



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 182 416 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.02.2002 Patentblatt 2002/09

(51) Int Cl.7: **F28F 1/40**

(21) Anmeldenummer: **01119589.8**

(22) Anmeldetag: **16.08.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **Wieland-Werke AG**
89070 Ulm (DE)

(72) Erfinder:
• **Walther, Christoph, Dr.-Ing.**
89233 Neu-Ulm (DE)
• **Wamsler, Rolf, Dipl.-Ing.**
89077 Ulm (DE)

(30) Priorität: **25.08.2000 DE 10041919**

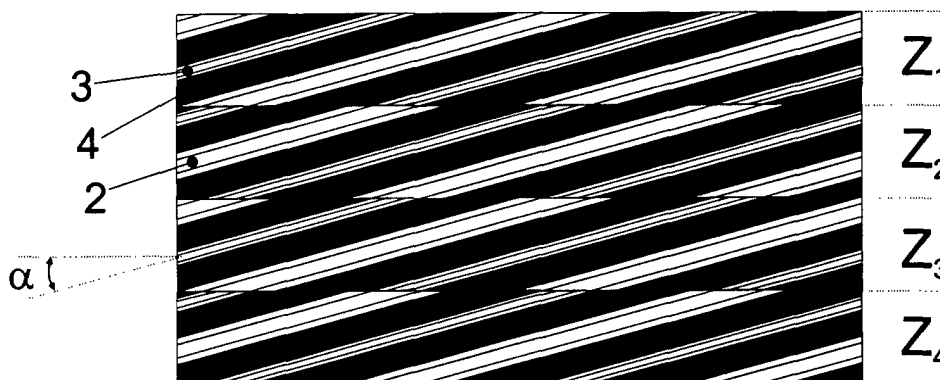
(54) **Innenberipptes Wärmeaustauschrohr mit versetzt angeordneten Rippen unterschiedlicher Höhe**

(57) Die Erfindung betrifft ein Wärmeaustauschrohr (1) mit berippter Innenoberfläche, die in Umfangsrichtung in mindestens zwei Zonen (Z_1 bis Z_m) aufgeteilt ist. Die unter einem Steigungswinkel α zur Rohrlängsachse verlaufenden Rippen (2, 3) sind in den einzelnen Zonen (Z_1 bis Z_m) in beliebiger periodischer Kombination und Abfolge mindestens zweier Rippenhöhen (H_1 bis H_n , $H_1 > H_2 > \dots > H_n$) angeordnet. Dabei grenzen benachbar-

te Zonen so aneinander, daß die Rippenabfolge in Rohrlängsrichtung um mindestens eine Rippe versetzt ist (vgl. Fig.7).

Diese Anordnung ist auch bei erfindungsgemäßen Varianten vorgesehen, bei denen die berippte Innenoberfläche jeweils in Gruppen von Zonen aufgeteilt ist, in denen der Steigungswinkel der Rippen zwar einheitlich ist, zwischen benachbarten Gruppen aber variiert.

Fig. 7



EP 1 182 416 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Wärmeaustauschrohr mit einer inneren strukturierten Oberfläche nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 (vgl. etwa JP-A-4/158.193) bzw. der Ansprüche 2/3 (vgl. etwa DE-A-196 28 280). Das Wärmeaustauschrohr ist insbes. zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohrrinnenseite geeignet. Es bietet aber auch Vorteile bei der Kondensation von Dämpfen.

[0002] Ein weltweiter Wettbewerb bei Wärmeaustauschern, z.B. Lamellenblock-Wärmeaustauschern (vgl. Fig. 1) für die Kälte- und Klimatechnik, erfordert hochleistende, mit wenig Material (geringes resultierendes Rohrgewicht) und kostengünstig in wenigen Arbeitsschritten produzierte Wärmeaustauschrohre. Die Wärmeaustauschrohre werden in oftmals zwischen Verdampfung und Kondensation umschaltbaren Lamellenblock-Wärmeaustauschern eingesetzt und sind dabei zumeist horizontal in die Lamellenblock-Wärmeaustauscher eingebaut.

[0003] Zum Stand der Technik zählt ein Wärmeaustauschrohr nach

- US-A-5.332.034, bei dem in zwei nacheinander erfolgenden Walzgängen zunächst Rippen einheitlicher Höhe auf ein Band gewalzt werden und im zweiten Walzgang Mulden in die Rippen geformt werden. Dabei wird das aus den Rippen verdrängte Material seitlich der Rippen in die Kanäle hinein verschoben. Das zweistufige Walzverfahren erfordert mehrere hintereinander geschaltete Walzwerkzeuge bei entsprechend höherem wirtschaftlichen Aufwand. Zudem wird durch diesen zweistufigen Walzprozeß eine Reduzierung des Rohrgewichtes trotz des Ausformens der Mulden nicht erreicht. Die Mulden benachbarter Rippen sind fluchtend angeordnet, so daß sich in Wandnähe neben den parallel zu und zwischen den Rippen verlaufenden Kanälen eine zweite prädestinierte Strömungsrichtung in Richtung der fluchtenden Mulden ergibt. Diese zweite Vorzugsrichtung dient zwar dem Queraustausch zwischen den Kanälen der erstgenannten Vorzugsrichtung, der zusätzlichen Turbulenzerzeugung und Steigerung der Verdampfungsleistung, doch erschwert andererseits die Existenz einer zweiten Vorzugsrichtung die gewünschte Ausbildung einer Drallströmung im wandnahen Bereich.
- DE-A-196 12 470, bei dem auf der inneren Oberfläche parallel und alternierend (oder auch einander kreuzend) hohe und niedrige Rippen mit zusätzlich in die Rippen eingebrachten Mulden ausgeformt sind. Auch hier sind die Mulden benachbarter Rippen fluchtend angeordnet.
- DE-A-196 28 280, bei dem in Umfangsrichtung des Rohres sektionsweise zwischen zwei verschiede-

nen Richtungen für die Ausrichtung der Rippen gewechselt wird. Eine Drallströmung kann sich hier - aufgrund der fehlenden Vorzugsrichtung und im Gegensatz zu helixförmigen Strukturen - nicht ausbilden. Diese Form der Strukturierung der inneren Oberfläche erweist sich bei Verdampfung als wenig geeignet, da deutlich geringere Verdampfungsleistungen erzielt werden als in Rohren, deren Oberfläche eine eindeutige Vorzugsrichtung für die wandnahe Strömung aufweist.

[0004] Bei Kondensation hingegen erweist sich diese Art der Oberflächenstrukturierung als vorteilhaft.

- JP-A-4/158.193, bei dem in Umfangsrichtung des Rohres sektionsweise zwischen Bereichen niedriger und hoher Rippenhöhe unterschieden wird. Allerdings wird so neben der ersten Vorzugsrichtung in Richtung der fluchtenden Rippenelemente eine zweite in Längsrichtung des Rohres über die kleinen Rippen hinweg verlaufende ausgebildet, wodurch insbesondere die Verdampferleistung stark negativ beeinflusst wird, da das strömende Fluid nicht mehr unbedingt in eine auch die obere Rohrhälfte benetzende Drallströmung gezwungen wird, sondern schlicht entlang der Sektionen niedriger Rippenhöhe und über diese kleinen Elemente hinweg in axialer Richtung abfließt.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Wärmeaustauschrohr mit einer inneren Oberflächenstruktur zu schaffen, welche die Vorteile einer im Vergleich zum Stand der Technik guten oder verbesserten Verdampfungsleistung und gleichzeitig eines gegenüber dem Stand der Technik reduzierten Rohrgewichtes und eines verminderten, nach Anzahl der Arbeits- und Walzschritten zählenden Produktionsaufwandes verbindet.

[0006] Die Aufgabe wird bei Wärmeaustauschrohren nach dem Oberbegriff der Ansprüche 1, 2 und 3 erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Rippen in den einzelnen Zonen (Z_1 bis Z_m) in Rohrlängsrichtung in beliebiger periodischer Kombination und Abfolge mindestens zweier Rippenhöhen (H_1 bis H_n , $H_1 > H_2 > \dots > H_n$) angeordnet sind, wobei benachbarte Zonen (Z_1 bis Z_m) so aneinander grenzen, dass am Übergang zweier Zonen die Rippenabfolge in Rohrlängsrichtung um mindestens eine Rippe gegeneinander versetzt ist.

[0007] Damit ergeben sich folgende Vorteile der Erfindung:

- Durch den alternierenden Wechsel hoher und niedriger Rippen in deren Längsrichtung bietet sich über die Rippen niedriger Höhe hinweg die Möglichkeit eines Queraustausches zwischen den Kanälen mit einer entsprechenden zusätzlichen Turbulenzerzeugung. Es wird allerdings durch die versetzte Anordnung der Rippen niedriger Höhe eine der fluchtenden Anordnung der Mulden aus US-A-5.332.034

ähnliche, zweite und störende Vorzugsrichtung vermieden.

- Es liegt genau eine eindeutige Vorzugsrichtung der wandnahen Strömung vor, so daß durch die so erzwungene Drallströmung eine für eine gute und verbesserte Verdampfungsleistung erforderliche, vollständige Benetzung des gesamten Rohrumfangs und gerade der oben liegenden Abschnitte der inneren Rohroberfläche erzielt wird. Bei Strukturen ohne eine einheitliche Vorzugsrichtung, wie DE-A-196 28 280, kommt es hingegen zu einer Austrocknung der oberen Abschnitte des Rohrumfangs und somit zu einer starken Reduzierung der Verdampfungsleistung.
- Im Gegensatz zum nachträglichen Formen der Mulden in einem zweiten Walzgang kann diese Struktur in einem einzigen Walzgang erzeugt werden, so daß anstelle des Verdrängens von Material aus den Rippen heraus in die Kanäle hinein, tatsächlich eine Materialeinsparung und eine Gewichtsreduzierung erzielt und zudem eine Verminderung des nach Anzahl der Arbeits- und Walzschriffe zählenden Produktionsaufwandes erreicht wird.
- Strukturen mit zonenweise variierendem Steigungswinkel der Rippen nach Anspruch 2 bzw. 3, bieten vor allem aus umformtechnischer Sicht bedeutende Vorteile, da sich evtl. auftretende, durch die schräg zur Bandrichtung verlaufenden Nuten und Rippen bedingte Seitenkräfte im Walzprozeß zumindest teilweise kompensieren können und so die Bandführung erleichtert wird. Ihre wärmetechnische Leistung kann durch die erfindungsgemäß durch die verschiedenen Höhen, Fußbreiten und Querschnittsformen der Rippen unterschiedlicher Höhe zusätzlich in die Oberflächenstruktur eingebrachten Kanten, scharfkantige oder auch abgerundete Vor- und Rücksprünge noch gesteigert werden.

[0008] Die Ansprüche 4 bis 19 betreffen bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohre.

[0009] Durch die verschiedenen Höhen, Fußbreiten und Querschnittsformen der Rippen unterschiedlicher Höhe werden zusätzlich Kanten, scharfkantige oder auch abgerundete Vor- und Rücksprünge in die Oberflächenstruktur und in die seitlichen Begrenzungen der wandnahen Kanäle eingebracht, die einer weiteren Turbulenzerzeugung und - insbesondere bei Gemischen - einem Stören und Aufreißen sich eventuell ausbildender Temperatur- und Konzentrationsgrenzschichten dienen und als zusätzliche Dampfblasenkeime zur Verfügung stehen. (Vorteil gegenüber DE-A-196 12 470).

[0010] Die Herstellung des erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres basiert beispielhaft auf dem im Fol-

genden näher beschriebenen Verfahren. Üblicherweise wird Kupfer oder eine Kupferlegierung als Material der Wärmeaustauschrohre verwendet, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht in dieser Weise beschränkt. Vielmehr kann jeder Metalltyp zur Anwendung kommen, z. B. Aluminium. Zunächst wird ein metallisches Flachband einem einstufigen Walzprägeschritt unterworfen, in dem es zwischen einer Strukturwalze mit einer zur erfindungsgemäßen Struktur komplementären Oberflächengestaltung und einer Stützwalze hindurchgeführt wird. Dabei wird eine Seite des Flachbandes mit der erfindungsgemäßen Struktur versehen, während die zweite Seite glatt bleibt oder auch eine hier nicht näher beschriebene Strukturierung aufweist. Lediglich die dem nachfolgenden Verschweißen dienenden Randbereiche der ersten Seite können eventuell andersartig strukturiert werden oder auch unstrukturiert bleiben. Nach dem Walzprägeschritt wird das strukturierte Flachband zu einem Schlitzrohr eingeformt, in einem Schweißprozess längsnahtgeschweißt und das Rohr gegebenenfalls noch in einem abschließenden Ziehprozeß auf den gewünschten Aussendurchmesser gebracht. Eine mögliche Beeinflussung des Wärmeübertragungsvermögens des erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres durch den die Schweißnaht umgebenden, andersartig strukturierten oder auch unstrukturierten Bereich ist unbedeutend und kann vernachlässigt werden.

[0011] Der Anspruch 20 betrifft die bevorzugte Ausführungsform einer Strukturwalze zur Herstellung der erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohre. Der modulare Aufbau der Walze aus Scheiben bzw. Ringen, der ein schnelles Erstellen und Bewerten zahlreicher Strukturvarianten im Rahmen eines Versuchsplanes und eine zügige Anpassung der Oberflächenstrukturierung an neue Fluide und veränderte Betriebszustände durch Änderung der Zahl, Form und (Nuten-)Geometrie der Scheiben und Ringe bzw. durch Austausch einzelner Scheiben/Ringe nach dem Baukastenprinzip ermöglicht, zeigt sich als weiterer Vorteil der Erfindung.

[0012] Die Erfindung wird anhand der folgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0013] Es zeigt:

- 45 Fig. 1 einen Lamellenblock-Wärmeaustauscher nach dem Stand der Technik,
- Fig. 2 perspektivisch einen Abschnitt eines innenberippten Wärmeaustauschrohres,
- 50 Fig. 3 schematisch eine Draufsicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres mit aufgeklappter, berippter Innenoberfläche,
- 55 Fig. 4 im vergrößerten Maßstab einen Querschnitt senkrecht zu den Rippenmittellinien durch eine hohe und eine niedrige Rippe nach Fig. 3,

Fig.5 schematisch eine Draufsicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres analog zu Fig.3, bei dem hohe und niedrige Rippen jeweils durch einen Spalt voneinander getrennt sind,

Fig.6 schematisch den Aufbau einer Strukturwalze zur Herstellung der erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohre,

Fig.7 in Schwarzweiß-Darstellung eine Draufsicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres mit aufgeklappter Innenoberfläche, die in vier Zonen aufgeteilt ist,

Fig.8 eine Innenoberfläche nach Fig.7, bei der hohe und niedrige Rippen jeweils durch einen Spalt getrennt sind,

Fig. 9 in Schwarzweiß-Darstellung eine Draufsicht eines weiteren erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres mit aufgeklappter Innenoberfläche, die in sechs Zonen aufgeteilt ist, wobei die Rippen positive und negative Steigungswinkel aufweisen, und

Fig. 10 in Schwarzweiß-Darstellung eine Draufsicht eines weiteren erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres mit aufgeklappter Innenoberfläche, die in sechs Zonen aufgeteilt ist, wobei die Rippen in den beiden mittleren Zonen einen anderen Steigungswinkel aufweisen als die Rippen in den beiden jeweiligen Randzonen.

[0014] Fig. 1 zeigt einen Lamellenblock-Wärmeaustauscher nach dem Stand der Technik mit horizontal angeordneten Wärmeaustauschrohren 1 und nicht näher bezifferten Lamellen.

[0015] In Fig. 2 ist ein Längenschnitt eines längsnahtgeschweißten Wärmeaustauschrohres 1 mit dem Außendurchmesser D dargestellt. Das Wärmeaustauschrohr 1 weist eine glatte äußere Oberfläche und eine strukturierte Innenoberfläche auf.

[0016] Fig. 3 zeigt schematisch eine Draufsicht auf die aufgeklappte Innenoberfläche eines solchen berippten Wärmeaustauschrohres 1. Die Innenoberfläche ist in Rohrlängsrichtung (s. Pfeilrichtung) in vier Zonen (Z_1 bis Z_4) aufgeteilt. In jeder Zone (Z_1 bis Z_4) sind alternierend (in Rohrlängsrichtung) hohe Rippen 2 (Rippenhöhe H_1) und niedrige Rippen 3 (Rippenhöhe H_2) eingeformt, die durch Nuten 4 voneinander getrennt sind. Die Rippen 2, 3 - und die Nuten 4 - verlaufen schräg zur Rohrlängsrichtung, d.h. die Mittellinien 5 der Rippen 2, 3 bilden mit der Rohrlängsrichtung den Steigungswinkel α . Benachbarte Zonen (Z_1 bis Z_4) sind so gegeneinander versetzt, daß an den Grenzen der Zonen (Z_1 bis Z_4) jeweils eine hohe Rippe 2 und eine niedrige Rippe 3 zu-

sammenstoßen. Die Rippenlänge innerhalb einer Zone, gemessen längs der Mittellinien 5 der Rippen 2, 3, ist mit L bezeichnet.

[0017] Fig.4 zeigt im Detail die Rippenteilung t (Abstand von Rippenmitte zu Rippenmitte, gemessen senkrecht zu den Rippenmittellinien 5), die Flankenwinkel γ_1 bzw. γ_2 , die Rippenhöhen H_1 bzw. H_2 und die Rippenfußbreiten F_1 bzw. F_2 . Die Flankenwinkel γ_1 , γ_2 und die Fußbreiten F_1 , F_2 werden ebenfalls in einer Querschnittsebene senkrecht zu den Rippenmittellinien 5 gemessen.

[0018] Fig. 5 zeigt schematisch und analog zu Fig.3 eine Draufsicht auf die aufgeklappte Innenoberfläche eines berippten Wärmeaustauschrohres 1, bei der hohe und niedrige Rippen am Übergang benachbarter Zonen jeweils durch einen Spalt 12 der Länge B (gemessen längs der verlängerten Mittellinien 5 der Rippen 2, 3) voneinander getrennt sind.

[0019] In Fig. 6 ist schematisch der Aufbau einer Strukturwalze 6 zur Herstellung der erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohre 1 dargestellt.

[0020] Die Walze 6 ist aus mehreren Scheiben 7 aufgebaut, die in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt sind. In die einzelnen Scheiben 7 sind alternierend tiefe und weniger tiefe Nuten 8, 9 eingebracht, die beim Abrollen der Walze 6 auf dem Blechband 10 in einem Walzprägevorgang die hohen Rippen 2 und die niedrigeren Rippen 3 in den einzelnen Zonen Z_1 bis Z_5 erzeugen. Nach der Strukturierung wird das Blechband 10 zu einem Schlitzrohr geformt und längsgeschweißt (Schweißnaht 11).

[0021] Die Fig. 7 bis 10 zeigen in Schwarzweiß-Darstellung weitere Ausführungsformen der Erfindung, wobei die Rippenspitzen/-flanken weiß und der Grund der zwischen den Rippen 2, 3 verlaufenden Nuten 4 schwarz gehalten wird.

[0022] Die Fig. 7 und 8 zeigen eine Ausführungsform mit jeweils vier Zonen (Z_1 bis Z_4), wobei sich die Fig.8 durch die zusätzliche Anordnung von Spalten 12 der Länge B zwischen hohen Rippen 2 und niedrigen Rippen 3 unterscheidet. Diese Verhältnisse sind anhand der Darstellung gemäß Fig. 5 verdeutlicht.

[0023] Die Innenoberfläche des Wärmeaustauschrohres 1 nach Fig. 9 ist in 6 Zonen (Z_1 bis Z_6) aufgeteilt. In der Gruppe G_1 mit den drei Zonen (Z_1 bis Z_3) verlaufen die Rippen 2, 3 unter dem Steigungswinkel α , in der Gruppe 2 mit den drei Zonen (Z_4 bis Z_6) unter dem bzgl. der Grenzlinie zwischen benachbarten Gruppen spiegelsymmetrisch entgegengesetzten (negativen) Winkel $\alpha' = -\alpha$.

[0024] Die Innenoberfläche des Wärmeaustauschrohres 1 nach Fig. 10 ist ebenfalls in 6 Zonen (Z_1 bis Z_6) aufgeteilt. In den Gruppen G_1 und G_3 mit den Zonen Z_1/Z_2 und Z_5/Z_6 verlaufen die Rippen 2, 3 unter dem Steigungswinkel α , in der Gruppe 2 mit den Zonen Z_3/Z_4 unter einem betragsmäßig anderen Steigungswinkel $|\alpha'| \neq |\alpha|$.

Zahlenbeispiel:

[0025] Zur Herstellung eines Wärmeaustauschrohres 1 mit einem Aussendurchmesser von $D = 7$ mm wird die Strukturwalze 6 aufgebaut aus 19 Scheiben 7 des Durchmessers 33 mm und der Stärke 1,2 mm, so dass die resultierende Strukturierung der Innenoberfläche des Wärmeaustauschrohres 1 vor dem abschließenden Ziehprozeß entsprechend Fig. 2 aus 19 1,2 mm breiten Zonen besteht, in denen sich in Längsrichtung des Bandes 10 alternierend hohe und niedrigere Rippen 2, 3 abwechseln und unter einem Winkel von $\alpha = 14,3^\circ$ gegenüber der Längsrichtung des Flachbandes 10 verlaufen. Je Zone sind in dieser Ausführung bei einem Schnitt in Umfangsrichtung genau eine hohe und eine niedrigere Rippe 2, 3 enthalten, so dass insgesamt in Umfangsrichtung 19 hohe Rippen 2 und 19 niedrigere Rippen 3 resultieren. Die Rippenhöhen betragen $H_1 = 0,14$ mm bzw. $H_2 = 0,07$ mm, die Flankenwinkel $\gamma = 45^\circ$, die Längen der Rippen $L = 4,86$ mm und die Teilung (der Abstand hohe - niedrige Rippe gemessen senkrecht zur Rippe) beträgt $t = 0,58$ mm. Als Versatz der Zonen bzw. als Winkelversatz der Scheiben 7 der Strukturwalze 6 gegeneinander wird ein Winkel von 90° eingestellt.

Patentansprüche

1. Wärmeaustauschrohr (1) mit berippter Innenoberfläche, die in Umfangsrichtung in mindestens zwei Zonen (Z_1 bis Z_m) aufgeteilt ist, wobei sich unter einem Steigungswinkel α zur Rohrlängsachse verlaufende Rippen (2,3) unterschiedlicher Rippenhöhe in benachbarten Zonen (Z_1 bis Z_m) abwechseln, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** die Rippen (2, 3) in den einzelnen Zonen (Z_1 bis Z_m) in Rohrlängsrichtung in beliebiger periodischer Kombination und Abfolge mindestens zweier Rippenhöhen (H_1 bis H_n , $H_1 > H_2 > \dots > H_n$) angeordnet sind, wobei benachbarte Zonen (Z_1 bis Z_m) so aneinander grenzen, dass am Übergang zweier Zonen die Rippenabfolge in Rohrlängsrichtung um mindestens eine Rippe gegeneinander versetzt ist.
2. Wärmeaustauschrohr (1) mit berippter Innenoberfläche, die in Umfangsrichtung in mindestens zwei Gruppen (G_1 bis G_p) von Zonen (Z_1 bis Z_m) aufgeteilt ist, wobei jede Gruppe mindestens zwei Zonen umfaßt und der Steigungswinkel (α , α') der Rippen (2, 3) in den Zonen einer Gruppe jeweils einheitlich ist, zwischen benachbarten Gruppen aber dergestalt variiert, daß bei Zählung ab einer Gruppe G_1 in Gruppen mit ungeradzahlgiger Nummer ein betragsmäßig anderer Steigungswinkel α der Rippen (2, 3) vorliegt als der Steigungswinkel α' in Gruppen geradzahlgiger Nummer ($|\alpha'| \neq |\alpha|$), **dadurch gekennzeichnet**, **daß** die Rippen (2, 3) in den einzelnen Zonen (Z_1

bis Z_m) in Rohrlängsrichtung in beliebiger periodischer Kombination und Abfolge mindestens zweier Rippenhöhen (H_1 bis H_n , $H_1 > H_2 > \dots > H_n$) angeordnet sind, wobei benachbarte Zonen (Z_1 bis Z_m) einer Gruppe so aneinander grenzen, dass am Übergang zweier Zonen einer Gruppe die Rippenabfolge in Rohrlängsrichtung um mindestens eine Rippe gegeneinander versetzt ist.

3. Wärmeaustauschrohr (1) mit berippter Innenoberfläche, die in Umfangsrichtung in mindestens zwei Gruppen (G_1 bis G_p) von Zonen (Z_1 bis Z_m) aufgeteilt ist, wobei jede Gruppe mindestens zwei Zonen umfaßt und der Steigungswinkel (α , α') der Rippen (2, 3) in den Zonen einer Gruppe jeweils einheitlich ist, zwischen benachbarten Gruppen aber dergestalt variiert, daß bei Zählung ab einer Gruppe G_1 in Gruppen mit ungeradzahlgiger Nummer ein Steigungswinkel α der Rippen (2, 3), in Gruppen geradzahlgiger Nummer ein bzgl. der Grenzlinie zwischen benachbarten Gruppen spiegelsymmetrisch entgegengesetzter Steigungswinkel $\alpha' = -\alpha$ der Rippen (2, 3) vorliegen,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Rippen (2, 3) in den einzelnen Zonen (Z_1 bis Z_m) in Rohrlängsrichtung in beliebiger periodischer Kombination und Abfolge mindestens zweier Rippenhöhen (H_1 bis H_n , $H_1 > H_2 > \dots > H_n$) angeordnet sind, wobei benachbarte Zonen (Z_1 bis Z_m) einer Gruppe so aneinander grenzen, dass am Übergang zweier Zonen einer Gruppe die Rippenabfolge in Rohrlängsrichtung um mindestens eine Rippe gegeneinander versetzt ist.

4. Wärmeaustauschrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** in jeder Zone (Z_1 bis Z_m) in periodischer Wiederholung auf genau eine Rippe mit der Rippenhöhe H_i ($i=1$ bis n) jeweils genau eine Rippe mit der Rippenhöhe H_j ($j=1$ bis n , $j \neq i$, $H_j \neq H_i$) und eventuell weitere Rippen der Höhen H_k ($k=1$ bis n , $k \neq i, j$, $H_k \neq H_i, H_j$) in Rohrlängsrichtung folgen.
5. Wärmeaustauschrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** in jeder Zone (Z_1 bis Z_m) in periodischer Wiederholung auf zwei oder mehr Rippen mit der Rippenhöhe H_i ($i=1$ bis n) jeweils genau eine Rippe mit der Rippenhöhe H_j ($j=1$ bis n , $j \neq i$, $H_j \neq H_i$) und eventuell weitere Rippen der Höhen H_k ($k=1$ bis n , $k \neq i, j$, $H_k \neq H_i, H_j$) in Rohrlängsrichtung folgen.
6. Wärmeaustauschrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** in jeder Zone (Z_1 bis Z_m) in periodischer Wie-

derholung auf genau eine Rippe mit der Rippenhöhe H_i ($i=1$ bis n) jeweils zwei oder mehr Rippen mit der Rippenhöhe H_j ($j=1$ bis n , $j \neq i$, $H_j \neq H_i$) und eventuell weitere Rippen der Höhen H_k ($k=1$ bis n , $k \neq 1, j$, $H_k \neq H_i, H_j$) in Rohrlängsrichtung folgen.

7. Wärmeaustauschrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet,

daß in jeder Zone (Z_1 bis Z_m) in periodischer Wiederholung auf zwei oder mehr Rippen mit der Rippenhöhe H_i ($i=1$ bis n) jeweils zwei oder mehr Rippen mit der Rippenhöhe H_j ($j=1$ bis n , $j \neq i$, $H_j \neq H_i$) und eventuell weitere Rippen der Höhen H_k ($k=1$ bis n , $k \neq i, j$, $H_k \neq H_i, H_j$) in Rohrlängsrichtung folgen.

8. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** bei einem äußeren Rohrdurchmesser von $D = 3$ bis 20 mm der Steigungswinkel $\alpha = 5$ bis 85° , die größte Rippenhöhe $H_1 = 0,05$ bis $0,5$ mm und die Rippenlänge je Zone $L = 0,5$ bis 15 mm betragen.

9. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** bei einem äußeren Rohrdurchmesser von $D = 6$ bis $12,7$ mm der Steigungswinkel $\alpha = 10$ bis 40° , die größte Rippenhöhe $H_1 = 0,1$ bis $0,3$ mm und die Rippenlänge je Zone $L = 0,5$ bis 10 mm betragen.

10. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Rippenhöhen H_j ($j=2$ bis n), verglichen zur größten Rippenhöhe H_1 , $H_j/H_1 = 0,1$ bis $0,9$, insbes. $0,2$ bis $0,8$ betragen.

11. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Rippenhöhe H_2 , verglichen zur größten Rippenhöhe H_1 , $H_2/H_1 = 0,2$ bis $0,7$, insbes. $0,4$ bis $0,6$ beträgt.

12. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Rippenteilung $t = 0,1$ bis $0,8$ mm und die Flankenwinkel γ_1 bis $\gamma_n = 10$ bis 60° betragen.

13. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Rippenteilung $t = 0,2$ bis $0,6$ mm und die Flankenwinkel γ_1 bis $\gamma_n = 20$ bis 50° betragen.

14. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Querschnitte der Rippen (2, 3) geometrisch ähnlich sind.

15. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren

der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Querschnitte der Rippen (2, 3) geometrisch verschieden sind.

- 5 16. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** zwei Rippen (2, 3) benachbarter Zonen (Z_1 bis Z_m), von denen eine in der Verlängerung der Mittellinie (5) der anderen liegt, jeweils durch einen Spalt (12) voneinander getrennt sind.

- 10 17. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Spaltlänge $B < 0,5 \times$ Rippenlänge L beträgt.

- 15 18. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** die Spaltlänge $B < 0,2 \times$ Rippenlänge L beträgt.

- 20 19. Wärmeaustauschrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** es zumindest eine Schweißnaht (11), insbes. in Rohrlängsrichtung, aufweist.

- 25 20. Strukturwalze zur Herstellung von strukturierten Bändern für Wärmeaustauschrohre nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet,** **daß** sie aus Scheiben oder Ringen (7) aufgebaut ist, deren Anzahl und Breite der Anzahl und Breite der Zonen (Z_1 bis Z_m) des Wärmeaustauschrohres (1) entspricht, die schräg verlaufende Nuten (8, 9) mit alternierend unterschiedlicher Tiefe aufweisen und die in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt sind.

Fig. 1

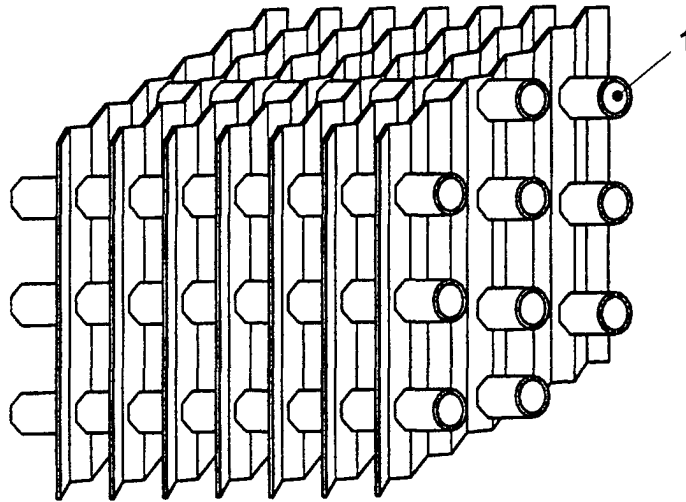
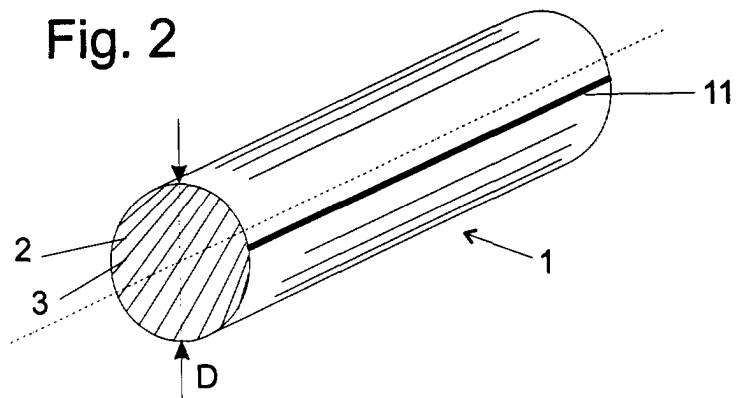


Fig. 2



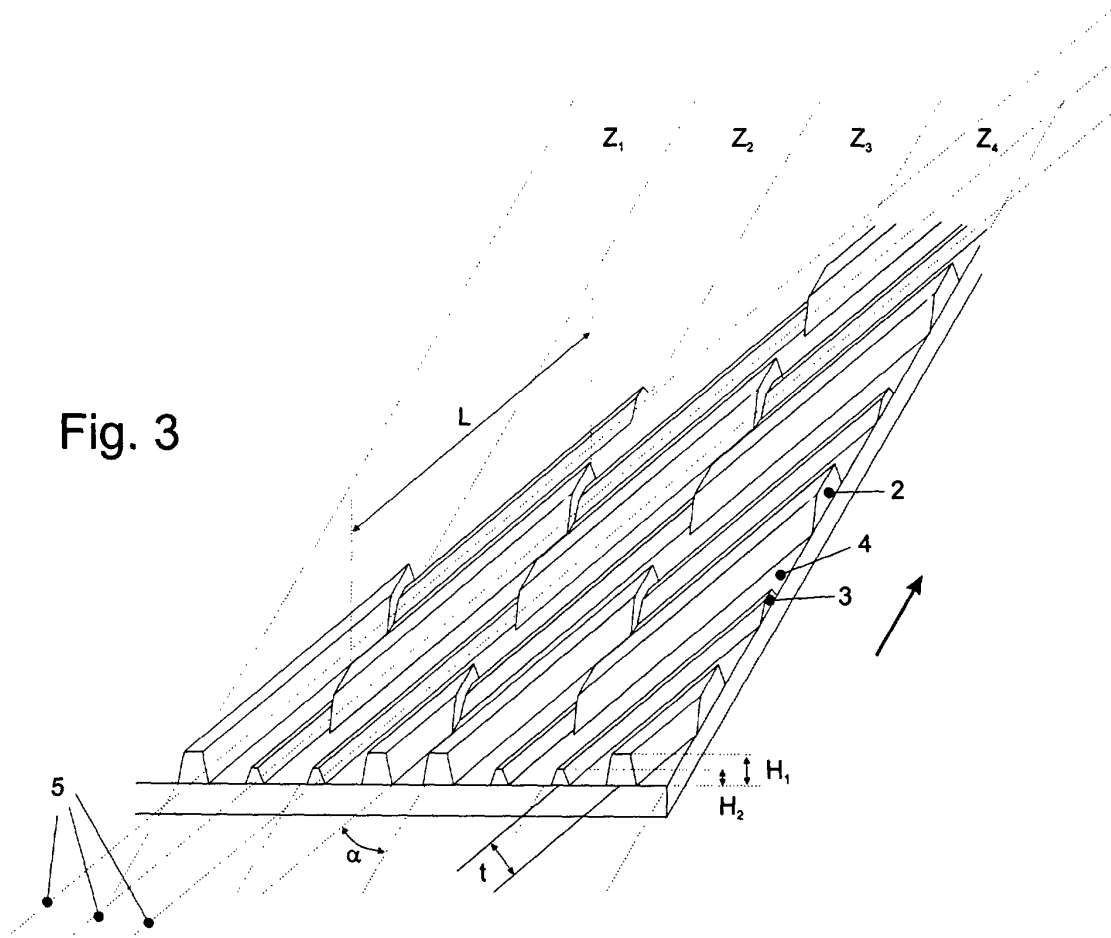


Fig. 3

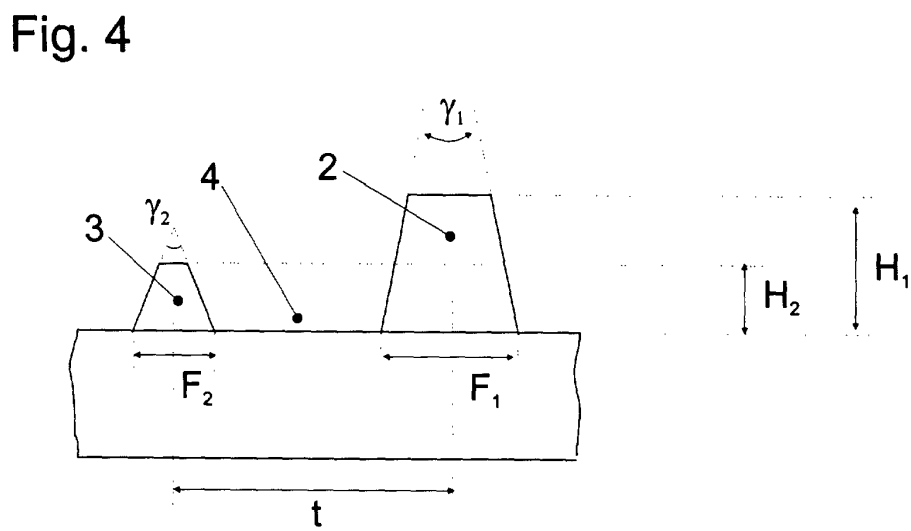


Fig. 4

Fig. 5

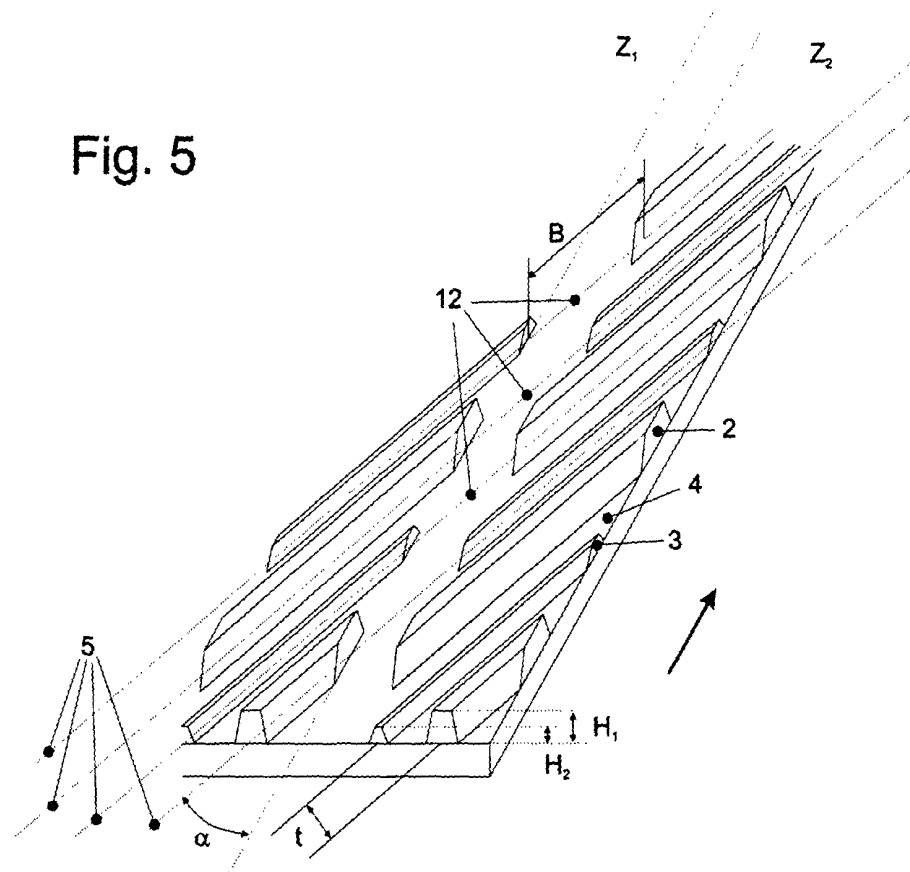


Fig. 6

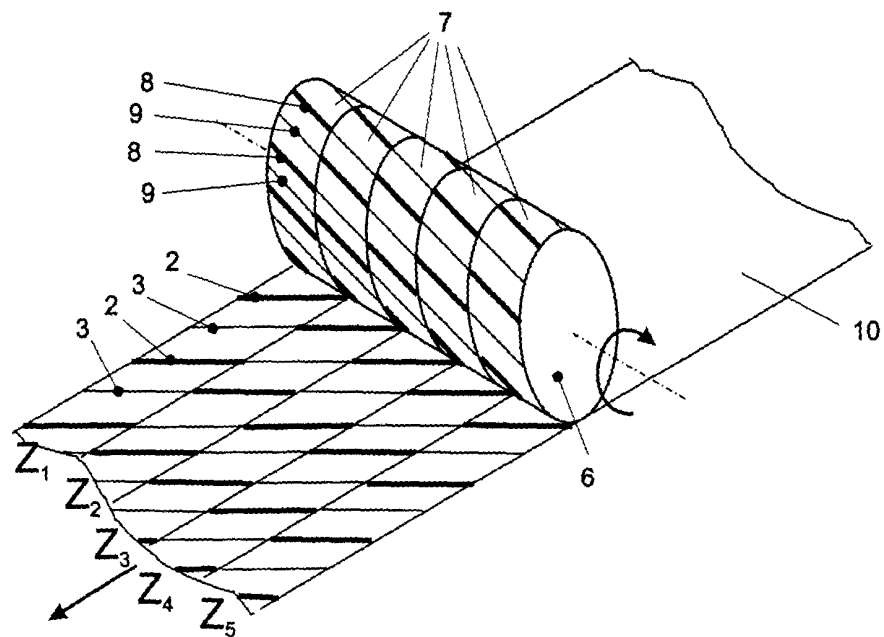


Fig. 7

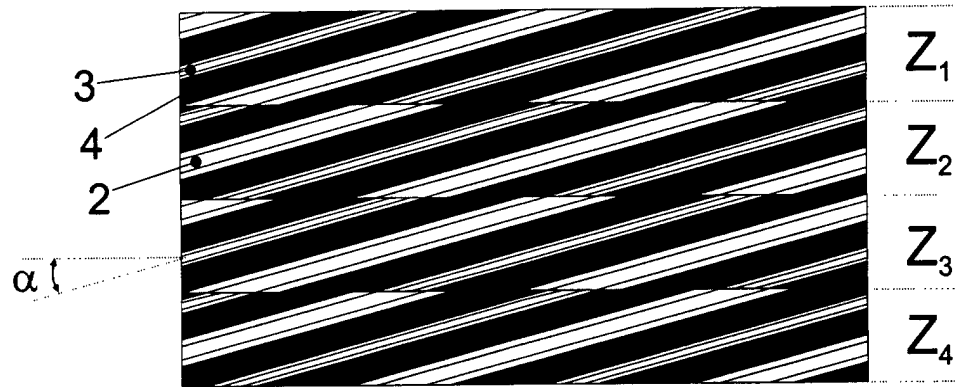


Fig. 8

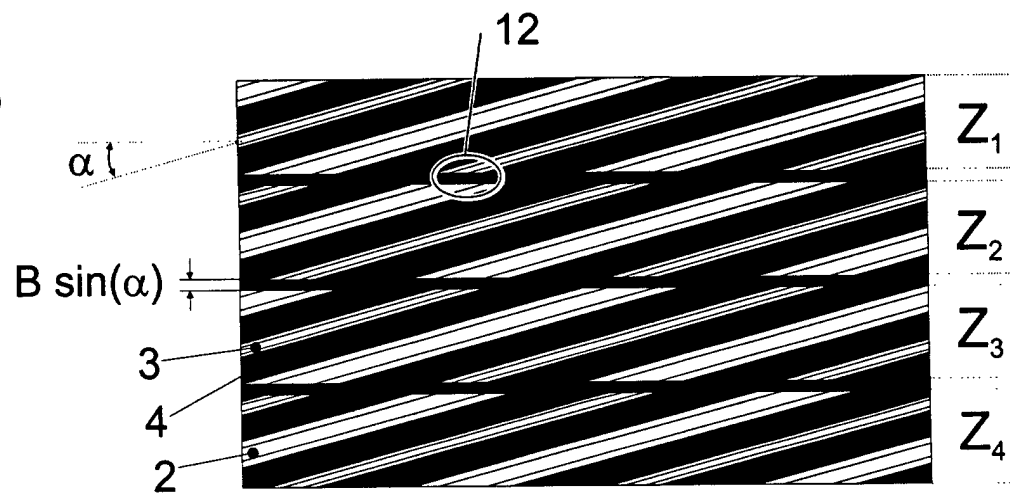


Fig. 9

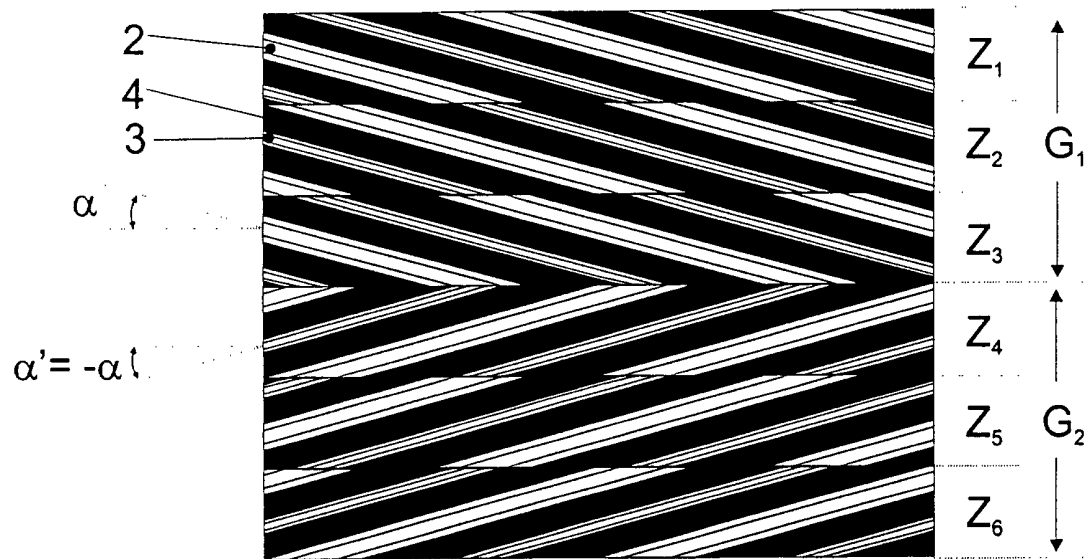


Fig. 10

