.4301 en función del proceso de elaboración de la superficie y del tiempo:

TABLA

$\frac{t}{\text{min}}$	Cantidad de gérmenes		
	Decapado químico	Laminado y posterior rectificado Grano 400	Pulido electroquímico
20	10^4	$3 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
30	10^6	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$

El objetivo perseguido con la invención, es decir prolongar el período de servicio de las instalaciones de calentamiento UHT en cuestión y reducir el tiempo de limpieza y esterilización, se puede lograr ampliamente mediante la combinación de las dos medidas arriba descritas, cuya eficacia procede, por una parte, de las estructuras macrorrugosas M_R fuera de la capa inferior laminar y de la condición microsuperficial m_R esencialmente dentro de la capa inferior laminar de la capa límite de corriente en el tubo interior, por otra.

La eficacia de las medidas propuestas por la invención se puede comprobar cuantitativamente gracias al resultado obtenido en un ensayo práctico.

ES 2 268 454 T3

- Sin las medidas de la invención, a la salida de la leche del calentador UHT con siete tubos interiores $\phi 14 \times 1$ conectados en paralelo en cada caso, con una velocidad de corriente media en el tubo interior $v = 2,4$ m/s ($Re \approx 28.000$), después de 20 horas de servicio se establece una diferencia de temperatura entre el medio portador de calor y la leche $\Delta\theta = \theta_a - \theta_E = 12$ grados Celsius.

- Con las medidas de la invención, en dicho punto se alcanza una diferencia de temperatura $\Delta\theta = 7$ grados Celsius, manteniéndose por lo demás las mismas condiciones. Por consiguiente, en comparación con el tubo liso, el período de servicio se puede prolongar algunas horas más hasta alcanzar diferencias de temperatura comparables que requieran interrumpir el servicio de la instalación.

Además de las dos medidas según la invención anteriormente descritas, que determinan la condición estructural y física de la superficie de la pared interior de los tubos, también se propone que el dispositivo funcione con una corriente turbulenta en el tubo interior cuyo índice Reynold oscile entre $35.000 \leq Re \leq 45.000$. Este grado de turbulencia provoca un intercambio forzado de impulsos y fuerzas de cizallamiento en la zona cercana a la pared de la capa límite de corriente, con lo que se reduce aún más la tendencia a la formación de precipitados y, en consecuencia, aumenta en mayor medida el período de servicio del intercambiador de calor de haces tubulares. Por ejemplo, en caso de un tubo interior con $\phi 14 \times 1$ utilizado con leche ($\nu = 1 \cdot 10^6$ m²/s), esto significa que la velocidad de corriente media v en el tubo interior oscila entre $v = 2,9$ a $3,75$ m/s.

Mediante la técnica de transferencia de calor se sabe que la transmisión de calor se puede mejorar en comparación con los llamados tubos lisos gracias a un perfilado de la superficie interior y exterior del tubo, transmisoras de calor. Para ello, en la pared del tubo se practican entalladuras en forma de paso de rosca mediante técnicas de conformación, no siendo necesario ningún espesor adicional del material para producir estas estructuras macrorrugosas deseadas, como ocurre por ejemplo en el caso del conocido tubo de aletas. Esto significa que una entalladura practicada en la parte exterior no representa ninguna elevación en la parte interior. Los tubos de paredes finas así conformados se denominan tubos helicoidales (publicación de la empresa *hde Solutions GmbH*, Menden, DE, Drallrohr TURBO HELIX). Se ha comprobado que con un tubo helicoidal $\phi 14 \times 0,8$ mm y una profundidad de hélice $t = 0,75$ mm, un intercambio de calor entre agua y agua, una velocidad de corriente media de 1 m/s dentro y fuera y un ángulo de hélice $\delta = 45$ grados, el coeficiente de transmisión térmica k aumenta aproximadamente entre un 60 y un 65% en comparación con el tubo liso bajo condiciones comparables.

Sin embargo, este efecto ya conocido del aumento de la turbulencia en la capa límite térmica e hidráulica no se puede trasladar sin más cuantitativamente a la problemática de la formación de precipitados en el tubo interior de las instalaciones de calentamiento UHT. De forma imprevisible, el valor óptimo de la técnica térmica, que se encuentra en el ángulo de hélice anteriormente mencionado $\delta = 45$ grados, correspondiendo el ángulo de hélice al ángulo de paso del perfilado en forma de paso de rosca, no conduce a ninguna reducción de la formación de precipitados de producto en comparación con un tubo liso correspondiente. Más bien se ha comprobado que, a diferencia de los conocimientos actuales en el campo de la técnica de transferencia de calor, se ha de prever un ángulo de hélice de más o menos $\delta = 60$ grados, con el que se puede lograr una clara reducción de la velocidad de formación de precipitados en comparación con el tubo liso correspondiente. Un ángulo de hélice $\delta = 60$ grados significa que las estructuras macrorrugosas, en el presente caso las entalladuras en forma de paso de rosca, están orientadas con un ángulo de incidencia $\alpha = 30$ grados ($\alpha = 90$ grados - δ). También dan resultados adecuados ángulos de hélice en el intervalo $\delta = 60 \pm 5$ grados, es decir, ángulos de incidencia en el intervalo $\alpha = 30 \pm 5$ grados.

Puede resultar ventajoso dimensionar de forma específica para cada producto una profundidad de hélice t y una anchura de hélice b , que caracterizan en cada caso la configuración de la hélice en un tubo helicoidal. Para ello, la invención prevé que la configuración de hélice, que se puede preseleccionar de forma específica para cada producto, presente una profundidad de hélice t y una anchura de hélice b . En este contexto también se propone configurar el tubo helicoidal con paso simple con una altura de paso H_G .

Dado que un tubo helicoidal dimensionado con un ángulo de hélice según la invención de aproximadamente $\delta = 60$ grados sólo presenta en una parte de la superficie del tubo interior las estructuras macrorrugosas M_R deseadas, un perfeccionamiento de la invención prevé configurar el tubo helicoidal con paso múltiple con un número de pasos g y en cada caso una altura de paso H_G . De este modo es posible ocupar toda la superficie del tubo interior con las estructuras macrorrugosas deseadas. De acuerdo con otra forma de realización ventajosa, la ocupación completa de la superficie del tubo interior se logra cuando la anchura de hélice b corresponde a la altura de paso H_G dividida por el número de pasos g ($b = H_G/g$).

Como ya se ha indicado anteriormente, la zona crítica de una instalación de calentamiento UHT con respecto a la formación de precipitados de producto se encuentra en la zona del calentador y del conservador de calor UHT. No obstante, también se producen formaciones de precipitados de producto en otras zonas de la instalación de calentamiento UHT. Para prolongar el período de servicio y reducir el gasto de limpieza también en estas zonas, se propone que los tubos interiores de los intercambiadores de calor de haces tubulares de la instalación UHT preconnectados y postconnectados al calentador UHT y al conservador de calor UHT, siempre que funcionen en un intervalo de temperaturas por encima de 100 grados Celsius, también estén provistos de las estructuras macrorrugosas M_R y de la condición microsuperficial m_R según la invención.

ES 2 268 454 T3

Breve descripción de las figuras

Las figuras representan ejemplos de realización del dispositivo según la invención, que se describen más abajo. En las figuras:

5

Figura 1: muestra una sección central a través del llamado haz tubular como elemento modular de un intercambiador de calor de haces tubulares en cuyos tubos interiores se aplican las medidas según la invención;

10

Figura 2: muestra una vista de un detalle de un tubo interior configurado como un tubo helicoidal de cinco pasos, tal como se utiliza en el haz tubular según la Figura 1;

Figura 3: muestra una representación ampliada de una sección central a través del tubo helicoidal según la Figura 2 correspondiente a la zona de un detalle "X" señalado en la misma;

15

Figura 4: muestra una vista de un detalle de un tubo interior configurado como un tubo helicoidal de un solo paso, que por lo demás presenta las mismas relaciones de dimensión que el de la Figura 2; y

20

Figura 5: muestra una vista de un detalle de un tubo helicoidal en una tercera forma de realización, en la que la hélice está configurada en cruz con un ángulo de hélice $\delta = 60$ grados en cada caso.

Números de referencia de las abreviaturas utilizadas

	1	Haz tubular
25	2	Envolvente exterior
	2'	Canal exterior
	2a	Brida de envolvente exterior del lado del cojinete fijo
30	2b	Brida de envolvente exterior del lado del cojinete libre
	3; 3*	Tubo interior
35	3'	Canal interior
	3a	Pared interior del tubo
	3*	Tubo helicoidal
40	3a*	Configuración de hélice
	4.1	Primera carcasa
45	4a	Primera tubuladura de conexión
	4a*	Primer canal transversal
	4.2	Segunda carcasa
50	4b	Segunda tubuladura de conexión
	4b*	Segundo canal transversal
55	5	Brida de intercambiador del lado del cojinete fijo
	5a	Primera abertura de conexión
	5b	Primera transición cónica
60	5c	Primera sección transversal de paso ampliada
	6	Brida de intercambiador del lado del cojinete libre
65	7	Placa portatubos del lado del cojinete fijo (placa especular de tubos)
	8	Placa portatubos del lado del cojinete libre (placa especular de tubo)

ES 2 268 454 T3

8a	Segunda abertura de conexión
8b	Segunda transición cónica
5 8c	Segunda sección transversal de paso ampliada
8d	Tubuladura de conexión del lado del cojinete libre
9	Junta plana
10 10	Junta tórica
11	Codo de conexión
15 b	Anchura de hélice
c	Velocidad de corriente en la envolvente exterior (canal exterior)
d_{hidr}	Diámetro interior hidráulico (equivalente) del tubo interior
20 g	Número de pasos
k	Coefficiente de transmisión térmica
25 m_R	Condición microsuperficial
Δp_v	Pérdida de presión
t	Profundidad de hélice
30 v	Velocidad de corriente media en el tubo interior (canal interior)
A	Salida
A_0	Sección transversal de paso nominal
35 E	Entrada
D_a	Diámetro exterior de tubo
40 D_i	Diámetro interior de tubo
DN	Diámetro nominal
H_G	Altura de paso
45 M_R	Estructuras macrorrugosas
P	Producto (en el lado del tratamiento térmico)
50 R_a	Valor de rugosidad medio
R_z	Profundidad de rugosidad
Re	Índice Reynold de la corriente en el tubo interior ($Re = d_{\text{hidr}} v/\nu$)
55 W	Medio portador de calor
α	Ángulo de incidencia ($\alpha = 90 - \delta$)
60 δ	Ángulo de hélice ($\delta = 90 - \alpha$)
ν	Viscosidad cinemática del producto
ϑ_a	Temperatura de salida del medio portador de calor
65 ϑ_E	Temperatura de entrada del producto
$\Delta\vartheta = \vartheta_a - \vartheta_E$	Diferencia de temperatura en la entrada de producto

Descripción detallada

Un haz tubular 1 (Figura 1; véase también DE-U-94 03 913) en su parte central consiste en una envolvente exterior 2 que delimita un canal exterior 2', con una brida de envolvente exterior del lado del cojinete fijo 2a, dispuesta en la parte izquierda en la posición representada y una brida de envolvente exterior del lado del cojinete libre 2b dispuesta en la parte derecha. Esta última está unida a un primer canal transversal 4a* con una primera tubuladura de conexión 4a delimitado por una primera carcasa 4.1 y la brida de envolvente exterior del lado del cojinete fijo 2a está unida a un segundo canal transversal 4b* con una segunda tubuladura de conexión 4b delimitado por una segunda carcasa 4.2. Un número de tubos interiores 3, 3*, que se extienden a través del canal exterior 2' con sus ejes paralelos a la envolvente exterior 2 y que configuran conjuntamente un canal interior 3', que comienzan siendo cuatro y después aumentan hasta diecinueve o más, se apoyan todos sobre una placa portatubos del lado del cojinete fijo 7 o sobre una placa portatubos del lado del cojinete libre 8 (designadas ambas como placa especular de tubos) y están soldados con éstas por su diámetro exterior de tubo D_a . Esta disposición general está introducida en la envolvente exterior 2 a través de una abertura no indicada en detalle en la segunda carcasa 4.2, y está fijada a la segunda carcasa 4.2 a través de una brida de intercambiador del lado del cojinete fijo 5 con interposición de una junta plana 9 en cada caso (cojinete fijo 5, 7, 4.2).

Las dos carcasas 4.1, 4.2 también están hermetizadas con una junta plana 9 con respecto a la brida de envolvente exterior 2b, 2a adyacente en cada caso, y la primera carcasa 4.1 dispuesta en la parte derecha junto con la envolvente exterior 2 está apretada contra el cojinete fijo 5, 7, 4.2 dispuesto a la izquierda a través de una brida de intercambiador del lado del cojinete libre 6 con interposición de una junta tórica 10. La placa portatubos del lado del cojinete libre 8 pasa a través de un orificio no indicado en detalle en la brida de intercambiador del lado del cojinete libre 6 y está hermetizada con respecto a ésta mediante la junta tórica 10 sometida a esfuerzos dinámicos, que también hermetiza estáticamente la primera carcasa 4.1 con respecto a la brida de intercambiador del lado del cojinete libre 6. Esta última y la placa portatubos del lado del cojinete libre 8 configuran el llamado cojinete libre 6, 8, que permite variar la longitud de los tubos interiores 3, 3* soldados en la placa portatubos del lado del cojinete libre 8 según las variaciones de temperatura en las dos direcciones axiales.

Dependiendo de la disposición del haz tubular 1 correspondiente en el intercambiador de calor de haces tubulares y su modo de conexión correspondiente, un producto P a calentar puede circular a través de los tubos interiores 3, 3* de izquierda a derecha o viceversa, con respecto a la posición representada, estando designada la velocidad de corriente media en el tubo interior 3, 3*, y por consiguiente en el canal interior 2', con el símbolo v . El dimensionado de la sección transversal se realiza generalmente de tal modo que esta velocidad de corriente media v también se cumpla en un codo de conexión 11, que por un lado está unido con la brida del intercambiador del lado del cojinete fijo 5 y por el otro está unido de forma indirecta con una tubuladura de conexión del lado del cojinete libre 8d, unida a su vez a la placa portatubos del lado del cojinete libre 8. El haz tubular 1 en cuestión está conectado en serie con un haz tubular adyacente a través de los dos codos de conexión 11. Por ello, la brida del intercambiador del lado del cojinete fijo 5 configura una entrada E para el producto P y la tubuladura de conexión del lado del cojinete libre 8d incluye una salida A correspondiente; en los haces tubulares adyacentes en cada caso, estas entradas y salidas se invierten correspondientemente. La brida del intercambiador del lado del cojinete fijo 5 presenta una primera abertura de conexión 5a que por una parte corresponde a un diámetro nominal DN y, con ello, a una sección transversal de paso nominal A_0 del codo de conexión 11 conectado con ella y que, por otra parte, está dimensionada de tal modo que en ella se produzca la velocidad de corriente correspondiente a la velocidad de corriente media v en el tubo interior 3, 3* o el canal interior 3'. Una segunda abertura de conexión 8a en la tubuladura de conexión del lado del cojinete libre 8d está dimensionada del mismo modo, y el tamaño de la abertura de conexión 5a u 8a correspondiente aumenta a través de una transición cónica 5b u 8b hasta alcanzar una sección transversal de paso ampliada 5c u 8c en la zona hacia la placa portatubos 7 u 8 adyacente.

Se ha comprobado que resulta conveniente aumentar la velocidad de corriente media v en el tubo interior 3, 3*, con respecto a las recomendaciones de dimensionado existentes hasta ahora ($15.000 \leq Re \leq 30.000$), hasta tal punto que en dicho lugar se produzca una corriente turbulenta con un índice Reynold Re , calculado con el diámetro interior del tubo $D_i = d_{\text{hidr}}$ (véase también la Figura 2), en el intervalo entre $35.000 \leq Re \leq 45.000$.

Dependiendo de la dirección de la velocidad de corriente v en el tubo interior 3, 3*, el producto P a tratar fluye hacia el haz tubular 1 a través de la primera abertura de conexión 5a o de la segunda abertura de conexión 8a, de modo que la corriente fluye contra la placa portatubos del lado del cojinete fijo 7 o contra la placa portatubos del lado del cojinete libre 8. En cualquier caso, dado que se ha de producir un intercambio de calor en contracorriente entre el producto P en los tubos interiores 3, 3* y un medio portador de calor W en la envolvente exterior 2, dicho medio portador de calor W fluye hacia la primera tubuladura de conexión 4a o hacia la segunda abertura de conexión 4b con una velocidad de corriente c . Si el producto P fluye hacia el haz tubular 1 a través de la primera abertura de conexión 5a, el producto presenta una temperatura de entrada ϑ_E . Correspondientemente, el medio portador de calor W sale de la envolvente exterior 2 en contracorriente a través de la segunda tubuladura de conexión 4b con una temperatura de salida de medio portador de calor ϑ_A . En la práctica, la diferencia de temperatura entre la entrada de producto en la zona segunda tubuladura de conexión 4b $\Delta\vartheta = \vartheta_a - \vartheta_E$, junto con la pérdida de presión Δp_v en los tubos interiores 3, 3* anteriormente mencionada, constituye un indicador fiable del grado de formación de precipitados de producto en los tubos interiores 3, 3*.

ES 2 268 454 T3

El dispositivo propuesto según la invención se refleja en la configuración de la superficie de la pared interior 3a de los tubos interiores 3, 3* correspondientes, estando configurado en cada caso el tubo interior 3, 3* en cuestión, que presenta el diámetro exterior de tubo D_a , en forma de un tubo helicoidal 3* (véanse también las Figuras 2 a 5).

5 Un tubo helicoidal de cinco pasos 3* ($g = 5$; Figura 2) con el diámetro exterior de tubo D_a y el diámetro interior de tubo D_i presenta un ángulo de hélice δ (ángulo de inclinación del perfilado en forma de paso de rosca), establecido entre 55 y 65 grados. La llamada configuración de hélice 3a*, que está definida por una profundidad de hélice t y una anchura de hélice b (Figura 3), constituye la estructura macrorrugosa M_R deseada que sobresale de la capa inferior laminar de la capa límite dentro de la corriente en el tubo interior 3, 3* y provoca el aumento de turbulencia y el intercambio de impulsos deseado. En la Figura 2 se puede observar que la estructura macrorrugosa M_R forma un ángulo de incidencia $\alpha = 90 - \delta$ con respecto al eje longitudinal del tubo helicoidal 3*. Este ángulo de incidencia α , que es complementario al ángulo de hélice δ , tiene preferentemente un valor entre $35 \geq \alpha \geq 25$ grados. Un ángulo de incidencia α dimensionado de este modo conduce a una inhibición de la formación de precipitados de producto, mientras que por ejemplo un ángulo de hélice $\delta = 45$ grados optimizado con respecto a la transferencia térmica, que corresponde a un ángulo de incidencia $\alpha = 45$ grados, no produce ninguna inhibición de la formación de precipitados de producto en comparación con un tubo liso correspondiente, sino que más bien intensifica la formación de precipitados de producto. Si la anchura de hélice b es el resultado de una altura de paso H_G dividida por el número de pasos g ($b = H_G/g$), como ocurre en la forma de realización del tubo helicoidal 3* según la Figura 2, la superficie de la pared interior 3a del tubo helicoidal 3* está completamente cubierta por la estructura macrorrugosa M_R deseada.

20 La superficie de la pared interior 3a del tubo helicoidal 3*, que está estructurada con la estructura macrorrugosa M_R , también está tratada completamente mediante un proceso de pulido electroquímico que genera una condición microsuperficial m_R , la cual se distingue tanto estructural como energéticamente por una tendencia reducida a la adherencia de sustancias extrañas. En este contexto, el proceso de pulido electroquímico eficaz se utiliza generalmente en realizaciones de superficie interior normalizadas del tubo interior 3, 3* configurado como tubo de acero fino, consistiendo este acero fino preferentemente en aleaciones austeníticas de acero al cromo-níquel. El tubo de acero fino que se va a someter al pulido electroquímico consiste generalmente en un tubo con cordón de soldadura longitudinal y, debido a este cordón longitudinal, calibrado y a continuación sometido a decapado brillante. La chapa inicial utilizada para producir los tubos generalmente se ha laminado en frío, recocido y decapado químicamente. El procesamiento de los tubos para formar el haz tubular 1 se realiza convenientemente después del pulido electroquímico; no se lleva a cabo ningún mecanizado posterior de los cordones de soldadura circulares. Antes del pulido electroquímico, el valor de rugosidad medio de la superficie es de aproximadamente $R_a \leq (0,7 \text{ a } 0,8) \mu\text{m}$ y en la zona del cordón de soldadura longitudinal aproximadamente $R_a \leq 1,2 \mu\text{m}$.

35 Como ya se ha indicado anteriormente, mediante la erosión electroquímica de la superficie se reduce la rugosidad de ésta, pero este aspecto sólo tiene una influencia relativamente menor en la condición microsuperficial m_R que aquí se persigue, esto es la reducción de la tendencia a la adhesión de sustancias extrañas sobre la superficie. Los factores de influencia generados por el pulido electroquímico en comparación con la superficie inicial no tratada consisten esencialmente en la reducción de la superficie real con respecto a la superficie proyectada, la reducción del nivel energético de la superficie (tensión superficial) y la capa pasiva continua rica en óxido de cromo (pasivación).

40 En un tubo helicoidal 3* configurado con un solo paso (Figura 4), que presenta la misma altura de paso H_G y anchura de hélice b que el tubo de la Figura 2, en comparación con este último, la estructura macrorrugosa M_R sólo ocupa aproximadamente 1/5 de la superficie de la pared interior del tubo 3a, mientras que, debido al proceso de pulido electroquímico, la condición microsuperficial m_R se extiende sobre toda la superficie. El grado de ocupación de la superficie por estructuras macrorrugosas M_R buscado o necesario depende en cada caso de los requisitos específicos del producto. Siempre que un aumento de la proporción de la superficie ocupada por las estructuras macrorrugosas M_R produzca una prolongación adicional del período de servicio, los tubos interiores configurados como tubo helicoidal 3* se dotarán de la configuración de hélice 3a* de varios pasos necesaria para ello. Si este ya no es el caso, se puede prescindir de la ocupación restante de la superficie hasta una ocupación completa con la condición $H_G = b \cdot g$. El pulido electroquímico siempre se extiende sobre toda la superficie de la pared interior del tubo 3a, independientemente del grado de ocupación con las estructuras macrorrugosas M_R .

55 Si simultáneamente a la inhibición de la formación de precipitados de producto en la pared interior 3a del tubo interior 3, 3*, debido a las condiciones específicas del producto también se desea intensificar la transferencia de calor, puede resultar ventajoso utilizar un tubo helicoidal 3* con hélices cruzadas, como en el detalle mostrado en la Figura 5, oscilando el ángulo de hélice δ , en cada caso, entre 55 y 65 grados.

60

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para prolongar el período de servicio de un intercambiador de calor de haces tubulares en instalaciones UHT con calentamiento indirecto para alimentos, en particular para leche o productos lácteos, que consiste en un intercambiador de calor de haces tubulares que presenta un canal exterior (2') rodeado por una envolvente exterior (2); con una cantidad de tubos interiores (3; 3*) que se extienden a través del canal exterior (2') con sus ejes paralelos a la envolvente exterior (2), que forman conjuntamente como haz tubular (1) un canal interior (3'), y cuyos extremos se apoyan en cada caso en una placa portatubos (7, 8); con una entrada (E) y una salida (A) para un producto (P) a calentar que son comunes para todos los tubos interiores (3, 3*); y con tubuladuras de conexión (4a, 4b), cada una con un canal transversal (4a*, 4b*) para un medio portador de calor (W), que entran en el canal exterior (2') o salen del mismo cerca de los extremos de la envolvente exterior (2) y de las placas portatubos (7, 8); estando configurado el tubo interior (3; 3*) correspondiente, como mínimo en la superficie de su pared interior (3a), en forma de tubo helicoidal (3*) con estructuras macrorrugosas (M_R) orientadas en un ángulo de incidencia (α) con respecto al eje longitudinal del tubo interior (3; 3*),

Caracterizado porque

- la superficie de la pared interior del tubo (3a), que está estructurada con la estructura macrorrugosa (M_R), está completamente tratada mediante un proceso de pulido electroquímico que genera una condición microsuperficial (m_R) que se distingue tanto estructural como energéticamente por una tendencia reducida a la adherencia de sustancias extrañas gracias a la pasivación y a la reducción del nivel energético de la superficie tratada de la pared interior del tubo (3a); y
- el ángulo de incidencia (α) tiene un valor entre $35 \geq \alpha \geq 25$ grados.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el tubo interior (3; 3*) está configurado como tubo helicoidal (3*) con estructuras macrorrugosas (M_R) a modo de un perfilado interior y exterior en forma de paso de rosca, cuya configuración de hélice (3a*) está realizada con un ángulo de hélice ($\delta = 90$ grados - α) entre $55 \leq \delta \leq 65$ grados.

3. Dispositivo según la reivindicación 2, **caracterizado** porque la configuración de hélice (3a*), seleccionable previamente de forma específica para cada producto, presenta una profundidad de hélice (t) y una anchura de hélice (b).

4. Dispositivo según la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado** porque el tubo helicoidal (3*) está configurado con un solo paso con una altura de paso (H_G).

5. Dispositivo según la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado** porque el tubo helicoidal (3*) está configurado con varios pasos con un número de pasos (g) y en cada caso con una altura de paso (H_G).

6. Dispositivo según la reivindicación 5, **caracterizado** porque la anchura de hélice (b) resulta de la altura de hélice (H_G) dividida por el número de pasos (g), ($b = H_G/g$).

7. Procedimiento para utilizar el dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque el índice Reynold (Re) de la corriente en el tubo interior (3; 3*) oscila entre el intervalo $35.000 \leq Re \leq 45.000$.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque los tubos interiores correspondientes (3; 3*) están previstos en un calentador UHT y un conservador de calor UHT subordinado.

9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado** porque los tubos interiores (3; 3*) de los intercambiadores de calor de haces tubulares de la instalación UHT preconectados y postconectados al calentador UHT y al conservador de calor UHT, siempre que funcionen en un intervalo de temperaturas por encima de 100 grados Celsius, también están provistos de las estructuras macrorrugosas (M_R) y de la condición microsuperficial m_R .

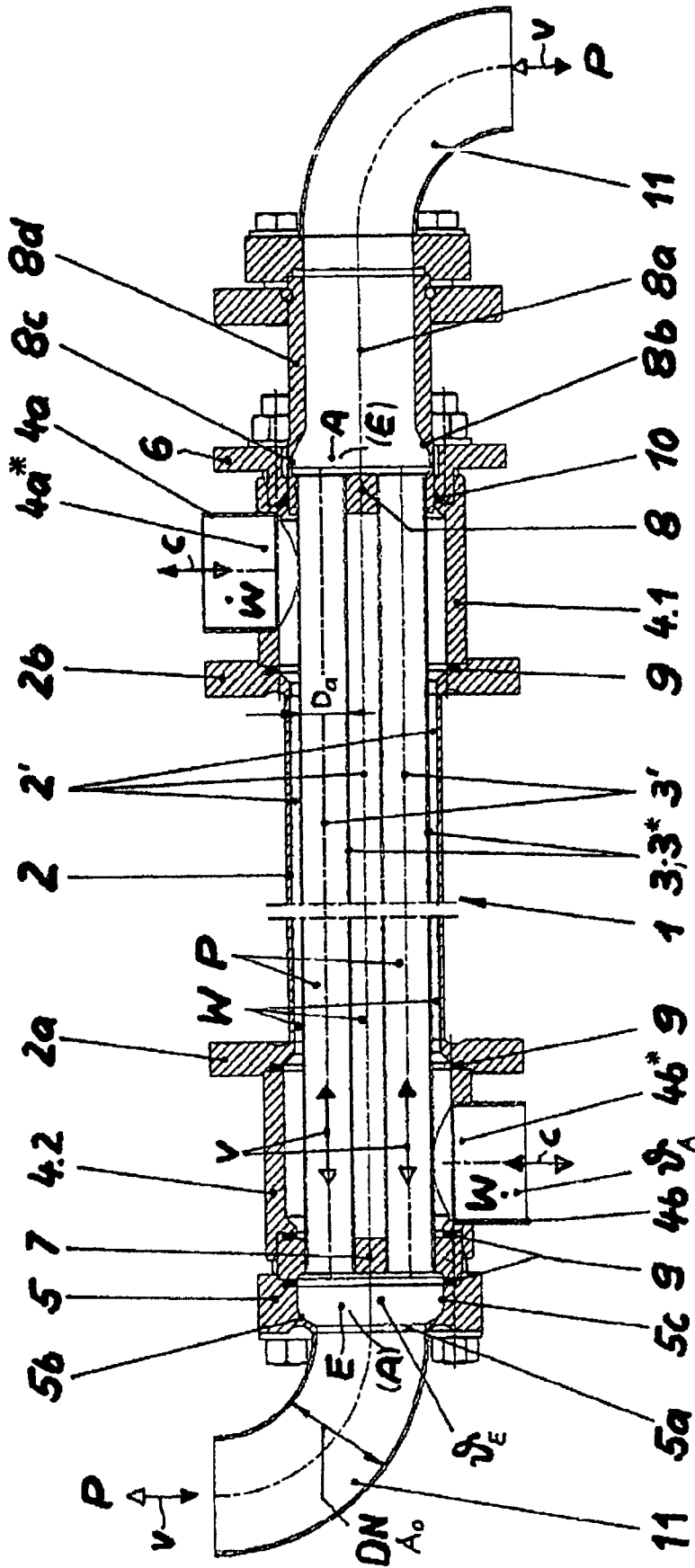


Fig. 1

