



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1001514-0 B1



(22) Data do Depósito: 12/05/2010

(45) Data de Concessão: 03/03/2020

(54) Título: TUBO METÁLICO DO PERMUTADOR TÉRMICO

(51) Int.Cl.: B21C 37/16; B21C 37/26.

(30) Prioridade Unionista: 14/05/2009 DE 1020090213341.

(73) Titular(es): WELAND-WERKE AG.

(72) Inventor(es): ANDREAS BEUTLER; JEAN EL HAJAL; ACHIM GOTTERBARM; RONALD LUTZ.

(57) Resumo: TUBO METÁLICO DO PERMUTADOR TÉRMICO. A invenção abrange um tubo metálico do permutador térmico (1) com uma parede do tubo (2) e com nervuras (3) circulares e integrais no lado externo do tubo (21), as quais possuem uma base (31), flancos (32) e uma pont~i (33), sendo que a base (31) se distancia radialmente da parede do tubo (2) e os flancos (32) apresentam elementos estruturais complementares, formados por saliências (4) do material, dispostas lateralmente no flanco (32), sendo que as saliências do material (4) apresentam diferentes superfícies de limitação (41, 42), sendo que pelo menos uma das superfícies de limitação (42) de pelo menos uma saliência (4) do material apresenta uma curvatura convexa.

TUBO METÁLICO DO PERMUTADOR TÉRMICO

[001] A invenção abrange um tubo metálico do permutador térmico de acordo com a reivindicação acima apresentada.

Esses tipos de tubos metálicos do permutador térmico são usados principalmente para a condensação de líquidos compostos por materiais puros ou misturas no lado externo do tubo. A condensação ocorre em várias áreas da técnica de frio e técnica climática, bem como na técnica de processos e energia. Muitas vezes são usados permutadores térmicos de carcaça e tubo, onde os vapores das substâncias puras ou das misturas são fluidificados no lado externo do tubo e, desta forma, aquecem a salmoura ou a água. Esses equipamentos são identificados como condensadores de carcaça e tubo ou como fluidificadores de carcaça de tubo.

[002] Geralmente os tubos para os permutadores térmicos de carcaça e tubo possuem pelo menos uma área estruturada, bem como extremidades lisas e, eventualmente, segmentos intermediários lisos. As extremidades e os segmentos intermediários lisos são adjacentes às áreas estruturadas. Para que o tubo possa ser montado sem qualquer tipo de problema no permutador térmico de carcaça e tubo, o diâmetro externo das áreas estruturadas não pode ser maior do que o diâmetro externo das extremidades e dos segmentos intermediários. Hoje os tubos de alta capacidade são geralmente quatro vezes mais resistentes do que os tubos lisos com mesmo diâmetro.

[003] São conhecidas várias medidas para aumentar a transferência de calor por ocasião da condensação no lado externo do tubo. Muitas vezes são colocadas nervuras na superfície externa do tubo. Isto faz com que primeiramente a superfície do tubo seja aumentada e, conseqüentemente, a condensação seja intensificada. Para a transmissão de calor

é extremamente vantajoso quando as nervuras são formadas pelo material da parede do tubo liso, uma vez que isso gera um contato otimizado entre a nervura e a parede do tubo. Os tubos com nervuras, onde as nervuras foram formadas através de um processo de remodelagem do material da parede de um tubo liso, são identificados como tubos com nervuras, laminados integralmente.

[004] De acordo com os últimos avanços técnicos, a superfície do tubo pode ser aumentada através da aplicação de entalhes nas pontas das nervuras. No mais, os entalhes geram estruturas complementares, que influenciam positivamente o processo de condensação. Alguns exemplos de entalhes nas pontas das nervuras podem ser vistas nos impressos US 3.326.283 e US 4.660.630.

[005] Hoje os tubos com nervuras para fluidificadores vendidos comercialmente possuem uma estrutura de nervuras no lado externo do tubo com uma densidade da nervura de 30 até 45 nervuras por polegada. Isso corresponde a uma divisão das nervuras de cerca de 0,85 até 0,56 mm. Essas estruturas das nervuras podem ser vistas, por exemplo, nos impressos DE 44 04 357 C2, US 2008/0196776 A1, US 2007/0131396 A1 e CN 101004337 A. O efeito de inundação gerado nos permutadores térmicos de carcaça e tubo definiu limites em relação à continuidade da ampliação da capacidade através de aumento da densidade das nervuras: através da utilização de uma distância menor entre as nervuras, o efeito capilar faz com que o intervalo das nervuras seja inundado com o produto de condensação e a saída do produto de condensação seja evitada através dos canais menores entre as nervuras.

[006] No mais, sabemos que é possível aumentar a capacidade dos tubos de fluidificação na medida em que, no caso de densidade igual das nervuras, são aplicados

adicionalmente elementos estruturais na área dos flancos entre as nervuras. Essas estruturas podem ser formadas por placas dentadas nos flancos. As saliências do material assim geradas se projetam em direção ao intervalo das nervuras adjacentes. A forma de apresentação dessas estruturas pode ser vista nos impressos US 2008/0196876 A1, US 2007/0131396 A1 e CN 101004337 A. Nesses impressos as saliências do material são mostradas como elementos estruturais com superfícies de limitação planas. As superfícies de limitação planas são desvantajosas, uma vez que o produto de condensação gerado em uma superfície plana não recebe a força induzida pela tensão na superfície, a qual iria manter o produto afastado da superfície de limitação. Desta maneira, é gerada uma película líquida indesejada, que pode influenciar negativamente a transmissão de calor.

[007] No documento US 2007/34361 A1 é divulgado um tubo permutador de calor para evaporação, no qual as saliências de material curvados se encontram aplicadas lateralmente nos flancos das nervuras. Estas saliências de material têm a finalidade de dividir o canal entre duas nervuras adjacentes aproximadamente a meia altura das nervuras e assim formar, a partir de uma estrutura com uma cavidade simples, uma estrutura com uma cavidade dupla. As estruturas deste género com cavidades favorecem a ebulição com formação de bolhas entre as nervuras e, por conseguinte, o processo de evaporação. No caso ideal, as saliências de material laterais prolongam-se a partir de uma nervura ao longo de toda a largura do canal até à nervura adjacente. Deste modo, origina-se uma estrutura na qual o líquido é retido devido a forças capilares. O líquido bloqueia, contudo, superfícies livres para a condensação de vapor. Por este motivo, uma estrutura deste

gênero não é adequada como superfície de um tubo do condensador.

[008] A tarefa da invenção abrange a criação de um tubo do permutador térmico com maior capacidade para condensação de líquidos no lado externo do tubo mediante igual transferência de calor e queda de pressão no tubo, bem como custos de produção semelhantes. Neste caso, a estabilidade mecânica do tubo não deverá ser influenciada negativamente.

[009] A invenção é caracterizada pelas propriedades apresentadas na reivindicação 1. As demais reivindicações abrangem execuções favoráveis do desenvolvimento.

[010] A invenção abrange um tubo metálico do permutador térmico com uma parede do tubo e com nervuras circulares e integrais no lado externo do tubo, as quais possuem uma base, flancos e uma ponta, sendo que a base se distancia radialmente da parede do tubo e os flancos apresentam elementos estruturais complementares, formados por saliências do material, dispostas lateralmente no flanco, sendo que as saliências do material apresentam diferentes superfícies de limitação.

[011] De acordo com a invenção pelo menos uma das superfícies de limitação de pelo menos uma saliência do material apresenta uma curvatura convexa.

[012] A presente invenção refere-se a tubos estruturados, onde o coeficiente de transmissão do calor fica mais intenso no lado externo do tubo. Uma vez que com isso a quota principal da resistência à passagem de calor muitas vezes é transferida para o lado interno, o coeficiente de transmissão de calor no lado interno, via de regra, também precisa ser intensificado. O aumento da transmissão de calor no lado interno do tubo geralmente gera um aumento da queda de pressão no tubo.

[013] A invenção parte do pressuposto que o tubo com

nervuras laminadas integralmente apresenta uma parede do tubo, bem como nervuras circulares na forma de linhas espirais cilíndricas no lado externo do tubo. As nervuras possuem uma base, uma ponta e flancos nos dois lados. A base distancia-se radialmente da parede do tubo. A altura da nervura é medida da parede do tubo até a ponta e abrange preferencialmente entre 0,5 e 1,5 mm. O contorno da nervura é côncavo na área da base, bem como na área do flanco no sentido radial, adjacente à base. Na ponta das nervuras, bem como na área do flanco adjacente à ponta das nervuras, o contorno da nervura no sentido radial encontra-se curvado de maneira convexa. Aproximadamente na metade da altura das nervuras a curvatura convexa se transforma em uma curvatura côncava. Na área da curvatura convexa o produto de condensação gerado é removido em virtude das forças de tensão na superfície. O produto de condensação é acumulado na área da curvatura côncava formando gotas.

[014] De acordo com a presente invenção a lateral dos flancos das nervuras apresenta, de maneira complementar, elementos estruturais na forma de saliências do material.

[015] Essas saliências são formadas pelo material do flanco superior das nervuras, na medida em que, através de um ferramental semelhante a uma limalha, o material é levantado e transferido, no entanto, sem ser separado do flanco das nervuras. As saliências do material permanecem firmemente conectadas às nervuras. No local de conexão é gerada uma aresta côncava entre o flanco das nervuras e a saliência do material. As saliências do material se estendem basicamente no sentido axial a partir do flanco em direção ao intervalo entre duas nervuras. As saliências do material podem ser dispostas aproximadamente na metade da altura das nervuras. A superfície do tubo é aumentada pelas saliências do material.

[016] As saliências do material opostas, com nervuras adjacentes, não deveriam entrar em contato. Por esta razão, a extensão axial das saliências do material, em geral, é um pouco menor do que a metade da distância do intervalo entre duas nervuras. Por esta razão, por exemplo, os tubos de fluidificação para o agente de refrigeração R134a ou R123 apresentam uma largura do intervalo entre duas nervuras de cerca de 0,4 mm. Consequentemente, a extensão axial das saliências do material é menor do que 0,2 mm.

[017] De acordo com a presente invenção, as saliências do material são limitadas por pelo menos uma superfície curvada convexa. A forma convexa melhora a eficácia dos elementos estruturais complementares. Em virtude da tensão na superfície, o produto de condensação é removido das superfícies curvadas de maneira convexa e transferido para a aresta côncava no local de aplicação entre a saliência do material e o flanco das nervuras. Por esta razão a película do produto de condensação torna-se mais fina na superfície de limitação curvada de maneira convexa, tornando a resistência térmica menor. As saliências do material encontram-se dispostas aproximadamente na área do flanco das nervuras, onde o contorno curvado convexo da nervura se transforma no contorno curvado côncavo. O produto de condensação da região superior da nervura e o produto de condensação da saliência do material se encontram no local de aplicação e formam uma gota no segmento côncavo da nervura.

[018] No caso da estrutura complementar montada lateralmente nos flancos das nervuras de acordo com US 2007/0131396 A1 e US 2008/0196876 A1 trata-se de elementos com superfícies planas, que não apresentam esses tipos de propriedades vantajosas.

[019] Uma das principais vantagens abrange o fato de

que a intensificação da transmissão do calor no lado interno do tubo em conexão com uma transmissão de calor favorável no lado externo do tubo reduz consideravelmente o tamanho do produto de condensação. Isso reduz os custos de produção desse tipo de equipamento. Essa solução em conformidade com a presente invenção não influencia negativamente nem a estabilidade mecânica do tubo nem a queda de pressão. Além disso, o volume de enchimento necessário do agente de refrigeração sofre redução, o que pode significar uma redução considerável nos custos totais do equipamento, principalmente em virtude do uso de agentes de refrigeração sem cloro. No caso dos agentes de refrigeração tóxicos e inflamáveis, usados em casos especiais, essa redução do volume de enchimento também reduz o potencial de risco.

[020] Em uma execução especial da presente invenção o raio local de curvatura da superfície de limitação convexa pode ser reduzido na medida em que for se distanciando do flanco das nervuras. Em cada ponto da superfície de limitação convexa pode ser definido um raio de curvatura local como raio do círculo osculador. Desta maneira, o círculo osculador encontra-se em um plano perpendicular ao flanco da nervura. No caso de uma superfície de limitação moldada de maneira preferencial, esse raio de curvatura local sofre alteração. Quando a superfície apresenta uma película do líquido, são gerados gradientes de pressão na película do líquido em virtude da tensão na superfície e do raio de curvatura alterado. Esses gradientes de pressão removem o líquido das áreas com raio de curvatura pequeno e o transferem para as áreas com raio de curvatura grande. As execuções extremamente vantajosas das saliências do material se apresentam quando o raio de curvatura local de suas superfícies de limitação é reduzido através do aumento

da distância em relação ao flanco da nervura. Desta forma, o produto de condensação é então removido e transportado para a nervura de maneira eficiente pelas áreas das saliências do material, que estão distantes do flanco da nervura.

[021] Em uma execução especial a superfície de limitação curvada convexa, pode abranger a parede do tubo, que se distancia da superfície de limitação de uma saliência do material. O vapor a ser condensado poderá então fluir sem qualquer problema em direção a essa superfície.

[022] Em uma outra execução especial da invenção a curvatura da superfície de limitação pode apresentar uma curvatura convexa em um plano paralelo ao flanco das nervuras, sendo que a curvatura da superfície de limitação convexa é mais resistente em um plano perpendicular ao flanco das nervuras do que a curvatura da superfície de limitação convexa em um plano paralelo ao flanco das nervuras. Isso favorece adicionalmente o transporte do produto de condensação no sentido lateral desde a ponta da saliência do material na direção da nervura.

[023] O raio de um círculo, identificado como raio de curvatura médio da superfície de limitação convexa, pode ser determinado através das medições em três pontos. No caso de uma execução especial, o raio desse círculo, que se encontra em um plano perpendicular ao sentido do perímetro do tubo, definido pelos pontos P1, P2 e P3, pode ser menor do que 1 mm. P1 é o ponto em que a superfície de limitação convexa da saliência do material encontra-se adjacente ao flanco, P3 é o ponto em que a superfície de limitação convexa da saliência do material se encontra mais distante do flanco e P2 é o ponto central entre P1 e P3 na linha de contorno da superfície de limitação convexa da saliência do

material. Se esse raio da curvatura fosse maior do que 1 mm, as forças de tensão da superfície resultante no caso das substâncias usualmente usadas, por exemplo, agentes de refrigeração ou hidrocarbonetos, não seriam suficientemente grandes perante a gravidade para influenciar de modo decisivo o transporte do produto de condensação.

[024] De maneira vantajosa, superfície de limitação convexa da saliência do material apresenta continuidade com a sua curvatura convexa na região de sua ponta para além do ponto P3 mais distante do flanco da nervura. Neste caso, a ponta da saliência do material geralmente apresenta curvatura espiral. Desta maneira, é possível obter uma superfície maior para a condensação no intervalo disponibilizado entre as nervuras no caso de uma distância igual entre as nervuras.

[025] Em uma outra execução especial em conformidade com a presente invenção, as saliências do material dispostas no flanco das nervuras podem se distanciar no sentido periférico. Isso gera arestas adicionais, onde ocorre a condensação. No mais, o produto de condensação acumulado no flanco das nervuras pode fluir para as áreas entre as duas saliências do material em direção à base das nervuras.

[026] Em uma outra execução dessa invenção as saliências do material dispostas no flanco das nervuras são equidistantes no sentido periférico e apresentam uma distância equivalente à largura. Desta maneira, é possível obter suficiente intervalo para o produto de condensação acumulado no flanco das nervuras a fim de garantir o transporte de remoção.

[027] Os exemplos das execuções em conformidade com essa invenção são explicados de forma mais detalhada através dos desenhos esquemáticos.

[028] Podem ser vistos:

Figura 1: perspectiva da secção parcial de um segmento das nervuras de um tubo do permutador térmico com saliências do material.

Figura 2: visualização detalhada da saliência do material apresentada na figura 1 com uma superfície de limitação curvada de maneira convexa.

Figura 3: visualização detalhada de uma saliência do material com duas superfícies de limitação curvadas de maneira convexa.

Figura 4: visualização detalhada de uma saliência do material com uma superfície de limitação curvada duplamente de maneira convexa.

Figura 5: visualização detalhada de uma saliência do material com uma continuidade para além do ponto mais distante do flanco.

Figura 6: perspectiva da secção parcial do lado externo de um segmento do permutador térmico.

Figura 7: perspectiva da secção parcial do lado interno de um segmento do permutador térmico, e

Figura 8: da secção transversal de um segmento do tubo do permutador térmico.

[029] Os componentes apresentam a mesma numeração em todas as figuras.

[030] A figura 1 mostra a perspectiva da secção parcial de um segmento da nervura de um tubo do permutador térmico 1 com três saliências do material 4. Do lado externo do tubo 21 somente uma parte das nervuras circulares e integrais 3 pode ser vista no desenho. As nervuras 3 apresentam uma base 31, que se encontra disposta na parede do tubo não apresentada nesse desenho, flancos 32 e uma ponta 33. A nervura 3 de distância radialmente da parede do tubo. Os flancos das nervuras 32 apresentam elementos

estruturais complementares, formados por saliências do material 4, dispostas lateralmente no flanco 32, sendo que as saliências do material 4 apresentam diferentes superfícies de limitação 41 e 42. Na forma de execução apresentada no desenho as três superfícies de limitação 42 mostradas da saliência do material 4 são curvadas de maneira convexa no lado que se distancia da parede do tubo. Em princípio, cada uma das saliências do material 4 pode apresentar uma outra superfície de limitação 42 ou diferentes superfícies de limitação 42 com uma curvatura convexa. As demais superfícies de limitação não convexas 41 podem ser planas ou côncavas. O material da saliência 4 é gerado, em primeira linha, pelo flanco das nervuras 32, sendo que são criadas reentrâncias 34 através do transporte do material por ocasião da produção dos tubos do permutador térmico 1.

[031] A figura 2 mostra uma visão detalhada de uma saliência do material 4 com uma superfície de limitação curvada de maneira convexa 42. Neste caso, as demais superfícies de limitação 41 não convexas são planas. Na região da superfície convexa o produto condensado na fase gasosa é removido em virtude da tensão na superfície. Isso gera o acúmulo do produto de condensação na região da curvatura côncava ou também nas áreas planas das superfícies.

[032] O raio de curvatura médio RM da superfície de limitação convexa 42 de um círculo K é definido pelos pontos $P1$, $P2$ e $P3$. Esse raio RM pode ser usado como dimensão característica para a superfície convexa. $P1$ abrange o ponto em que a superfície de limitação 42 convexa da saliência do material 4 encontra-se adjacente ao flanco das nervuras, $P3$ abrange o ponto em que a superfície de limitação 42 convexa da saliência do material 4 se encontra

mais distante do flanco das nervuras e P2 abrange o ponto central entre P1 e P3 na linha de contorno da superfície de limitação 42 convexa da saliência do material 4. No caso das dimensões estruturais comuns dos tubos dos permutadores térmicos com nervuras laminadas integralmente em conformidade com a presente invenção, o raio médio de curvatura RM encontra-se tipicamente na região submilimétrica.

[033] A figura 3 mostra uma outra visão detalhada de uma saliência 4 com duas superfícies opostas curvadas de maneira convexa. Através dessa geometria o produto de condensação é transportado, a partir da ponta de uma saliência do material 4, de maneira eficaz na direção do flanco das nervuras. Em princípio e, para uma forma de execução mais eficiente, todas as superfícies de limitação 42, inclusive as superfícies laterais 41, poderiam apresentar uma curvatura convexa. Na realidade esse tipo de execução, no âmbito da estruturação das formas integrais das nervuras, e as saliências do material 4 estão sujeitas a elevadas exigências tecnológicas processuais.

A figura 4 apresenta a visualização detalhada de uma outra forma de execução vantajosa com uma saliência do material 4, uma superfície de limitação curvada de maneira convexa 42 e superfícies laterais planas 41. A curvatura da superfície de limitação convexa em um plano transversal ao flanco das nervuras é mais resistente do que a curvatura da superfície de limitação 42 convexa no plano paralelo ao flanco. Esse tipo de superfície ondulada serve de apoio para o fluxo do produto de condensação na direção do flanco das nervuras.

[034] Da mesma forma, a figura 5 mostra, através de visualização detalhada, uma saliência do material 4 com superfícies laterais planas 41 e uma continuidade para além

do ponto P3 mais distante do flanco. Neste caso, a ponta SP da saliência do material 4 encontra-se enrolada de maneira espiral em relação à base das nervuras. Desta maneira, é possível obter uma superfície maior para a condensação no intervalo disponibilizado entre as nervuras no caso de uma distância igual entre as nervuras. Através dos pontos P1, P2 e P3 é definido o raio médio de curvatura RM da superfície de limitação convexa 42 de um círculo K.

[035] A figura 6, por sua vez, mostra uma perspectiva da secção parcial do lado externo de um segmento do permutador térmico 1. Em contrapartida, a figura 7 mostra uma perspectiva da secção parcial do lado interno de um segmento do permutador térmico. O lado externo do tubo 21 apresenta algumas nervuras 3 integrais, que circundam o eixo do tubo A. As nervuras 3 distanciam-se radialmente da parede do tubo 2 e se conectam a mesma através da base das nervuras 31. Os flancos das nervuras 32 apresentam saliências do material 4, aplicadas lateralmente no flanco das nervuras 32. As superfícies de limitação 42, que se distanciam da parede do tubo 2 são formadas de maneira convexa a partir das superfícies de limitação das saliências do material 4. De acordo com a figura 6, as demais superfícies de limitação convexas 41 apresentam a forma de execução plana. Na figura 7 as superfícies de limitação laterais 41 são planas, sendo que as superfícies de limitação 41 voltadas para o interior do tubo apresentam a forma côncava. O material da saliência integral do material 4 é gerado, em primeira linha, pelo flanco das nervuras 32 e somente em parte pela área da ponta das nervuras 33, onde são criadas reentrâncias 34. As saliências do material 4 dispostas no flanco das nervuras 32 são equidistantes no sentido periférico U e apresentam uma distância equivalente à largura. As saliências do

material opostas, com nervuras adjacentes 3, não entram em contato, uma vez que a extensão axial das saliências do material 4 é menor do que a metade da distância do intervalo entre duas nervuras 3. No lado interno do tubo 22 encontram-se dispostas nervuras internas espirais 5, que, ao contrário de um tubo liso, aumentam a transmissão do calor para o fluído no interior do tubo do permutador térmico 1.

[036] A figura 8 mostra uma secção transversal de um segmento do tubo do permutador térmico. No lado interno do tubo 22 encontram-se nervuras internas espirais 5. As nervuras 3 no lado externo do tubo 21 encontram-se dispostas sobre a parede do tubo 2 em uma seqüência regular a partir da base das nervuras 31, sendo que a ponta das nervuras 33 é um pouco plana. As superfícies de limitação 42 das saliências do material 4, dispostas no flanco das nervuras 32 e, que se distanciam da parede do tubo 2, são convexas e as superfícies de limitação 41 voltadas para o interior do tubo 22 são côncavas. As saliências do material opostas, com nervuras adjacentes 3, não entram em contato uma com as outras. Desta maneira, é possível obter suficiente intervalo para o produto de condensação acumulado no flanco das nervuras a fim de garantir o transporte de remoção.

[037] Lista de identificação

1	Tubo do permutador térmico
2	Parede do tubo
21	Lado externo do tubo
22	Lado interno do tubo
3	Nervura no lado externo do tubo
31	Base das nervuras
32	Flanco das nervuras

33	Ponta das nervuras
34	Reentrâncias
4	Saliência do material
41	Superfície de limitação
42	Superfície de limitação convexa
5	Nervura no lado interno do tubo
SP	Ponta de uma saliência do material
U	Sentido do perímetro do tubo
A	Eixo do tubo
RM	Raio médio da curvatura
K	Círculo
Pontos P1, P2,	Pontos na superfície de limitação convexa
P3	

Reivindicações

1. Tubo metálico do permutador térmico (1) para a condensação de vapores, com uma parede do tubo (2) e com nervuras (3) circulares e integrais no lado externo do tubo (21), as quais possuem uma base (31), flancos (32) e uma ponta (33), sendo que a base (31) se distancia radialmente da parede do tubo (2) e os flancos (32) apresentam elementos estruturais complementares, formados por saliências (4) do material moldados de modo semelhante a uma apara a partir do material do flanco superior da nervura e dispostas lateralmente no flanco (32) da nervura, sendo que as saliências do material (4) apresentam diferentes superfícies de limitação (41, 42) e sendo que pelo menos uma das superfícies de limitação (42) de pelo menos uma saliência (4) do material, afastada da parede (2) do tubo, apresenta uma curvatura convexa, caracterizado pelo raio de curvatura local de curvatura da superfície de limitação convexa diminuir com o aumento da distância em relação ao flanco da nervura.

2. Tubo metálico do permutador térmico (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela curvatura da superfície de limitação (42) manter a curvatura convexa mesmo em um plano paralelo aos flanco (32) da nervura, sendo que a curvatura da superfície de limitação (42) convexa no plano perpendicular ao flanco (32) da nervura é mais acentuada do que a curvatura da superfície de limitação (42) convexa no plano paralelo ao flanco (32) da nervura.

3. Tubo metálico do permutador térmico (1), de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo raio (RM) de um círculo imaginário (K), que se encontra em um plano de intersecção perpendicular ao sentido do tubo (U) e definido pelos pontos P1, P2 e P3, ser menor do que 1 mm, sendo que

P1 abrange o ponto em que a superfície de limitação (42) convexa da saliência do material (4) encontra-se adjacente ao flanco (32) da nervura, P3 abrange o ponto em que a superfície de limitação (42) convexa da saliência do material (4) se encontra mais distante do flanco (32) da nervura e P2 abrange o ponto central entre P1 e P3 na linha de contorno da superfície de limitação (42) convexa da saliência do material (4).

4. Tubo metálico do permutador térmico (1), de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela superfície de limitação (42) convexa da saliência do material (4) apresentar continuidade com a sua curvatura convexa na região de sua ponta (SP) para além do ponto P3 mais distante do flanco (32) da nervura.

5. Tubo metálico do permutador térmico (1), de acordo com uma qualquer das reivindicações anteriores de 1 até 4, caracterizado pelas saliências do material (4) dispostas no flanco (32) se distanciarem no sentido periférico (U).

6. Tubo metálico do permutador térmico (1), de acordo com uma qualquer das reivindicações anteriores 1 até 5, caracterizado pelas saliências do material (4) dispostas no flanco (32) serem equidistantes no sentido periférico (U) e apresentam uma distância equivalente à largura.

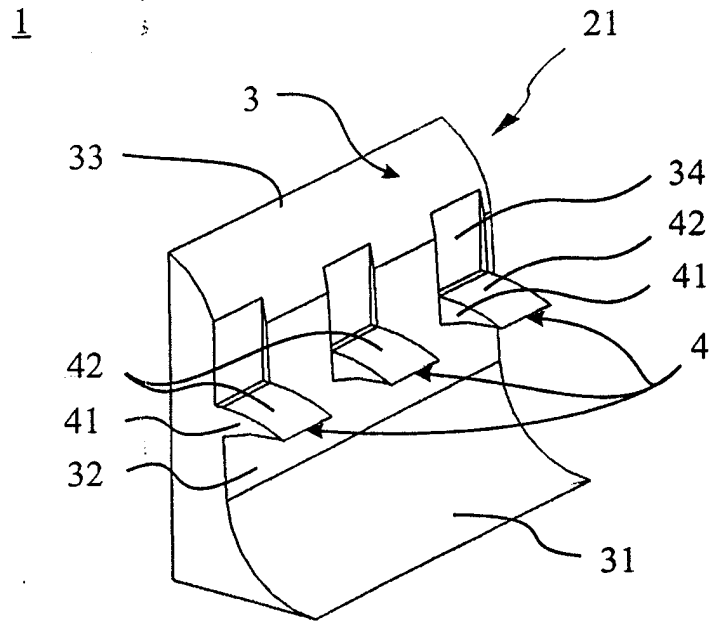


Fig. 1

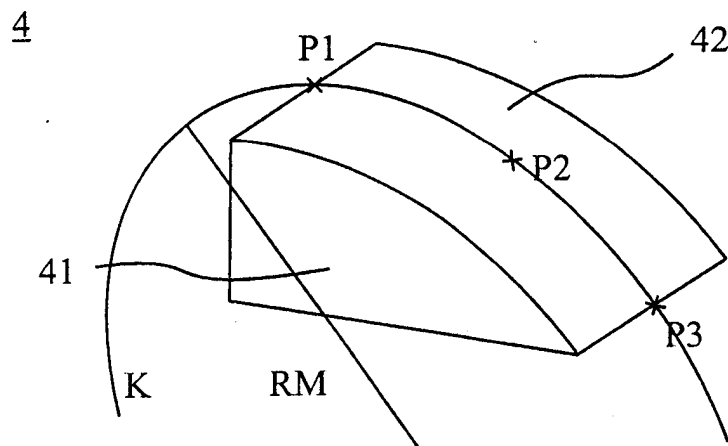


Fig. 2

4

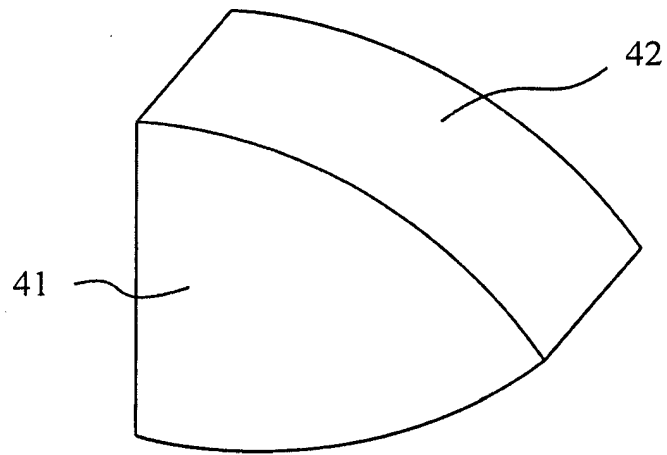


Fig. 3

4

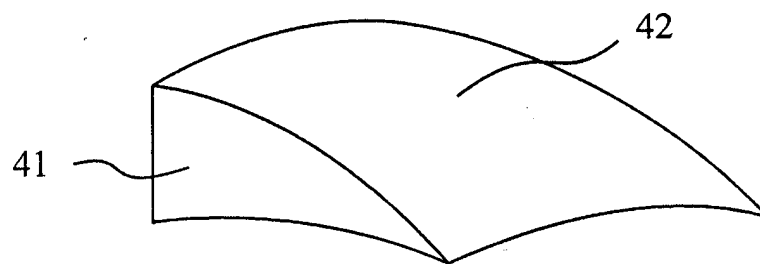


Fig. 4

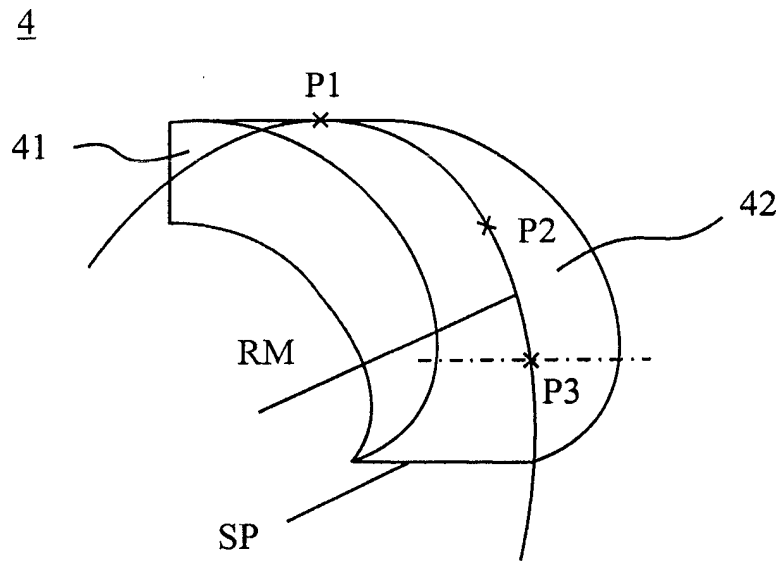


Fig. 5

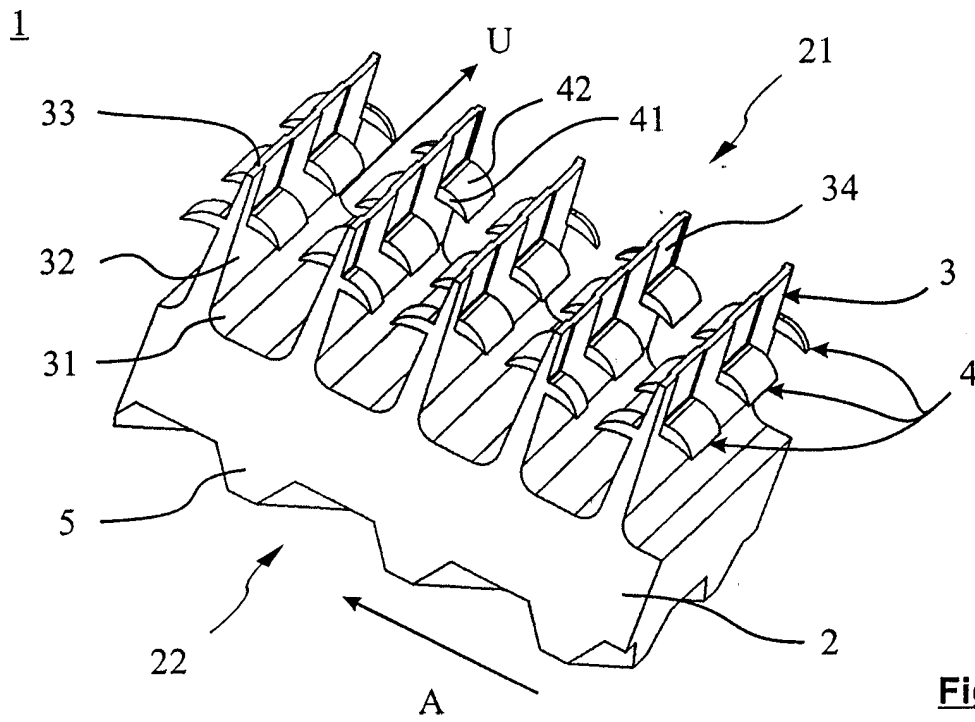
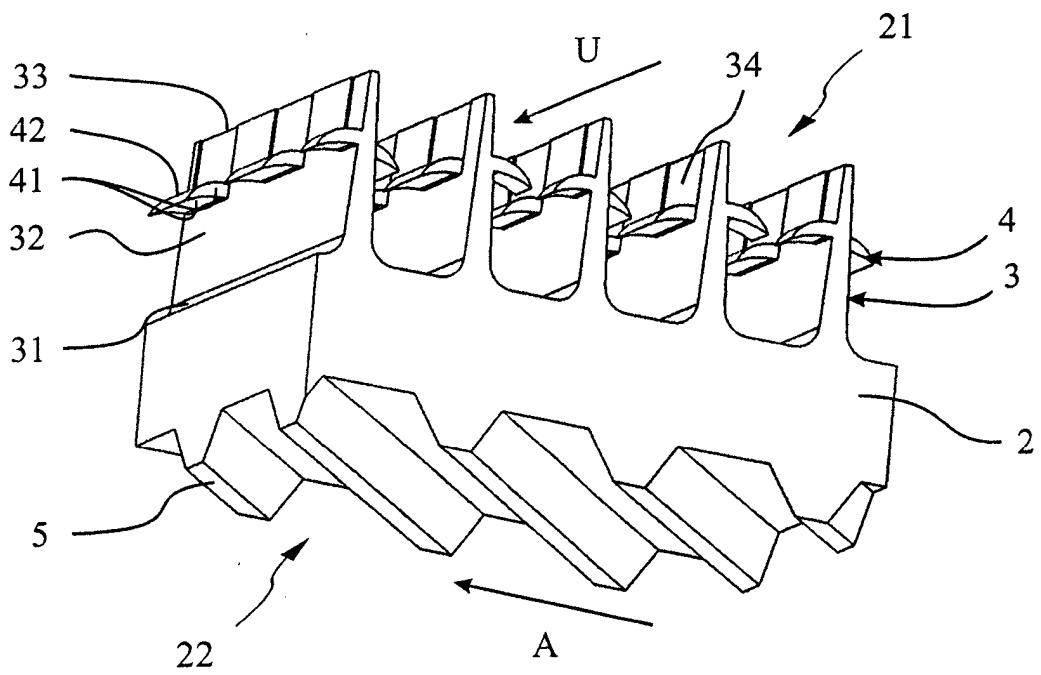
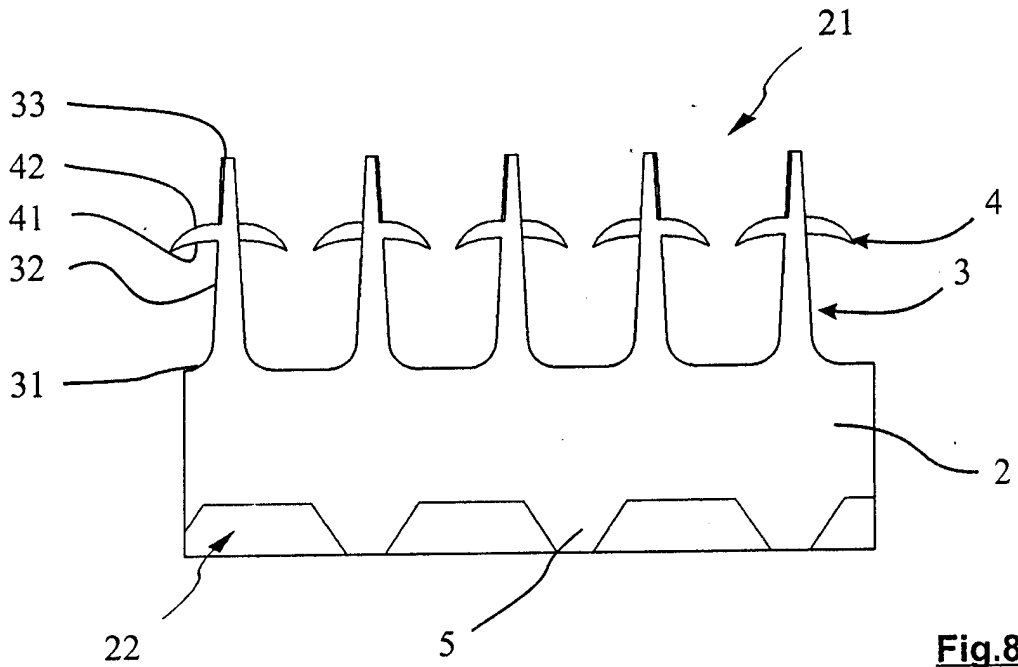


Fig. 6

1

**Fig. 7**

1

**Fig. 8**