



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 292 991**

51 Int. Cl.:  
**F28F 1/42** (2006.01)  
**B21C 37/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Número de solicitud europea: **03741913 .2**  
86 Fecha de presentación : **10.06.2003**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1516150**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **23.03.2005**

54 Título: **Tubo de transferencia de calor y método y herramienta para su fabricación.**

30 Prioridad: **10.06.2002 US 387328 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.03.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.03.2008**

73 Titular/es: **WOLVERINE TUBE Inc.**  
**200 Clinton Avenue, Suite 1000**  
**Huntsville, Alabama 35801, US**

72 Inventor/es: **Thors, Petur y**  
**Zoubkov, Nikolai**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 292 991 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

Tubo de transferencia de calor y método y herramienta para su fabricación.

5 **Campo de la invención**

Esta invención se refiere a un tubo de transferencia de calor que tiene salientes en su superficie interna.

**Antecedentes de la invención**

10 Esta invención se refiere a un tubo de transferencia de calor que tiene una superficie interna mejorada para facilitar la transferencia térmica desde un lado del tubo al otro. Se usan corrientemente tubos de transferencia de calor en equipos tales como, por ejemplo, evaporadores inundados, evaporadores de película descendente, evaporadores de pulverización, neveras de absorción, condensadores, enfriadores de expansión directa, y enfriadores y calentadores  
15 monofásicos, usados en las industrias de la refrigeración, química, petroquímica y de procesamiento de alimentos. En estas aplicaciones puede usarse una diversidad de medios de transferencia térmica, incluyendo, pero sin que se limite a ellos, agua pura, mezcla de agua/glicol, cualquier tipo de refrigerante (tal como R-22, R-134a, R-123, etc.), amoníaco, fluidos petroquímicos y otras mezclas.

20 Un tubo de transferencia de calor ideal dejaría pasar calor completamente sin dificultad desde el interior del tubo al exterior del tubo y viceversa. Sin embargo, dicho flujo libre de calor a través del tubo es impedido en general por la resistencia a la transferencia térmica. La resistencia global del tubo a la transferencia térmica se calcula sumando las resistencias individuales desde el exterior al interior del tubo o viceversa. Con el fin de mejorar el rendimiento de la transferencia térmica del tubo, los fabricantes de tubos se han esforzado en descubrir maneras de reducir la resistencia  
25 global del tubo. Una de tales maneras consiste en mejorar la superficie externa del tubo, tal como formando aletas en la superficie externa. Como resultado de los recientes avances en la mejora de la superficie externa del tubo (véanse, por ejemplo, las patentes de EE.UU. números 5.697.430 y 5.996.686), solamente una pequeña parte de la resistencia global del tubo es atribuible al exterior del tubo. Por ejemplo, un tubo de evaporador típico usado en una nevera inundada con una superficie externa mejorada pero una superficie interna lisa típicamente tiene una relación de resistencia  
30 interna: resistencia externa de 10:1. Idealmente, se desea obtener una relación de resistencia interna a resistencia externa de 1:1. Por consiguiente, lo más importante de todo es desarrollar mejoras en la superficie interna del tubo que reduzcan en grado importante la resistencia lateral del tubo y mejoren el rendimiento global de transferencia térmica del tubo.

35 Se sabe dotar a tubos de transferencia de calor con ranuras y nervios alternos en sus superficies internas. Las ranuras y los nervios cooperan para mejorar la turbulencia de los medios fluidos de transferencia de calor, tales como agua, entregados dentro del tubo. Esta turbulencia aumenta la mezcla de fluido cerca de la superficie interna del tubo para reducir o eliminar virtualmente la acumulación de capa límite del medio fluido cerca de la superficie interna del tubo. La resistencia térmica de la capa límite disminuye en grado importante el rendimiento de la transferencia  
40 térmica aumentando la resistencia del tubo a la transferencia térmica. Las ranuras y los nervios proporcionan también un área superficial suplementaria para intercambio adicional de calor. Esta premisa básica es enseñada en la patente de EE.UU. Número 3.847.212, de Withers, Jr. y otros.

45 El modelo, las configuraciones y los tamaños de las ranuras y los nervios en la superficie interna del tubo pueden ser cambiados para aumentar aún más el rendimiento de intercambio de calor. Con ese fin, los fabricantes de tubos han realizado un gran gasto en experimentar con diseños alternativos, incluidos los descritos en la patente de EE.UU. número 5.791.405, de Takima y otros, patentes de EE.UU. números 5.332.034 y 5.458.191, de Chiang y otros, patente de EE.UU. número 5.975.196, de Gaffaney y otros.

50 Sin embargo, en general la mejora de la superficie interna del tubo ha resultado ser mucho más difícil que la de la superficie externa. Además, la mayoría de las mejoras en las superficies externa e interna de tubos se consiguen moldeando y configurando (por ejemplo, conformando con rodillos) las superficies, tal como se describe en los documentos US 6026892, JP61078942 y JP10197184. Sin embargo se han conseguido mejoras cortando las superficies de  
55 los tubos.

60 La solicitud de patente japonesa 09108759 describe una herramienta para centrar cuchillas que cortan una ranura espiral continua directamente sobre la superficie interna de un tubo. De manera similar, la solicitud de patente japonesa 10281676 describe un taco de expansión de tubo equipado con herramientas de corte que cortan una hendidura espiral continua y una aleta erecta en la superficie interna de un tubo. La patente EE.UU. número 6.026.892 describe un tubo de transferencia de calor con una superficie interna con ranuras transversales formada laminando las ranuras en una superficie de un fleje metálico que es convertido luego en el tubo y soldado a lo largo de una costura longitudinal. La patente de EE.UU. número 3.753.364 describe la formación de una ranura continua a lo largo de la superficie interna de un tubo usando una herramienta de corte que corta en la superficie interna del tubo y pliega el material hacia arriba para formar la ranura continua. La memoria descriptiva japonesa expuesta a exposición pública 54-68554 muestra una  
65 superficie de transferencia de calor formada con nervios. Los nervios son cortados con cortes intersecantes y las partes resultantes son elevadas para formar salientes sustancialmente verticales que tienen paredes laterales generalmente paralelas.

Si bien todos estos diseños de superficies internas de tubos persiguen mejorar el rendimiento de la transferencia térmica del tubo, en la industria persiste la necesidad de continuar mejorando los diseños de los tubos modificando los diseños existentes y creando nuevos diseños que mejoran el rendimiento de la transferencia térmica. Adicionalmente, existe también necesidad de crear diseños y modelos que puedan ser transferidos sobre los tubos de manera más rápida y barata. Como se describe en lo que sigue, los solicitantes han desarrollado nuevas geometrías para los tubos de transferencia de calor así como también herramientas para formar estas geometrías y, como resultado, han mejorado en grado importante el rendimiento de la transferencia térmica.

### Sumario de la invención

Esta invención proporciona un tubo como se define en la reivindicación 1, que puede ser usado para mejorar el rendimiento de la transferencia térmica de tubos usados en al menos todas las mencionadas aplicaciones (es decir, en evaporadores inundados, evaporadores de película descendente, evaporadores de pulverización, neveras de absorción, condensadores, enfriadores de expansión directa, y enfriadores y calentadores monofásicos, usados en las industrias de la refrigeración, química, petroquímica y de procesamiento de alimentos). La superficie interna del tubo es mejorada con una pluralidad de salientes que reducen en grado importante la resistencia lateral del tubo y mejoran el rendimiento global de la transferencia térmica. Los salientes producen trayectos adicionales para el flujo de fluido dentro del tubo y mejoran de este modo la turbulencia de los medios de transferencia de calor que fluyen dentro del tubo. Esto aumenta la mezcla de fluido para reducir la acumulación de capa límite del medio fluido cerca de la superficie interna del tubo, aumentando dicha acumulación la resistencia y obstaculizando la transferencia térmica. Los salientes proporcionan también área superficial suplementaria para intercambio adicional de calor. La formación de los salientes de acuerdo con esta invención puede dar por resultado la formación de hasta cinco veces más área superficial a lo largo de la superficie interna del tubo que con nervios sencillos. Las pruebas demuestran que se mejora en grado importante el rendimiento de los tubos que tienen los salientes de esta invención.

El tubo de esta invención puede ser fabricado usando una herramienta, que puede añadirse fácilmente a los equipos de fabricación existentes, que tiene un filo para cortar a través de los nervios sobre la superficie interna del tubo para producir capas de nervios y un borde de elevación para elevar las capas de nervios a fin de formar los salientes. De este modo, se forman los salientes sin retirada de metal desde la superficie interna del tubo, eliminando con ello los fragmentos que pueden dañar el equipo en el que se usan los tubos. Los salientes en la superficie interna del tubo pueden formarse en la misma operación o en una operación diferente de la formación de los nervios.

Los tubos formados de acuerdo con esta solicitud pueden resultar adecuados en cualquier número de aplicaciones, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones para uso en las industrias calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), refrigeración, química, petroquímica y de procesamiento de alimentos. Las geometrías físicas de los salientes pueden ser cambiadas para hacer a medida el tubo para una aplicación particular y medio fluido particular.

Un objeto de esta invención es proporcionar tubos de transferencia de calor mejorada.

Otro objeto de esta invención es proporcionar un tubo de transferencia de calor mejorada que tiene salientes en su superficie interna.

Estas y otras características, objetos y ventajas de esta invención resultarán evidentes al leer la siguiente descripción detallada de realizaciones preferidas, tomada en unión de los dibujos.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1a es una vista en perspectiva, fragmentaria, de la superficie interna parcialmente formada de una realización de un tubo de esta invención.

La figura 1b es una vista en alzado lateral del tubo mostrado en la figura 1a que muestra los salientes sobresaliendo desde la superficie interna del tubo en una dirección que no es perpendicular al eje s del tubo.

La figura 1c es una vista en alzado frontal del tubo mostrado en la figura 1a en el sentido de la flecha b.

La figura 1d es una vista desde arriba, del tubo mostrado en la figura 1a.

La figura 2 es una fotomicrografía de una superficie interna de una realización de un tubo de esta invención.

La figura 3 es una fotomicrografía de una superficie interna de una realización alternativa de un tubo de esta invención.

La figura 4 es una vista en alzado lateral de una realización del equipo de fabricación que puede ser usado para producir tubos de acuerdo con esta invención.

La figura 5 es una vista en perspectiva del equipo de la figura 4.

La figura 6a es una vista en perspectiva de una realización de la herramienta para formar los salientes.

## ES 2 292 991 T3

La figura 6b es una vista en vista en alzado lateral de la herramienta mostrada en la figura 6a.

La figura 6c es una vista en planta desde abajo de la herramienta de la figura 6b.

5 La figura 6d es una vista en planta desde arriba de la herramienta de la figura 6b.

La figura 7a es una vista en perspectiva de una realización alternativa de la herramienta para formar los salientes.

La figura 7b es una vista en alzado lateral de la herramienta mostrada en la figura 7a.

10

La figura 7c es una vista en planta desde abajo de la herramienta de la figura 7b.

La figura 7d es un vista en planta desde arriba de la herramienta de la figura 7b.

15

La figura 8a es una vista en perspectiva, fragmentaria, de la superficie interna parcialmente formada de una realización alternativa de un tubo de esta invención, en que la profundidad del corte a través de los nervios es menor que la altura helicoidal de los nervios.

20

La figura 8b es una vista en perspectiva, fragmentaria, de la superficie interna parcialmente formada de una realización alternativa de un tubo de esta invención, en que la profundidad del corte a través de los nervios es mayor que la altura helicoidal de los nervios.

25

La figura 9a es una vista en planta desde arriba, fragmentaria, de la superficie interna de otra realización de un tubo de acuerdo con esta invención.

La figura 9b es un vista en alzado del tubo mostrado en la figura 9a en el sentido de la flecha 22.

30

La figura 10a es una vista fragmentaria de una superficie interna de un tubo de esta invención, que muestra la herramienta aproximándose al nervio en la dirección g para cortar un saliente desde el nervio en la dirección g.

La figura 10b es una vista fragmentaria de una superficie interna alternativa de un tubo de esta invención, que muestra la herramienta aproximándose al nervio en la dirección g para cortar un saliente desde el nervio en la dirección g.

35

La figura 11a es un esquema de la superficie interna de un tubo de acuerdo con esta invención, que muestra la orientación angular entre los nervios y las ranuras, en que los nervios y las ranuras son de hélice de mano opuesta.

40

La figura 11b es un esquema de la superficie interna de un tubo de acuerdo con esta invención, que muestra la orientación angular entre los nervios y las ranuras, con lo que los nervios y las ranuras tienen la hélice de igual mano.

### Descripción detallada de los dibujos

45

Las figuras 1a-d muestran la superficie interna parcialmente formada 18 de una realización del tubo 21 de esta invención. La superficie interna 18 incluye una pluralidad de salientes 2. Los salientes 2 están formados a partir de nervios 1 producidos en la superficie interna 18. Los nervios 1 se forman primeramente en la superficie interna 18. Los nervios 1 son cortados luego para producir capas de nervios 4, que son elevadas subsiguientemente para formar salientes 2 (como se ve del mejor modo en las figuras 1a y 1b). Estas operaciones de corte y elevación pueden ser realizadas, pero no tienen que serlo, usando una herramienta 13 mostrada en la figura 6a-d y 7a-d y descrita en lo que sigue.

50

Deberá entenderse que un tubo de acuerdo con esta invención es generalmente útil, pero no se limita a ello, en cualquier aplicación en que sea necesario transferir calor desde un lado del tubo al otro lado del tubo, tal como en evaporadores y condensadores monofásicos y de múltiples fases (de líquidos o gases puros o de mezclas de líquido/gas). Aunque la explicación que sigue proporciona dimensiones deseables para un tubo de esta invención, no se pretende limitar en modo alguno los tubos de esta invención a esas dimensiones. Antes al contrario, las geometrías deseables del tubo, incluidos los salientes 2, dependerán de muchos factores, el menos importante de los cuales no son las propiedades del fluido que circula a través del tubo. Una persona versada en la técnica comprenderá la manera en que se altera la geometría de una superficie interna del tubo, incluyendo la geometría de los nervios 1 y salientes 2, para maximizar la transferencia térmica del tubo usado en diversas aplicaciones y con diversos fluidos.

60

Los nervios 1 se forman en la superficie interna 18 con un ángulo de hélice  $\alpha$  con el eje s del tubo (véanse las figuras 1a y 1d). El ángulo de hélice  $\alpha$  puede ser cualquier ángulo entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , pero preferiblemente no excede de  $70^\circ$ . Una persona versada en la técnica comprenderá fácilmente que el ángulo de hélice preferido  $\alpha$  dependerá a menudo, al menos en parte, del medio fluido usado. La altura  $e_r$  de los nervios 1 (véanse las figuras 8a y 8b) deberá ser en general mayor que el líquido más viscoso que circule a través del tubo 21. Por ejemplo, una altura  $e_r$  mayor que cero (de preferencia, pero no necesariamente, de al menos 0,025 mm (0,001 pulgadas)) hasta el 25% del diámetro interior del tubo  $D_i$  en general es deseable en una muestra de tubo usada con una mezcla de agua/glicol para aplicaciones a baja temperatura. Para los fines de esta solicitud,  $D_i$  es el diámetro interior del tubo 21 medido desde la superficie interna 18 del tubo 21. El paso axial  $P_{a,1}$  de los nervios 1 depende de muchos factores, incluido el ángulo de hélice

65

## ES 2 292 991 T3

$\alpha$ , el número de nervios 1 formados en la superficie interna 18 del tubo 21, y el diámetro interior  $D_i$  del tubo 21. Aunque puede utilizarse cualquier paso  $P_{a,r}$ , la relación de  $P_{a,r}/e_r$  es preferiblemente de al menos 0,002, y la relación de  $e_r/D_i$  se halla comprendida de preferencia entre aproximadamente 0,001 y 0,25. Sin embargo, una persona versada en la técnica comprenderá fácilmente también que los valores de relación preferidos dependerán a menudo, a menos en parte del medio fluido usado y de las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, la temperatura del medio fluido).

Las capas de nervios 4 están cortadas bajo un ángulo  $\theta$  con el eje  $s$  que es de preferencia de entre aproximadamente  $20^\circ$  y  $50^\circ$ , inclusive, y más preferiblemente de alrededor de  $30^\circ$ . El paso axial  $P_{a,p}$  de los salientes 2 puede tener cualquier valor mayor que cero y en general dependerá, entre otros factores, de las revoluciones relativas por minuto entre la herramienta (descrita en lo que sigue) y el tubo durante la fabricación, de la tasa de alimentación axial relativa entre la herramienta y el tubo durante la fabricación y del número de puntas previstas en la herramienta usada para formar los salientes durante la fabricación. Aunque los salientes resultantes 2 pueden tener cualquier grosor  $S_p$ , el grosor de  $S_p$  es de preferencia de aproximadamente el 20-100% del paso  $P_{a,p}$ . La altura  $e_p$  de los salientes 2 depende de la profundidad de corte  $t$  (como se ve en las figuras 1b, 8a y 8b) y el ángulo  $\theta$  con que son cortadas las capas de nervios 4. La altura  $e_p$  de los salientes 2 tiene preferiblemente un valor al menos tan grande como la profundidad de corte  $t$  hasta tres veces la profundidad de corte  $t$ . Es preferible, pero no necesario, formar nervios 1 a una altura  $e_r$  y ajustar el ángulo de corte  $\theta$  a un valor que dé por resultado la altura  $e_p$  de los salientes 2 que es al menos aproximadamente el doble de la altura  $e_r$  de los nervios 1. Así, la relación de  $e_p/D_i$  es de preferencia de entre aproximadamente 0,002 y 0,5 (es decir,  $e_p/D_i$  es el doble del margen preferido de la relación  $e_r/D_i$  de aproximadamente 0,001-0,25).

Las figuras 1a y 1b muestran una profundidad de corte  $t$  igual a la altura  $e_r$  de los nervios 1 de manera que la base 40 del saliente 2 está situada en la superficie interna 18 del tubo 21. Sin embargo, la profundidad de corte  $t$  no necesita ser igual que la altura  $e_r$  de los nervios. En lugar de ello, los nervios 1 pueden ser cortados sólo parcialmente a través de los nervios 1 (véase la figura 8<sup>a</sup>) o hasta más allá de la altura de los nervios 1 y dentro de la pared 3 del tubo (véase la figura 8b). En la figura 8a, los nervios 1 no están cortados a través de toda su altura  $e_r$  de manera que la base 40 de los salientes 2 está situada más lejos de la superficie interna 18 del tubo que la base 42 de los nervios 1, que está situada en la superficie interna 18. En contraposición, la figura 8b ilustra una profundidad de corte  $t$  hasta más allá de la altura  $e_r$  de los nervios, de manera que al menos una pared de los salientes 2 se extiende dentro de la pared 3 del tubo, más allá de la superficie interna 18 y la base 42 de los nervios.

Cuando las capas de nervios 4 son elevadas, se forman ranuras 20 entre salientes adyacentes 2. Las capas de nervios 4 son cortadas y elevadas de manera que las ranuras 20 son orientadas sobre la superficie interna 18 con un ángulo  $\tau$  con el eje  $s$  del tubo 21 (véanse las figuras 1d, 11a y 11b), que es preferiblemente, pero no tiene que serlo, de entre aproximadamente  $80^\circ$  y  $100^\circ$ .

La configuración de los salientes 2 depende de la configuración de los nervios 1 y de la orientación de los nervios 1 con relación a la dirección de movimiento de la herramienta 13. Los salientes tienen preferiblemente al menos tres superficies laterales y una superficie superior. En la realización de las figuras 1a-d, los salientes 2 tienen cuatro superficies laterales, una superficie superior inclinada 26 (que ayuda a disminuir la resistencia a la transferencia térmica) y una punta sustancialmente afilada 28. Sin embargo, no está de ningún modo previsto que los salientes 2 de esta invención se limiten a esta realización ilustrada, sino que en lugar de ello pueden estar formados con cualquier configuración. Además, los salientes 2 en el tubo 21 no necesitan todos ellos tener la misma configuración o tener la misma geometría.

Que la orientación de los salientes 2 sea recta (véase la figura 10a) o curvada o retorcida (véase la figura 10b) depende del ángulo  $\beta$  formado entre nervios 1 y la dirección de movimiento  $g$  de la herramienta 13. Si el ángulo  $\beta$  es de menos de  $90^\circ$ , los salientes 2 tendrán una orientación relativamente recta, tal como se muestra en la figura 10a. Si el ángulo es de más de  $90^\circ$ , los salientes 2 tendrán una orientación más curvada y/o retorcida, tal como, por ejemplo, se muestra en la figura 10b.

Durante la fabricación del tubo 21, puede usarse la herramienta 13 para cortar a través de nervios 1 y elevar las capas de nervios resultantes 4 para formar salientes 2. Sin embargo, pueden usarse otros dispositivos y métodos para formar salientes 2. La herramienta 13 puede estar hecha de cualquier material que tenga la integridad estructural para resistir el corte de metal (por ejemplo acero, carburo, material cerámico, etc.), pero está hecha preferiblemente de un carburo. Las realizaciones de la herramienta 13 mostradas en las figuras 6a-d y 7a-d tienen en general un eje de herramienta  $q$ , dos paredes de base 30, 32 y una o más paredes laterales 34. Una abertura 16 está situada a través de la herramienta 13. Las puntas 12 están formadas sobre las paredes laterales 34 de la herramienta 13. Obsérvese, sin embargo, que las puntas pueden estar montadas o formadas sobre cualquier estructura que pueda soportar las puntas en la orientación deseada con relación al tubo 21 y dicha estructura no se limita a la descrita en las figuras 6a-d y 7a-d. Además, las puntas pueden ser retráctiles dentro de su estructura de soporte de manera que puede variarse fácilmente el número de puntas usadas en el proceso de corte.

Las figuras 6a-d ilustran una realización de la herramienta 13 que tiene una sola punta 12. Las figuras 7a-d ilustran una realización alternativa de la herramienta 13 que tiene cuatro puntas 12. Una persona versada en la técnica comprenderá que la herramienta 13 puede estar equipada con cualquier número de puntas 12 dependiendo del paso deseado  $P_{a,p}$  de los salientes 2. Además, la geometría de cada punta no necesita ser igual para las puntas de una sola herramienta 13. En lugar de ello, pueden estar previstas en la herramienta 13 puntas 12 que tengan geometrías diferentes para formar salientes que tengan diferentes configuraciones, orientaciones, y otras geometrías.

## ES 2 292 991 T3

Cada punta 12 está formada por la intersección de planos A, B y C. La intersección de planos A y B forman un filo 14 que corta a través de los nervios 1 para formar capas de nervios 4. El plano B está orientado con un ángulo  $\varphi$  con relación a un plano perpendicular al eje geométrico q de la herramienta (véase la figura 6b). El ángulo  $\varphi$  está definido como de  $90^\circ - \theta$ . Así, el ángulo  $\varphi$  está comprendido de preferencia entre aproximadamente  $40^\circ$  y  $70^\circ$  para permitir que el filo 14 corte a través de los nervios 1 con el ángulo deseable  $\theta$  entre aproximadamente  $20^\circ$  y  $50^\circ$ .

La intersección de los planos A y C forma el borde de elevación 15 que eleva las capas de nervios 4 hacia arriba para formar salientes 2. El ángulo  $\varphi_1$ , definido por el plano C y un plano perpendicular al eje geométrico q de la herramienta, determina el ángulo de inclinación  $\omega$  (el ángulo entre un plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21 y al eje longitudinal de los salientes 2 (véase la figura 1b)) en que los salientes 2 son elevados por el borde de elevación 15. El ángulo  $\varphi_1 = \text{ángulo } \omega$ , y así el ángulo  $\omega_1$  en la herramienta 13 puede ajustarse para impactar directamente con el ángulo de inclinación  $\omega$  de los salientes 2. El ángulo de inclinación  $\omega$  (y el ángulo  $\varphi_1$ ) es preferiblemente el valor absoluto de cualquier ángulo entre aproximadamente  $-45^\circ$  y  $45^\circ$ , excluyendo cero o sustancialmente cero, con relación al plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21. De este modo, los salientes pueden inclinarse hacia la izquierda y hacia la derecha con relación al plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21 (véase la figura 1b). Además, las puntas 12 pueden estar formadas de manera que tengan geometrías diferentes (es decir, el ángulo  $\varphi_1$  puede ser diferente en puntas diferentes), y así los salientes 2 dentro del tubo 1 pueden inclinarse bajo ángulos diferentes y en direcciones diferentes con relación al plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21. Por ejemplo, algunos salientes pueden ser sustancialmente perpendiculares al eje longitudinal del tubo y otros, no.

Si bien se han identificado los márgenes preferidos de valores para las dimensiones físicas los salientes 2, una persona versada en la técnica reconocerá que las dimensiones físicas de la herramienta 13 pueden modificarse para influir sobre las dimensiones físicas de los salientes resultantes 2. Por ejemplo, la profundidad t con que el filo 14 corta en los nervios 1 y el ángulo  $\varphi$  afectan a la altura  $e_p$  de los salientes 2. Por consiguiente, la altura  $e_p$  de los salientes 2 puede regularse utilizando la expresión

$$e_p = t/\text{sen}(90 - \varphi)$$

o, dado que

$$\varphi = 90 - \theta,$$

$$e_p = t/\text{sen}(\theta)$$

En que:

t es la profundidad de corte;

$\varphi$  es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y

$\theta$  es el ángulo con que las capas de nervios 4 son cortadas con relación al eje longitudinal s del tubo 21.

El grosor  $S_p$  de los salientes 2 depende del paso  $P_{a,b}$  de los salientes 2 y el ángulo  $\varphi$ . Por consiguiente, el grosor  $S_p$  puede ajustarse utilizando la expresión

$$S_p = P_{a,p} \cdot \text{sen}(90 - \varphi)$$

o, dado que

$$\varphi = 90 - \theta,$$

$$S_p = P_{a,p} \cdot \text{sen}(\theta)$$

En que

$P_{a,p}$  es el paso axial de los salientes 2;

$\varphi$  es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y

$\theta$  es el ángulo con que las capas de nervios 4 son cortadas con relación al eje longitudinal s del tubo 21.

## ES 2 292 991 T3

Las figuras 4 y 5 ilustran un posible equipo de fabricación para mejorar las superficies del tubo 21. Estas figuras no pretenden en modo alguno limitar el proceso por el que los tubos de acuerdo con esta invención son fabricados, sino mas bien que pueda usarse cualquier proceso de fabricación de tubo que utilice cualquier equipo adecuado o configuración adecuada de equipo. Los tubos de esta invención pueden hacerse de una diversidad de materiales que posean propiedades físicas adecuadas, incluida integridad estructural, maleabilidad y plasticidad, tal como, por ejemplo, cobre y aleaciones de cobre, aluminio y aleaciones de aluminio, latón, titanio, acero y acero inoxidable. Las figuras 4 y 5 ilustran tres husillos 10 que funcionan sobre el tubo 21 para mejorar la superficie externa del tubo 21. Obsérvese que en la figura 4 se ha omitido uno de los husillos 10. Cada husillo 10 incluye un equipo de herramientas que tiene discos de formación de aletas 7 que extruyen radialmente desde una a múltiples aletas exteriores de arranque 6 que tienen un paso axial  $P_{a,o}$ . El equipo de herramientas puede incluir discos adicionales, tales como discos de formación de muescas o de aplanamiento, para mejorar aún más la superficie externa del tubo 21. Además, si bien se muestran solamente tres husillos 10, pueden usarse más o menos husillos dependiendo de las mejoras deseadas de la superficie externa. Sin embargo, obsérvese que dependiendo de la aplicación del tubo, no es necesario de ningún modo introducir mejoras en la superficie externa del tubo 21.

En un ejemplo de una manera para mejorar la superficie interna 18 del tubo 21, un eje de mandril 11 sobre el que está montado a rotación un mandril 9 se extiende dentro del tubo 21. La herramienta 13 se monta sobre el eje 11 a través de la abertura 16. Un perno 24 asegura la herramienta 13 en su sitio. La herramienta 13 se bloquea preferiblemente en rotación con el eje 11 por cualesquiera medios adecuados. Las figuras 6d y 7d ilustran una ranura de llave 17 que puede estar prevista en la herramienta 13 para enclavar un saliente previsto en el eje 11 (no mostrado) para fijar la herramienta 13 en su sitio con relación al eje 11.

En el funcionamiento, el tubo 21 gira generalmente a medida que se mueve a través del proceso de fabricación. La pared 3 del tubo se mueve entre el mandril 9 y los discos de formación de aletas 7 que ejercen presión sobre la pared 3 del tubo. Cuando se aplica presión, el metal de la pared 3 del tubo fluye dentro de las ranuras entre los discos de formación de aleta 7 para formar aletas 6 en la superficie exterior del tubo 21.

En el mandril 9 está prevista la imagen especular de un modelo deseado de superficie interna de manera que el mandril 9 formará la superficie interna 18 del tubo 21 con el patrón deseado a medida que el tubo 21 se aplica al mandril 9. Un patrón deseable de superficie interna incluye nervios 1, como se muestra en las figuras 1a y 4. Después de la formación de los nervios 1 en la superficie interna 18 del tubo 21, el tubo 21 encuentra la herramienta 13 situada junto al mandril 9 y aguas abajo del mismo. Como se explica previamente, el filo o los filos 14 de la herramienta 13 cortan a través de los nervios 1 para formar capas de nervios 4. El borde o los bordes de elevación 15 de la herramienta 13 elevan entonces las capas de nervios 4 para formar salientes 2.

Cuando los salientes 2 se forman simultáneamente con las aletas exteriores y la herramienta 13 se fija (es decir, de manera no giratoria o sin movimiento axial), el tubo 21 gira automáticamente y tiene movimiento axial. En este caso, el paso axial de los salientes  $P_{a,p}$  es regulado por la siguiente fórmula:

$$P_{a,p} = \frac{P_{a,o} \cdot Z_o}{Z_i}$$

en que

$P_{a,o}$  es el paso axial de las aletas exteriores 6;

$Z_o$  es el número de arranques de aleta en el diámetro externo del tubo 21; y

$Z_i$  es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

Para obtener un paso axial específico de saliente  $P_{a,p}$ , la herramienta 13 puede ser también hecha girar. El tubo 21 y la herramienta 13 pueden girar en el mismo sentido o, alternativamente, el tubo 21 y la herramienta 13 pueden girar, pero en sentidos opuestos. Para obtener un paso de saliente axial predeterminado  $P_{a,p}$ , la rotación necesaria (en revoluciones por minuto (RPM)) de la herramienta 13 puede calcularse utilizando la siguiente fórmula:

$$RPM_{herramienta} = \frac{RPM_{tubo}(P_{a,o} \cdot Z_o - P_{a,p} \cdot Z_i)}{Z_i \cdot P_{a,p}}$$

en que:

$RPM_{tubo}$  es la frecuencia de rotación del tubo 21;

$P_{a,o}$  es el paso axial de las aletas externas 6;

$Z_o$  es el número de arranques de aleta en el diámetro externo del tubo 21;

$P_{a,p}$  es el paso axial deseable de los salientes 2; y

$Z_i$  es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

## ES 2 292 991 T3

Si el resultado de este calculo es negativo, entonces la herramienta 13 deberá girar en el mismo sentido que el tubo 21 para obtener el paso deseado  $P_{a,p}$ . Alternativamente, si el resultado de este calculo es positivo, entonces la herramienta 13 deberá girar en el sentido opuesto al del tubo 21 a fin de obtener el paso deseado  $P_{a,p}$ .

5 Obsérvese que, aunque se muestra la formación de salientes 2 en la misma operación que la formación de nervios 1, los salientes 2 pueden ser producidos en una operación separada respecto de la formación de aletas usando un tubo con nervios internos previamente formados 1. Esto requeriría generalmente un conjunto para hacer girar la herramienta 13 o el tubo 21 y para mover la herramienta 13 o el tubo 21 a lo largo del eje del tubo. Además, preferiblemente está previsto un soporte para centrar la herramienta 13 con relación a la superficie interna 18 del tubo. En este caso, el paso axial  $P_{a,p}$  de los salientes 2 es regulado por la siguiente fórmula:

$$P_{a,p} = X_a / (\text{RPM} \cdot Z_i)$$

15 En que

$X_a$  es la velocidad axial relativa entre el tubo 21 y la herramienta 13 (distancia/tiempo);

RPM es la frecuencia relativa de rotación entre la herramienta 13 y el tubo 21;

20  $P_{a,p}$  es el paso axial deseable de los salientes 2; y

$Z_i$  es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

25 Esta fórmula es adecuada cuando (1) el tubo se mueve sólo axialmente (es decir, no gira) y solamente gira la herramienta (es decir, no se mueve axialmente); (2) el tubo sólo gira y la herramienta se mueve sólo axialmente; (3) la herramienta gira y se mueve axialmente pero el tubo está fijo para rotación y axialmente; (4) el tubo gira y se mueve axialmente pero la herramienta está fija para rotación y axialmente; y (5) cualquier combinación de lo anterior.

30 Con la superficie interna del tubo de esta invención, se producen trayectorias adicionales para el flujo de fluido (entre los salientes 2 a través de las ranuras 20) a fin de optimizar la transferencia térmica y la caída de presión. La figura 9a ilustra estas trayectorias adicionales 22 para el desplazamiento del fluido a través del tubo 21. Estas trayectorias 22 son adicionales a las trayectorias de flujo de fluido 23 producidas entre los nervios 1. Estas trayectorias adicionales 22 tienen un ángulo de hélice  $\alpha_1$  con relación al eje s del tubo. El ángulo  $\alpha_1$  es el ángulo entre salientes 2 formados desde nervios adyacentes 1. La figura 9b muestra claramente estas trayectorias adicionales 22 formadas entre salientes 2. El ángulo de hélice  $\alpha_1$  y, por tanto, la orientación de las trayectorias 22 a través del tubo 21, puede regularse ajustando el paso  $P_{a,p}$  de los salientes 2 con la siguiente expresión:

$$P_{a,p} = \frac{P_{a,r} \cdot \tan(\alpha) \cdot \pi D_i}{\pi D_i \cdot (\tan(\alpha) + \tan(\alpha_1)) \pm P_{a,r} \cdot \tan(\alpha) \cdot \tan(\alpha_1) \cdot Z_i}$$

45 En que

$P_{a,r}$  es el paso axial de los nervios 1;

$\alpha$  es el ángulo de los nervios 1 con el eje s del tubo;

50  $\alpha_1$  es el ángulo de hélice deseable entre salientes 2;

$Z_i$  es el número de puntas 12 en la herramienta 13; y

$D_i$  es el diámetro interno del tubo 21 medido desde la superficie interna 18 del tubo 21.

55 Si el ángulo de hélice  $\alpha$  de los nervios y el ángulo  $\tau$  de las ranuras 20 son ambos una hélice a mano derecha o de mano izquierda (véase la figura 11b), entonces en la anterior expresión deberá usarse el “[-]”. Alternativamente, si el ángulo de hélice  $\alpha$  de los nervios y el ángulo  $\tau$  de las ranuras 20 son una hélice de mano opuesta (véase la figura 11a), entonces en la anterior expresión deberá usarse el “[+]”.

65 Los tubos hechos de acuerdo con esta invención superan a los tubos existentes. Las tablas que siguen 1-3 dan las dimensiones de tubo y de herramienta para dos ejemplos de tales tubos. El factor de mejora es el factor por el que los coeficientes de transferencia térmica (lado-tubo y global) de estos nuevos tubos (Tubo número 25 y Tubo número 14) aumentan respecto de los tubos existentes (Turbo-B®, Turbo-BII®, y Turbo-BIII®). Sin embargo, los Tubos números 25 y 14 son otra vez simplemente ejemplos de tubos de acuerdo con esta invención. Otros tipos de tubos hechos de acuerdo con esta invención superan a los tubos existentes en una diversidad de aplicaciones.

## ES 2 292 991 T3

Las características físicas de los tubos Turbo-B<sup>®</sup>, Turbo-BII<sup>®</sup> y Turbo-BIII<sup>®</sup> se describen en las Tablas 1 y 2 Tablas de la patente de EE.UU. número 5.697.430, de Thors, y otros. Al Turbo-B<sup>®</sup> se hace referencia como Tubo II; al Turbo-BII<sup>®</sup> se hace referencia como Tubo III; y al Turbo B-III<sup>®</sup> se hace referencia como Tubo IV<sub>H</sub>. La superficie externa del Tubo número 25 y del Tubo número 14 es idéntica a la del Turbo B-III<sup>®</sup>. Las superficies internas del Tubo número 25 y del Tubo número 14 son de acuerdo con esta invención e incluyen las siguientes características físicas:

TABLA 1

*Dimensiones de tubos y nervios*

	Tubo número 25	Tubo número 14
Diámetro externo del tubo /mm (pulgadas)	19,05 (0,750)	19,05 (0,750)
Diámetro interno del tubo D <sub>i</sub> /mm (pulgadas)	16,4 (0,645)	16,5 (0,650)
Número de nervios internos	85	84
Angulo de hélice α de nervios internos (grados)	20	49
Altura de los nervios internos e <sub>r</sub> /mm (pulgadas)	0,22 (0,0085)	0,41 (0,016)
Paso axial de nervios internos P <sub>a,r</sub> /mm (pulgadas)	1,7 (0,065)	1,3 (0,052)
P <sub>a,r</sub> /e <sub>r</sub>	7,65	3,25
e <sub>r</sub> /D <sub>i</sub>	0,0132	0,025

TABLA 2

*Dimensiones de los salientes*

	Tubo número 25	Tubo número 14
Altura de los salientes e <sub>p</sub> /mm (pulgadas)	0,36 (0,014)	0,76 (0,030)
Paso axial de los salientes P <sub>a,p</sub> /mm (pulgadas)	0,424 (0,0167)	0,366 (0,0144)
Grosor de los salientes S <sub>p</sub> /mm (pulgadas)	0,21 (0,0083)	0,18 (0,007)
Profundidad de corte en nervio t /mm (pulgadas)	0,18 (0,007)	0,38 (0,015)

## ES 2 292 991 T3

Además, la herramienta usada para formar los salientes en los Tubos números 25 y 14 tenían las siguientes características:

TABLA 3

*Dimensiones de la herramienta*

	Tubo número 25	Tubo número 14
Número de puntas de corte	3	1
$Z_i$		
Angulo $\varphi$ (grados)	60	60
Angulo $\omega$ (grados)	2	2
Angulo $\tau$ (grados)	89,5	89,6
Angulo $\beta$ (grados)	69,5	40,6
Número de arranques de aleta en el diámetro exterior	3	N/A
Revoluciones de la herramienta por minuto	0	1014
Revoluciones del tubo por minuto	1924	0
$X_a/ms^{-1}$ (pulgadas/minuto)	0,0407 (96,2)	0,00622 (14,7)

El coeficiente de transferencia térmica del lado del Tubo número 14 es aproximadamente 1,8 veces y el del Tubo número 25 es aproximadamente 1,3 veces el de Turbo B-III<sup>®</sup>, que es actualmente el tubo más popular usado en aplicaciones de evaporación y mostrado como una línea de base en las figuras 12 y 13. El coeficiente global de transferencia térmica del Tubo número 25 es aproximadamente 1,25 veces y el del Tubo número 14 es aproximadamente 1,5 veces el de Turbo B-III<sup>®</sup>.

Lo que antecede se proporciona para fines de ilustración, explicación y descripción de realizaciones de esta invención. A los versados en la técnica les resultarán evidentes otras modificaciones y adaptaciones de estas realizaciones que pueden hacerse sin apartarse del alcance de la invención como se definen en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un tubo de transferencia de calor (21), que comprende una superficie interna (18), una superficie externa y un eje longitudinal (s), en que el tubo comprende una pluralidad de salientes de superficie (2) formados a partir de nervios (1) formados a lo largo de una superficie del tubo bajo cierto ángulo con relación al eje longitudinal (s),
- en que al menos algunos de la pluralidad de salientes (2) sobresalen desde la superficie interna en una dirección que no es sustancialmente perpendicular al eje longitudinal,
- 10 **caracterizado** porque los salientes (2) se forman en las etapas de:
- a. cortar a través de los nervios (1) hasta una profundidad de corte (t) para formar capas de nervios (4), y
- 15 b. elevar las capas de nervios para formar salientes (2) que tienen una altura de saliente, un grosor de caliente y un paso de saliente.
2. El tubo (21) de la reivindicación 1, en el que otros salientes de la pluralidad de salientes (2) se extienden desde la superficie interna (18) en una dirección sustancialmente perpendicular al eje longitudinal (s).
- 20 3. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que al menos algunos de la pluralidad de salientes (2) están doblados y/o retorcidos.
4. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que el saliente (2) tiene una altura que es un valor de no más de tres veces la profundidad de corte (t).
- 25 5. El tubo de la reivindicación 4, en el que la profundidad de corte (t) es menor o aproximadamente igual que la altura de nervio.
- 30 6. El tubo de la reivindicación 4, en el que la profundidad de corte (t) es mayor que la altura de nervio.
7. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que al menos uno de la pluralidad de salientes (2) tiene una altura con un valor al menos tan grande como la profundidad de corte (t).
- 35 8. El tubo de cualquier reivindicación precedente, en el que el nervio (1) está cortado con un ángulo comprendido entre aproximadamente 20° y 50°, preferiblemente de alrededor de 30°, con relación al eje longitudinal (s).
9. El tubo de cualquier reivindicación precedente, en el que el nervio (1) está formado a lo largo de la superficie interna (18) con un ángulo de no más de 70° con relación al eje longitudinal (s).
- 40 10. El tubo (21) de cualesquiera reivindicaciones precedentes, en el que la relación del diámetro interno (D<sub>i</sub>) del tubo (21) a la altura del nervio (1) se halla comprendida en el margen de 0,001 a 0,025 inclusive.
- 45 11. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que el nervio (1) tiene una altura de al menos 0,025 mm (0,001 pulgadas).
12. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además una pluralidad de dichos nervios (1) espaciados a un paso axial, en el que la relación de paso axial de nervio a altura de nervio es de al menos 0,002.
- 50 13. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que la altura de nervio es mayor o igual que la profundidad de corte (t).
14. El tubo (21) de cualquiera de las reivindicaciones 1-4 ó 6-13, en el que el saliente (2) comprende al menos una pared que se extiende dentro de la superficie interna (18) del tubo más allá de una base 42 del nervio (1).
- 55 15. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que la relación de la altura de cada saliente (2) al diámetro interno (D<sub>i</sub>) del tubo se halla comprendida entre aproximadamente 0,002 y 0,5.
- 60 16. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que el saliente (2) comprende al menos tres superficies laterales y una superficie superior (26).
17. El tubo (21) de la reivindicación 16, en el que la superficie superior (26) está inclinada.
- 65 18. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que el saliente (2) tiene una punta sustancialmente afilada (28).

## ES 2 292 991 T3

19. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, en el que la pluralidad de salientes (2) tiene un paso y en el que el grosor de cada uno de dichos salientes se halla comprendido entre aproximadamente el 20% y el 100% del paso de saliente.

5 20. El tubo (21) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además ranuras (20) formadas entre la pluralidad de salientes con un ángulo comprendido entre aproximadamente 80° y 100° con relación al eje longitudinal del tubo.

10 21. Equipo que comprende un tubo (21) como se define en cualquiera de las reivindicaciones 1-20.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



FIG.1b

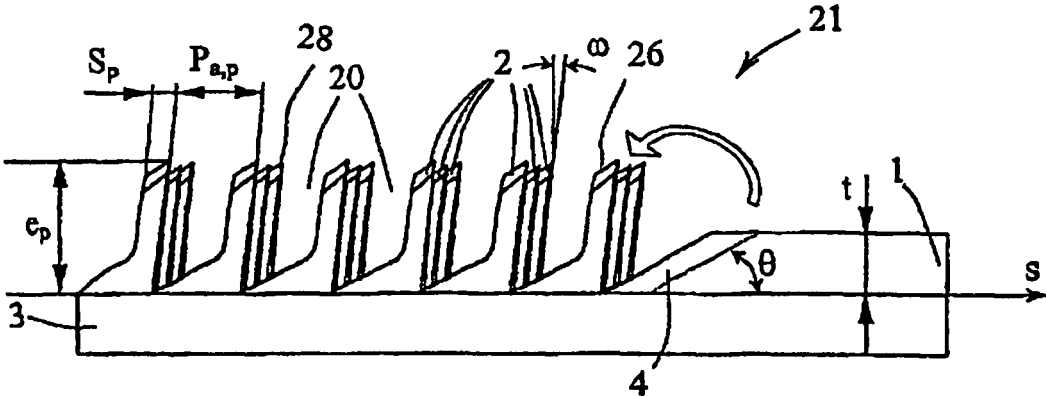
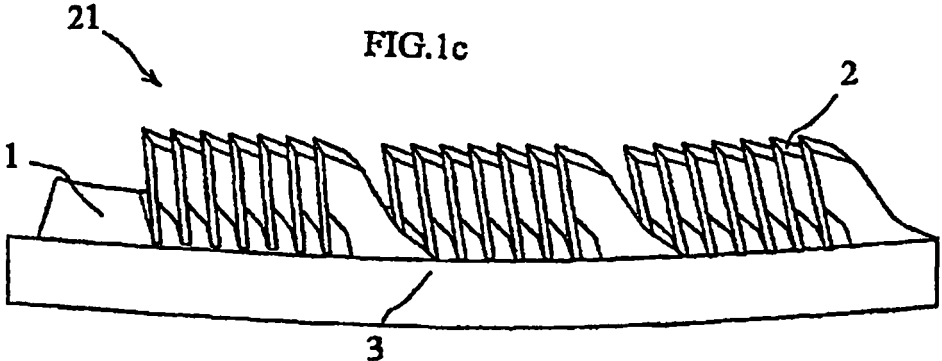
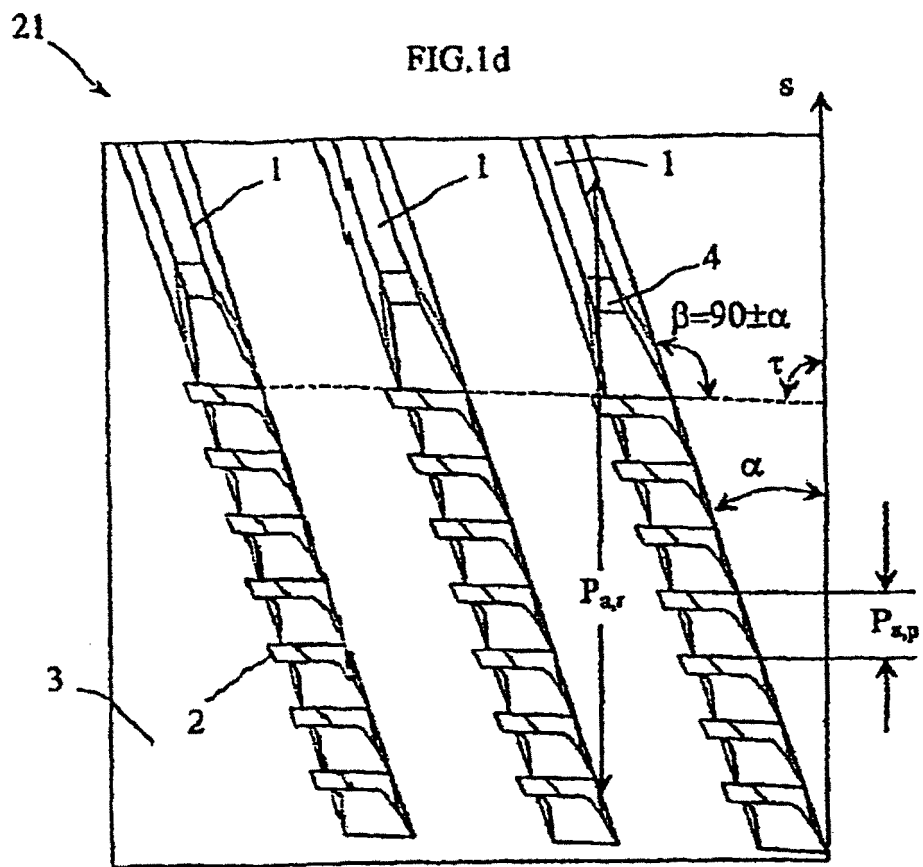


FIG.1c





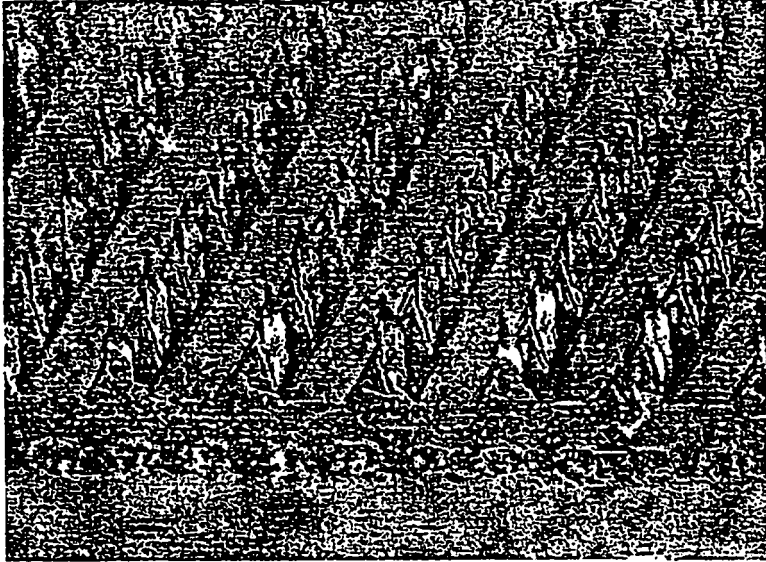


FIG.2

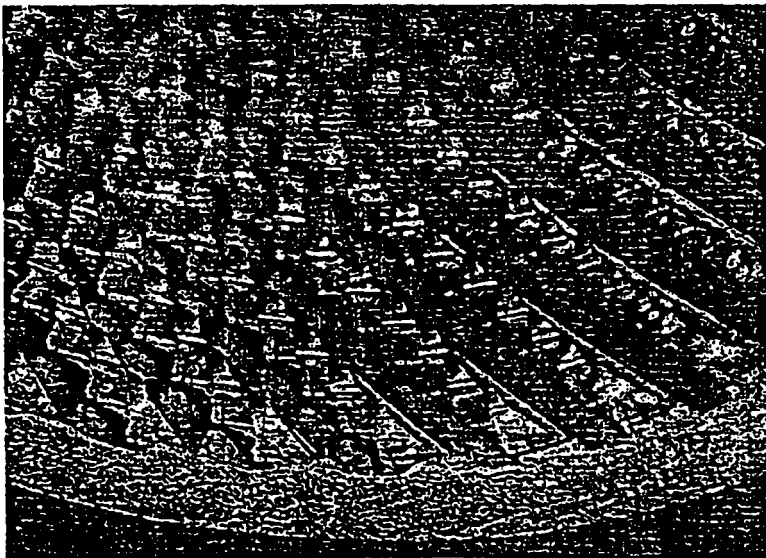


FIG.3

FIG.4

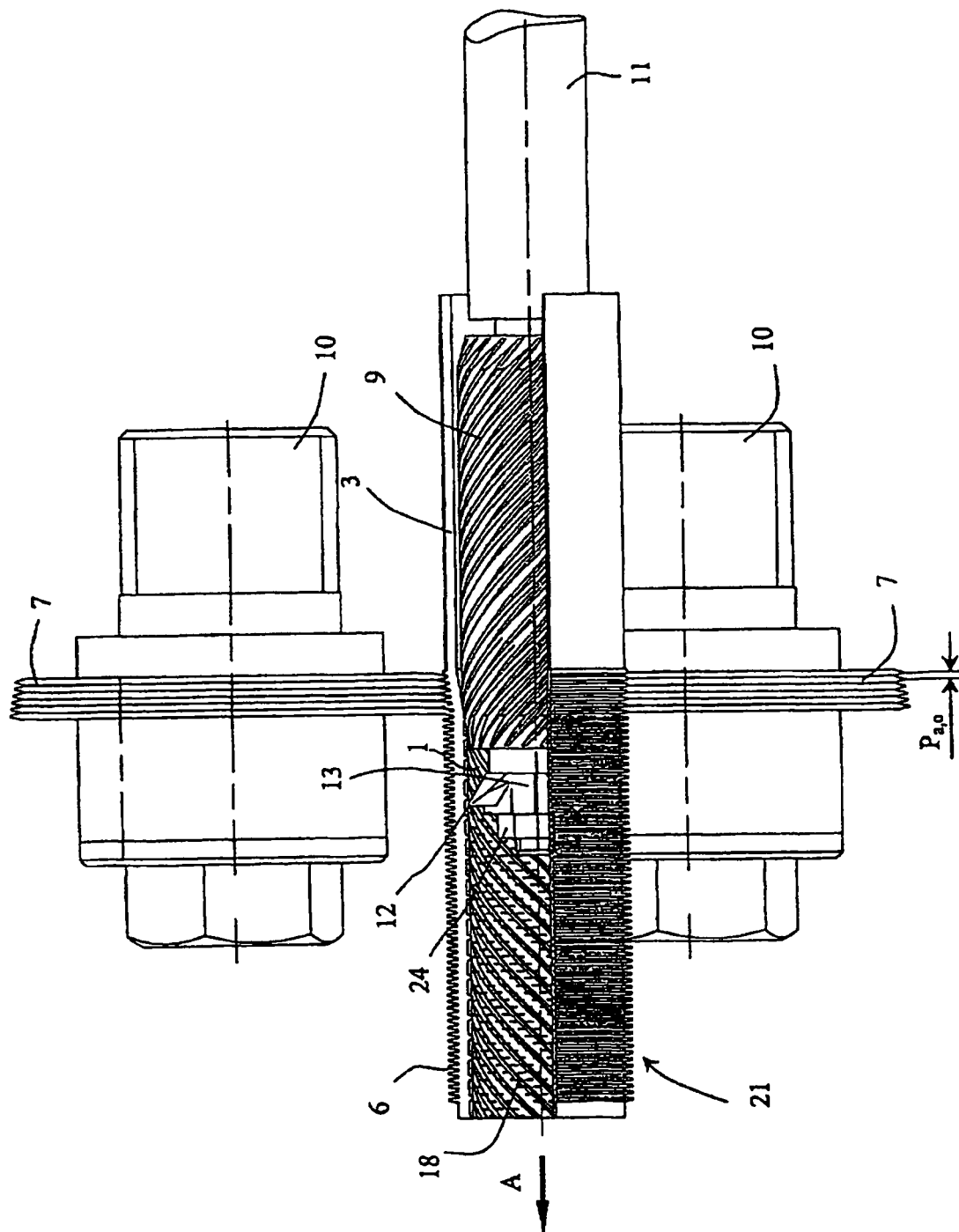


FIG.5

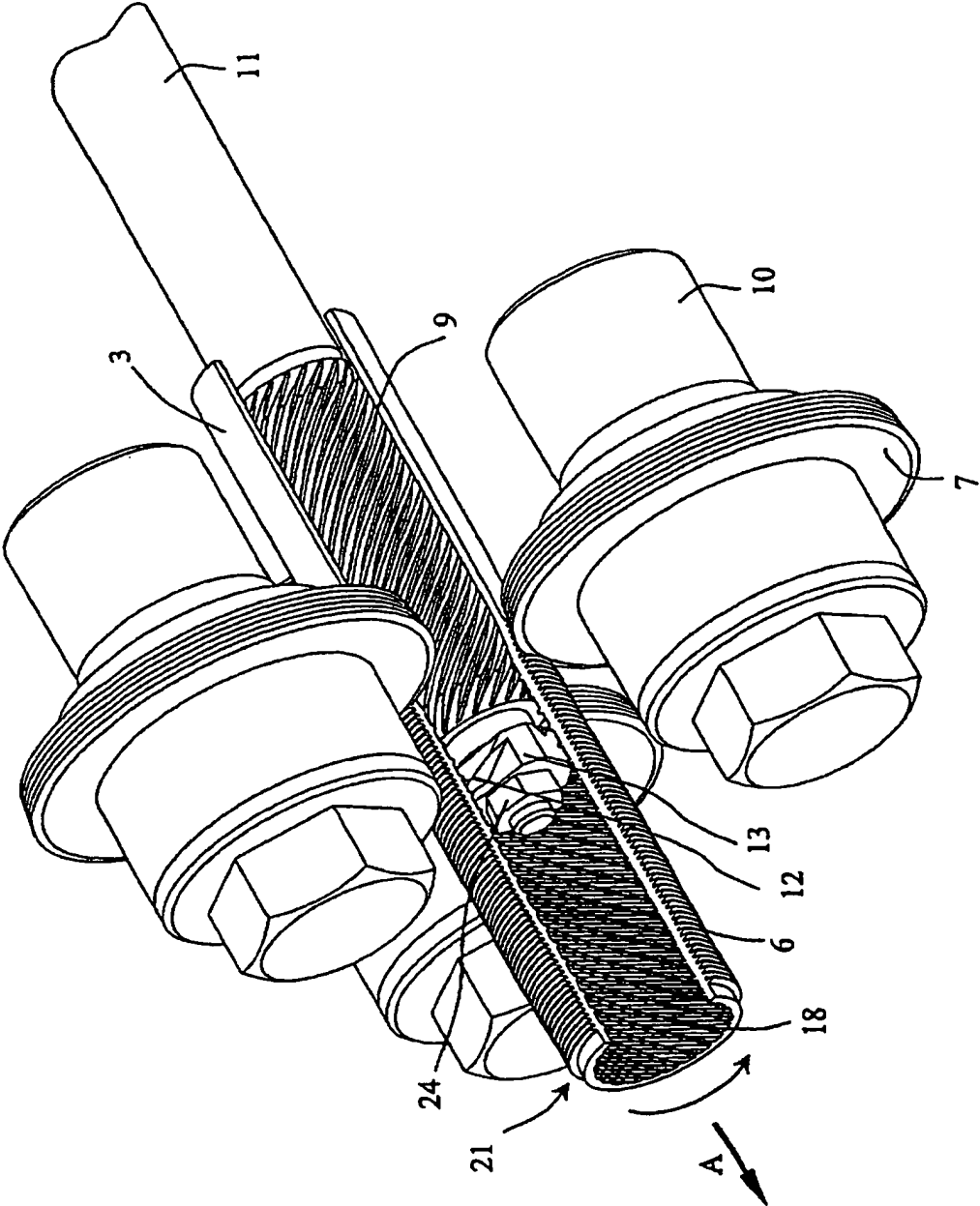


FIG.6a

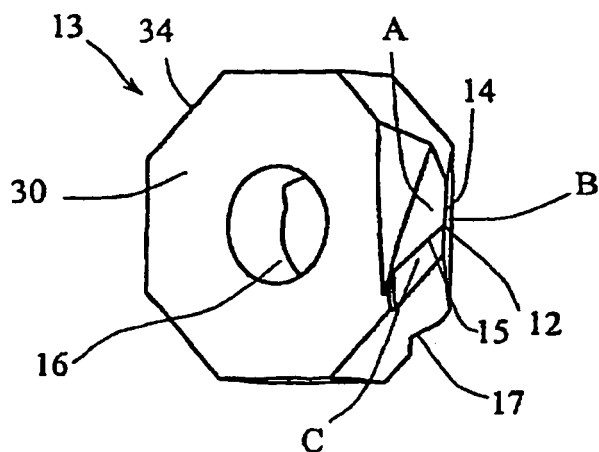


FIG.6b

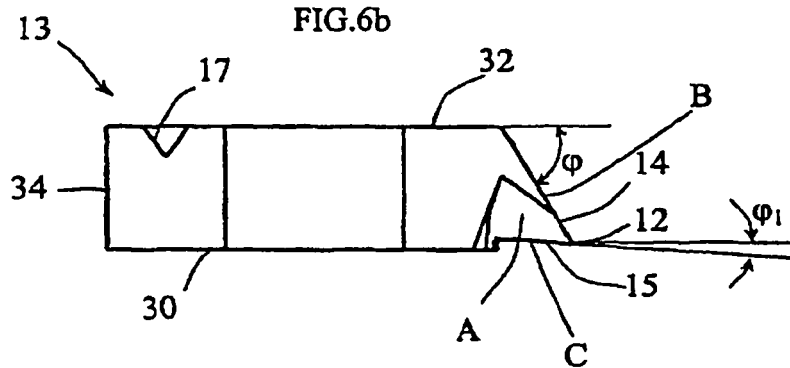


FIG.6c

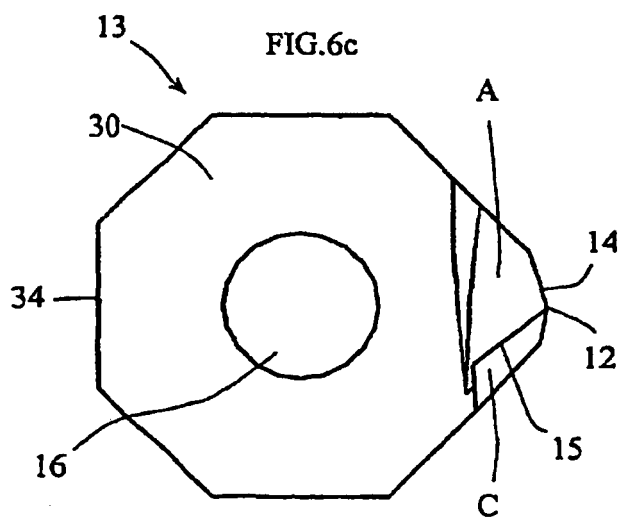


FIG.6d

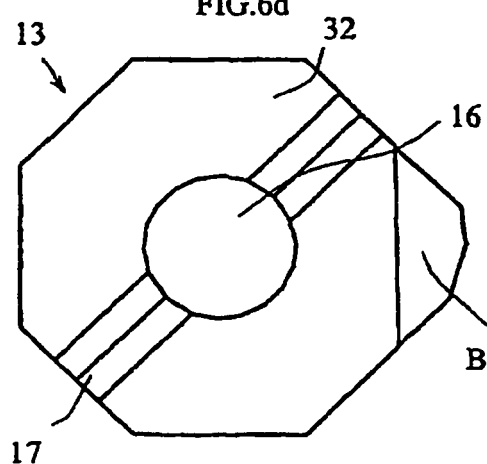


FIG.7a

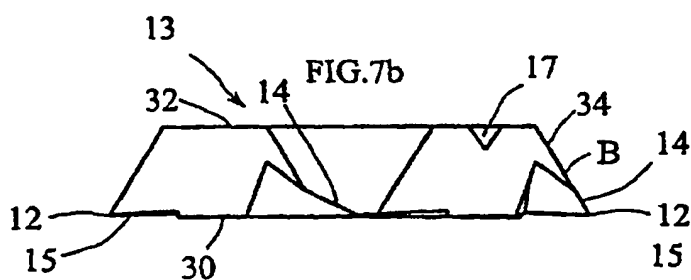
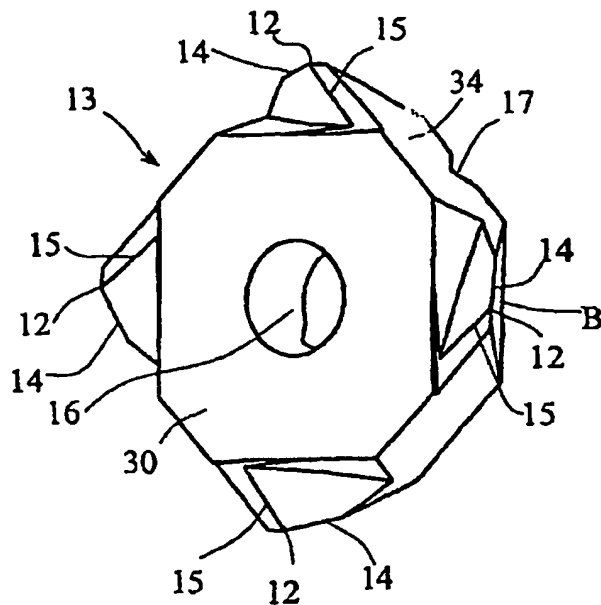


FIG.7c

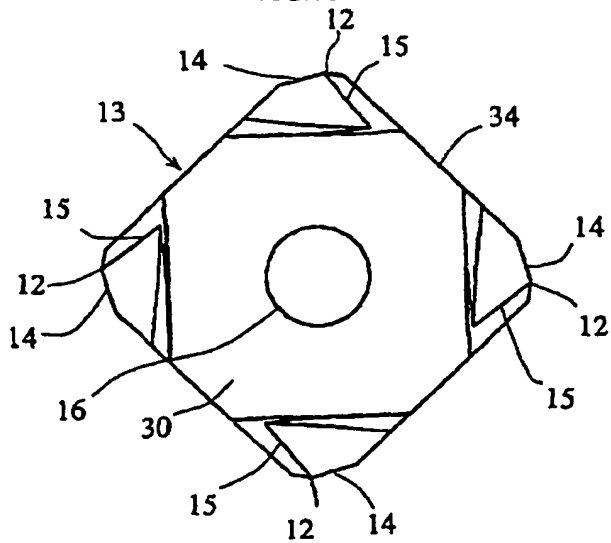


FIG.7d

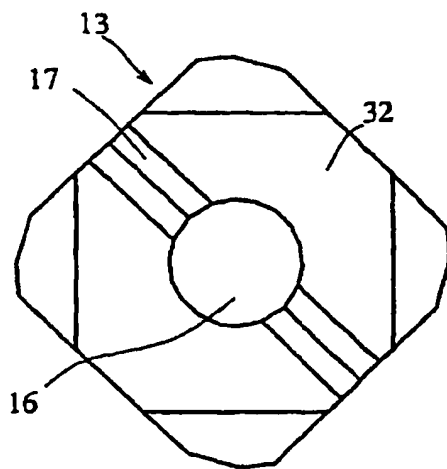


Fig.8a

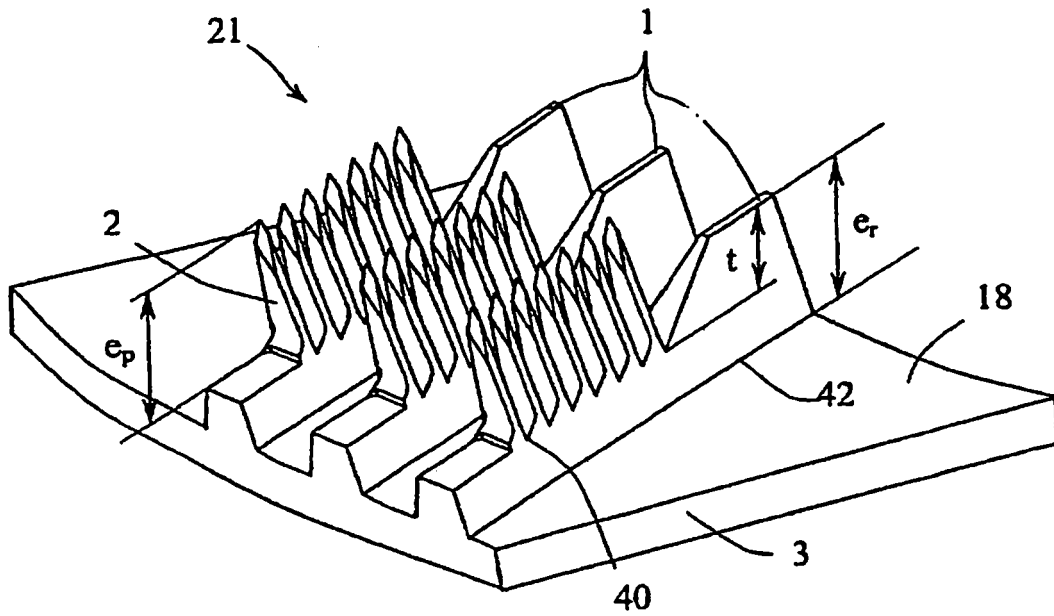


FIG. 8b

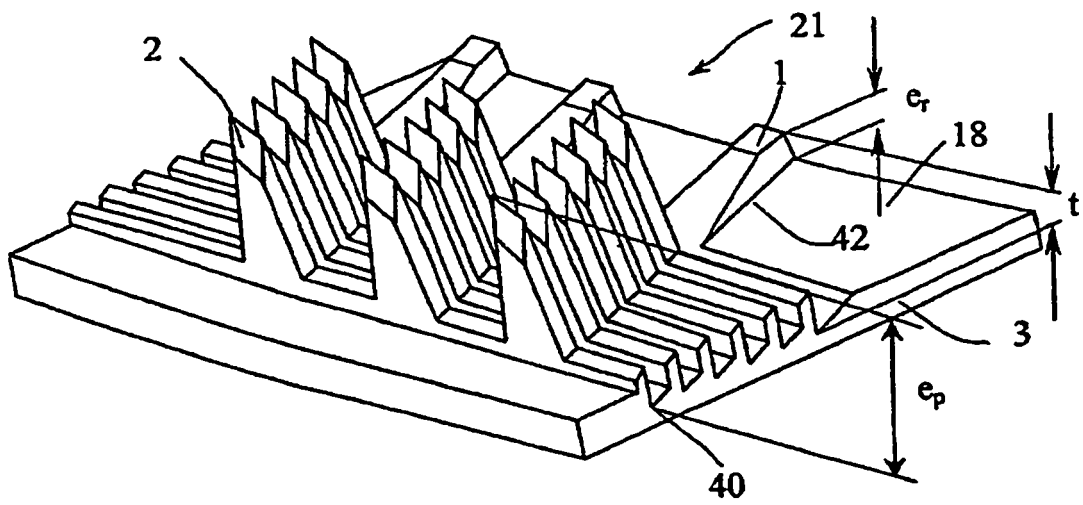




FIG.10a

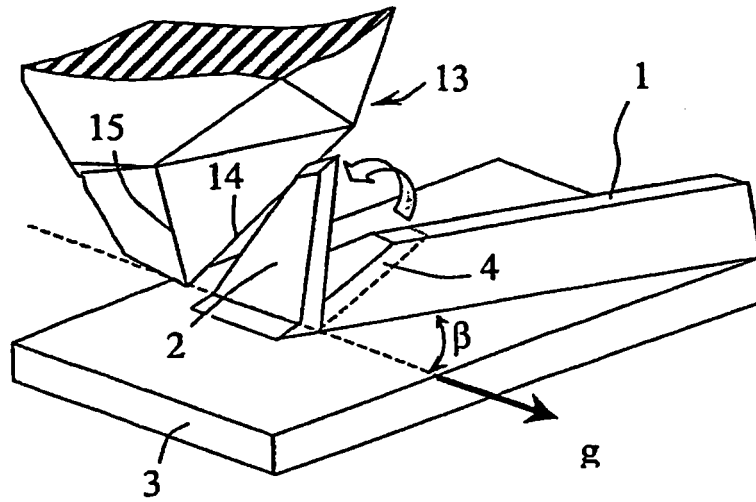


FIG.10 b

