

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 728 936 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
06.12.2006 Patentblatt 2006/49

(51) Int Cl.:
E04C 2/32 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06010983.2**

(22) Anmeldetag: **29.05.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **03.06.2005 DE 102005025620**
01.09.2005 DE 102005041516

(71) Anmelder: **Dr. Mirtsch GmbH**
14513 Teltow (DE)

(72) Erfinder:
• **Dr. Mirtsch, Schokufeh**
13465 Berlin (DE)
• **Mirtsch, Michael**
13465 Berlin (DE)
• **Kurzweg, Eberhard**
14513 Teltow (DE)

(74) Vertreter: **Bittner, Thomas L.**
Forrester & Boehmert
Pettenkoferstrasse 20-22
80336 München (DE)

(54) **Strukturierte Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff und Verfahren zum Herstellen**

(57) Die Erfindung betrifft eine strukturierte Materialbahn und ein Verfahren zum Herstellen einer strukturierten Materialbahn aus einem Bahnmaterial, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer Grobstrukturelemente umfassenden und versteifenden Grobstrukturierung, die flächig und dreidimensional gebildet ist, wobei durch zumindest einen an die Grobstrukturierung angrenzende Abschnitt mit einer Feinstrukturelemente umfassenden Feinstrukturierung, wobei Abmessungen der Feinstrukturelemente geringer als Abmessungen der Grobstrukturelemente sind.

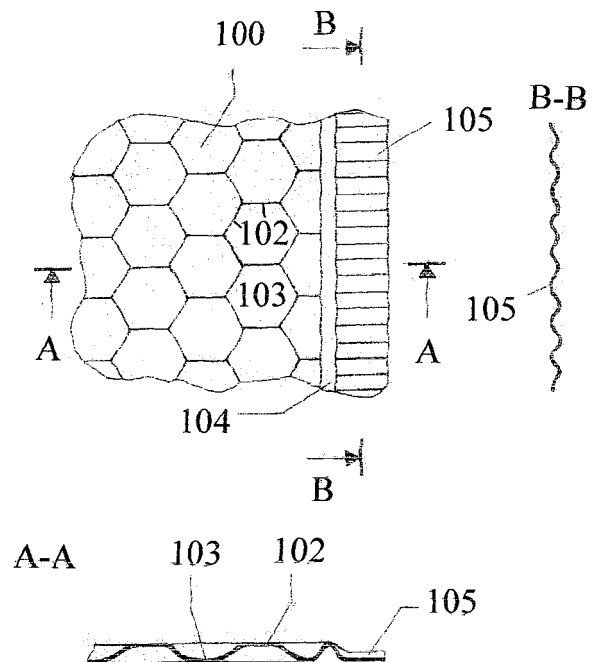


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine strukturierte Materialbahn aus einem Bahnmaterial, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer Grobstrukturelemente umfassenden und versteifenden Grobstrukturierung, die flächig und dreidimensional gebildet ist, sowie Verfahren zum Herstellen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Für den effizienten Leichtbau, insbesondere in der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie, im Bau- und Designbereich sowie bei Hausgeräten und Apparaten, werden immer höhere Anforderungen an die Konstruktion bezüglich einer großen Formsteifigkeit, hoher Dauerstandfestigkeit und günstiger akustischer Eigenschaften bei geringem Gewicht gestellt. Hierbei können mehrdimensional versteifende Strukturen dünner Materialien eine besondere Rolle spielen, weil sie dem Bauteil trotz reduzierter Wanddicke eine hohe Steifigkeit, günstige akustische Eigenschaften und ein ansprechendes Design geben.

[0003] Es sind zahlreiche Verfahren bekannt, um eine dünne Materialbahn, wie Blech oder auch Kunststoffolie, mit versteifenden Strukturen zu versehen. Um die Biege- und Beulsteifigkeit von Bauteilen zu verbessern, sind mechanisch strukturierte Materialien, beispielsweise genoppte Bleche, bekannt. Diese rein mechanisch strukturierten Materialien erfordern jedoch hohe Plastifizierungsreserven des Ausgangswerkstoffes, da beim Strukturieren mit Hilfe von mechanischen Form- und Prägewerkzeugen eine große Plastifizierung des Werkstoffes auftritt. Ferner ist das Versteifen durch eine Sicke bekannt, die dem Bauteil jedoch nur in einer Richtung eine erhöhte Steifigkeit verleiht. Senkrecht dazu bleibt das Bauteil biege-, schub- und torsionsweich.

[0004] Aus dem Dokument EP 0 693 008 B1 sind beulstrukturierte Materialbahnen bekannt, die auf der Basis eines selbstorganisierten Strukturierungsprozesses aus einer gekrümmten Gestalt heraus hergestellt werden. So lassen sich dünnwandige Bleche und Folien erheblich werkstoff- und o-berflächenschonender mehrdimensional strukturieren als die rein mechanischen Prägeverfahren (vgl. DE 198 56 236 A1). Die beulstrukturierten Materialbahnen werden dann in einem speziellen Richtverfahren, bei dem die Strukturen vollkommen erhalten bleiben, in die ebene Gestalt übergeführt. Die so erzeugten mehrdimensionalen Beulstrukturen werden auch "Wölbstrukturen" genannt. Sie weisen eine regelmäßige Strukturierung mit Falten und zwischen den Falten eingeschlossenen Mulden auf.

[0005] Beim bekannten Beul- / Wölbstrukturierungsverfahren entstehen in der gekrümmten und von innen partiell abgestützten Materialbahn bei einer geringen äußeren Druckbelastung zunächst, nämlich zu Beginn im elastischen Werkstoffverhalten der Materialbahn, sinusförmig umlaufende Strukturwellen, die nur eine sehr

kleine Amplitude besitzen. Wird dann die äußere Druckbelastung gegen die gekrümmte Materialbahn erhöht, entsteht ein instabiler Zustand, der einen dynamischen Durchschlag (spontanes Einbeulen) im elastisch-plastischen Werkstoffverhalten der Materialbahn auslöst. Dieser komplexe Vorgang lässt sich durch die nicht-linearen Gesetze der Mechanik (nicht-lineare geometrische Deformation von Schalen), der Thermodynamik und des Werkstoffes (nicht-lineare, elastisch-plastische Fließkurve), weit weg vom Gleichgewichtszustand, beschreiben. Diese, sich selbst organisierenden, Beulstrukturen können den sogenannten "dissipativen Strukturen" (vgl. I. Prigogine et al.: "Dialog mit der Natur"; F. Mirtsch et al.: "Corrugated Sheet Metal on the Basis of self organization", First International Industrial Conference Bionic 2004, Hannover Messe, Germany in: Fortschritt - Berichte VDI Reihe 15, S. 299 - 313) zugeordnet werden.

[0006] Aus dem Dokument DE 10 2004 044 509 A1 ist ein Verfahren bekannt, um wölbstrukturierte Bleche durch Schweißen mit einem ebenen Rahmen zu verbinden. Dabei gelingt es aber nicht, eine dichte Fügeverbindung zu erzeugen

[0007] Bei der Weiterverarbeitung mehrdimensional strukturierter Materialien, insbesondere beim Schneiden und Fügen strukturierter Bleche und Folien, bestehen jedoch noch erhebliche Defizite, weil es hierüber - im Gegensatz zum glatten Blech - nur wenige Erfahrungen gibt. Erstrebenswert wären dünnwandige Bleche und Folien mit einer großen mehrdimensionalen Steifigkeit mit Hilfe großer und tiefer Strukturen, die jedoch auch ähnlich gut weiterzuverarbeiten sind wie das bekannte glatte Blech. Bei der Weiterverarbeitung spielt insbesondere das dichte Fügen eine besondere Rolle. Hierfür muss der Rand der strukturierten Materialbahn eben oder zumindest nahezu eben sein.

[0008] Es besteht also Bedarf für Materialbahnen mit einerseits hoher mehrdimensionaler Steifigkeit, die mittels großer und tiefer Strukturen erreicht wird, und andererseits guter Verarbeitbarkeit beim Einsatz in den verschiedenen Anwendungsgebieten. Hierbei sollen möglichst die für ebene Materialbahnen bekannten Verfahren wie Schneiden, Fügen und Umformen nutzbar sein.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, eine strukturierte Materialbahn aus einem Bahnmaterial mit einer Grobstrukturelemente umfassenden und versteifenden Grobstrukturierung zu schaffen, bei der die Verarbeitbarkeit verbessert ist.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine strukturierte Materialbahn nach dem unabhängigen Anspruch 1 und ein Verfahren zum Herstellen einer strukturierten Materialbahn nach dem unabhängigen Anspruch 22 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von abhängigen Unteransprüchen.

[0011] Nach einem Aspekt der Erfindung ist eine strukturierte Materialbahn aus einem Bahnmaterial, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer Grobstrukturelemente umfassenden und versteifenden Grobstrukturierung geschaffen, die flächig und dreidimensional gebildet ist, wobei zumindest ein an die Grobstrukturierung angrenzender Abschnitt mit einer Feinstrukturelemente umfassenden Feinstrukturierung gebildet ist und Abmessungen der Feinstrukturelemente geringer als Abmessungen der Grobstrukturelemente sind.

[0012] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen einer strukturierten Materialbahn aus einem Bahnmaterial geschaffen, insbesondere Blechmaterialbahn, bei dem flächig und dreidimensional eine Grobstrukturelemente umfassende und versteifende Grobstrukturierung und angrenzend an die Grobstrukturierung zumindest ein Abschnitt mit einer Feinstrukturelemente umfassenden Feinstrukturierung gebildet werden, wobei die Feinstrukturelemente mit Abmessungen hergestellt werden, die geringer als Abmessungen der Grobstrukturelemente sind.

[0013] Neben der versteifenden Grobstrukturierung, die unter Verwendung verschiedenster Strukturierungstechnologien gebildet werden kann, weist die strukturierte Materialbahn eine Feinstrukturierung in zumindest einem Abschnitt auf, welcher an die Grobstrukturierung angrenzt. Die Feinstrukturierung wirkt zwar etwas weniger versteifend als die Grobstrukturierung. Auf diese Weise gelingt es, die grobstrukturierte Materialbahn partiell mit einer Feinstruktur auszustatten, die mit Hilfe herkömmlicher Fügeprozesse, wie Schweißen, Kleben oder mechanisches Fügen mit einem ebenen Rahmen oder ebenen angrenzenden Blechen dicht verbunden werden kann. Dabei besitzen die Feinstrukturen vorzugsweise eine Strukturtiefe, nämlich eine lichte Strukturhöhe, die etwa der Wanddicke der zu fügenden Materialbahn, also der Materialdicke ohne Strukturtiefe entspricht. Die Feinstrukturierung wird vorzugsweise nach den Gesetzmäßigkeiten der kontrollierten Selbstorganisation entwickelt und technisch angepasst. Auf diese Weise wird der Werkstoff der Materialbahn beim Strukturieren nur wenig plastifiziert und geschont. Die so verbleibenden Plastifizierungsreserven können für sekundäre Umformprozesse genutzt werden oder / und sie erhöhen die Dauerstandfestigkeit im späteren dynamischen Betriebsverhalten (Wöhlerkurve) des Fertigproduktes.

[0014] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass in dem zumindest einen Abschnitt mit der Feinstrukturierung eine an die Grobstrukturierung angepasste Längeneinkürzung gebildet ist. Eine Längeneinkürzung der Materialbahn in den Abschnitten der Feinstrukturierung ist deshalb von Vorteil, weil die Materialbahn durch die Grobstrukturierung ebenfalls eine Längeneinkürzung - d. h. Raffung gegenüber der ebenen Ausgangsgestalt der noch nicht strukturierten Materialbahn erfährt. Die beiden Längeneinkürzungen durch das Grob- und Feinstrukturieren werden so angepasst, dass sie im wesentlichen gleich sind. Auf diese

Weise wird ein langer Rand (Verzug / "Schneider") oder eine lange Mitte ("Schüssel") vermieden.

[0015] Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass der zumindest einen Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Randabschnitt umfasst.

[0016] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass zwischen dem Randabschnitt und der Grobstrukturierung eine Übergangsstrukturierung gebildet ist.

[0017] Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Übergangsabschnitt umfassen, der zwischen Abschnitten mit der Grobstrukturierung gebildet ist.

[0018] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung im Bereich quer zu einer Laufrichtung im wesentlichen eben gebildete Abschnitte umfasst. Das ist deshalb möglich, weil beim Beul- bzw. Wölbstrukturierungsprozess die Längeneinkürzung (Raffung) quer zur Fertigungsrichtung erheblich geringer ist als in Fertigungsrichtung. Weitere Details hierzu werden unten beschrieben.

[0019] Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass die Feinstrukturierung mittels eines oder mehrerer Strukturelemente aus der folgenden Gruppe von Strukturelementen gebildet ist: Wellenstruktur, auslaufende Wulststruktur, Faltenstruktur, Rhombenstruktur, Rautenstruktur, Rechteckform, Herzform und Hexagonalstruktur.

[0020] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Feinstrukturierung über eine Sicke mit der Grobstrukturierung in Verbindung steht.

[0021] Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Feinstrukturierung eine selbstorganisierende Strukturierung ist. Derartige Strukturierungen sind zum Beispiel in Form einer Beul- / Wölbstruktur mit Mulden und diese umgebenden Falten oder als Wellenstrukturen mit Kalotten und diese umgebenden Wülsten bekannt.

[0022] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Auflagenabschnitt aufweist.

[0023] Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Fügeabschnitt aufweist.

[0024] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass Grobstrukturierung eine wellenförmige Strukturierung mit Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten gebildet ist, wobei die Wülste zusammenhängend und mit einem Krümmungsradius gebildet sind, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist. Die Wülste unterscheiden sich gravierend von den beim Beul-Wölbstrukturieren gebildeten Falten hinsichtlich ihres Biegeradius' im Verhältnis zur Dicke der Materialbahn. Diese Relationen werden ferner durch die Werkstoffbeschaffenheit der Materialbahn sowie durch

die Gestalt der Stützelemente und durch die Dicke sowie die Shore-Härte der elastischen Zwischenlage (für das dreidimensional wellenförmig Strukturieren / Wulstbildung) mit beeinflusst. Die folgenden zwei Ausführungen quantifizieren beispielhaft diese Relationen. In einem ersten Fall wird weiches Aluminiumblech der Dicke 0,3 mm mit einer wappenförmigen (hexagonal mit etwas geschwungenen Falten / Wülsten) Struktur der Schlüsselweite 33 mm versehen. Das Verhältnis von Biegeradius der Wulst zur Materialdicke (3D-Welle) beträgt 13. Das Verhältnis von Biegeradius der Falte zur Materialdicke (Beul- / Wölbstruktur) beträgt 5. In einem zweiten Fall wird Edelstahlblech (4301) der Dicke 0,25 mm mit einer wappenförmigen Struktur der Schlüsselweite 33 mm versehen. Das Verhältnis von Biegeradius der Wulst zur Materialdicke beträgt 16. Das Verhältnis von Biegeradius der Falte zur Materialdicke beträgt 7. In beiden Fällen wurde für die Erzeugung der Wulst eine elastische Zwischenlage der Dicke 4 mm und der Shore-Härte 60 verwendet.

[0025] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass die Kalotten in einem mittleren Kalottenbereich eine Gestalt aufweisen, die einer Kugelschalenform zumindest angenähert ist. Die Kugelschalenform entsteht dadurch, dass mit Hilfe der elastischen Zwischenlage der dynamische Durchschlag wie beim Beul- / Wölbstrukturieren abgefedert und abgebremst wird. Dadurch erhalten die Wülste einen sanfteren Krümmungsradius als die Falten. Deshalb können sich bei weiterer Steigerung der Druckkraft (auf die elastische Zwischenlage) die Kalotten gleichmäßig rund ausformen. Das ist bei den dynamisch durch den Durchschlag gebildeten Falten und Mulden der Beul- und Wölbstrukturen nicht der Fall.

[0026] Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass die Wülste gemäß einer oder einer Kombination mehrerer geometrischer Grundformen aus der folgenden Gruppe von geometrischen Grundformen zusammenhängend gebildet sind: Dreieck, Viereck, insbesondere Quadrat, Rechteck, Raute oder Parallelogramm, Fünfeck, Sechseck (Hexagon) und Achteck.

[0027] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Wülste gemäß einer einheitlichen geometrischen Grundform gebildet sind.

[0028] Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Wülste in allen Richtungen, nämlich in Fertigungsrichtung und quer zur Fertigungsrichtung, jeweils mit einer im wesentlichen einheitlichen Wulsthöhe gebildet sind.

[0029] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass für zumindest einen Teil der Kalotten eine Kalottenoberfläche breit diffus reflektierend ist, wobei zumindest der Teil der Kalotten mit der breit diffus reflektierenden Kalottenoberfläche als tiefe Kalotten gebildet ist.

[0030] Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass für zumindest einen Teil der Ka-

lotten eine Kalottenoberfläche gerichtet reflektierend ist, wobei zumindest der Teil der Kalotten mit der gerichtet reflektierenden Kalottenoberfläche als flache Kalotten gebildet ist.

[0031] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Grobstrukturierung eine selbstorganisierende Strukturierung ist.

[0032] Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Bahnmaterialein Material oder eine Kombination von Materialien ausgewählt aus der folgenden Gruppe von Materialien ist: Metall, Kunststoff, faserige Stoffe, insbesondere Papier und Pappe, Fasergewebe und Maschengewebe.

[0033] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass das Bahnmaterialein Sandwich-Bauweise gebildet ist, bei dem zwischen zwei Außenbahnen mindestens eine Zwischenbahn angeordnet ist.

[0034] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Bahnmaterialein anodisiertes Aluminiumblech ist.

[0035] Nachfolgend werden weitere Ausgestaltungen der Erfindung noch näher erläutert, wobei sich die beispielhaft für im Bereich der Grobstrukturierung beul- / wölbstrukturierten Materialbahnen für andere Grobstrukturierungen analog ergeben, insbesondere bei der vorteilhaften Nutzung der Wellenstrukturierung mit Kalotten und diese umgebenden Wülsten. Während die Falten bei der Beulstruktur als Resultat eines dynamischen Faltungsprozesses entstehen, welcher seinerseits einem Umknicken vergleichbar ist, werden die Wülste als gekrümmter Bereich mit einem vergleichsweise größeren Krümmungsradius gebildet, sodass im Schnitt eine Art Wellenform entsteht, wobei jedoch eine Halbwellenlänge der Wülste geringer ist als eine Halbwellenlänge der von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten ist.

[0036] Es wurde gefunden, dass sich beulstrukturierte Materialbahnen quer zu ihrer Laufrichtung mit einem glatten Rand und in ihrer Laufrichtung mit einem feinstrukturierten Rand versehen lassen, der sich einfach auf einen Rahmen fügen lässt, ohne dass dabei durch störende Längendifferenzen zwischen dem beulstrukturierten Bereich und dem glatten oder feinstrukturierten Rand störende Wellungen, Verzüge oder ein "Frosch" in der strukturierten Materialbahn auftreten. Zahlreiche Beispiele anhand von so strukturierten Stahlblechen haben das bestätigt, beispielsweise mit einem üblichen Stahlblech, wie sie bei Bussen eingesetzt werden. Diese überraschenden Effekte und die Ausführungen des Verfahrens werden nachfolgend noch detaillierter beschrieben.

[0037] Beim Beulstrukturieren ist das Raffing, d. h. die Längeneinkürzung der beulstrukturierten Materialbahn gegenüber der eingesetzten glatten Materialbahn vergleichsweise gering. Diese Längeneinkürzungen ergeben sich aus den folgenden Prozessparametern, wie Strukturtiefe, Strukturgröße, welche in der Regel als Schlüsselweite des Hexagons definiert ist, Materialdicke und Werkstoffbeschaffenheit. Diese Materialeinkürzung

ist quer zur Strukturierungsrichtung der Materialbahn etwa $< 0,5\%$ und längs zur Strukturierungsrichtung etwa $< 1,0\%$. Dennoch gelingt es, einen glatten Rand ohne Verwerfungen des Randes quer zur Strukturierungsrichtung der Materialbahn dadurch zu erzeugen, dass beim Beulstrukturieren der Prozessdruck für das Entstehen der Beulstrukturen in der Materialbahn jeweils partiell ausgesetzt wird. So entsteht eine sanfte Materialwölbung, die sich zwischen dem beulstrukturierten Bereich und dem glatten Randbereich der Materialbahn quasi von selbst ausbildet. Diese sanfte Wölbung stabilisiert die Materialbahn in der Weise, dass die Längendifferenz von etwa $< 0,5\%$ zwischen dem gerafften, beulstrukturierten Bereich und dem glatten Randbereich kompensiert wird. Das gelingt vorzugsweise, wenn ein breiter Rand quer zur Laufrichtung der Materialbahn gewählt wird.

[0038] In Laufrichtung der Materialbahn führt diese einfache Maßnahme, nämlich das partielle Aussetzen des Prozessdruckes, nicht zum Ziel, wenn eine verzugsfreie, beulstrukturierte Materialbahn mit ebenem, seitlichem Rand ohne störende Randwellen erreicht werden soll. Überraschenderweise hat sich jedoch gezeigt, dass angepasste Feinstrukturen der Ränder die Längendifferenz von etwa $< 1,0\%$ zwischen dem beulstrukturierten Bereich und dem feinstrukturierten Randbereich so weit kompensieren, dass keine störenden Randwellen in der Materialbahn mehr auftreten.

[0039] Überraschend gelingt das auch dann, wenn zwischen dem beul- / wellenförmig grobstrukturierten Bereich der Materialbahn und dem feinstrukturierten Randbereich zusätzlich eine Sicke, insbesondere eine etwa stufenförmige, schmale Längssicke, gebildet wird. Es hätte erwartet werden können, dass diese Längssicke am Rand eine störende, örtlich geometrische Verlängerung der etwas gerafften Materialbahn hervorruft und dadurch Verzüge der Materialbahn verursacht. Es wurde aber das Gegenteil festgestellt. Offensichtlich stabilisiert die Sicke die strukturierte Materialbahn. Das kann folgendermaßen erklärt werden: Die Vorteile der Sicke bestehen darin, dass sie als zusätzliche Versteifung der strukturierten Materialbahn wirksam ist und dass sie ferner eine Entkopplung zwischen dem beulstrukturierten, mittleren Bereich der Materialbahn einerseits und ihrem feinstrukturierten Randbereich andererseits bewirkt, und so Instabilitäten zwischen zwei aneinandergrenzenden, unterschiedlich gebildeten Strukturen vermieden werden. Eine denkbare nachteilige Längendifferenz zwischen den beiden gerafften, strukturierten Bereichen und der Sicke, die vorzugsweise eine stufenförmige, schmale Längssicke ist, wird durch die großen Steifigkeiten der angrenzenden, breiten beulstrukturierten bzw. feinstrukturierten Bereiche der Materialbahn kompensiert.

[0040] Es ergab sich durch den feinstrukturierten Rand mit etwa stufenförmiger Längssicke noch ein weiterer positiver Effekt für den Einsatz von vollflächig beulstrukturierten Materialbahnen / Blechtafeln: Bereits beim vollflächigen Beulstrukturieren können unerwünschte Effekte wie Wellungen, "Frosch" oder "Schüssel" in der Ma-

terialbahn auftreten, die eine gute Planlage der beulstrukturierten Materialbahn erheblich beeinträchtigen können. Das trifft insbesondere bei höherfesten Blechen, wie Edelstahl oder hart- oder halbhartgewalzten Blechen oder bei faserigen Materialien oder Verbundmaterialien auf.

[0041] Es hätte erwartet werden können, dass sich diese unerwünschten Effekte noch vergrößern, wenn die strukturierten Materialbahnen / Blechtafeln zusätzlich mit feinstrukturierten Rändern und mit einer Sicke versehen werden, weil dadurch der Strukturierungsprozess noch komplizierter wird. Das Gegenteil ist jedoch der Fall: Mit Hilfe der Sicke und der feinstrukturierten Ränder wird die Planlage der strukturierten Materialbahn erheblich verbessert. Die verbesserte Planlage bleibt sogar auch dann noch erhalten, wenn die Randbereiche (Sicke und Feinstrukturen) wieder von der strukturierten Materialbahn abgetrennt werden. Das lässt sich folgendermaßen erklären: Beim Strukturieren der Materialbahn bewegt sich die Strukturierungswalze in der Weise, dass ihre Stützelemente quer zur Laufrichtung der zu strukturierenden Materialbahn gegen die konkave Seite der Materialbahn drücken und wobei die konvexe Seite der Materialbahn mit Druck beaufschlagt wird. Dabei wird die Materialbahn in ihrer Laufrichtung dadurch etwas gerafft, dass sich Mulden / Kalotten und angrenzende Falten / Wülste quasi frei ausformen. Diesen Umformprozess kann man in ganz grober Näherung als ein Tiefziehen auffassen, wobei das dünne Material in Laufrichtung der Materialbahn etwas nachfließt (in die Mulden).

[0042] Im Gegensatz dazu findet quer zur Laufrichtung der Materialbahn näherungsweise ein Streckziehen des dünnen Materials statt, weil die Materialbahn quer zu ihrer Laufrichtung durch Stützelemente (auf der Strukturierungswalze) durch Form- und Reibschluss fixiert wird und deshalb nicht oder nur sehr wenig nachfließen kann. Das erklärt auch, warum die Raffung (Einkürzung der Materialbahn) beim Beulstrukturieren quer zur Laufrichtung geringer ausfällt als in Laufrichtung der strukturierten Materialbahn. Das gilt jedoch nur für den großen mittleren Bereich der strukturierten Materialbahn.

[0043] In den seitlichen Randbereichen der strukturierten Materialbahn zeigt sich ein anderes Umformverhalten. Hier kann die Materialbahn auch quer zu ihrer Laufrichtung etwas nachfließen, weil das Material am freien Rand nicht daran gehindert wird. So entstehen örtlich unterschiedliche Raffungen der strukturierten Materialbahn in ihrer Mitte einerseits und an ihren Rändern andererseits. Das erklärt auch, warum beim vollflächigen Strukturieren in ihrer Mitte die "Schüssel" oder der "Frosch" durch eine "lange Mitte" (gemeint ist Verlängerung durch reduzierte Raffung) entstehen können. Diese störenden Einflüsse werden um so gravierender, desto höherfester und elastischer das Werkstoffverhalten der Materialbahn ist. Hierbei zeigen Stahl- und Aluminiumblech ein prinzipiell unterschiedliches Verhalten.

[0044] Überraschenderweise werden diese störenden Einflüsse, welche die Planlage, die Stabilität und das

akustische Verhalten erheblich verschlechtern, dadurch beseitigt oder zumindest stark reduziert, dass man die strukturierte Materialbahn an ihren Rändern mit einer Sicke, vorzugsweise stufenförmigen Längssicke, und mit angepassten Feinstrukturen ausstattet. Durch die Sicke wird die Materialbahn an ihren Rändern durch Form- und Reibschluss fixiert, sodass das dünne Material, ähnlich wie in der Mitte der Materialbahn, nicht oder nur geringfügig nachfließen kann. Dadurch können sich die Mulden an den Rändern der strukturierten Materialbahn nicht mehr tiefer ausbilden als in ihrer Mitte. Deshalb bleibt die gute Planlage der so strukturierten Materialbahn sogar auch dann erhalten, wenn ihr Randbereich (Sicke plus feinstrukturierter Rand) wieder abgetrennt wird. Auf diese Weise entsteht eine "beulstrukturierte Materialbahn mit besäumtem Rand".

[0045] Die feinstrukturierten Ränder der strukturierten Materialbahn bestehen insbesondere entweder aus wellenförmigen oder aus polyedrischen Strukturen und werden so angepasst, dass dadurch eine Raffung (Einkürzung) hervorgerufen werden, die etwa der Einkürzung der beulstrukturierten Materialbahn entspricht und wobei gleichzeitig die Strukturiefen an den Rändern viel geringer sind als die der Mulden von den Beulstrukturen. Dabei werden als wellenförmige Feinstrukturen vorzugsweise derartige Wellenlängen gewählt, die erhalten werden, wenn ein glattes Material am Rand mit einer stufenförmigen Längssicke ausgestattet wird und über eine Walze gebogen wird. Dadurch stellen sich häufig gleichmäßige, wellenförmige Strukturen am Rand der dünnen Materialbahn quasi von selbst ein. Es auch vorgesehen sein, dass die Materialbahn zwischen zwei Wellenamplituden eben ist. So werden glatte Randflächen erzielt, die das Fügen sehr erleichtern.

Diese Feinstrukturen können bei allen polyedrischen Grobstrukturen, wie hexagonal-, wappenförmig-, wellenförmig- oder facettenförmigen Strukturen, zur Anwendung kommen.

[0046] Die polyedrischen Feinstrukturen am Rand der Materialbahn bestehen in einer anderen Ausgestaltung aus kleineren hexagonalen oder wappenförmigen Strukturen, die vorzugsweise den größeren hexagonalen oder wappenförmigen Strukturen in der Mitte der Materialbahn angepasst sind. Das gelingt durch einen weiteren überraschenden Effekt: Wenn eine dünne Materialbahn nur in ihrer Mitte mit Beulstrukturen ausgestattet wird und ihre Ränder vom Beulstrukturieren ausgespart werden, d.h. nicht beulstrukturiert, bilden sich von selbst Randstrukturen, etwa Mulden und Falten aus, die frei zum Rand hin auslaufen. Diese am Rand sich frei ausbildenden flachen Mulden mit ihren sanften Falten entstehen durch Initiierung der inneren, angrenzenden Beulstrukturen.

[0047] Die Ausgestaltung der Feinstrukturen erfolgt vorzugsweise mit Hilfe von geometrisch angepassten Stützelementen, beispielsweise auf einer Walze oder Rolle im kontinuierlichen Betrieb oder mit Hilfe von geometrisch angepassten Formwerkzeugen, wie Stempel

und Matrice im diskontinuierlichen Betrieb.

[0048] In analoger Weise können die Feinstrukturen auch aus viereckig-versetzten oder rhombenförmigen Strukturen bestehen. Auf diese Weise kann auf eine Sicke verzichtet werden, weil keine störenden Übergänge mit Instabilitäten zwischen der beulstrukturierten Mitte und dem feinstrukturierten Rand der Materialbahn bzw. der Blechtafel auftreten. Es kann jedoch zusätzlich eine Sicke zwischen der beulstrukturierten Mitte der Materialbahn und ihrem feinstrukturierten Rand angeordnet werden, um die Materialbahn weiter zu versteifen.

[0049] Eine Ausgestaltung besteht darin, dass die strukturierte Materialbahn mit einem feinstrukturierten / glatten Rand in einem zweistufigen, vorzugsweise kontinuierlichem Prozess hergestellt wird. Dabei wird eine glatte Materialbahn im ersten Arbeitsschritt strukturiert, indem die Materialbahn aus ihrer Krümmung heraus auf ihrer Innenseite durch Stützelemente abgestützt und von außen, vorzugsweise mit Hilfe einer elastischen Walze mit Druck beaufschlagt wird. Die Materialbahn wird vorzugsweise vollflächig mit der Struktur versehen. Das ermöglicht beim Strukturieren unterschiedlicher Materialbahnbreiten eine hohe Flexibilität bei Verwendung derselben Stützelementwalze und derselben elastischen Druckwalze. Alternativ kann ein glatter Rand in Laufrichtung der strukturierten Materialbahnen erhalten werden, wenn seitliche Aussparungen in der elastischen Druckwalze vorgesehen werden.

[0050] Ein glatter Rand quer zur Laufrichtung der Materialbahn wird dadurch erreicht, dass die Druckbeaufschlagung in vorgegeben Längenabschnitten der Materialbahn unterbrochen wird. Das erreicht man entweder durch eine angepasste Aussparung des Elastomers auf der Druckwalze und/oder durch eine angepasste, schrittweise Zustellung der Stützelementwalze. Im zweiten Arbeitsschritt werden die Feinstrukturen mit Hilfe von Formwerkzeugen, vorzugsweise durch Rollformen am Rand der Materialbahn erzeugt. Dabei kann auch gleichzeitig eine Längssicke erzeugt werden. Zwischen dem ersten und dem zweiten Arbeitsschritt sowie nach dem zweiten Arbeitsschritt kann die Materialbahn gerichtet werden.

[0051] Eine weitere Ausgestaltung besteht darin, dass die strukturierte Materialbahn mit einem feinstrukturierten / glatten Rand in einem integrierten, einstufigen, vorzugsweise kontinuierlichem Prozess hergestellt wird, wobei die beiden genannten Arbeitsschritte gleichzeitig stattfinden. Dabei ist die Mitte der Stützelementwalze mit ihren Stützelementen für die Erzeugung der größeren Strukturen ausgestattet. Die beiden Enden der Stützelementwalze sind mit den Stützelementen oder Formkonturen für das Herstellen der Feinstrukturen und ggf. für die Längssicke ausgestattet. Die Druckwalze besitzt in ihrer Mitte ein Elastomer für die Druckbeaufschlagung (für das Strukturieren) und an ihren beiden Enden die eingearbeiteten Formkonturen für die Erzeugung der Feinstrukturen. Diese Formkonturen können aus starren oder elastischen Werkstoffen bestehen.

[0052] Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass

zunächst eine beul- / wellenstrukturierte Materialbahn hergestellt, gerichtet und dann beispielsweise zu strukturierten Blechabschnitten abgelängt wird. Dabei können die so strukturierten Blechtafeln auch glatte Ränder quer zu ihrer Laufrichtung aufweisen. Sie können auch seitlich glatte Ränder besitzen. In einem folgendem separaten Arbeitsschritt werden dann die Feinstrukturen und ggf. eine Sicke an den Rändern der Materialbahn mit Hilfe angepasster Form- oder Prägwerkzeuge, vorzugsweise durch jeweils zwei gegeneinander drückende Rollen eingebracht. Diese Form- und Prägwerkzeuge bestehen aus starren oder elastischen Werkstoffen. Die Feinstrukturen und ggf. die Sicke können an allen Seiten der strukturierten Blechtafel angebracht werden.

[0053] Eine weitere Ausgestaltung besteht darin, dass feinstrukturierte Bereiche alternativ oder ergänzend im mittleren grobstrukturierten Bereich der strukturierten Materialbahn, nämlich zwischen zwei Bereiche der Grobstrukturierung, eingebracht werden, wahlweise unter Verwendung mindestens einer Sicke. Das gelingt deshalb, weil beim Beul- / Wellenstrukturieren das Material nur wenig plastifiziert wird und weil somit noch große Plastifizierungsreserven für das sekundäre Einbringen von Feinstrukturen zur Verfügung stehen. Auf diese Weise lassen sich strukturierte, vorzugsweise beulstrukturierte Materialbahnen und Blechtafeln herstellen, die nicht nur an ihren Rändern sondern auch in ihrem mittleren, grobstrukturierten Bereich thermisch, mechanisch oder auch beispielsweise durch Schrauben oder Kleben einfach zu fügen sind, nämlich im Bereich der Feinstrukturierung.

[0054] Es kann weiter vorgesehen sein, dass die grobstrukturierte Materialbahn nicht nur Feinstrukturen an ihren Randabschnitten erhält, sondern auch noch mit Übergangsstrukturen ausgestattet wird. Diese Übergangsstrukturen werden vorzugsweise zwischen den Grobstrukturen und den Feinstrukturen angeordnet und besitzen eine kleinere Strukturelementgröße und -tiefe als die Grobstrukturelemente. Die Übergangsstrukturen weisen den Vorteil auf, dass sie zwar weniger biegesteif sind als die Grobstrukturelemente, dafür aber einen sanfteren Übergang von den Grob- zu den Feinstrukturen ergeben. Die Übergangsstrukturen werden bei einer beulförmigen Grobstrukturierung vorzugsweise dadurch gebildet, dass eine strukturgerechte Auffächerung von Falten der Grobstrukturierung erfolgt. Überraschenderweise werden solche Auffächerungen in sanften Konturen beobachtet, wenn sich die ursprünglich ebene Materialbahn infolge der Grobstrukturierung rafft und sich durch die Längendifferenzen die ebenen Bereiche quasi von selbst "verwerfen" und dabei sanft falten. Dabei entstehen vorzugsweise Falten nach dem "Y-Prinzip", wobei jeweils drei Falten zu einem Sternpunkt zusammenlaufen. Derartige sanfte Faltenbildungen der Übergangsstrukturen werden dann mit Hilfe von geometrisch angepassten mechanischen Form- und Prägwerkzeugen oder -rollen verstärkt. So wird der Werkstoff der Materialbahn geschont. Es können aber auch geometrisch ähn-

lich gestaltete Übergangsstrukturen mit Hilfe von Prägwerkzeugen oder -rollen hergestellt werden.

[0055] Weiterhin kann vorgesehen sein, dass der Herstellungsprozess das Ausbilden der Fein- / Übergangsstrukturierung mit dem Schneiden / Trennen der strukturierten Materialbahn unmittelbar verbindet. Hierdurch wird ein Arbeitsschritt eingespart. Auf diese Weise kann eine grobstrukturierte Materialbahn, die wahlweise mit Übergangsstrukturen versehen ist, integriert konfektioniert und mit Feinstrukturen oder auch mit weiteren Übergangsstrukturen ausgestattet werden. Vorzugsweise wird ein trennendes Schermesser verwendet, das die Materialbahn schräg abtrennt. Auf diese Weise bleibt die zeitliche Schwerkraft in einer Richtung quer zur Materialbahn gering. Jeweils an dem Ort oder in seiner Nähe greift das Strukturierungswerkzeug für das Fein- / Übergangsstrukturieren der Materialbahn örtlich und zeitlich ein. Auf diese Weise bleiben die auf den Materialrand wirkenden Kräfte und damit der Maschinenaufwand vergleichsweise gering. Ein zusätzlicher Niederhalter kann mit geringer Druckkraft dafür sorgen, dass die Materialbahn fixiert wird.

[0056] Eine weitere Ausführungsform besteht darin, dass mehrere Prozessschritte unmittelbar miteinander zu einem quasi kontinuierlichen Gesamtprozess verknüpft werden, um die Durchlaufzeit drastisch zu reduzieren und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Die ebene Materialbahn wird in der kontinuierlich arbeitenden Strukturierungsmaschine gleichzeitig im mittleren Bereich mit Grobstrukturen und an den seitlichen Rändern (in Laufrichtung) mit Feinstrukturen und ggf.

[0057] Grobstrukturen versehen. Anschließend erfolgt das Richten in den ebene Planlage. Schließlich wird in der integrierten Maschine simultan der Rand der Materialbahn senkrecht zu ihrer Laufrichtung angetrennt und mit Fein- und /oder Übergangsstrukturen. Dadurch entsteht quasi ein flächiges Bauteil mit großer allseitiger Steifigkeit, das allseitig einfach gefügt werden kann.

[0058] Eine in der vorbeschriebenen Weise ausgebildet und hergestellte Materialbahn kann, wahlweise nach geeigneter Weiterverarbeitung, in verschiedenen Anwendungen unter Ausnutzung der beschriebenen vorteilhaften Eigenschaften verwendet werden. Beim Einsatz der Materialbahn in den verschiedenen Anwendungen ergeben sich spezifische Vorteile, die ihren Ausgangspunkt in dem speziellen Aufbau der Materialbahn haben. Vorteilhaft kann eine Rahmenbauweise zum Einsatz kommen. Als Werkstoff werden je nach Anwendungsgebiet zweckmäßig genutzt: Stahl, Aluminium, Titan, Magnesium oder Legierungen hiervon.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung

[0059] Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf Figuren einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 2 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 3 einen Abschnitt einer wappenförmig strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 4 einen Abschnitt einer versetzt-viereckig strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 5 einen Abschnitt einer rautenförmig strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 6A, 6B jeweils einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 7 einen Abschnitt einer wappenförmig strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 8 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 9 einen Abschnitt einer wappenförmig strukturierten Materialbahn in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 10 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn mit einem feinstrukturierten Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 11 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn mit einer Übergangsstruktur und einem feinstrukturierten Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 12 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn mit Übergangsstrukturen und einem feinstrukturierten Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 13 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn mit einem ebenen Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (links und rechts);

Fig. 14 einen Abschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn mit einem mittleren feinstrukturierten Abschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 15 einen Abschnitt einer räumlich facettenförmig strukturierten Materialbahn mit einem feinstrukturierten Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 16 einen Abschnitt einer räumlich facettenförmig

strukturierten Materialbahn mit einem feinstrukturierten Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 17 einen Abschnitt einer räumlich facettenförmig strukturierten Materialbahn mit einem ebenen Randabschnitt in Aufsicht (oben) und im Querschnitt (unten und rechts);

Fig. 18 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Materialbahn mit einer Grobstrukturierung und einer Feinstrukturierung im Randbereich im Querschnitt (links) und in Aufsicht (rechts);

Fig. 19 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Materialbahn mit einer Grobstrukturierung und einer Feinstrukturierung im Randbereich im Querschnitt (links) und in Aufsicht (rechts);

Fig. 20 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Materialbahn mit einer Grobstrukturierung und einer Feinstrukturierung im Randbereich im Querschnitt;

Fig. 21 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Materialbahn mit Grob- und Feinstrukturierung im Querschnitt, die beim Feinstrukturieren ein integriertes Schneiden ermöglicht; und

Fig. 22 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Materialbahn mit Grob- und Feinstrukturierung im Querschnitt.

[0060] Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 22 beschrieben, wie bei einer Materialbahn mit einer dreidimensionalen versteifenden Grobstrukturierung Abschnitte der Materialbahn, die an die Grobstrukturierung grenzen, als Abschnitte mit einer Feinstrukturierung gebildet werden. Für gleiche Merkmale werden in den Fig. 1 bis 22 dieselben Bezugszeichen verwendet, wo dieses zweckmäßig ist.

[0061] Das Ausbilden von Abschnitten mit einer Feinstrukturierung, wahlweise in einer der nachfolgenden Ausgestaltungen, kann grundsätzlich für beliebig dreidimensional grobstrukturierte Materialbahnen, insbesondere Blechmaterialbahnen, genutzt werden, zum Beispiel auch bei grobstrukturierten Materialbahnen, die über die als solche bekannte Wölb- / Beulstruktur mit Falten und von den Falten eingeschlossenen Mulden verfügen. Deshalb wird das Ausbilden der Auflageabschnitte im folgenden am Beispiel einer beul- / wölbstrukturierten Materialbahn beschrieben, bei der die Grobstrukturierung in Form von Falten und Mulden gebildet ist. In analoger Weise kann die Grobstrukturierung in anderen Ausführungsformen mittels Kalotten und diese umgebenden Wülsten sowie mittels dreidimensionalen Facetten gebildet sein.

[0062] Fig. 1 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103. Der Rand der Ma-

terialbahn 100 umfasst eine Längssicke 104 und eine wellenförmige Feinstruktur 105.

[0063] Fig. 2 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103. Der Rand dieser Materialbahn 100 besteht aus einer Längssicke 104 und einem feinstrukturierten Rand, der sich aus feinen Wellen 105 und ebenen Flächen 106 zusammensetzt.

[0064] Fig. 3 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer wappenförmig strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103. Der Rand dieser Materialbahn 100 besteht aus einer Längssicke 104 und einem feinstrukturierten Rand, der sich aus feinen Wellen 105 und ebenen Flächen 106 zusammensetzt.

[0065] Fig. 4 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer versetzt-viereckig strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103. Der Rand dieser Materialbahn 100 besteht aus einer Längssicke 104 und einem feinstrukturierten Rand, der sich aus feinen Wellen 105 und ebenen Flächen 106 zusammensetzt.

[0066] Fig. 5 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer rautenförmig strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103. Der Rand dieser Materialbahn 100 besteht aus einer Längssicke 104 und einem feinstrukturierten Rand, der sich aus feinen Wellen 105 und ebenen Flächen 106 zusammensetzt.

[0067] Fig. 6A und Fig. 6B zeigen schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit einem auslaufenden, feinstrukturierten Rand. Fig. 6A zeigt einen feinstrukturierten Rand mit auslaufenden Falten 107, die sich an die hexagonale Struktur unmittelbar anschließen und kürzere Falten 108, die jeweils zwischen den Falten 107 angeordnet sind. Fig. 6B zeigt einen feinstrukturierten Rand mit auslaufenden Falten 107 und 108, die sich an die hexagonale Struktur unmittelbar anschließen.

[0068] Fig. 7 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer wappenförmig strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit einem auslaufenden, feinstrukturierten Rand. Der feinstrukturierte Rand besteht aus auslaufenden Falten 107, die sich an die wappenförmige Struktur unmittelbar anschließen und kürzere Falten 108, die jeweils zwischen den Falten 107 angeordnet sind.

[0069] Fig. 8 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit rautenförmigen Übergangsstrukturen mit Falten 109 und Mulden 110. Der auslaufende, feinstrukturierte Rand besteht aus Falten 107 und Falten 108, die sich an die rautenförmige Übergangsstruktur unmittelbar anschließen. Die Flächen zwischen den Falten 107 und den Falten 108 sind gewölbt; sie können aber auch eben ausgeführt sein.

[0070] Fig. 9 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer wappenförmig strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit wap-

penförmigen Übergangsstrukturen mit ihren Falten 109 und Mulden 110. Der auslaufende, feinstrukturierte Rand besteht aus Falten 107 und Falten 108, die sich an die wappenförmige Übergangsstruktur unmittelbar anschließen. Die Flächen zwischen den Falten 107 und den Falten 108 sind gewölbt; sie können aber auch eben ausgeführt sein.

[0071] Fig. 10 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit herzförmigen Übergangsstrukturen mit Falten 111 und Falten 112. Der auslaufende, feinstrukturierte Rand besteht aus weiteren Falten 113, die sich an die herzförmige Übergangsstruktur unmittelbar anschließen. Die Flächen zwischen den weiteren Falten 113 sind gewölbt; sie können aber auch eben ausgeführt sein.

[0072] Fig. 11 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit herzförmigen Übergangsstrukturen mit Übergangsstruktur-Falten 111 und Übergangsstruktur-Falten 112, sowie mit weiteren hexagonalen kleineren Übergangsstrukturen. Der auslaufende, feinstrukturierte Rand besteht aus weiteren Falten 113, die sich an die kleineren hexagonalen Übergangsstruktur unmittelbar anschließen. Die Flächen zwischen den weiteren Falten 113 sind gewölbt; sie können aber auch eben ausgeführt sein.

[0073] Fig. 12 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und mit herzförmigen Übergangsstrukturen mit Übergangsstruktur-Falten 111 und Übergangsstruktur-Falten 112, sowie mit mehreren Reihen von weiteren hexagonalen kleineren Übergangsstrukturen. Der auslaufende, feinstrukturierte Rand besteht aus weiteren Falten 113, die sich an die kleineren hexagonalen Übergangsstruktur unmittelbar anschließen. Die Flächen zwischen den weiteren Falten 113 sind gewölbt; sie können aber auch eben ausgeführt sein.

[0074] Fig. 13 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal strukturierten Materialbahn 100 mit Falten 102 und Mulden 103 und einem frei auslaufenden ebenen Rand 114 in Längsrichtung (Fertigungsrichtung beim kontinuierlichen Beulstrukturierungsprozess). Die Falte 115 der oberen Sechseckstruktur bildet gemeinsam mit den sich selbst ausbildenden sanften Wölbungen 116 einen gemeinsamen stabilisierenden Übergang von dem strukturierten Bereich zu dem ebenen Rand 114.

[0075] Fig. 14 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer hexagonal grobstrukturierten Materialbahn 100 mit den Falten 102 und den Mulden 103. Eine mittlere Feinstrukturierung besteht aus weiteren Falten 117. Rechts von der mittleren Feinstrukturierung schließen sich spiegelsymmetrisch die entsprechenden Strukturen an. Die mittlere Feinstrukturierung dient vorteilhaft beispielsweise für Fügeverbindungen in der Mitte der hexagonal grobstrukturierten Materialbahn 100.

[0076] Fig. 15 zeigt schematisch die Aufsicht und den

Querschnitt einer räumlich facettenförmig strukturierten Materialbahn 100 mit den ebenen rautenförmigen Flächen 118 und 119. Die Flächen 118 sind räumlich versetzt zueinander angeordnet und werden durch Falten 120 eingegrenzt. Die Flächen 119 werden durch Falten 121 eingegrenzt. In perspektivischer Ansicht erscheinen die Flächen 118 und 119 wie aneinander gereihte Würfel. Alle übrigen Anordnungen entsprechen der Ausführungsform in Fig. 1.

[0077] Fig. 16 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer räumlich facettenförmig strukturierten Materialbahn 100 analog zu der Ausführungsform in Fig. 15. Der Randbereich entspricht der Ausführungsform in Fig. 2.

[0078] Fig. 17 zeigt schematisch die Aufsicht und den Querschnitt einer räumlich facettenförmig grobstrukturierten Materialbahn 100. In Laufrichtung (Pfeilrichtung) der facettenförmig grobstrukturierten Materialbahn 100 liegen rautenförmige Flächen 119 gemeinsam auf einer gemeinsamen Fläche, die als schraffierte Flächen gezeigt sind. Deshalb liegt eine etwa in der Mitte durchschnitten Kante 122 der rautenförmigen Flächen 119 auf einer gemeinsamen Höhenlinie. Somit ist eine Feinstrukturierung hierbei nicht erforderlich. In der unteren Ansicht in Fig. 17 ist eine Kante 120 zu sehen.

[0079] Fig. 18 zeigt schematisch eine Vorrichtung zum Feinstrukturieren einer bereits hexagonal grobstrukturierten Materialbahn 100 im Querschnitt (links) und in Aufsicht (rechts). Dadurch entsteht ein feinstrukturierter Rand der Materialbahn 100 mit Feinstrukturen wellenförmigen Feinstrukturen 105 analog zur Ausführung in Fig. 1. Eine obere Prägewalze 123 mit Prägeelementen 124 und eine untere Prägewalze 125 mit Prägeelementen 126 drücken von oben und unten gegen den Rand der bereits grobstrukturierten Materialbahn 100. Eine Sikkenscheibe 127, die mit der oberen Prägewalze 123 verbunden ist, drückt von oben gegen den Rand der Materialbahn 100, um eine Längssicke 104 (analog zu Fig. 1) zu erzeugen. Die Konturen der Prägeelemente 124 und 126 entsprechen vorzugsweise den sich von selbst initiiierenden Falten, wenn eine stufenförmig abgekanthete Materialbahn über eine Walze gebogen wird, die etwa denselben Durchmesser besitzt wie die obere und die untere Prägewalze 123, 125. Dadurch findet eine materialschonende, nahezu "isometrische" Verbiegung statt. Wenn auf diese Weise die Plastifizierungen des Materialbahnwerkstoffes beim Feinstrukturieren gering bleiben soll, darf von diesen Gesetzmäßigkeiten nicht oder nur geringfügig abgewichen werden. Eine größere Abweichung von diesen Gesetzmäßigkeiten, nämlich die Wahl der Gestalt und der Anordnung der Prägeelemente 124 und 126, ist jedoch dann erlaubt, wenn der Werkstoff der Materialbahn 100 über ausreichend Plastifizierungsreserven verfügt. Jedoch müssen die Längeneinkürzungen von Grob- und Feinstrukturen gleich oder zumindest annähernd gleich sein, damit ein Verzug, ein "Schneider" oder eine "Schüssel" der strukturierten Materialbahn vermieden werden.

[0080] Fig. 19 zeigt schematisch eine Vorrichtung zum Feinstrukturieren einer bereits hexagonal grobstrukturierten Materialbahn 100 im Querschnitt (links) und in Aufsicht (rechts). Der Unterschied zur Vorrichtung in Fig. 18 besteht darin, dass die obere Walze 123 abwechselnd ein volles Prägeelement 124 und ein abgeflachtes Element 128 besitzt. Die abgeflachten Elemente 128 dienen nur dazu, dass sie gemeinsam mit den Prägeelementen 126 der unteren Walze 125 den Vorschub (Transport) der Materialbahn sicherstellen. Auf diese Weise entsteht der feinstrukturierte Rand mit den wellenförmigen Strukturen 105 und den ebenen Flächen 106 entsprechend Fig. 2.

[0081] Fig. 20 zeigt schematisch den Querschnitt einer Vorrichtung zum hexagonal Strukturieren der Materialbahn 100. Von oben drückt die Stützelementwalze 129 mit den Stützelementen 130 gegen die Materialbahn 100. Von unten drückt die Druckwalze mit ihrer elastomeren Schicht 132 gegen die Materialbahn 100. Dadurch bilden sich die Falten 102 und die Mulden 103 in der Materialbahn 100 aus. Die Feinstrukturierung 105 entsteht dadurch, dass eine Stützscheibe 134 mit ihrer Kontur von unten und eine weitere Stützscheibe 133 mit ihrer Kontur gegen den Randabschnitt der Materialbahn 100 drückt und sie dabei feinstrukturiert. Die Konturen der Scheiben 133 und 134 sind so ausgebildet, dass entweder die wellenförmige Feinstruktur 105 (vgl. Fig. 1) oder die Feinstruktur 105 mit den ebenen Abschnitten 106 (vgl. Fig. 2) entsteht. Die Stützkontur 131 ist ringförmig am Umfang der Stützelementwalze 129 angebracht und dient zur Erzeugung der Sicke 104 (vgl. Fig. 1 und Fig. 2). Die Sicke 104 in der Materialbahn 100 fixiert gleichzeitig die Materialbahn 100 während des kontinuierlichen Strukturierungsprozesses (gegenseitiges Abrollen der Stützelementwalze 129 und der Druckwalze mit ihrer elastomeren Schicht 132 und der verbundenen Stützscheibe 134) und verhindert so ein seitliches (quer zur Laufrichtung) Nachfließen der Materialbahn 100 zu ihrer Mitte hin.

[0082] Fig. 21 zeigt schematisch den Querschnitt (unterer Teil) und die Aufsicht (oberer Teil) einer Vorrichtung zur Kinematik für eine sekundäre Feinstrukturierung einer Materialbahn 100. Die Stützelemente 136 der Stützscheibe 135 und die Stützelemente 137 der Tischauflage 138 prägen die Feinstrukturierung 105 bzw. 106 in den Randabschnitt der Materialbahn 100 ein. Die Kinematik mit Hilfe der beiden Gestänge 140, der vier Gelenke 141, des Stellhebels 142 mit seinem Gleitdom 143 in dem Schlitz 145 der Gleitschiene 144 ist so konzipiert, dass eine konstante Kraft F ein gleichmäßiges Einprägen der Feinstrukturen 105 in den Randabschnitt der Materialbahn 100 bewirkt. Mit Hilfe der etwa waagerechten Kraft f gegen Gleitdorn 143 wird die Stützscheibe 135 rollend von links nach rechts bewegt. Die Vorrichtungen zur Einleitung der beiden Kräfte F und f und zur Kinematik der Gleitschiene 144 sind in der Fig. 19 nicht explizit dargestellt.

[0083] Fig. 22 zeigt schematisch den Querschnitt (unterer Teil) und die Aufsicht (oberer Teil) einer Vorrichtung

zur Kinematik für eine sekundäre Feinstrukturierung mit einer integrierten Vorrichtung zum Schneiden der Materialbahn 100. Die Vorrichtung zum Feinstrukturieren des Randabschnittes der Materialbahn 100 entspricht der in Fig. 21. Parallel zum Feinstrukturieren senkt sich die Messerschneide 146 und trennt die strukturierte Materialbahn 100 ab. In dieser vereinfachten Darstellung wurde auf die explizite Ausführung der übrigen Vorrichtungsteile der Schere, wie Führung und Antrieb der Messerschneide 146 und Niederhalter verzichtet. Mit der in Fig. 22 schematisch dargestellten Vorrichtung lässt sich jeweils nur ein Randabschnitt der Materialbahn 100 mit einer Feinstruktur versehen und abtrennen. Die andere abgeschnittene Seite der Materialbahn 100 erhält so noch keinen feinstrukturierten Randabschnitt. Dieser andere Randabschnitt der Materialbahn 100 kann dadurch ebenfalls eine Feinstruktur erhalten, dass eine zusätzliche Vorrichtung analog Fig. 21 in die Vorrichtung von Fig. 22 installiert wird, so dass eine abrollende Vorrichtung zum Feinstrukturieren in Form einer Stützscheibe 135 mit Stützelementen 136 und einer Tischauflage 138 mit Stützelementen 137 jeweils vor und hinter dem Schneidmesser 146 installiert ist. Diese Installation ist in der Fig. 22 nicht explizit dargestellt. Mit Hilfe der Stützelemente 136 und 137 lassen sich nicht nur Feinstrukturen (vgl. Fig. 1 und 2) sondern auch Übergangsstrukturen (vgl. Fig. 8 bis 12) herstellen. Zusätzlich kann auch ein Sickenelement auf der Stützscheibe 135 oder auf der Tischauflage 138 angebracht werden, so dass der strukturierte Rand der Materialbahn 100 eine Sicke 104 (vgl. Fig. 1) umfasst. Die zusätzliche Sicke 104 ist in Fig. 22 nicht explizit dargestellt.

[0084] Mit den vorangehend beschriebenen Vorrichtungen kann in analoger Weise eine Materialbahn hergestellt werden, bei der die Grobstrukturierung in Form von Kalotten und diese umgebenden Wülste wellenförmig gebildet ist. Das ist deshalb möglich, weil mit Hilfe der Sicke 104 eine Entkopplung von der Grobstruktur zur Feinstruktur erfolgt, so dass jede Art der Grobstruktur - einschliesslich der Facettenstruktur - mit einer Feinstruktur ausgestattet werden kann. Auch für den Fall, dass eine Feinstruktur ohne zusätzliche Sicke entstehen soll (entsprechend Fig. 6 bis 12), gilt Analoges für die hexagonal- oder die wappenförmigen Strukturen mit Falten sowie für die dreidimensional wellenförmigen Strukturen mit Wülsten, weil die Initiierung der Strukturen auf Basis der Gesetzmäßigkeiten der kontrollierten Selbstorganisation bis zum dynamischen Durchschlag analog ablaufen.

[0085] Die in der vorstehenden Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen von Bedeutung sein.

Patentansprüche

1. Strukturierte Materialbahn aus einem Bahnmaterial, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer Grobstrukturelemente umfassenden und versteifenden Grobstrukturierung, die flächig und dreidimensional gebildet ist, **gekennzeichnet durch** zumindest einen an die Grobstrukturierung angrenzende Abschnitt mit einer Feinstrukturelemente umfassenden Feinstrukturierung, wobei Abmessungen der Feinstrukturelemente geringer als Abmessungen der Grobstrukturelemente sind.
2. Materialbahn nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem zumindest einen Abschnitt mit der Feinstrukturierung eine an die Grobstrukturierung angepasste Längeneinkürzung gebildet ist.
3. Materialbahn nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest einen Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Randabschnitt umfasst.
4. Materialbahn nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Randabschnitt und der Grobstrukturierung eine Übergangsstrukturierung gebildet ist.
5. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Übergangsabschnitt umfassen, der zwischen Abschnitten mit der Grobstrukturierung gebildet ist.
6. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung im Bereich quer zu einer Laufrichtung im wesentlichen eben gebildete Abschnitte umfasst.
7. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feinstrukturierung mittels eines oder mehrerer Strukturelemente aus der folgenden Gruppe von Strukturelementen gebildet ist: Wellenstruktur, auslaufende Wulststruktur, Faltenstruktur, Rhombenstruktur, Rautenstruktur, Rechteckform, Herzform, Hexagonalstruktur und Facettenstruktur.
8. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feinstrukturierung über eine Sicke mit der Grobstrukturierung in Verbindung steht.
9. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feinstrukturierung eine selbstorganisierte

rende Strukturierung ist.

10. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Auflagenabschnitt aufweist. 5
11. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Fügeabschnitt aufweist. 10
12. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Grobstrukturierung eine wellenförmige Strukturierung ist. 15
13. Materialbahn nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wellenförmige Strukturierung mit Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten gebildet ist, wobei die Wülste zusammenhängend und mit einem Krümmungsradius gebildet sind, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist. 20
14. Materialbahn nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kalotten in einem mittleren Kalottenbereich eine Gestalt aufweisen, die einer Kugelschalenform zumindest angenähert ist. 25
15. Materialbahn nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste gemäß einer oder einer Kombination mehrerer geometrischer Grundformen aus der folgenden Gruppe von geometrischen Grundformen zusammenhängend gebildet sind: Dreieck, Viereck, insbesondere Quadrat, Rechteck, Raute oder Parallelogramm, Fünfeck, Sechseck (Hexagon) und Achteck. 30
16. Materialbahn nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste gemäß einer einheitlichen geometrischen Grundform gebildet sind. 35
17. Materialbahn nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste in allen Richtungen, nämlich in Fertigungsrichtung und quer zur Fertigungsrichtung, jeweils mit einer im wesentlichen einheitlichen Wulsthöhe gebildet sind. 40
18. Materialbahn nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** für zumindest einen Teil der Kalotten eine Kalottenoberfläche breit diffus reflektierend ist, wobei zumindest der Teil der Kalotten mit der breit diffus reflektierenden Kalottenoberfläche als tiefe Kalotten gebildet ist. 45

19. Materialbahn nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** für zumindest einen Teil der Kalotten eine Kalottenoberfläche gerichtet reflektierend ist, wobei zumindest der Teil der Kalotten mit der gerichtet reflektierenden Kalottenoberfläche als flache Kalotten gebildet ist. 50
20. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grobstrukturierung eine selbstorganisierende Strukturierung ist. 55
21. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bahnmaterial ein Material oder eine Kombination von Materialien ausgewählt aus der folgenden Gruppe von Materialien ist: Metall, Kunststoff, faserige Stoffe, insbesondere Papier und Pappe, Fasergewebe und Maschengewebe.
22. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bahnmaterial in Sandwich-Bauweise gebildet ist, bei dem zwischen zwei Außenbahnen mindestens eine Zwischenbahn angeordnet ist.
23. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bahnmaterial anodisiertes Aluminiumblech ist.
24. Verfahren zum Herstellen einer strukturierten Materialbahn aus einem Bahnmaterial, insbesondere Blechmaterialbahn, bei dem flächig und dreidimensional eine Grobstrukturelemente umfassende und versteifende Grobstrukturierung und angrenzend an die Grobstrukturierung zumindest ein Abschnitt mit einer Feinstrukturelemente umfassenden Feinstrukturierung gebildet werden, wobei die Feinstrukturelemente mit Abmessungen hergestellt werden, die geringer als Abmessungen der Grobstrukturelemente sind.
25. Verfahren nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem zumindest einen Abschnitt mit der Feinstrukturierung eine an die Grobstrukturierung angepasste Längeneinkürzung gebildet wird.
26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest einen Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Randabschnitt umfassend gebildet wird.
27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Randabschnitt und der Grobstrukturierung eine Übergangsstrukturierung gebildet wird.

28. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 24 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung einen Übergangsabschnitt umfassend gebildet wird, der zwischen Abschnitten mit der Grobstrukturierung hergestellt wird. 5
29. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 24 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung im Bereich quer zu einer Laufrichtung mit im wesentlichen ebenen Abschnitten gebildet wird. 10
30. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 24 bis 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** die strukturierte Materialbahn im Bereich des zumindest einen Abschnitts mit der Feinstrukturierung getrennt wird, während der zumindest eine Abschnitt mit der Feinstrukturierung gebildet wird. 15
20
31. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 24 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grobstrukturierung und die Feinstrukturierung in einem kontinuierlichen Strukturierungsprozess zeitgleich gebildet werden. 25
32. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** der kontinuierliche Strukturierungsprozess mittels Abrollen von Stützbauteilen und Druckbauteilen ausgeführt wird, zwischen denen ein zu strukturierendes Ausgangsmaterial angeordnet wird. 30
33. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch ein umlaufendes Stützelement (131) eine Sicke zwischen der Grobstruktur und der Feinstruktur gebildet wird und die Materialbahn seitlich fixiert wird. 35
40
45
50
55

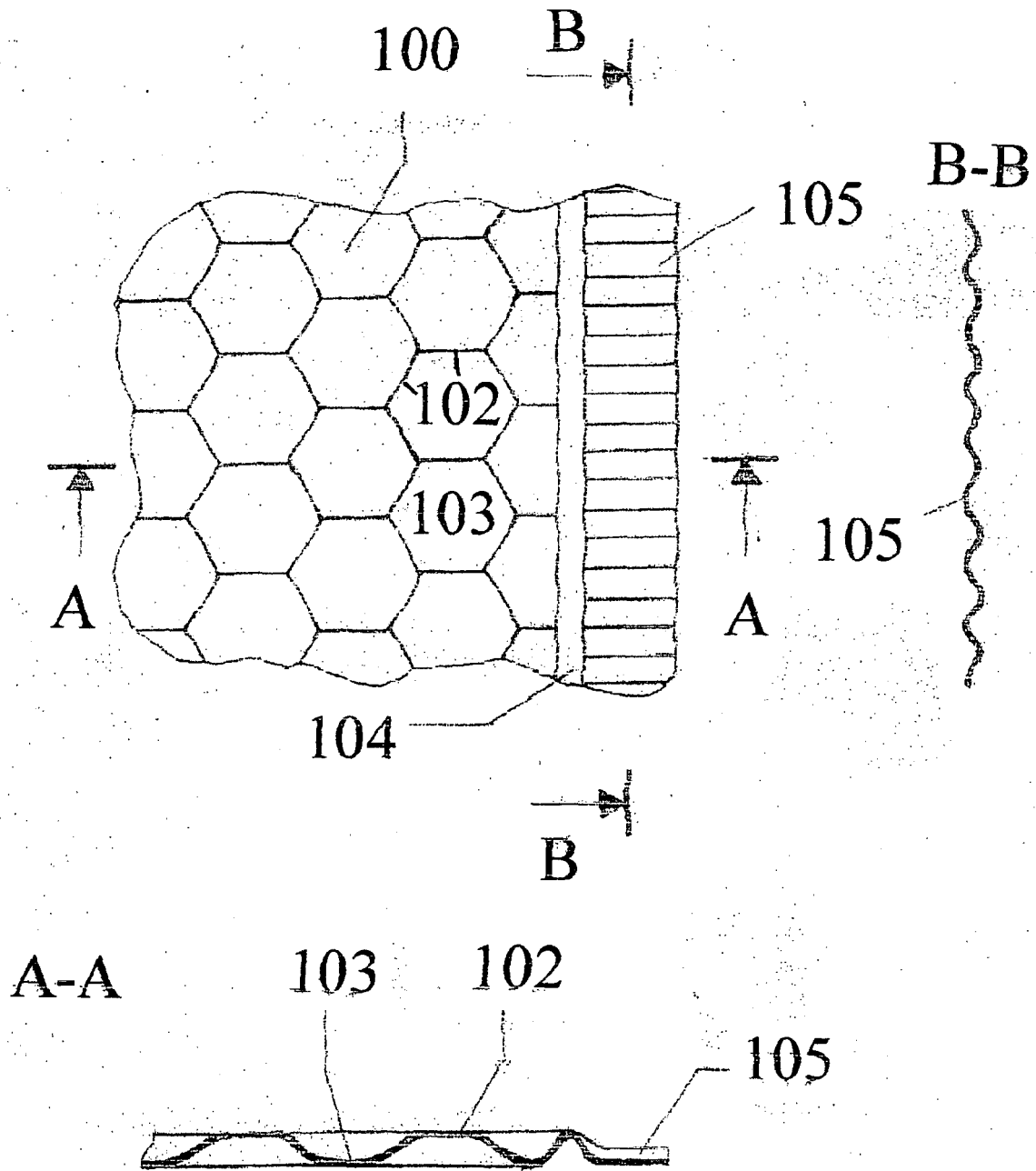


Fig. 1

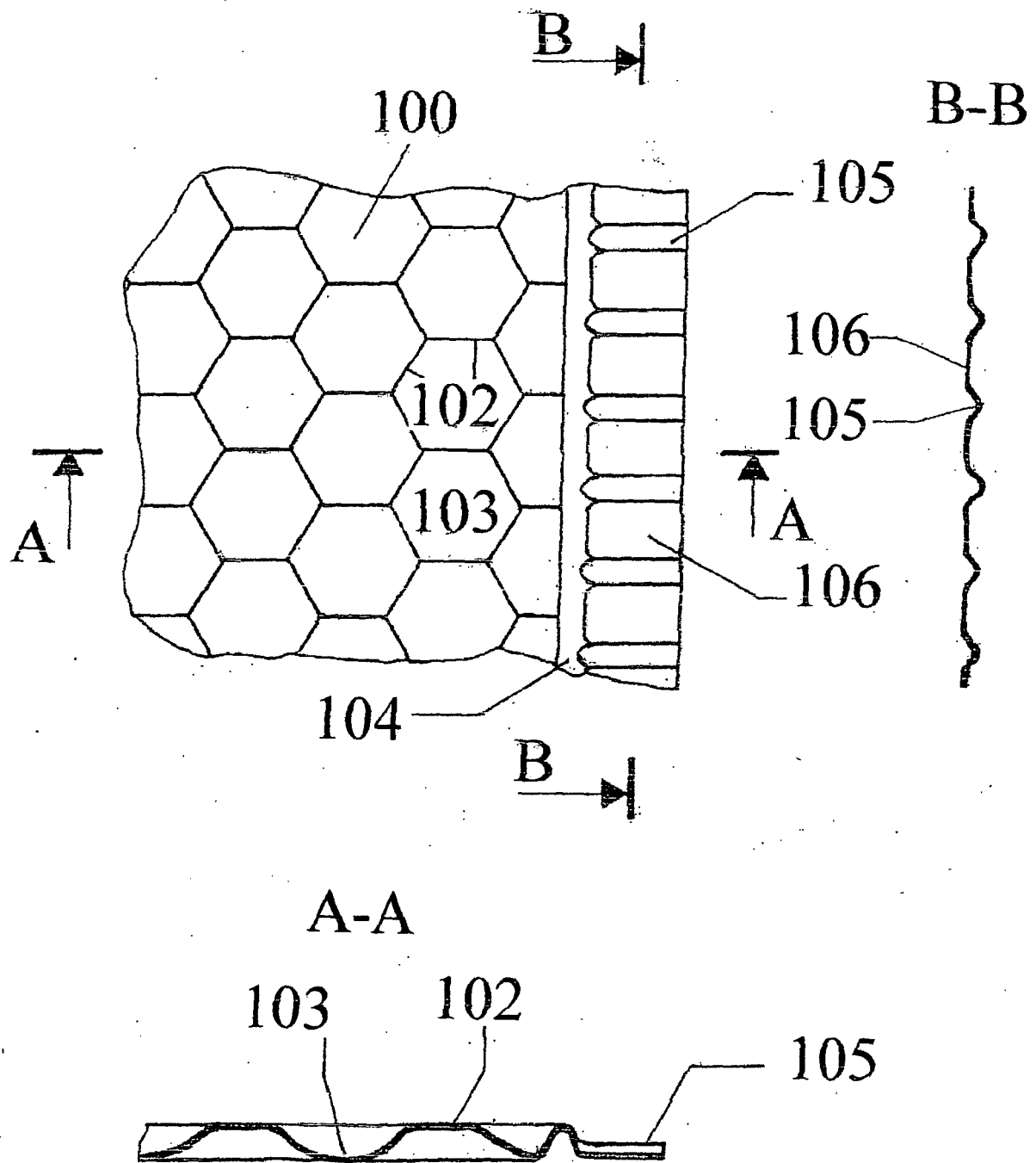


Fig. 2

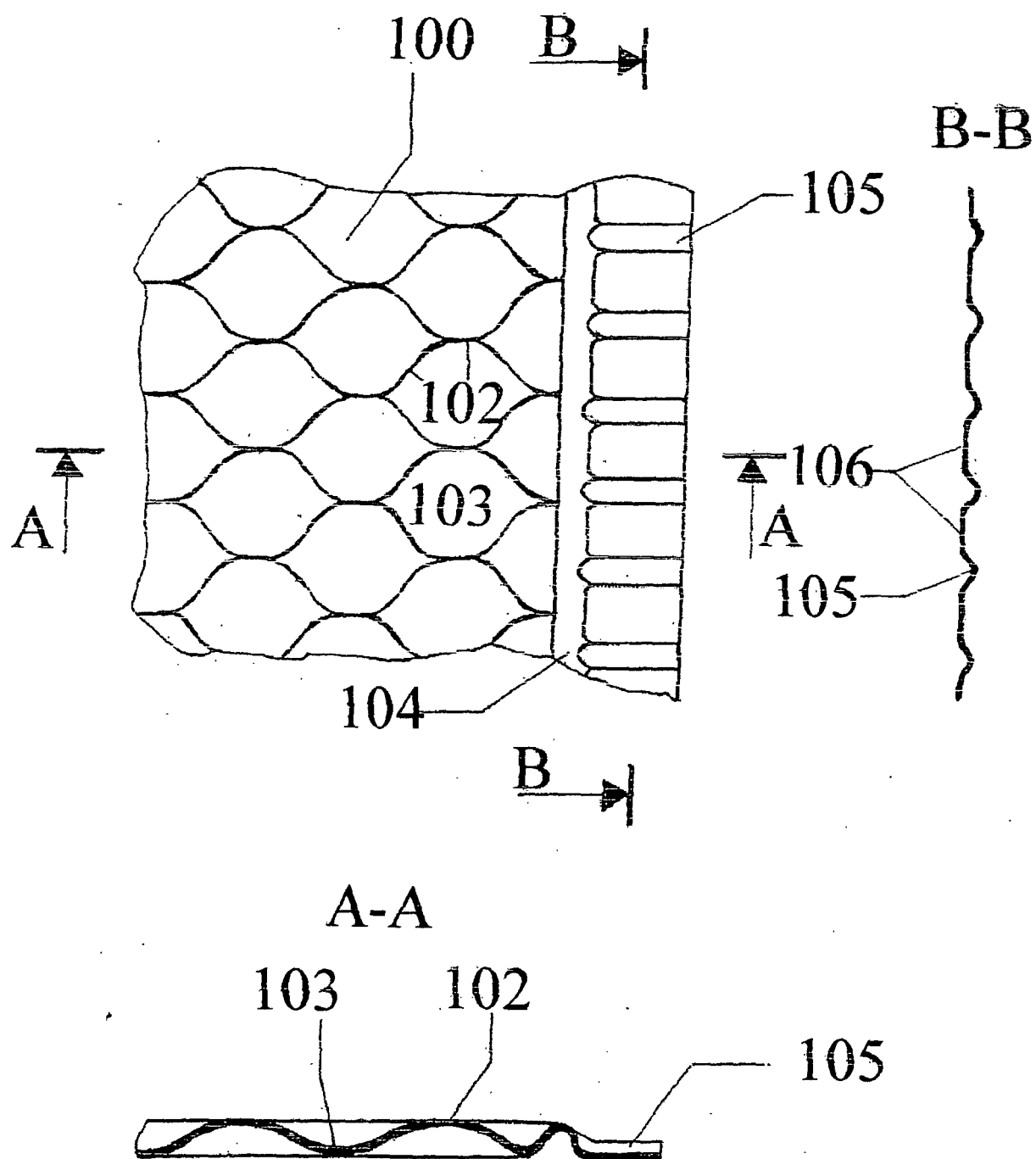


Fig. 3

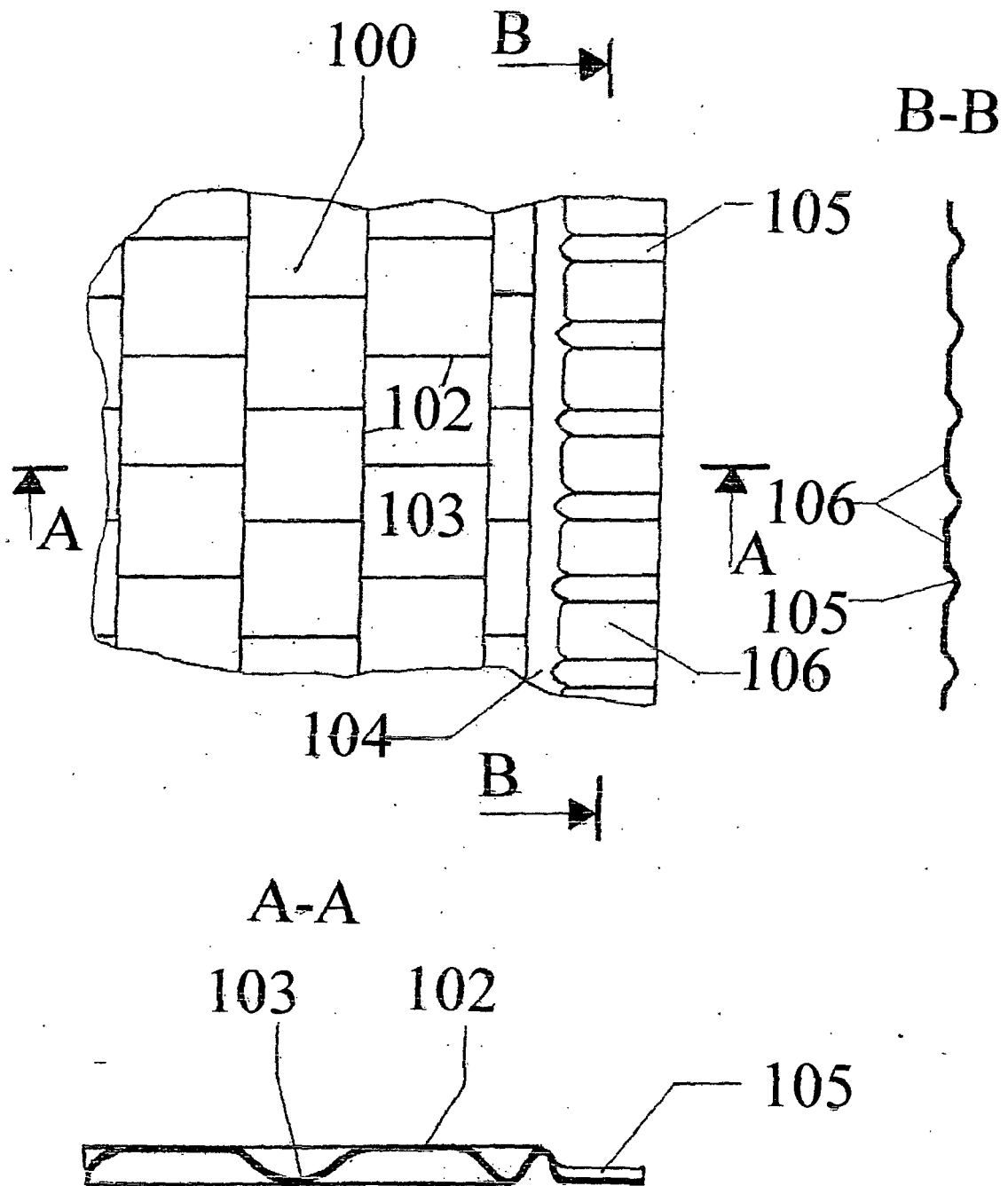


Fig. 4

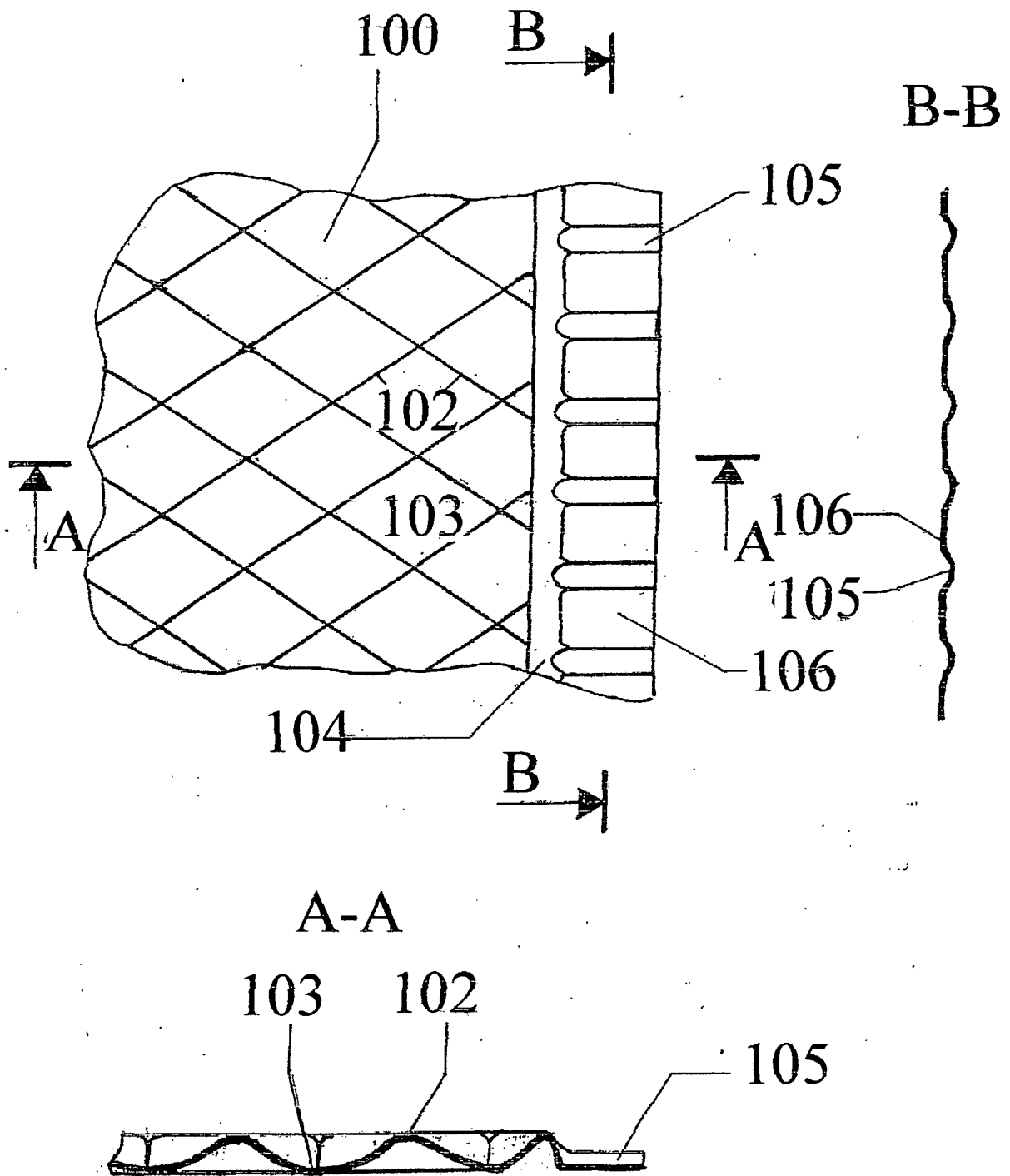


Fig. 5

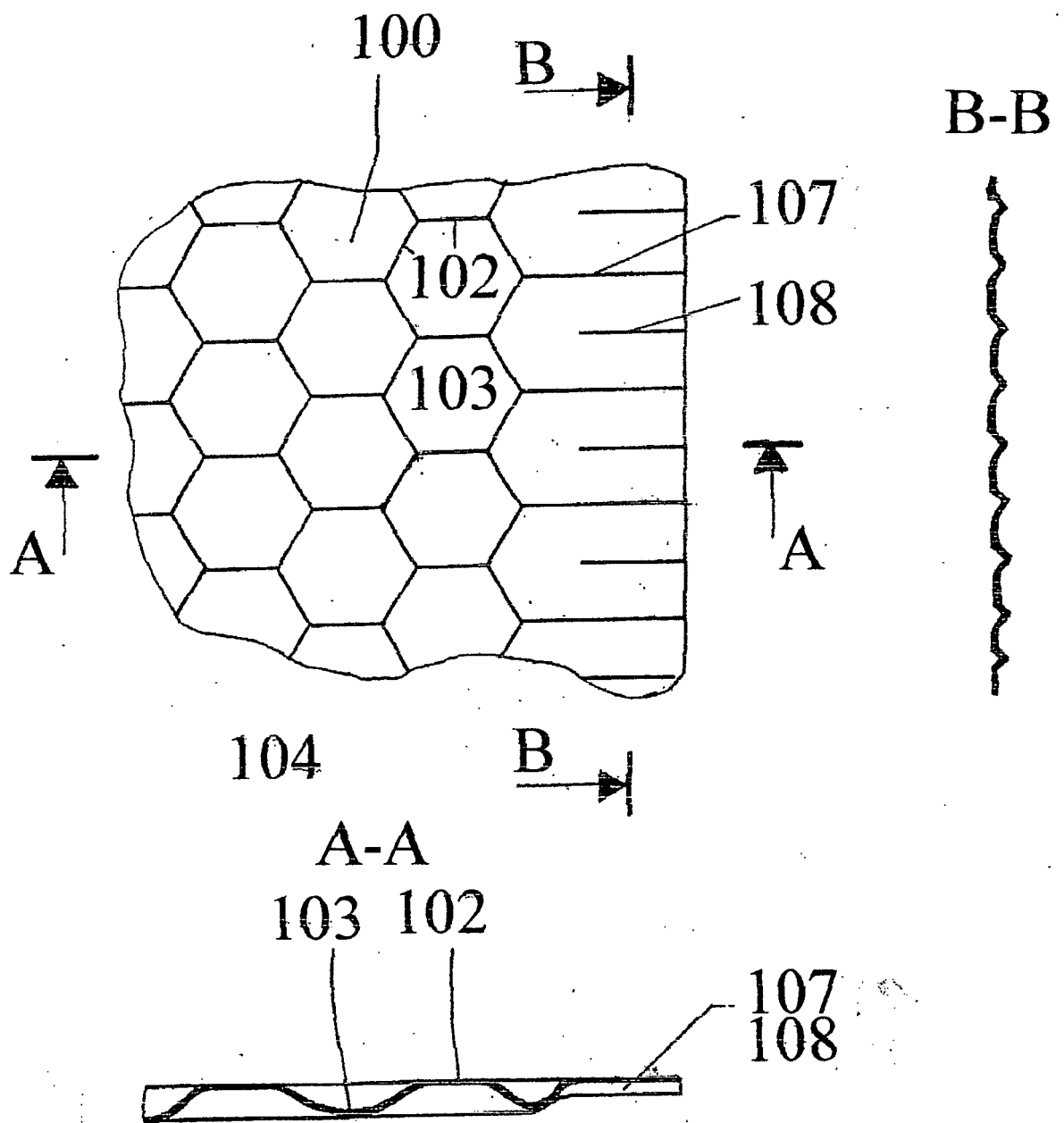


Fig. 6a

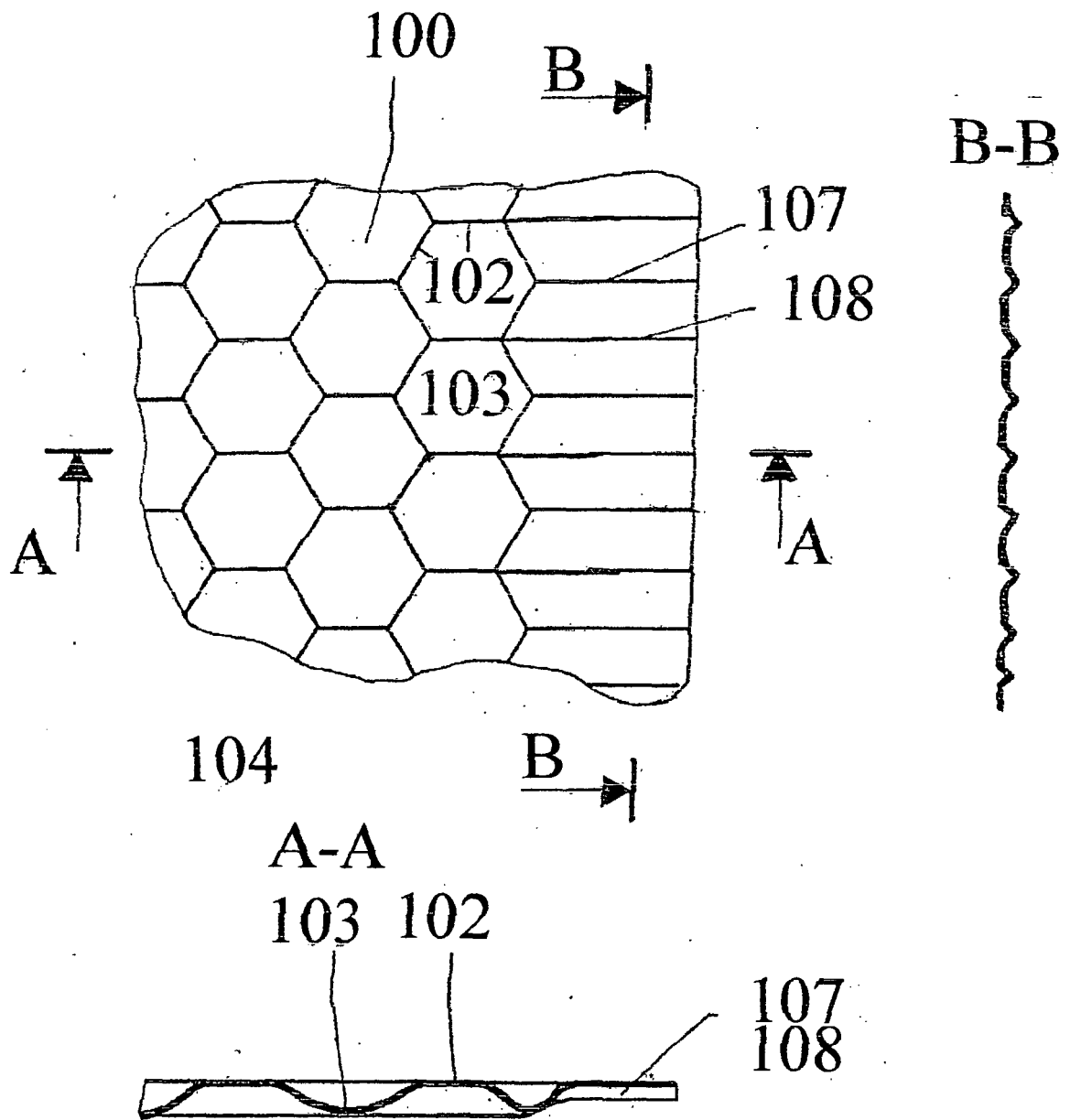


Fig. 6b

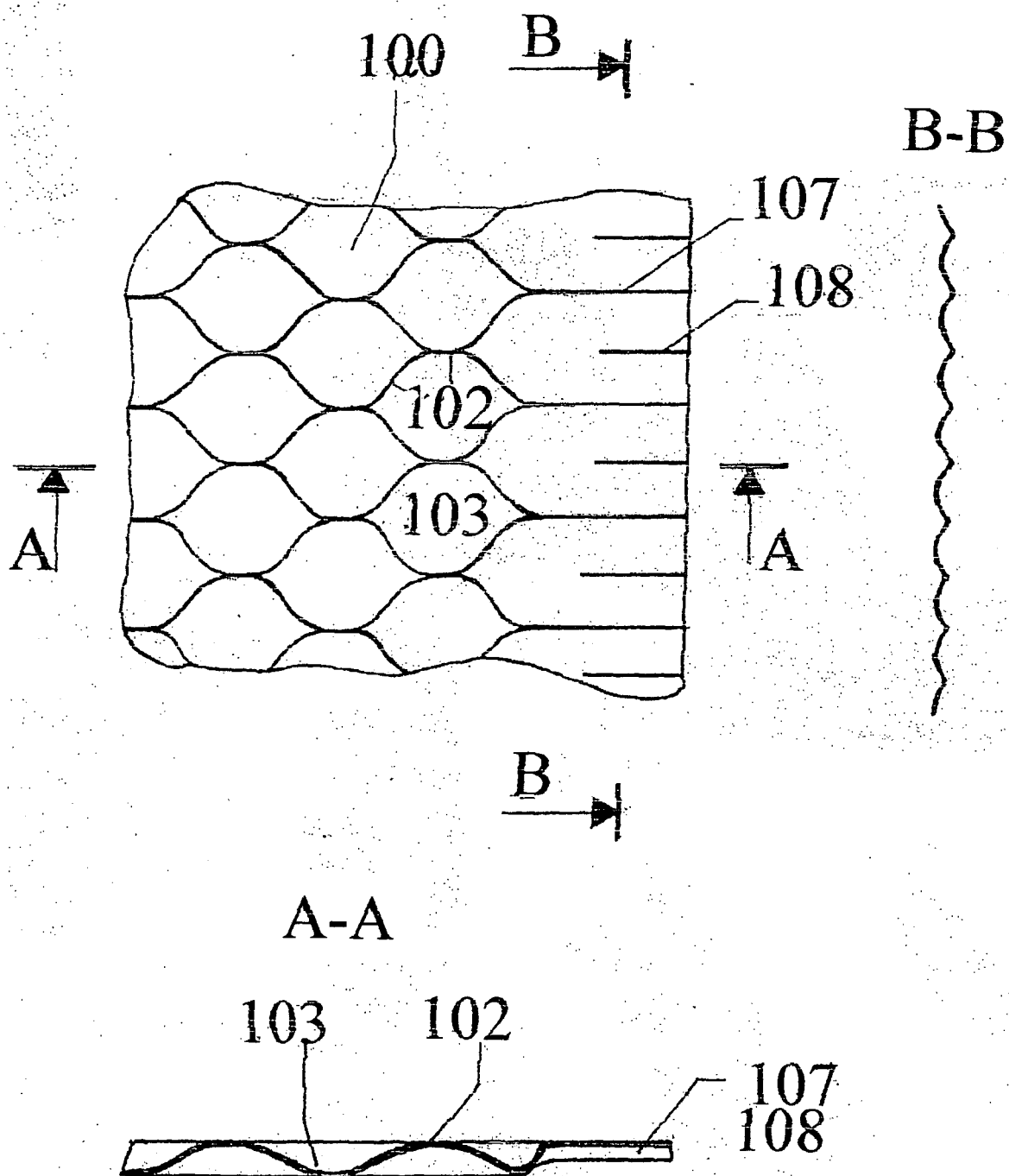


Fig. 7

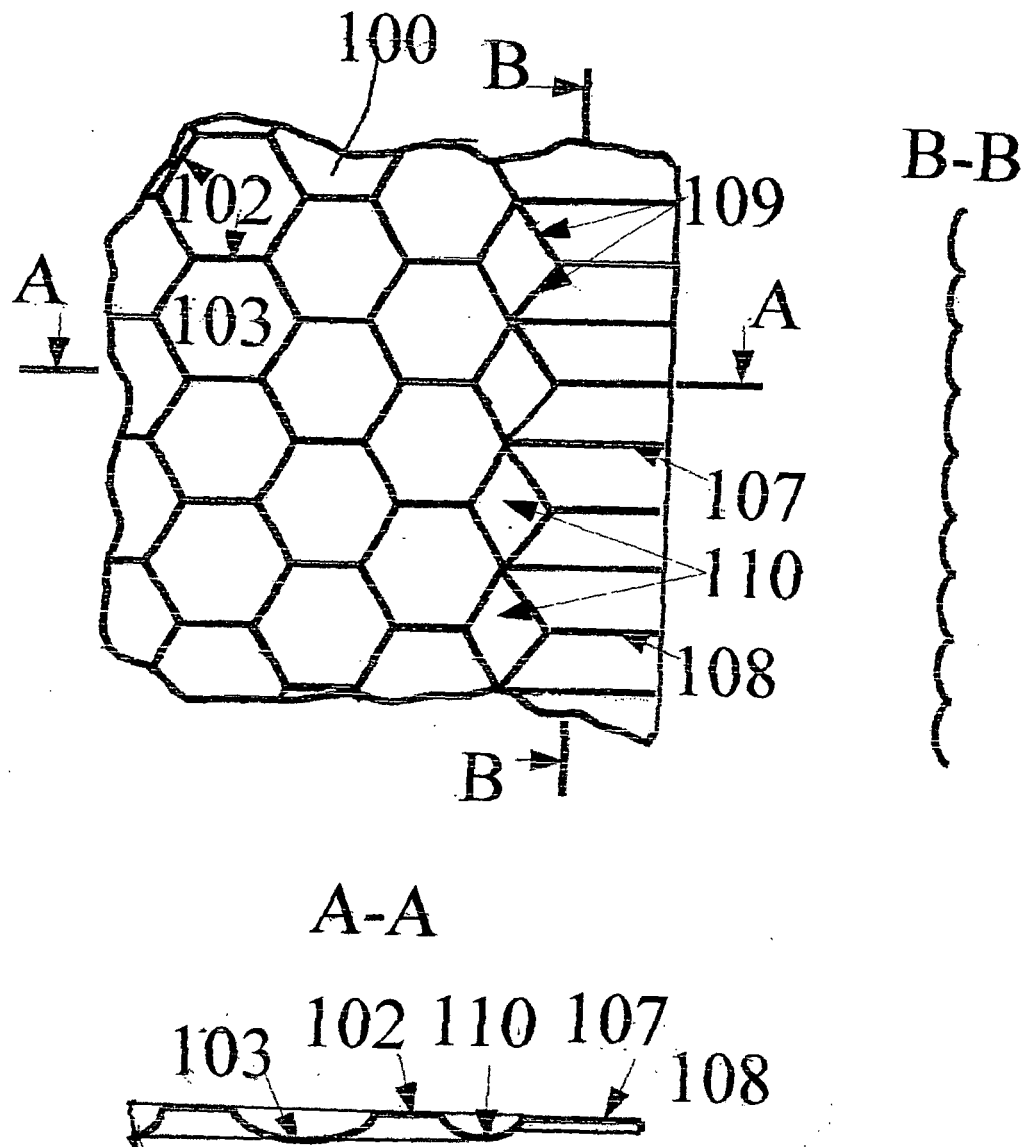


Fig. 8

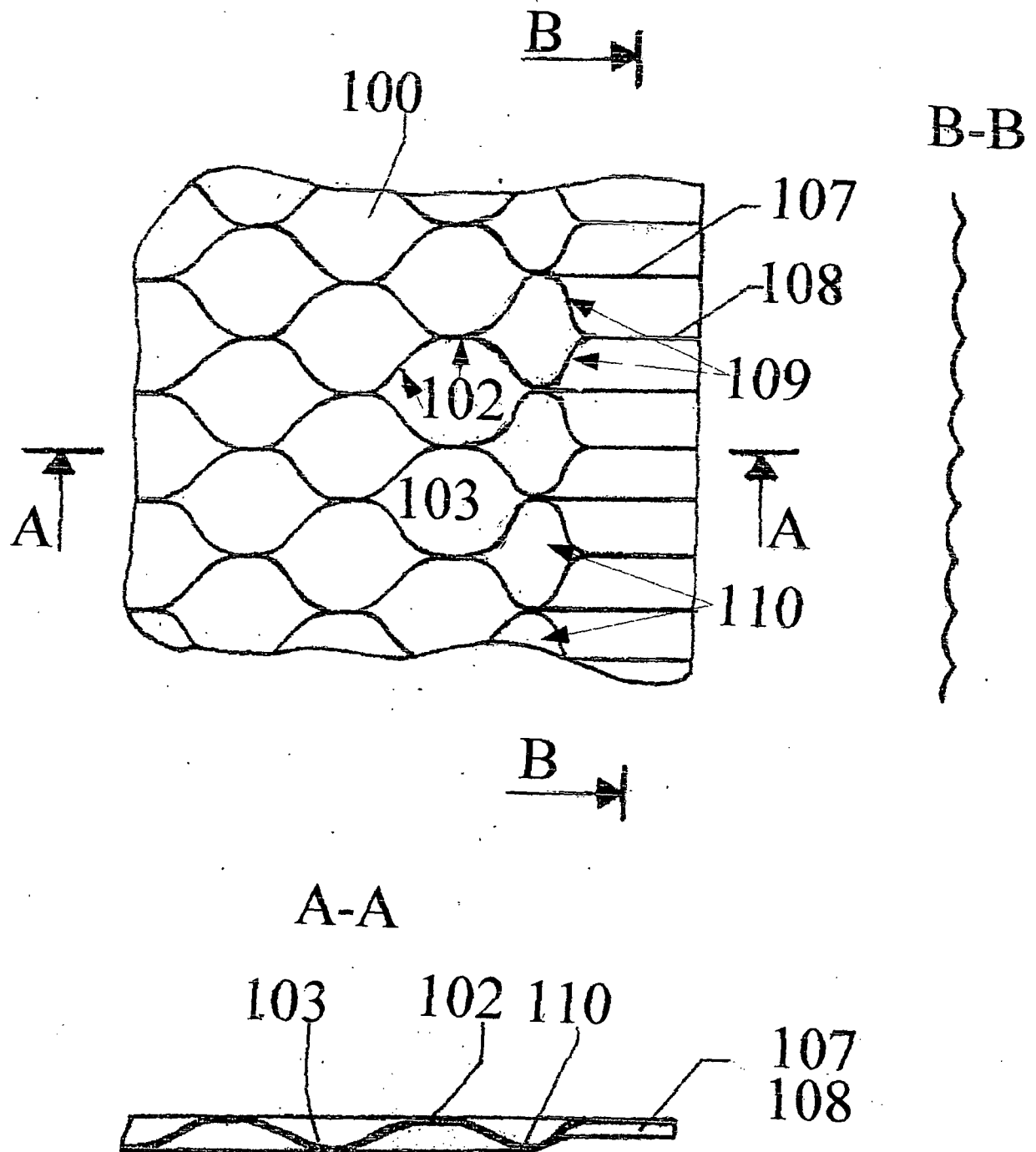


Fig. 9

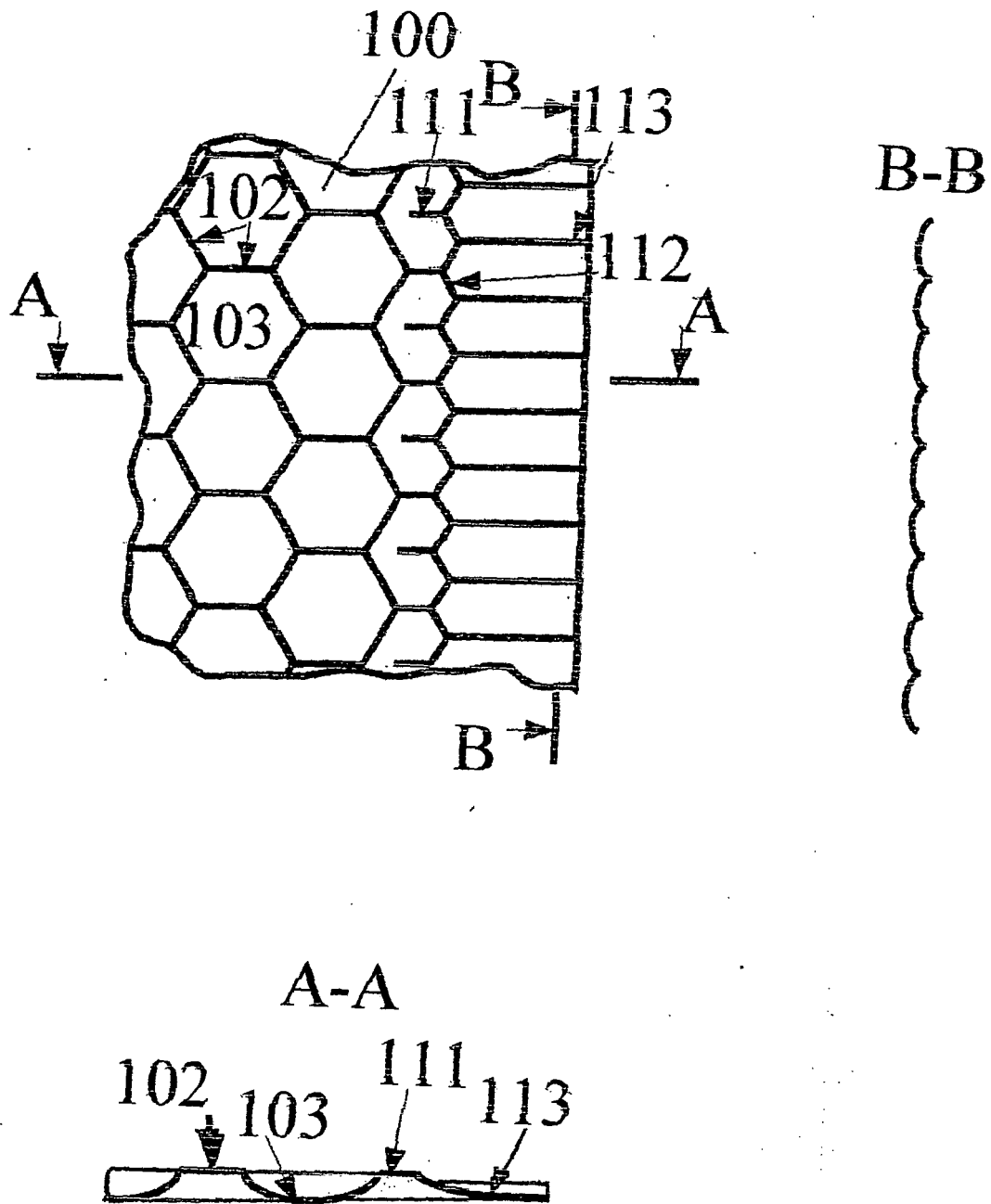


Fig. 10

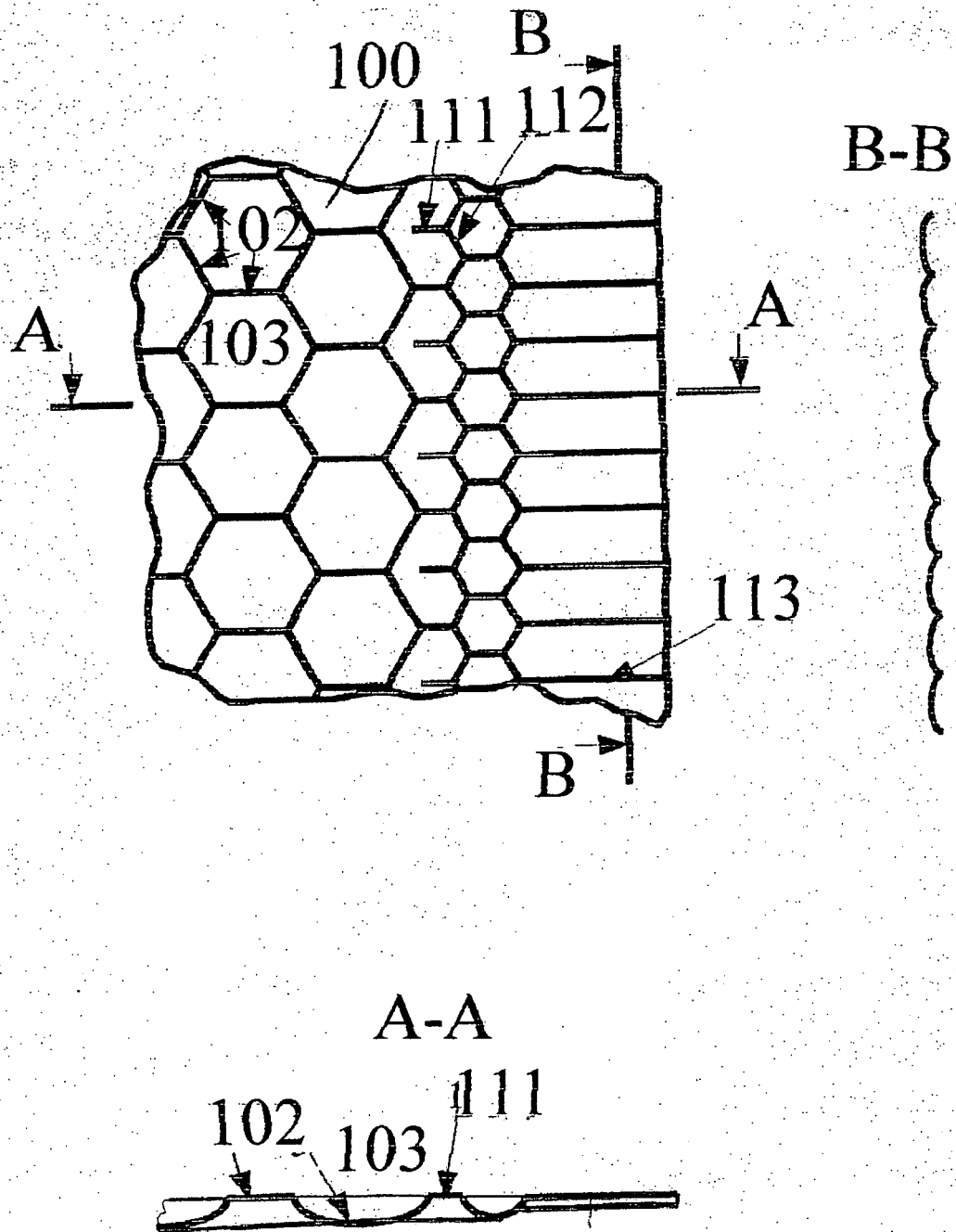


Fig. 11

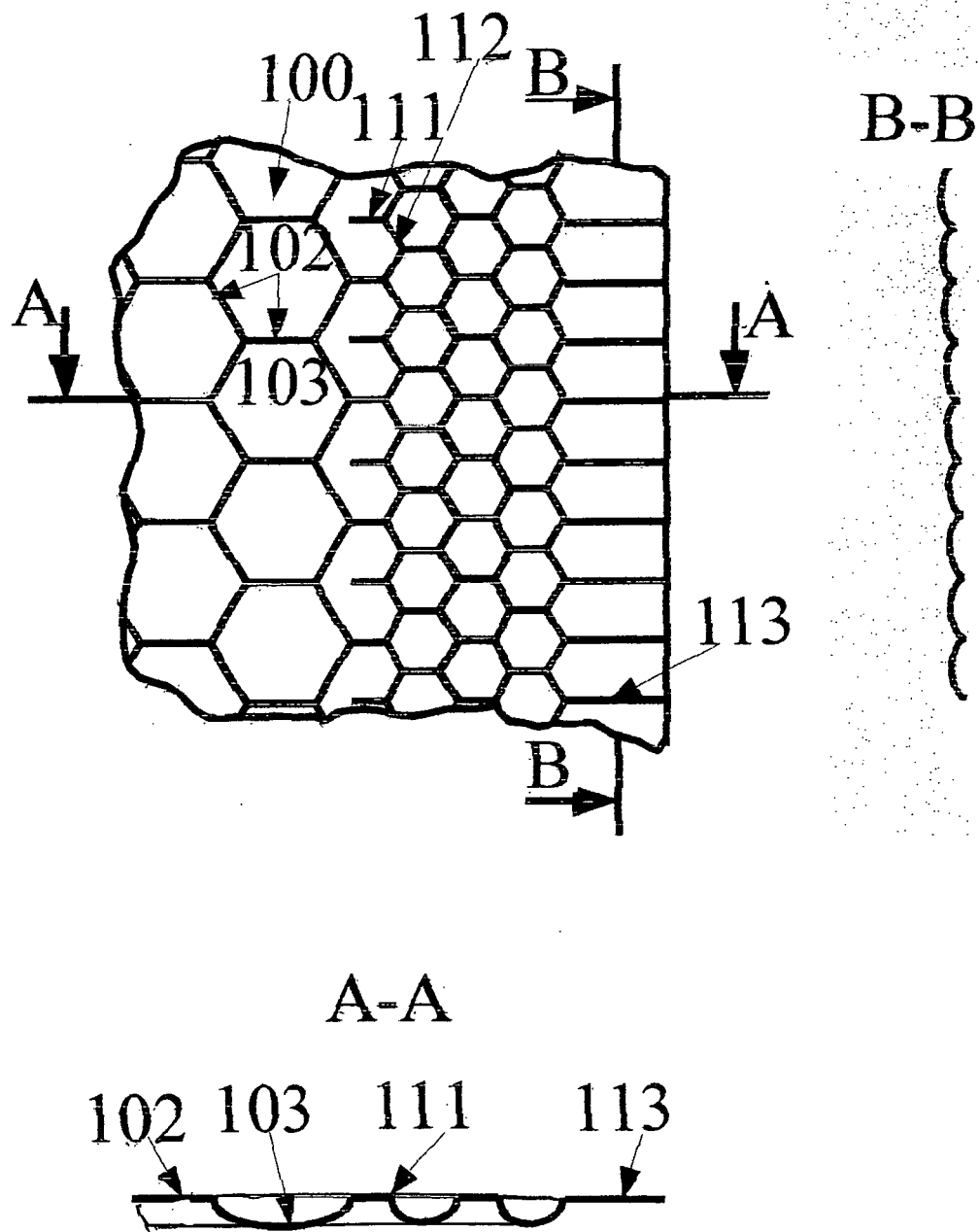


Fig. 12

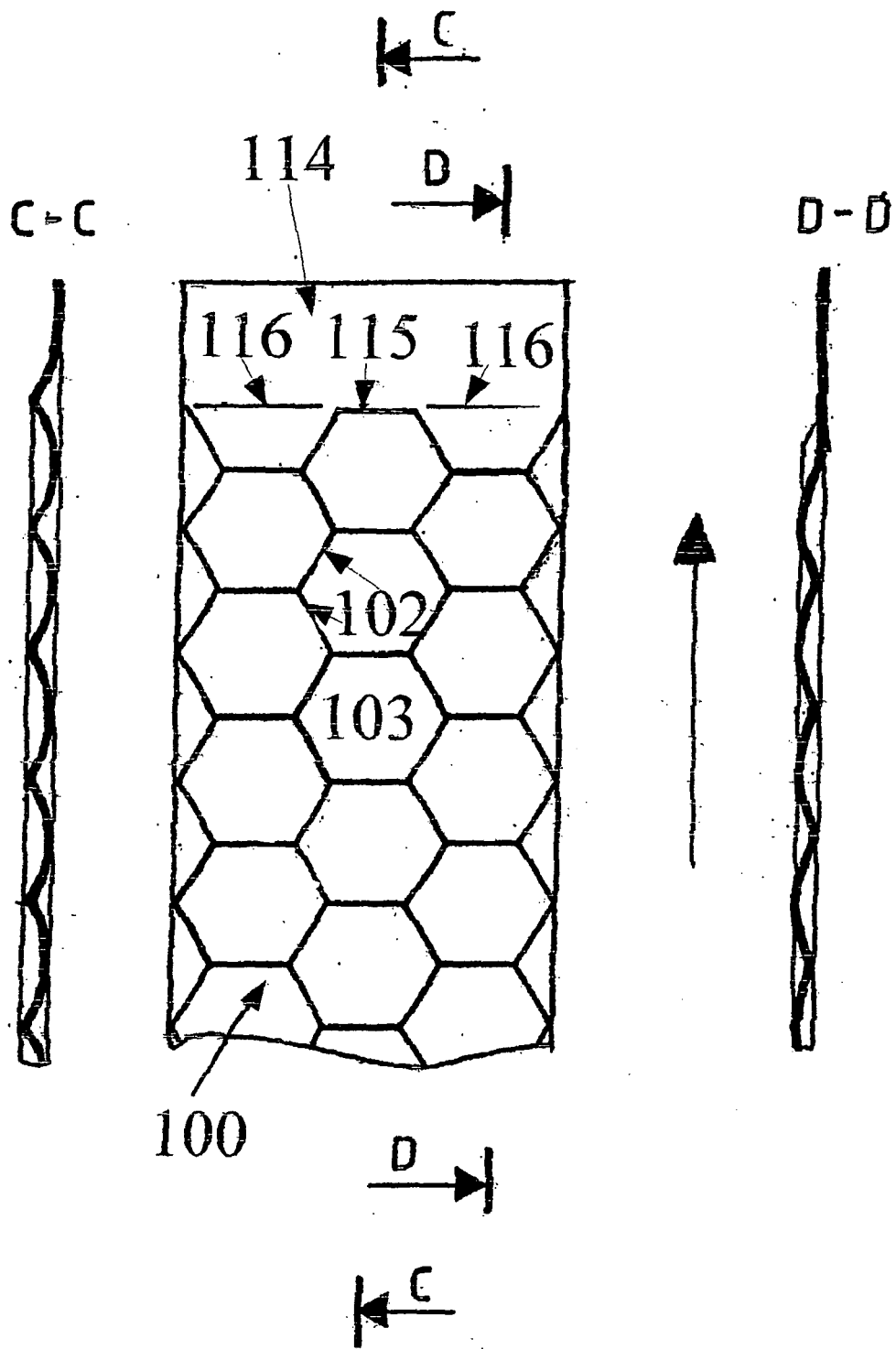


Fig. 13

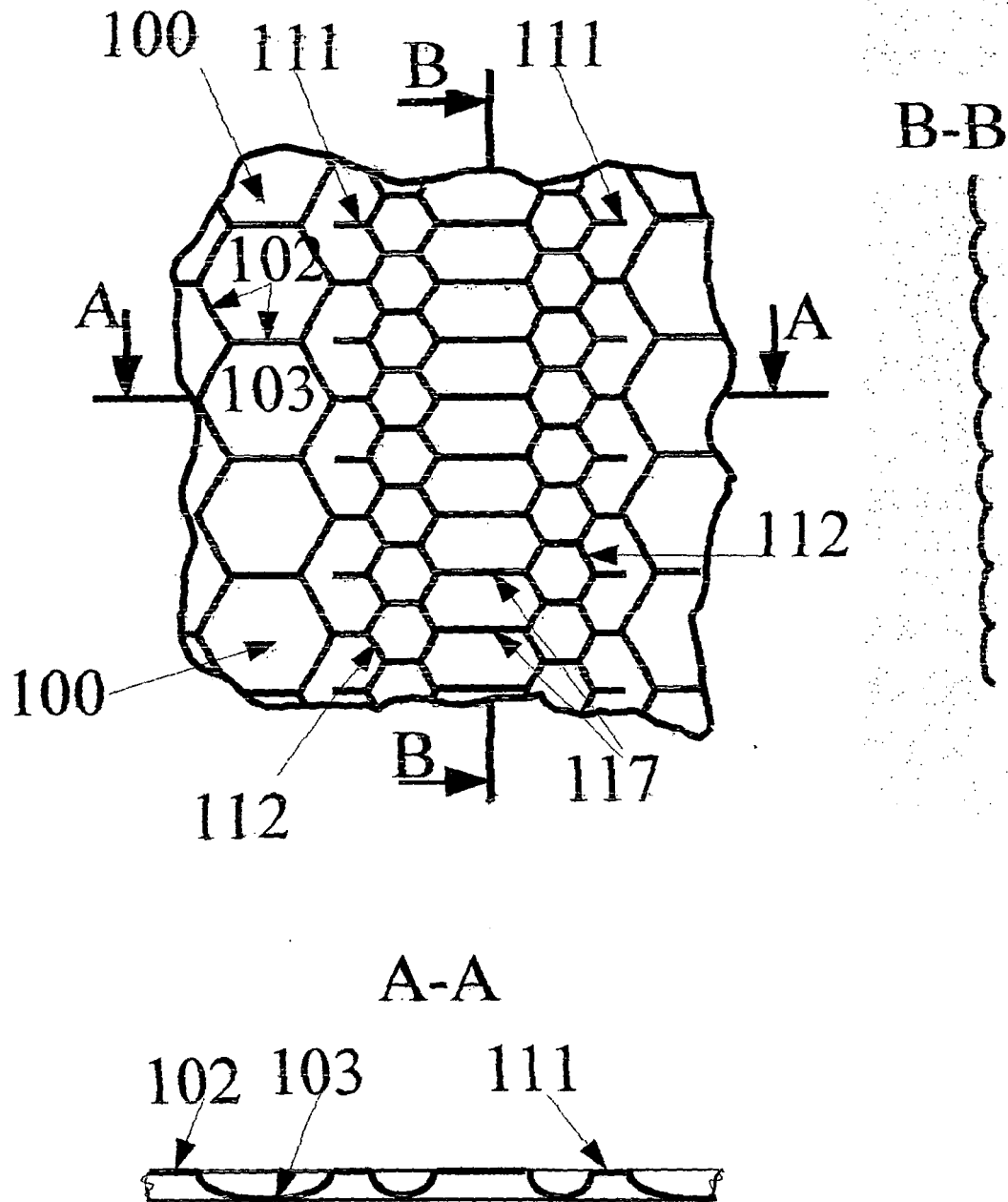


Fig. 14

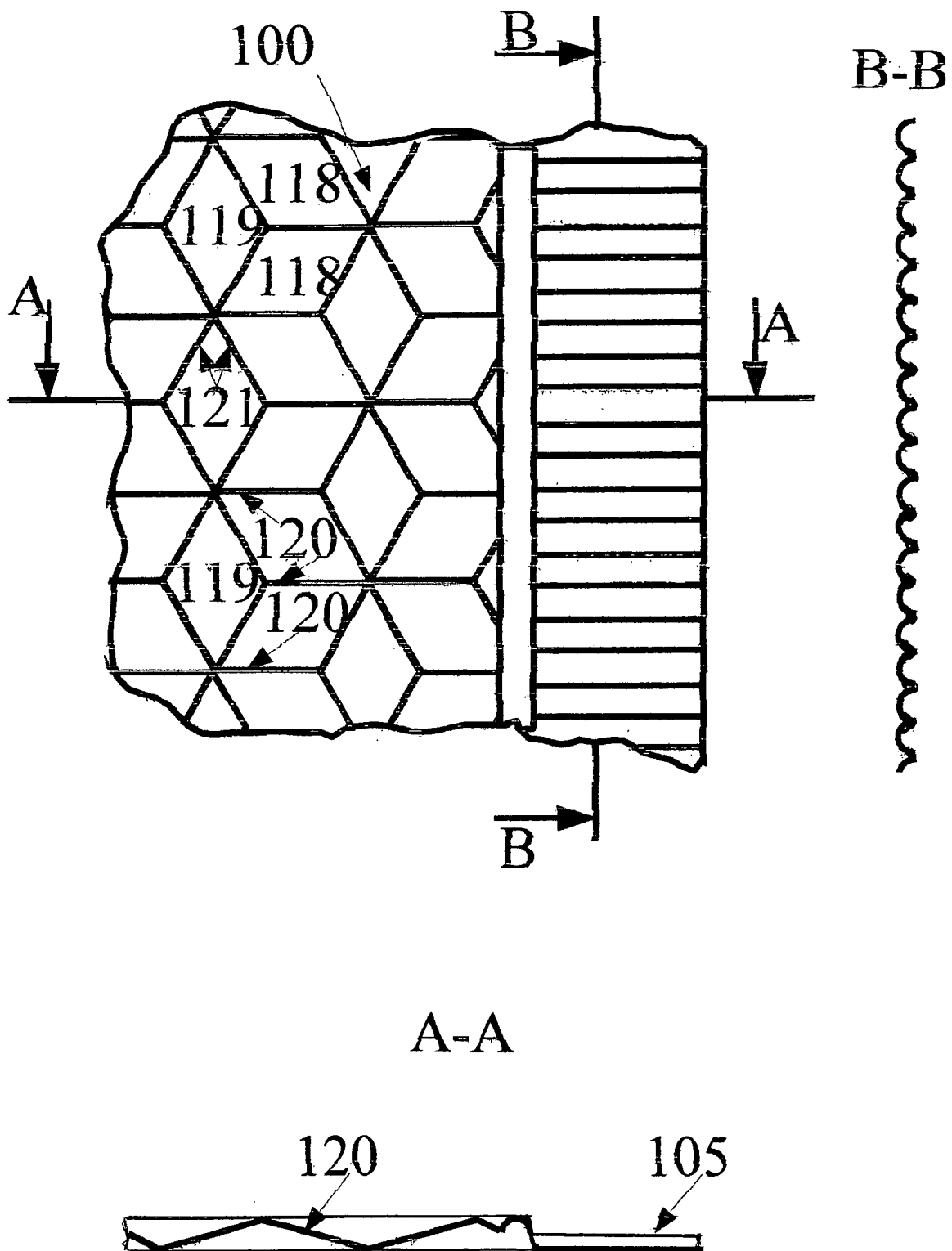


Fig. 15

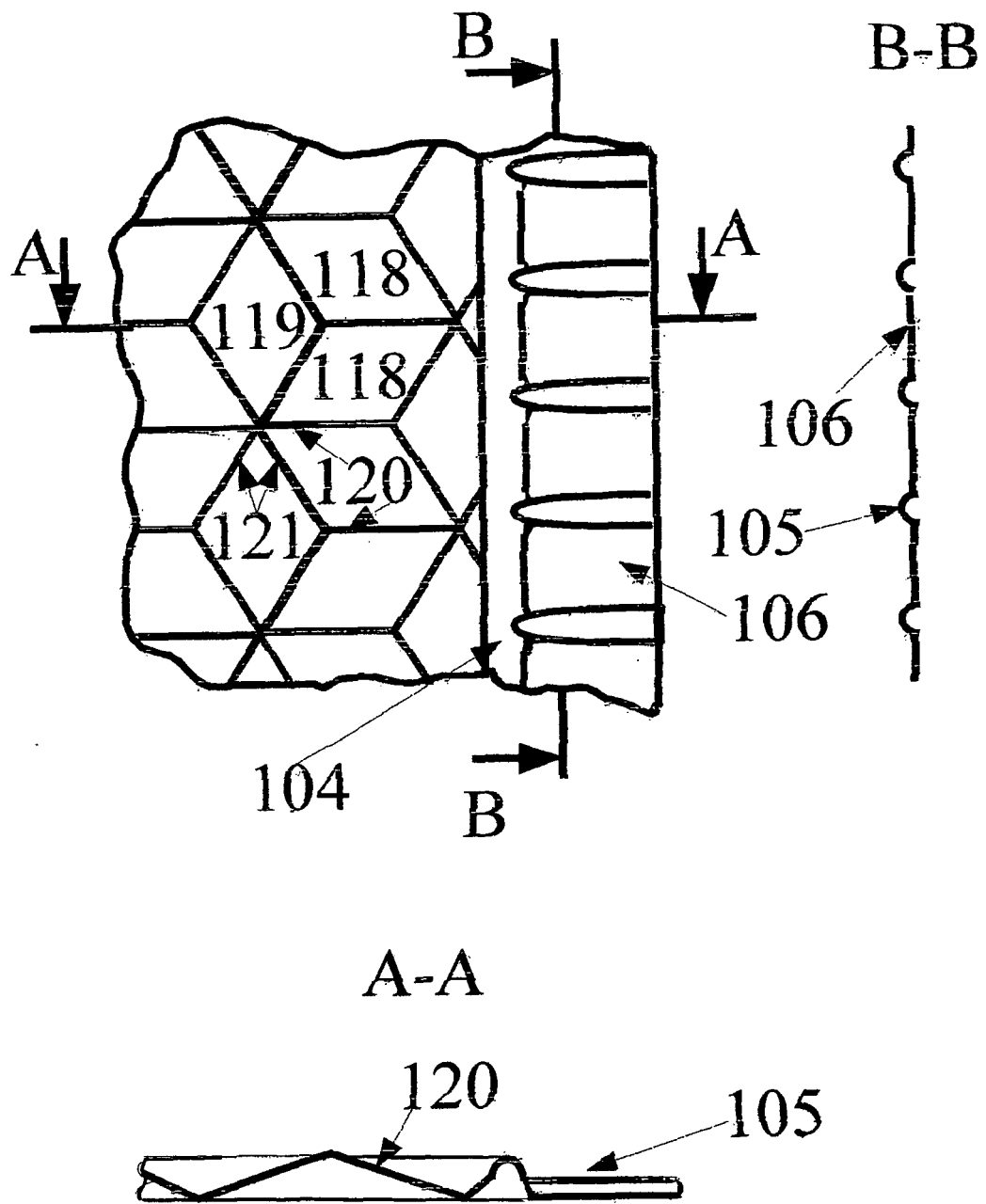
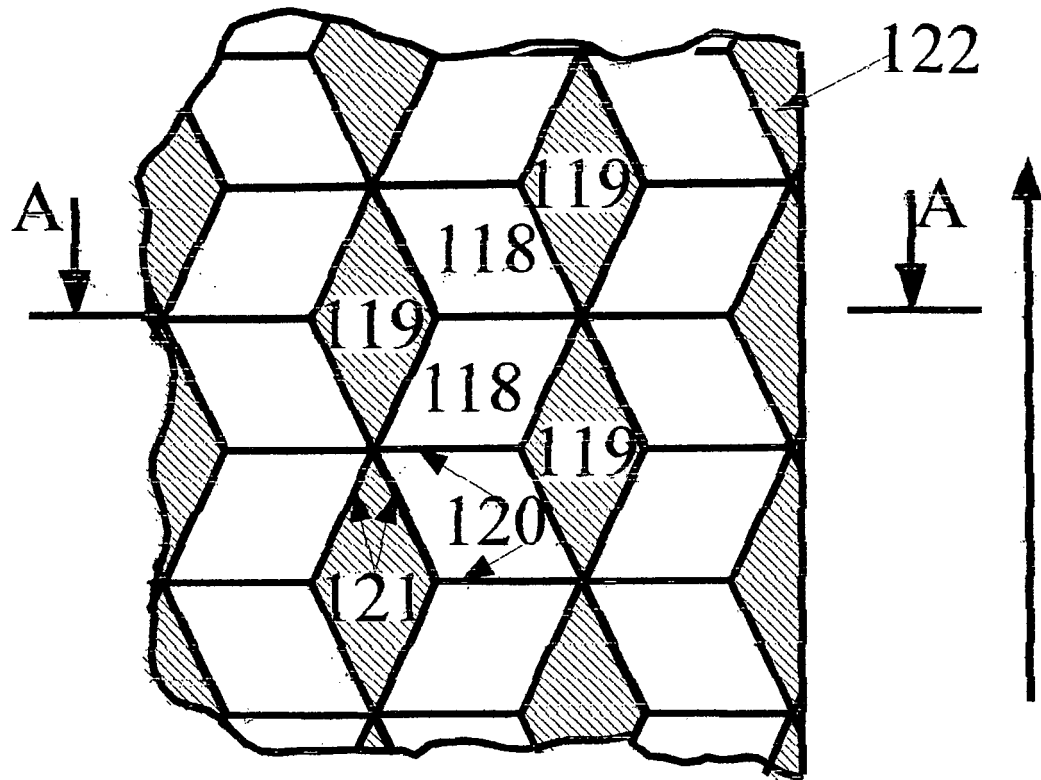


Fig. 16



A-A

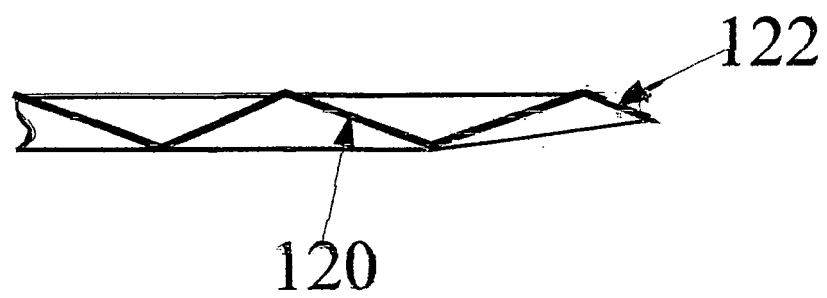
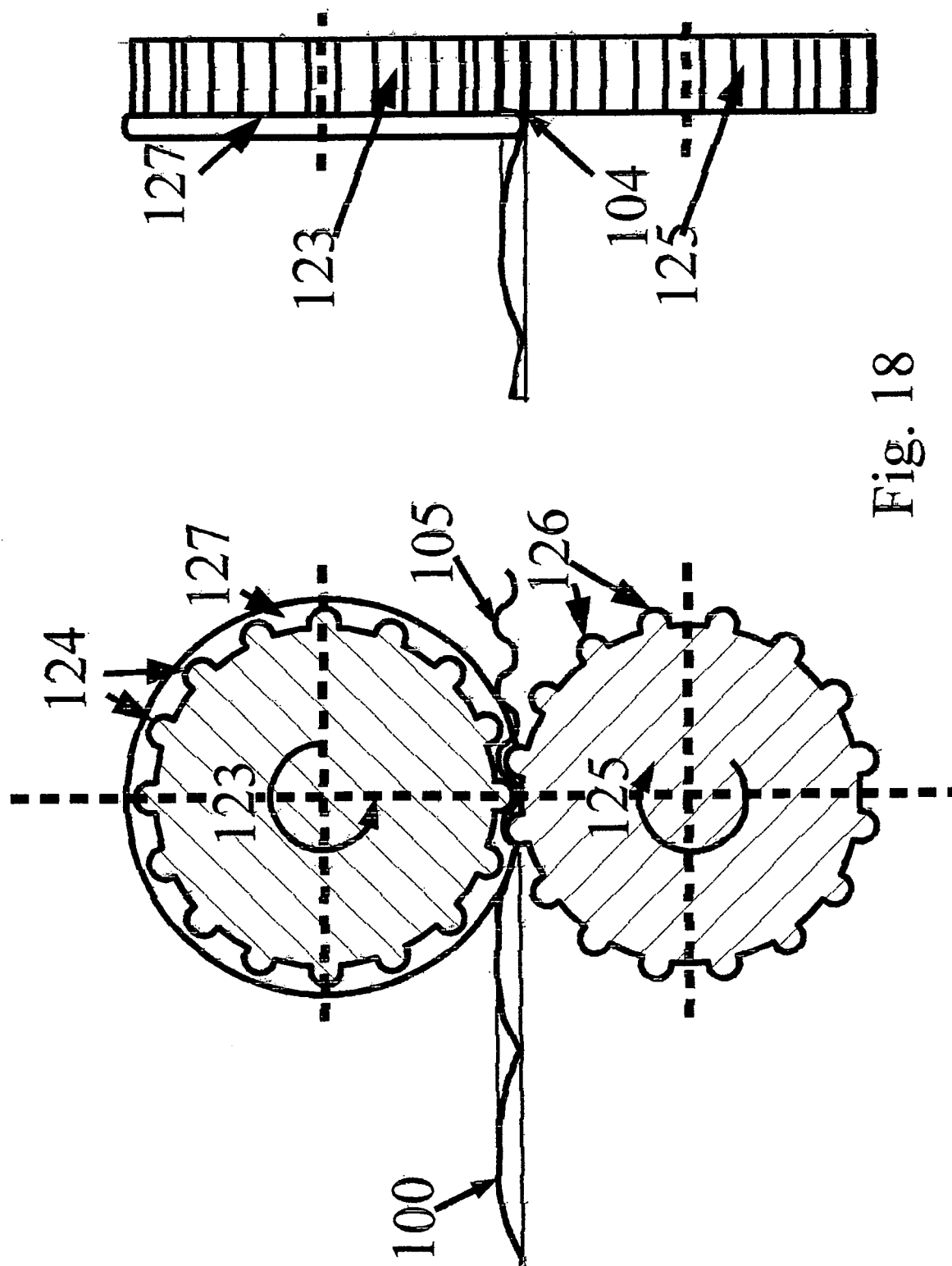


Fig. 17



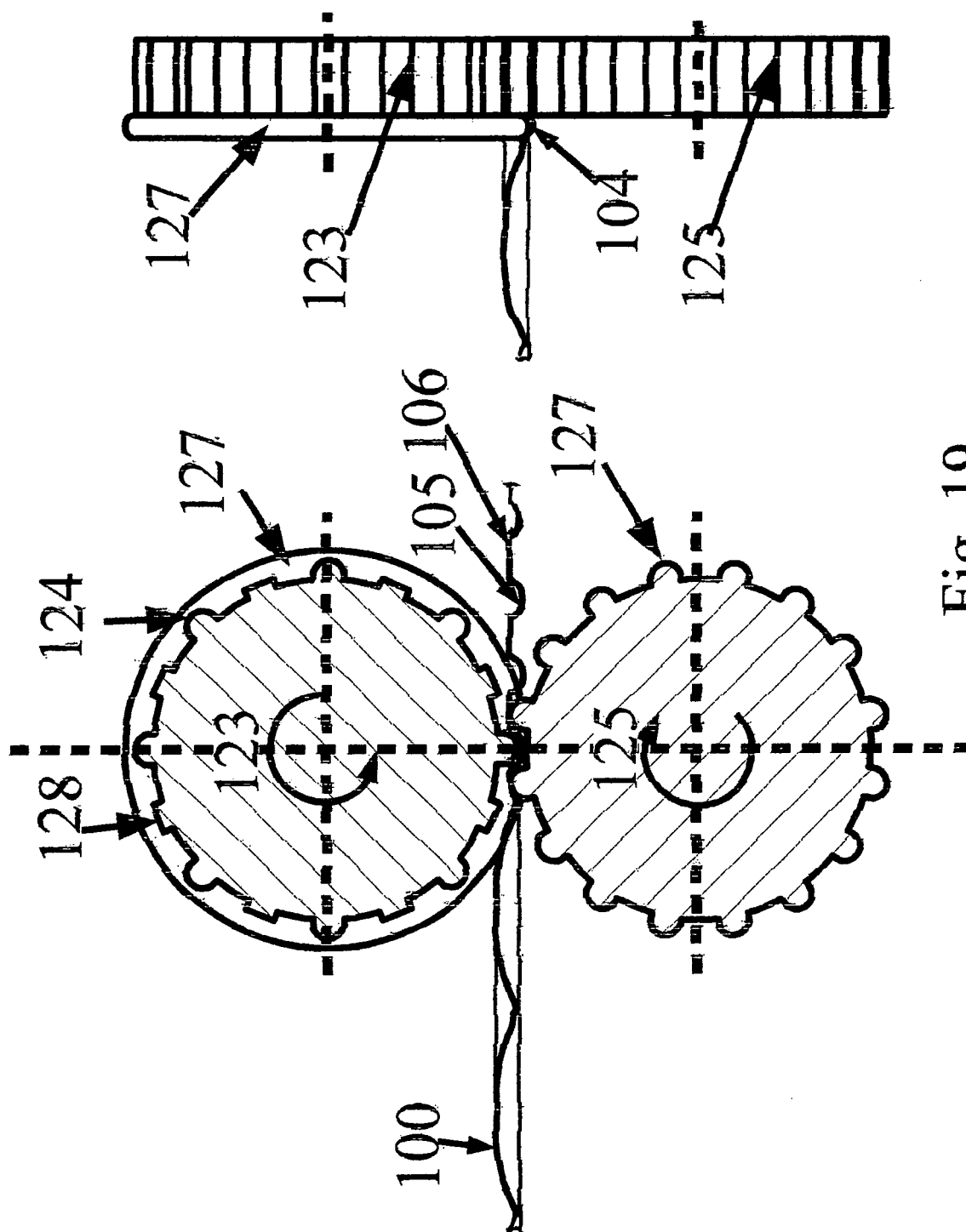


Fig. 19

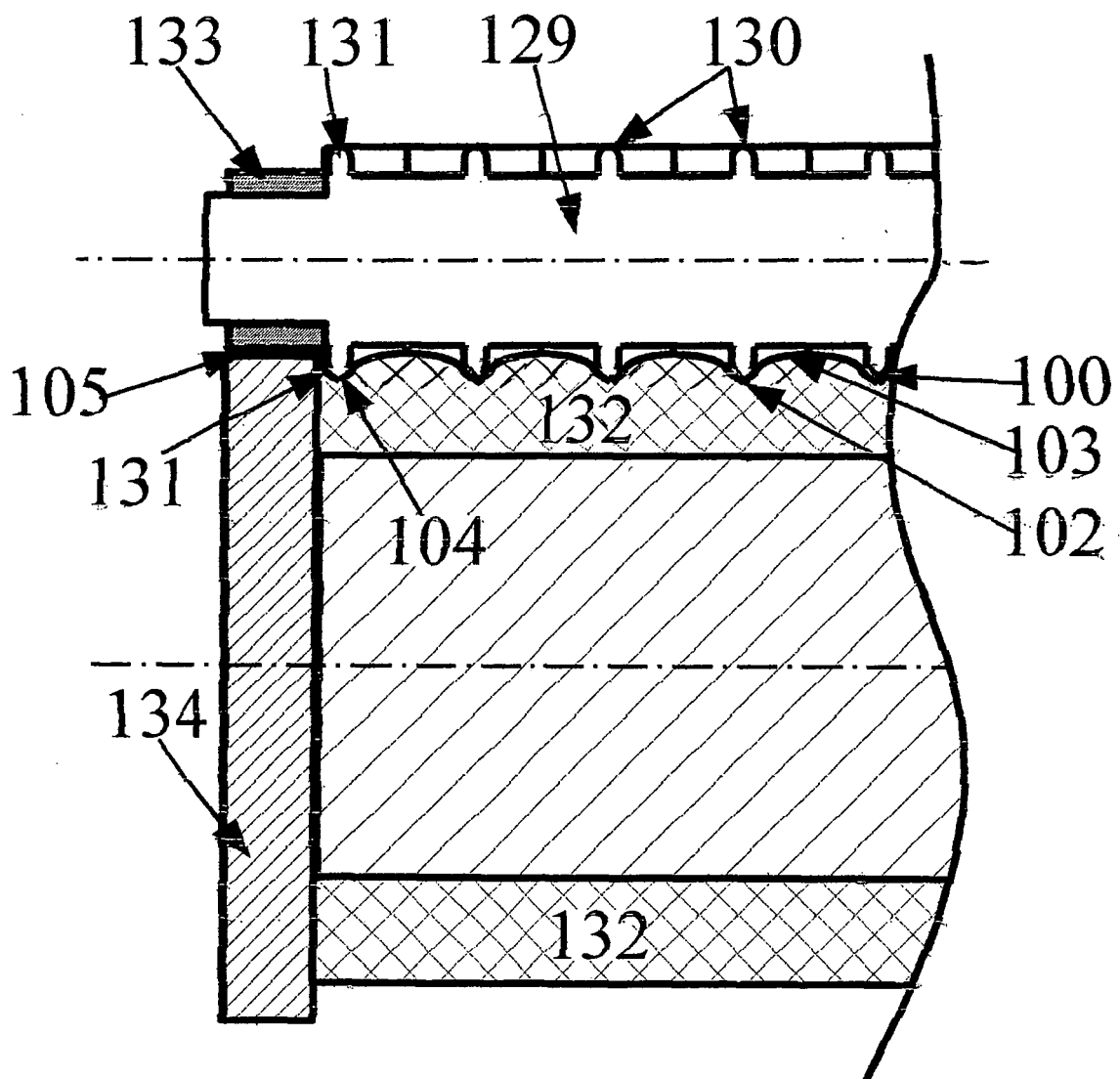


Fig. 20

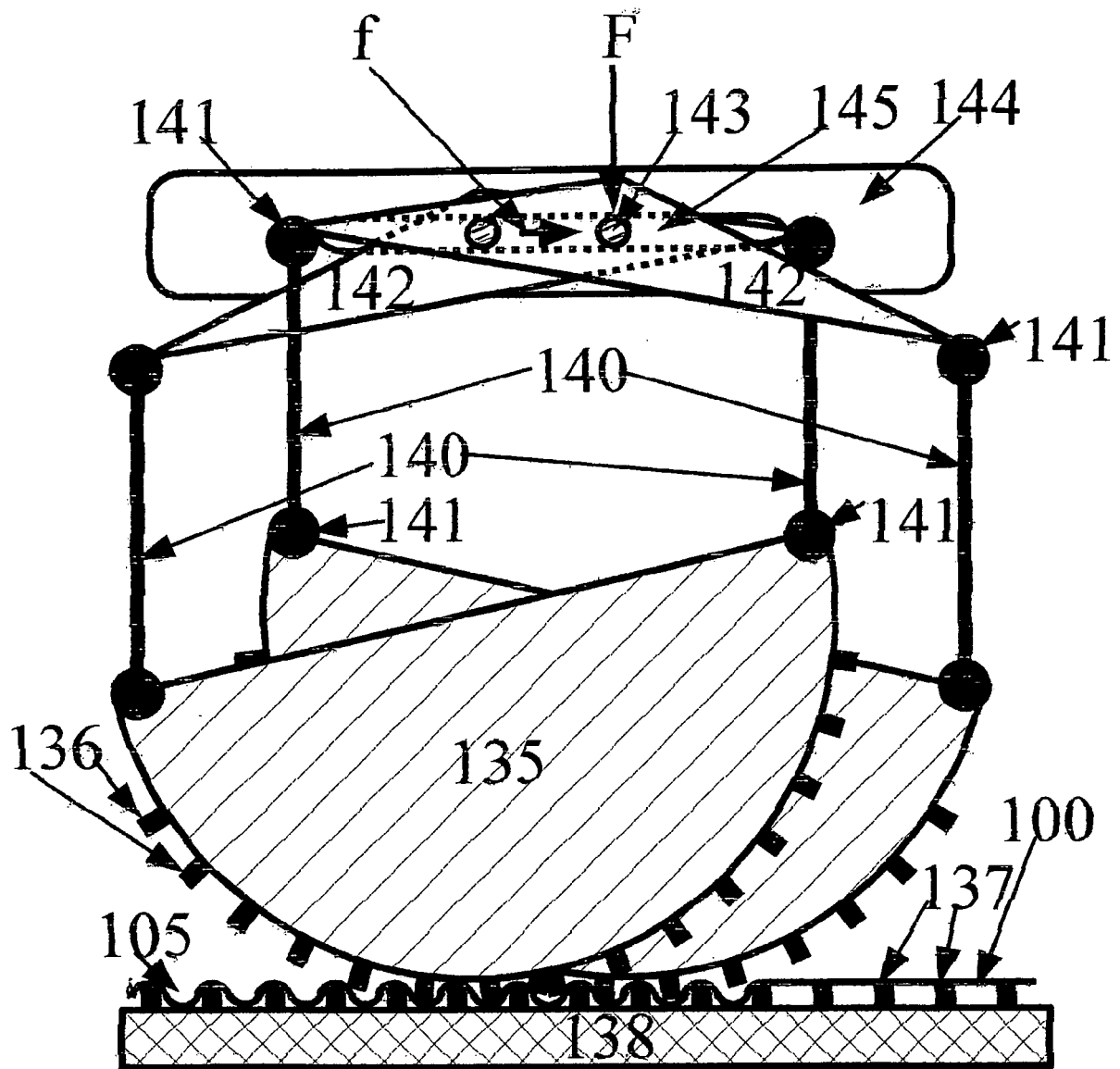


Fig. 21

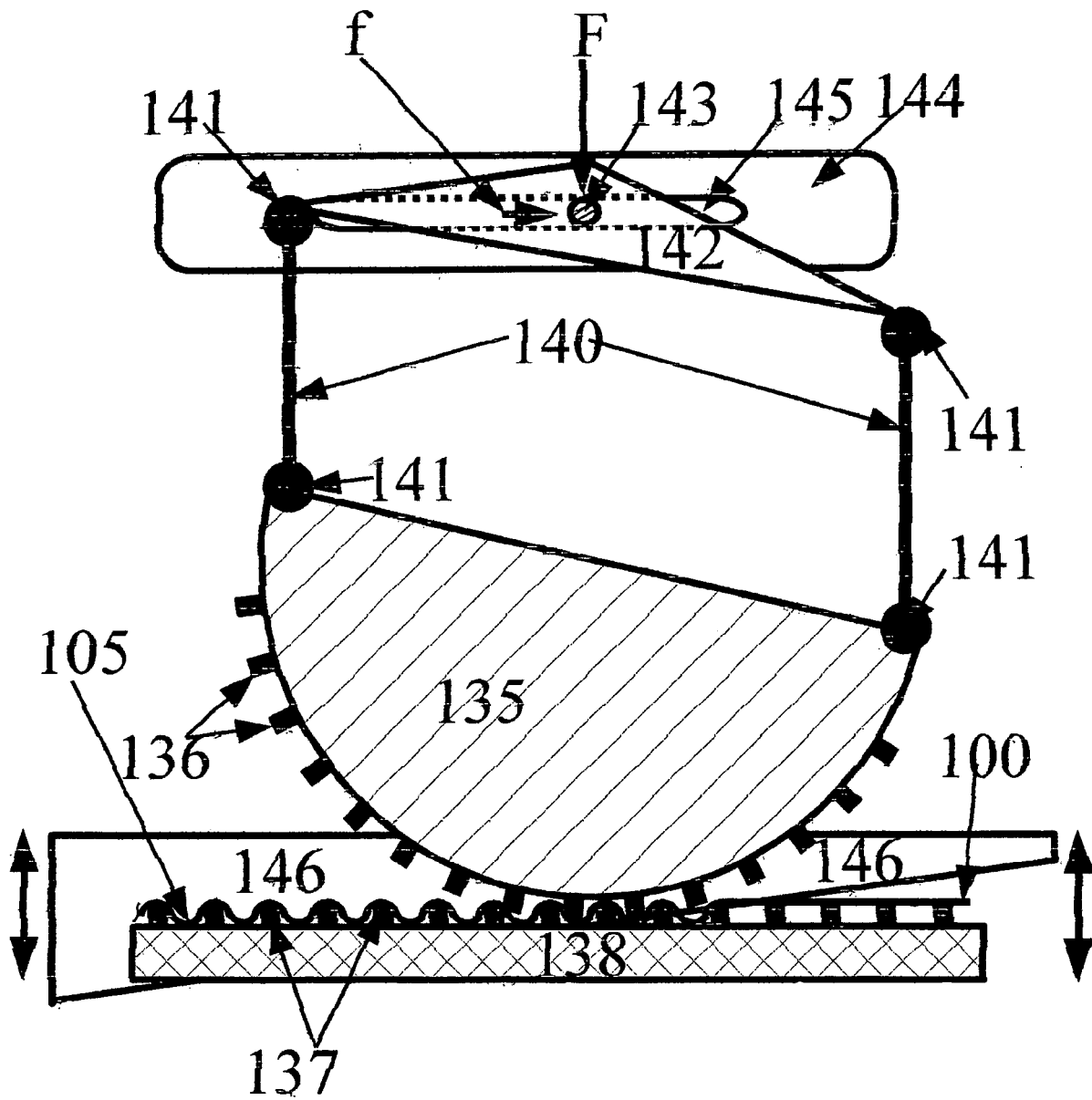


Fig. 22

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0693008 B1 [0004]
- DE 19856236 A1 [0004]
- DE 102004044509 A1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **I. PRIGOGINE et al.** Dialog mit der Natur [0005]
- **F. MIRTSCHE et al.** Corrugated Sheet Metal on the Basis of self organization. *First International Industrial Conference Bionic*, 2004, vol. 15, 299-313 [0005]