(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 760 216 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.03.2007 Patentblatt 2007/10

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

(21) Anmeldenummer: **06018314.2**

(22) Anmeldetag: **01.09.2006**

(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: **01.09.2005 DE 102005041516**
29.05.2006 DE 102006025222

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

(72) Erfinder:
- **Mirtsch, Schokufeh Dr.**
  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 und Verfahren zum Herstellen**

(57) Die Erfindung betrifft eine strukturierte Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung, die mit Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten gebildet ist, wobei die Wülste zusammenhängend ausgeführt sind und eine Krümmung aufweisen, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist, sowie ein Verfahren zum Herstellen.

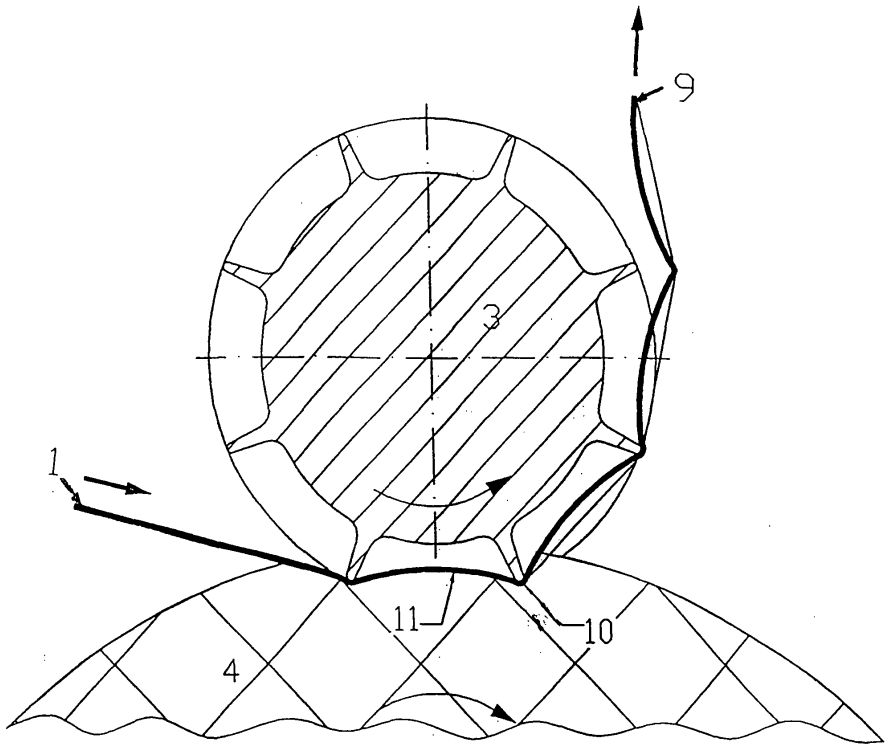


Fig. 1

EP 1 760 216 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine strukturierte Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff, insbesondere Blechmaterialbahn, und Verfahren zum Herstellen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Beim effektiven Leichtbau, insbesondere in der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie, im Raumausstattungs-, Bau- und Designbereich oder bei Hausgeräten und Apparaten sowie auch in Apparaten für die Glasschmelze bei sehr hohen Temperaturen oder für evakuierte Kanäle bei extrem tiefen Temperaturen sowie in der Verpackungs- und Leuchtenindustrie werden immer komplexere Anforderungen an die Konstruktion und an den Werkstoff gestellt. Beispiele hierfür sind insbesondere geringes Transport- und Montagegewicht, große Umformreserven des Werkstoffs, ein geringer Körperschall, eine hohe Langzeit-Dauerschwingfestigkeit, eine gleichmäßige Energieabsorption beim Crash und schließlich eine hohe Stabilität bei Temperaturwechselbelastungen (thermischer Ausdehnungsbehinderung). Aus ökonomischen und ökologischen Gründen soll das alles ressourcenschonend (Werkstoffe, Beschichtungsmaterialien, Energie) mit möglichst einfachen Maschinen erreicht werden. Diese angestrebten Merkmale führen zu ganz unterschiedlichen und häufig sogar widersprechenden Anforderungen (an die verwendeten Materialen und an die zu versteifende Leichbaukonstruktion). Hierbei spielen die mehrdimensional versteifenden Strukturen dünner Materialbahnen eine ganz besondere Rolle, weil sie dem Bauteil trotz reduzierter Wanddicke eine hohe mehrdimensionale Steifigkeit und weitere vorteilhafte synergetische Eigenschaften verleihen.

[0003] Es sind zahlreiche Verfahren bekannt, um eine dünne Materialbahn, wie Blech oder auch Kunststofffolie, 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 Ausgangswerkstoffs, 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- und schubweich.

[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, d. h. 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", Serie Piper, SP1181; S. 21, S. 152; F. Mirtsch et al.: "Corrugated Sheet Metal on the Basis of self organization", First International Industrial Converence Bionic 2004, Hannover Messe, Germany in: Fortschritt — Berichte VDI Reihe 15, S. 299 - 313) zugeordnet werden.

[0006] Hierbei ist nun im Fall des Beulstrukturierens zu beachten, dass die kinetische Energie beim dynamischen Durchschlag der gekrümmten Materialbahn in ihre Gegenkrümmung / Beule größtenteils in Plastifizierungsenergie (Wärme) der sich bildenden Beulfalten umgewandelt wird. Das entsteht insbesondere dadurch, dass die durchschlagende Beulschale quasi wie eine Art "Hebel" an der entstehenden Falte wirkt und sich dadurch eine Beulfalte mit sehr kleinem Radius bei erheblicher Plastifizierung des Werkstoffes ausbildet. Durch diesen dynamischen Durchschlag des spontanen Beulens entsteht aus der ursprünglich sinusförmig umlaufenden Welle mit sehr kleinen Amplituden eine Art "Girlandenwelle", die sich aus aneinander gereihten Cosinus-Halbwellen entsprechend aneinander gereihten Beulmulden zusammensetzt. Hierbei hat sich jeweils eine obere Halbwelle der ursprünglichen Sinuswelle nach dem dynamischen Durchschlag zusammengezogen, so dass daraus jeweils eine einzelne Beulfalte entsteht. Auf diese Weise wird die Wellenlänge der entstandenen unteren Cosinus-Halbwelle (Beulmulde) größer und erhält so die doppelte Länge gegenüber der früheren unteren Sinuswelle vor dem Durchschlag.

[0007] Die bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahnen besitzen jedoch Nachteile, wenn die oben genannten komplexen, häufig sich auch widersprechenden Anforderungen erfüllt werden sollen. Nachfolgend werden die bestehenden Nachteile näher erläutert. Die Fal-

ten der beul- / wölbstrukturierter Materialien weisen kleine Biegeradien auf, wie diese bei einer Faltung eines Materials entstehen. Dort ist der Werkstoff der strukturierten Materialbahn erheblich mehr umgeformt, und deshalb ist der Werkstoff im Bereich der Falten vergleichsweise hoch plastifiziert. Weil die Falten stets schmal sind und deshalb nur einen sehr geringen Flächenanteil einnehmen und trotzdem ganz wesentlich zur Formsteifigkeit des strukturierten Materials beitragen, wird der Werkstoff im Bereich der Falten im Belastungsfall des strukturierten Bauteils vergleichsweise sehr hoch beansprucht. Auf diese Weise können in den Falten kleine sichtbare oder auch mit bloßem Auge nicht sichtbare Risse, zum Beispiel Mikrorisse auftreten, in denen sich Verschmutzungen oder Bakterien ansammeln können.

[0008] Die von den Falten eingeschlossenen Mulden nehmen den weitaus größten Teil der Fläche der Materialbahn ein und werden im Belastungsfall nur sehr wenig deformiert, weil die Mulde als dreidimensionale Schale ganz besonders formsteif ist. Dieser Zusammenhang kann etwas vereinfacht so verstanden werden, dass die schmalen Falten als biegeweiche "Scharniere" und die Mulde als sehr formsteife Elemente aufgefasst werden. Daraus folgt unmittelbar, dass die Falten die Gefahr einer "Sollbruchstelle" bei hoher statischer Belastung, bei Dauerschwingbelastung, bei Temperaturwechselbelastung und im Crashfall darstellen.

[0009] Ein weiterer Nachteil der bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahnen besteht darin, daß sie sich insbesondere bei tiefen Beulfalten sehr torsionsweich und zugleich instabil verhalten. Dabei "klappen" sie leicht bei kleinen Torsionsbelastungen hin und her.

[0010] Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die Mulden, die auch als Wölbungen bezeichnet werden, insbesondere bei großen Strukturmulden, keine gleichmäßige und keine kugelflächenartige Krümmung aufweisen. Statt dessen besitzen beispielsweise die Mulden der bekannten Beul- / Wölbstrukturen im angrenzenden Bereich ihrer Falten sehr ungleichmäßig ausgeprägte Krümmungen, weil der geometrische Übergang von den schmalen Falten eines Hexagons zur eingeschlossenen Mulde unvermeidliche, störende Übergänge hervorrufen. Das führt insbesondere bei größeren Hexagon-Strukturen zu störenden geometrischen Inhomogenitäten und zu einer Abflachung der Krümmung in der Mitte der Mulde. Insbesondere in der Lichttechnik ist das unerwünscht, weil hierdurch keine gleichmäßige, nämlich richtungsunabhängige, und blendfreie Lichtreflexion an den Reflektoren von Leuchten zu realisieren ist.

[0011] Ferner besteht ein wesentlicher Nachteil der bekannten Beul- / Wölbstrukturen darin, dass trotz der großen Plastifizierungsreserven im Bereich ihrer Mulden eine große Strukturtiefe der Beul- / Wölbstruktur für eine optimale Formsteifigkeit nicht zu erzielen ist, ohne dass man Gefahr läuft, dass der Werkstoff im Bereich der beträchtlich plastifizierten Falte bei der Strukturierung selbst oder bei der späteren Bauteilbelastung reisst. Das bedeutet also, dass die großen Plastifizierungsreserven, die noch in den Mulden steckten, bisher noch gar nicht genutzt werden können, um große Strukturtiefen und hohe Bauteilsteifigkeiten zu erzeugen. Das gelingt auch nicht mit Hilfe der bekannten Stützstrukturen, die an ihren Stützflanken eine Evolvente besitzt (vgl. EP 0 888 208), weil auch hierbei Strukturfalten entstehen, die noch störende geometrische Übergänge von den schmalen Falten zu den eingeschlossenen Mulden aufweisen. Es war bisher auch nicht möglich, konkret anzugeben, wie eine solche Evolvente optimal geometrisch gestaltet werden soll.

[0012] Bei dem bekannten beul- / wölbstrukturierten Material besteht ein Nachteil weiterhin darin, dass die beulstrukturierte Materialbahn nach dem Strukturieren aus ihrer gekrümmten Gestalt noch in die ebene Form gerichtet werden muß und dabei insbesondere die Falten in Laufrichtung der Materialbahn, die bereits beim Beulstrukturieren überproportional plastifiziert wurden, durch das Richten noch weiter plastifiziert werden. Hierfür bestehen insbesondere die folgenden Ursachen. Da sich beim Beulstrukturieren die Falten der gekrümmten Materialbahn außen (d. h. größerer Radius) und die Mulden innen (d. h. kleinerer Radius) anordnen, werden beim Richten die Falten in Laufrichtung der Materialbahn gestaucht und die Mulden gedehnt. Da jedoch die Falten nur eine sehr geringe Teilfläche der beulstrukturierten Materialbahn im Vergleich zur Mulde einnehmen, werden die Falten beim Richten überproportional belastet und dabei hoch plastifiziert. Wegen der Dehnung der Mulden werden gleichzeitig auch die Falten quer zur Laufrichtung der Materialbahn gedehnt und dadurch etwas flacher gezogen. Zusammenfassend werden durch das Richten der beul- / wölbstrukturierten Materialbahn die Falten in Richtung der Materialbahn gestaucht, wodurch die Faltenhöhe vergrößert wird, während die Falten quer zur Materialbahn gedehnt werden, sodass sich die Faltenhöhe verringert. Bei den bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahnen ist die Faltenhöhe in Richtung der Materialbahn etwa doppelt so groß wie die Faltenhöhe quer zur Laufrichtung der Materialbahn. Dadurch ergibt sich eine starke unerwünschte Anisotropie in der Biege-, Schub- und Torsionssteifigkeit der gerichteten strukturierten Materialbahn.

[0013] Schließlich besteht ein wesentlicher Nachteil darin, dass sich die bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahnen nicht oder nur sehr schwierig biegen oder abkanten lassen, wenn der Biegeradius erheblich kleiner ist als der Radius der zum Herstellen der Beul- / Wölbstrukturen verwendeten Stützelementwalze. Die Praxis hat gezeigt, dass das bekannte Verfahren zur sekundären Umformung beul- / wölbstrukturierter Materialbahnen (siehe insbesondere DE 198 47 902 B4) schnell an seine Grenzen stößt, wenn die Falten und Mulden sehr viel enger zusammengebogen werden müssen, um einen kleinen Krümmungsradius der Materialbahn zu erzielen. Die Mulden und eventuell auch die Falten knicken dann beim engen Biegen ein, weil sie durch hohe Spannungsspitzen im Werkstoff instabil werden.

Nachteilig ist hierbei, dass dann für die gesamte Materialbahn erheblich kleinere Strukturgrößen und —tiefen zu wählen sind, um das Einkicken beim Biegen zu vermeiden, die wiederum den ebenen oder wenig gekrümmten Wandabschnitten des Werkstücks nur eine geringe Steifigkeit verleihen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte strukturierte Materialbahn und ein Verfahren zum Herstellen zu schaffen, bei denen die Nachteile des Standes der Technik überwunden sind, insbesondere die aufgrund der Faltenstruktur bestehenden Nachteile. Des weiteren soll ein materialschonenderes Richten der strukturierten Materialbahn ermöglicht sein. Ferner soll die verbesserte strukturierte Materialbahn ein enges Biegen ermöglichen.

[0015] 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 20 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von abhängigen Unteransprüchen.

[0016] Nach einem Aspekt der Erfindung ist eine strukturierte Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung geschaffen, die mit Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten gebildet ist, wobei die Wülste zusammenhängend ausgeführt sind und eine Krümmung aufweisen, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist.

[0017] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen einer strukturierten Materialbahn, insbesondere einer strukturierten Blechmaterialbahn, geschaffen, bei dem eine Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff mittels Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten mit einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung versehen wird, wobei die Wülste zusammenhängend und mit einer Krümmung gebildet werden, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist.

[0018] Es wurde überraschenderweise gefunden, dass anstelle der bekannten schmalen Falten, die im Stand der Technik mittels eines dynamischen Beulprozesses einer gekrümmten Materialbahn gebildet werden, mehrdimensional wellenförmige Strukturen werkstoffschonend erzeugt werden, wenn Wülste gebildet werden, die Kalotten einschließen. Weil die Kalotte eine entgegengesetzte Krümmung besitzt wie die Wülste, ergibt sich quasi ein mehrdimensionaler Wellenzug in unterschiedlichen Richtungen der so strukturierten Materialbahn. Deshalb wird diese Art der Strukturierung mit mehrdimensional wellenförmiger Strukturierung bezeichnet.

[0019] Die Wülste in der strukturierten Materialbahn sind vergleichsweise weniger plastifiziert, im wesentlichen rissfrei und können erheblich größere Belastungen und Deformationen aufnehmen als die bekannten schmalen Beulfalten. Im Gegensatz zu den Falten bei der aus dem Stand der Technik bekannten Strukturierung verhalten sich die Wülste wesentlich unempfindlicher und stabiler gegenüber thermischen Ausdehnungsbehinderungen bei Temperaturwechselbeanspruchungen und bei Schwingungsbelastungen. Schließlich wird infolge des größeren elastischen Deformationsvermögens der Wulst gegenüber der bekannten Falte der Versagensfall bei äußerer Belastung, insbesondere bei Stoßbelastung erheblich weiter zu größeren Belastungen hin verschoben.

[0020] Die Wülste unterscheiden sich von den bekannten beul- / wölbstrukturierten Falten hinsichtlich ihres Radius' im Verhältnis zur Dicke der Materialbahn. Diese Relationen werden insbesondere durch die Beschaffenheit des für die Materialbahn verwendeten Werkstoffes, die Gestalt der bei der Herstellung in dem Strukturierungsprozess genutzten Stützelemente und die Dicke sowie die Shore-Härte elastischer Zwischenlage für das dreidimensional wellenförmig Strukturieren beeinflusst. Diese Zusammenhänge ergeben sich aus dem Herstellungsprozess, der unten näher erläutert wird. Die folgenden zwei Ausführungen quantifizieren beispielhaft diese Relationen. In einem ersten Fall wird eine Materialbahn aus Aluminiumblech der Dicke 0,3mm mit einer wappenförmigen Struktur, d. h. hexagonalen Strukturen mit etwas geschwungenen Wülsten / Kalotten, der Schlüsselweite 33mm versehen. Das Verhältnis von Biege- / Krümmungsradius der Wulst zur Materialdicke (der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn) beträgt etwa 13. Das Verhältnis von Biege- / Krümmungsradius der im Stand der Technik bekannten Falte zur Materialdicke (Beul-/Wölbstruktur) beträgt hingegen etwa 5. In einem zweiten Fall wird Edelstahlblech (1.4301) der Dikke 0,25mm mit einer wappenförmigen Struktur der Schlüsselweite 33mm versehen. Bei der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn beträgt das Verhältnis von Biegeradius der Wulst zur Materialdicke etwa 16. Das Verhältnis von Biegeradius der bekannten Falte zur Materialdicke beträgt 7. In beiden Fällen wurde für die Erzeugung der Wulst eine elastische Zwischenlage der Dicke 4mm und der Shore-Härte 60 verwendet. Bei der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn beträgt das Verhältnis des Wertes für den Biege- / Krümmungsradius im Bereich der Kalotten zum Wert der Materialdicke also bevorzugt wenigstens etwa 8, bevorzugt wenigstens etwa 10 und weiter bevorzugt wenigstens etwa 15.

[0021] Gleichzeitig wird hierdurch die Wahrscheinlichkeit für Rissbildung durch die sanften Rundungen der Wülste gemindert. Die Rundungen ergeben sich aus der Materialdicke und der Werkstoffbeschaffenheit (Streckgrenze, Duktilität) des verwendeten Ausgangsmaterials. So ergeben sich hygienetaugliche strukturierte Wände und Apparate in der Lebensmitteltechnik, die wegen der sanfteren Rundungen auch einfacher zu reinigen sind.

[0022] Ein bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Kalotten in einem mittleren Kalottenbereich eine Gestalt aufweisen, die einer Kugelschalenform zumindest angenähert ist.

[0023] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Wülste gemäß einer oder 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.

[0024] Bei einer zweckmäßigen Fortbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Wülste gemäß einer einheitlichen geometrischen Grundform gebildet sind.

[0025] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Wülste und / oder die Kalotten jeweils mit einer im wesentlichen einheitlichen Wulst- / Kalottenhöhe gebildet sind. Bei den bekannten beul- / wölbstrukturierten Falten sind die Höhen sehr unterschiedlich. Die Falten in Fertigungsrichtung sind nahezu doppelt so hoch wie die Falten quer zur Fertigungsrichtung, weil beim Richten in die ebene Gestalt die ersten Falten zusammengedrückt und so erhöht werden und die zweiten Falten gedehnt und dabei abgeflacht werden. Daraus ergibt sich eine unerwünschte anisotrope Biegesteifigkeit der strukturierten Materialbahnen, die bei der Erfindung nun verhindert ist.

[0026] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass der Bahnwerkstoff aus einem Werkstoff aus der folgenden Gruppe von Werkstoffen ausgewählt ist: Metall wie Aluminium, Stahl, Edelstahl, Magnesium, Titan, Platinlegierungen, Kunststoff, faserige Stoffe, insbesondere Papier und Pappe, Fasergewebe und Maschengewebe. Bevorzugt werden Blechmaterialien verwendet. Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass der Bahnwerkstoff in Sandwich-Bauweise gebildet ist, bei dem zwischen zwei Außenbahnen mindestens eine Zwischenbahn angeordnet ist.

[0027] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, 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. Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, 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. Bevorzugt weisen die strukturierten Materialbahnen gleichmäßige, große und tiefe und etwa kugelförmige Kalotten auf, an deren konvexen Seite das Licht nahezu gleichmäßig, d. h. im wesentlichen unabhängig vom Einstrahlwinkel, und zugleich breit diffus gestreut wird. So kann insbesondere das von der Leuchtenindustrie gewünschte Prinzip der sogenannten Lichtpunktzerlegung für eine blendfreie oder zumindest sehr blendarme Lichtreflexion sogar für die breite Lichtstreuung großer Leuchten und indirekten Deckenstrahler realisiert werden. Auch bei einer Reflexion des Lichts auf der konkaven Seite wird eine Verbesserung gegenüber der bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahn erzielt.

[0028] Bei einer zweckmäßigen Fortbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Bahnwerkstoff anodisiertes Aluminiumblech ist.

[0029] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die wellenförmigen und dreidimensional gebildete Strukturierung als selbstorganisierende Strukturierung gebildet ist.

[0030] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann einen gekrümmten Abschnitt vorsehen, der wahlweise als gebogener Abschnitt ausgeführt ist und in dem eine Krümmung mit einem engen Krümmungsradius gebildet ist, wobei die Wülste und Kalotten im Bereich der Krümmung einknickfrei ausgeführt sind. Die gebogene Ausführung wird mittels Biegen hergestellt. Bevorzugt ist in einer Ausgestaltung hierbei vorgesehen, dass die Krümmung in Richtung einer Wölbungen auf einer nach außen gerichteten Seite der Kalotten gebildet ist. Während sich die bekannten Falten und deren eingeschlossenen Mulden der Beul- / Wölbstrukturen starr verhalten und bei Verbiegungen oder Verschränkungen einknicken, verhalten sich überraschenderweise die Wülste aufgrund ihrer sanften Rundungen und ihre eingeschlossenen Kalotten ganz anders. Beim engen Biegen der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn können die Wülste biege-, schub- und torsionsweich quasi die hohen örtlichen Biegebelastungen auf angrenzende Bereiche verteilen, indem sie sich von selbst, d. h. ohne mechanische Formwerkzeuge "verschränken" und so der Gefahr der hohen Spannungen und der Instabilität "intelligent ausweichen".

[0031] Beim Biegen in Laufrichtung der Materialbahn stellen sich bei einer hexagonalen Struktur die zick-zackförmigen Wülste der Materialbahn in ihrer Laufrichtung stufenlos so ein, dass sie sich allmählich immer mehr in Richtung quer zur Laufbahnrichtung der Materialbahn ausrichten, quasi "verschränken" und dabei eine gekrümmte Gestalt annehmen. Dadurch sind die Wülste quer zur Laufrichtung der Materialbahn verkürzt bis sie ganz verschwinden. So wird mit zunehmender Biegung, d. h. abnehmendem Krümmungsradius, der Materialbahn aus der zick-zackförmigen Gestalt der Wülste in Laufrichtung der Materialbahn schließlich eine quer zur Laufrichtung der Materialbahn durchgängige schlangenförmige Wulst. Die besondere Eigenschaft der dreidimensional wellenförmigen Struktur besteht also darin, dass sie diese "Verschränkungen", nämlich Umformungen ohne mechanische Formwerkzeuge, überhaupt erst ermöglichen. Hinter dieser "Verschränkung" steckt ein allgemeingültiges Prinzip: Die Wülste und die Kalotten stellen zwar aufgrund ihres Flächenträgheitsmomentes ("dritte Dimension") gegenüber der Verformung einen Widerstand dar. Sie können jedoch den hohen Spannungen und Instabilitäten bei der Umformung, zum Beispiel Biegen, ausweichen, wenn die Wülste vor dem Biegen

bereits etwas schräg zur Laufrichtung der Materialbahn ausgerichtet waren und sich dann die Wülste während des Biegens immer mehr schräg, d. h. quer zur Laufrichtung der Materialbahn, einstellen. Zusammenfassend verformt sich das strukturierte Material durch diese Art der Verschränkung von selbst so, dass es einer äußeren Belastung ohne Einknicken ausweicht. Hierbei spielen die geometrischen und materialtechnischen nicht-linearen Gesetzmäßigkeiten eine entscheidende Rolle. Ähnliche Phänomene finden sich auch in der belebten und unbelebten Natur.

[0032] Die vorangehend beschriebenen Eigenschaften der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn ermöglichen die vorteilhafte Nutzung der Materialbahn für Artikel auf unterschiedlichen Anwendungsgebieten. Hierzu gehören nicht-kreisrunde Rohre, die beispielsweise einen oval- oder ellipsenförmigen Querschnitt aufweisen, oder gekrümmte Kanäle, die aus gekrümmten und ebenen umlaufenden Wandabschnitten bestehen, die mit größeren und zugleich tieferen Strukturen ausgestattet werden können als es bei Verwendung der bekannten Beul- / Wölbstrukturen der Fall ist. Die maximale Strukturgröße und somit die Steifigkeit ist bei den bekannten Beul- / Wölbstrukturen nach unten hin begrenzt durch den kleinen Krümmungsradius des Ovals oder der Ellipse. Größere Beul- / Wölbstrukturen mit größerer Steifigkeit können auf dem Oval-oder Ellipsenabschnitt mit dem kleinen Krümmungsradius nicht angeordnet werden, da sie einknicken und so ihre hohe Steifigkeit verlieren würden. Da auf diese Weise die Bereiche des Ovals oder der Ellipse mit dem großen Krümmungsradius für eine hohe Steifigkeit nicht mit den dazu passenden größeren und tieferen Strukturen ausgestattet werden können, war bisher eine hohe Gesamtsteifigkeit des ovalförmigen Rohrs nicht zu erzielen. Mit Hilfe der neuen dreidimensional wellenförmigen Strukturen erhalten die Bereiche mit dem großen Krümmungsradius große und steife Strukturen, beispielsweise entsprechend dem Krümmungsradius des selbstorganisierenden Strukturierungsprozesses. Diese großen und steifen dreidimensional wellenförmigen Strukturen können auch auf dem Oval- oder Ellipsenabschnitt mit dem kleinen Krümmungsradius ohne Steifigkeitsverlust durch Einknicken verwendet werden.

[0033] Oval- oder ellipsenförmige Bauteile mit hoher Gesamtsteifigkeit finden vorzugsweise in den beiden folgenden Einsatzgebieten Anwendung, wobei zusätzliche synergetische Eigenschaften auftreten. Zunächst ist hier beispielhaft die Glasherstellung zu nennen, beispielsweise als dünnwandige oval- oder ellipsenförmige Ausgasungsrohre aus Platin-Legierungen, sogenannte "Läuterkammern". An Bauteile für die Glasschmelze, insbesondere für Läuterkammern werden komplexe Anforderungen gestellt. Hierzu zählen die Kompensation von thermischer Ausdehnungsbehinderung, eine gleichmäßige Temperaturverteilung sowie eine möglichst gleichmäßige Verweilzeit der Glasschmelze in den Bauteilen und ein möglichst schnelles Austreten der Gase aus dem geschmolzenen Glas. Diese Anforderungen werden nachfolgend näher erläutert.

[0034] Durch die Erwärmung dehnen sich die Rohre, Kanäle, Tiegel und Rührer aus Platin-Legierungen von Raumtemperatur auf Schmelztemperatur des Glases (etwa 1600 °C) beträchtlich aus (Größenordnung über 1 %). Dadurch entstehen hohe Spannungen in den dünnen Platin-Wänden, weil diese üblicherweise durch umgebende keramische Ausmauerungen und axiale Flansche / Befestigungen fixiert sind und so ihre thermische Ausdehnung behindert wird. Nach Stand der Technik in dem Dokument DE 100 51 946 A1 sind gewellte Rohrwandungen bekannt, welche eine Kompensation der thermischen Ausdehnungsbehinderung ermöglichen. Während die in einer Richtung gewellten bekannten Rohrwandungen lediglich eine axiale Kompensation erlauben und bei radialer Ausdehnungsbehinderung einknicken können, gestatten die mehrdimensionalen, wellenförmig strukturierten Wandungen sowohl in axialer als auch in radialer (umlaufender) Richtung eine Kompensation der thermischen Ausdehnungsbehinderung. Die dreidimensional wellenförmig strukturierten Rohrwandungen sind den bekannten beul- / wölbstrukturierten Rohrwandungen überlegen, weil sie gegenüber den engen Falten (bei den Beul- / Wölbstrukturen) Wülste besitzen, welche breit und sanft gerundet sind und bei der thermischen Ausdehnungsbehinderung auftretende örtlichen Spannungsspitzen besser und gleichmäßiger auf angrenzende Bereiche der Rohrwandung verteilen.

[0035] Die Rohrwandungen aus den dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahnen sind den bekannten Rohrwandungen (vgl. DE 100 51 946 A1) hinsichtlich einer möglichst gleichmäßigen Temperaturverteilung bei der elektrischen Beheizung der Rohrwandungen und einer möglichst homogenen Verweilzeit der Glasschmelze in den Rohren und Kanälen überlegen, weil bei den bekannten Rohren die Strömung abwechselnd eingeschnürt und dann wieder erweitert wird. Das führt bei den auftretenden niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten der Glasschmelze, d. h. sehr kleine Reynoldszahlen im laminaren Bereich, zu vergleichsweise großen "Totwassergebieten". Bei den dreidimensional wellenförmig strukturierten Rohrwandungen ist das nicht der Fall, weil ihre Strukturen in Strömungsrichtung exakt versetzt angeordnet sind und deshalb der gemittelte hydraulische Strömungsquerschnitt des Rohrs überall konstant ist.

[0036] Nach dem Stand der Technik in DE 102 49 682 A1 weisen bekannte oval- oder ellipsenförmige Läuterkammern gegenüber den kreisrunden Läuterkammern den Vorteil auf, dass sie eine erheblich größere Phasengrenzfläche flüssig / gasförmig (mit ihrer waagerechten Querschnittsfläche in Richtung der langen Achse des Ovals / der Ellipse ausgerichtet) besitzen und somit zusätzlich einen erheblich kleineren senkrechten Abstand von der unteren Rohrwand zur horizontalen Phasengrenzfläche flüssig / gasförmig aufweisen. Diese beiden Effekte bewirken, dass der Entgasungsprozess der Glas-

schmelze in oval- / ellipsenförmigen Rohren / Kanälen schneller als in kreisrunden Rohren / Kanälen abläuft. Mit Hilfe von vorzugsweise oval oder elliptisch geformten Rohrwandungen, die mit dreidimensional wellenförmigen Strukturen ausgestattet sind, kann ebenso die beschleunigte Entgasung realisiert werden und zusätzlich die bereits genannten Nachteile der bekannten Rohrwandungen wie hohe örtliche Spannungen durch thermische Ausdehnungsbehinderungen und auftretende Totwassergebiete vermieden werden. Die dreidimensional wellenförmig strukturierten Wandungen aus den teuren Platin-Legierungen weisen ferner den wesentlichen ökonomischen Vorteil auf, dass beispielsweise bei gleicher (nutzbarer) Länge der Läuterkammer ganz erheblich weniger Edelmetalleinsatz (Platin, Rhodium oder dergleichen) benötigt wird, weil die bekannten Rohre (vgl. DE 100 51 946 A1) sich beim Strukturieren gegenüber den ursprünglich glatten Rohren stark verkürzen in der Größenordnung von mindestens 10%, während die dreidimensional wellenförmig strukturierten Rohre beim Strukturieren nur ganz wenig (Größenordnung 1 %) gerafft werden.

[0037] Ein weiteres Anwendungsbeispiel für oval- oder ellipsenförmige, dünnwandige Rohre mit dreidimensional wellenförmig strukturierter Wandung betrifft evakuierte Synchrotron-Rohre / - Kanäle, beispielsweise für die Hirntumorbekämpfung mit Schwerionen. Die schnellen Schwerionen werden vor ihrer medizinischen Verwendung vorzugsweise in ovalförmigen oder elliptischen, dünnen beispielsweise Edelstahl-Rohren eines Speicherrings "geparkt". Um die elektrische Energie für die kreisförmige Führung (Speicherring) der Schwerionen mit Hilfe von Magneten gering zu halten, werden letztere nahe dem absoluten Nullpunkt bei etwa 4 K bei Supraleitung betrieben. Um eine Erwärmung der Rohre aufgrund von unvermeidbaren elektromagnetischen Wirbelstromverlusten möglichst gering zu halten, müssen die vorzugsweise ovalen oder elliptischen Rohre des Speicherrings so dünn wie möglich ausgeführt sein und trotzdem dem äußeren Atmosphärendruck (in den Rohren ist Hochvakuum) standhalten (vgl. "Design and study of a superferric model dipole and quadrupole magnets for the GSI fast-pulsed synchrotron SIS 100", A. Kovalenco et. al., Proceedings of EPAC 2004, Lucerne, Switzerland, Seiten 1735-1737). Gleichzeitig müssen die dünnwandigen Rohre den thermischen Belastungen beim Anfahren, insbesondere einer Temperatursenkung um etwa 290°C, und Abfahren der Anlage, nämlich einem Temperaturanstieg um etwa 290 °C, sicher standhalten. Dabei ergeben sich durch das Einbetten der dünnwandigen Rohre und ggf. durch beispielsweise aufgeschweißte Kühlrohre unvermeidbare thermische Ausdehnungsbehinderungen. Mit Hilfe der dreidimensional wellenförmig strukturierten, dünnwandigen Rohre / Kanäle lassen sich diese komplexen Anforderungen, wie das Biegen in die ovalförmige bzw. elliptische Rohrgestalt, die hohe Gesamtsteifigkeit durch vergleichsweise große und tiefe Strukturen und ferner die spannungsarme Kompensation (thermische Ausdehnungsbehinderung) sogar bei extremen Temperaturwechselbelastungen erfüllen.

[0038] Ähnliche Anwendungsbeispiele ergeben sich in der Raumfahrt, wenn beispielsweise eine Raumsonde aus der Sonnenbestrahlung in den Erdschatten eintritt.

[0039] Bei dem Verfahren kann eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung vorsehen, dass die Wülste und die Kalotten gebildet werden, indem die Materialbahn gekrümmt und anschließend durch eine äußere Druckbeaufschlagung auf ihrer Innenseite zuerst gegen eine elastische Zwischenlage, die auf starren Stützelementen angeordnet ist, und dann gegen die starren Stützelemente gedrückt wird. Bei einer zweckmäßigen Fortbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als elastische Zwischenlage eine Zwischenlage aus einem Werkstoff oder einer Kombination von Werkstoffen der folgenden Gruppe von Werkstoffen verwendet wird: Elastomer, flexibler Werkstoff und faseriger Werkstoff.

[0040] Es hat sich überraschend gezeigt, dass die Wülste sich mit ihrem sanften Übergang zu den Kalotten besonders werkstoffschonend mit Hilfe einer quasi freien Verformung der Materialbahn dadurch bilden, dass zwischen einer gekrümmten Materialbahn und den Stützelementen zusätzlich eine elastische Zwischenlage angeordnet ist und dann diese Materialbahn von außen mit Druck beaufschlagt wird. Diese elastische Zwischenlage, die vorzugsweise erheblich dicker ist als die Materialbahnstärke, bevorzugt etwa um den Faktor 4 bis 10, und eine Shore-Härte von etwa 50 bis 70 aufweist, erfüllt einen anderen Zweck als dies bei Zwischenlagen im Stand der Technik der Fall ist. Der Werkstoff wird gleichmäßiger und schonender deformiert, wodurch bevorzugt tiefere Strukturen in der Materialbahn erzeugt werden können, ohne dass der Werkstoff beim Shore-Härte-Verformen reisst.

[0041] Die starren Stützelemente sind bevorzugt aus starren Werkstoffen. Sie können aber auch aus elastischen Werkstoffen bestehen.

[0042] Experimente haben ergeben, dass sich die Nachteile des spontanen, dynamischen Durchschlags mit Hilfe der zusätzlichen, vergleichsweise dicken, elastischen Zwischenlage, die zwischen der Innenseite der gekrümmten Materialbahn und den Stützelementen angeordnet ist, beseitigen lassen. Durch die elastische Zwischenlage wird der dynamische Durchschlag beim Strukturieren der Materialbahn drastisch abgeschwächt. Hierbei verformt sich die elastische Zwischenlage im Bereich der Stützelemente quasi von selbst in der Weise, dass das Material der Zwischenlage durch die sich quasi frei verformende und andrückende Materialbahn jeweils im Bereich der Stützelemente so eingedrückt / eingequetscht wird, dass das unmittelbar neben dem Stützelement eingedrückte Material der Zwischenlage mit diesem Stützelement quasi ein neues, "gemeinsames" und dafür erheblich breiteres Stützelement als vorher ergibt. Dieses "gemeinsame" Stützelement hat sich quasi von selbst an die sich frei verformende Materialbahn individuell angepasst. Die Breite des "gemeinsamen" Stütze-

lementes kann mittels der Wandstärke und der Härte des Materials der Zwischenlage in Verbindung mit der Stegbreite und Rundung der starren Stützelemente variabel eingestellt werden.

[0043] Die elastische Zwischenlage führt zu dem weiteren wichtigen Vorteil, dass die mehrdimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn unmittelbar nach dem Strukturieren nur noch eine sehr geringe Krümmung in Richtung der Materialbahn aufweist und deshalb der anschließende Richtaufwand in die ebene Gestalt gering ist. Der Grund hierfür liegt darin, dass sich durch eine vorzugsweise dickere elastische Zwischenlage die Materialbahn nicht mehr so stark um den Stützelementkern gebogen wird und sich deshalb eher in einer nur wenig gekrümmten Gestalt während des Strukturierens befindet und deshalb der anschließende Richtprozess viel einfacher wird. Dadurch wird auch die Planlage der Materialbahn besser.

[0044] Es ergibt sich ein weiterer Vorteil. Da infolge der elastischen Zwischenlage der Krümmungsradius der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn größer ist als der Radius der Stützelementwalze, werden die Wülste in Laufrichtung der Materialbahn durch das anschließende Richten in die ebene Gestalt weniger stark gestaucht und deshalb auch nur wenig überhöht werden. Bei der bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahn dagegen werden die Falten in Laufrichtung der Materialbahn durch das Richten stark gestaucht und dadurch die Mulden und die Falten quer zur Laufrichtung der Materialbahn stark gedehnt und so erheblich flacher gezogen. Deshalb lassen sich dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahnen einfacher in die ebene Gestalt richten und erhalten vorteilhaft vergleichsweise in allen Richtungen etwa gleich oder nur wenig unterschiedliche Wulsthöhen.

[0045] Beispielhafte experimentelle Untersuchungen zeigen den Unterschied zwischen einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn und einer bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahn am Beispiel eines Stahlbleches (DC 06) der Dicke 0,8mm und einer hexagonalen Struktur mit den Schlüsselweiten 50mm auf. Bei den dreidimensional wellenförmigen Strukturen, welche mit einer 6mm dicken elastomeren Zwischenlage der Shore-Härte 60 erzeugt werden, ergibt sich zwischen den Wulsthöhen in und quer zur Laufrichtung der Materialbahn ein Verhältnis von 1,2 im Vergleich zum Verhältnis von 1,7 bei den bekannten beul- / wölbstrukturierten Strukturen. Ein weiteres Beispiel zeigt die Ergebnisse bei einem Edelstahlblech der Dicke 0,5 mm mit der hexagonalen Schlüsselweite 50mm und bei Verwendung derselben elastomeren Zwischenlage (6mm, Shore-Härte 60) auf: Es ergibt sich zwischen den Wulsthöhen in und quer zur Laufrichtung der Materialbahn ein Verhältnis von etwa 2,0 im Vergleich zum Verhältnis von etwa 3,0 bei den bekannten beul- / wölbstrukturierten Strukturen. Ein drittes Beispiel mit Aluminiumblech (6061 T6) der Dicke 0,6mm und der hexagonalen Schlüsselweite 33 mm und bei Verwendung derselben elastomeren Zwischenlage (6mm, Shorehärte 60) liefert folgende Ergebnisse: Es ergibt sich zwischen den Wulsthöhen in und quer zur Laufrichtung der Materialbahn ein Verhältnis von etwa 1,3 im Vergleich zum Verhältnis von etwa 1,9 bei den bekannten beul- bzw. wölbstrukturierten Strukturen. Infolge der homogenen Höhen der Wülste ergeben sich gleichmäßigere, d. h. verbesserte richtungsunabhängige, Biege-, Schub- und Torsionssteifigkeiten der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn gegenüber der bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahn. Die Vorteile gleichmäßigerer Wulsthöhen bestehen in resultierenden gleichmäßigeren Formsteifigkeiten in verschiedenen Wandrichtungen, als das bei der Verwendung der bekannten Beul- bzw. Wölbstruktur zu erreichen ist.

[0046] Da bei dem Verfahren eine starke Krümmung während des Strukturierens vermieden wird, ergeben sich auch bei höherfesten Materialien, wie hochfestes Blech und sogar faserverstärkten Kunststoffen, eine verbesserte Richtbarkeit der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialien.

[0047] Ein Vorteil einer elastomeren Zwischenlage besteht insbesondere darin, dass das Elastomer der Zwischenlage beim Andrücken der Materialbahn nicht nur senkrecht sondern auch parallel zur Materialbahn "fließt" und dadurch Scherkräfte zwischen dem Elastomer und der Wandoberfläche der Materialbahn entstehen. Diese zusätzlichen Scherkräfte bewirken gemeinsam mit dem "gemeinsamen" breiten Stützelement, dass sich eine breite und zugleich gleichmäßig gekrümmte Wulst (im Gegensatz zur schmalen Beulfalte beim Beul- / Wölbstrukturieren) in der Materialbahn ausbildet.

[0048] Die Wülste erleichtern auch das Richten der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn in die ebene Gestalt. Das lässt sich erklären, indem das Verhalten der Falten der bekannten Beul- / Wölbstrukturen mit den Wülsten der dreidimensional wellenförmigen Strukturen miteinander verglichen werden. Beide Strukturen haben gemeinsam, dass sie durch hexagonal angeordnete Stützelemente aus der gekrümmten glatten Ausgangsmaterialbahn heraus entstanden sind. Es bilden sich die hexagonalen Strukturen auf einem Zylinderumfang. Dabei laufen an den Eckpunkten des Hexagons jeweils drei Falten / Wülste zu einem Sternpunkt zusammen und ergeben infolge der zylindrischen Materialbahn jeweils eine kleine räumliche Dreieckspyramide. Solange diese Dreieckspyramide eine räumliche Ausdehnung aufweist (großes Flächenträgheitsmoment), verhält sie sich gegenüber äußeren Belastungen formsteif und stabil, weil die auf die Pyramide wirkenden äußeren Kräfte günstig und spannungsarm abgeleitet und verteilt werden. Dabei verhalten sich die Falten / Wülste quasi wie Stäbe und die eingeschlossenen Muldenabschnitte quasi wie kleine Schubfelder. Beim Richten der gekrümmten strukturierten Materialbahn in die ebene Gestalt wird die Pyramidenspitze überproportional (geometrisch- nicht-linear) durch Stauchen der Falten / Wülste auf Druck belastet, bis ein plastisches Verformen des

Werkstoffes auftritt und die Gefahr eines instabilen "Umklappens " (dynamischer Durchschlag) von der konvexen in die konkave Krümmung der Pyramide und damit der gesamten Materialbahn auftritt. Bei den bekannten Falten mit ihren engen Biegeradien der beul- / wölbstrukturierten Materialbahn tritt dieser unerwünschte Umklappvorgang tatsächlich auf und wurde mehrfach anhand von optisch sichtbaren sehr unregelmäßigen kleinen Wellungen im Bereich der Sternpunkte beobachtet. Bei den dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahnen tritt dieses unerwünschte "Umklappen" nicht oder nur sehr abgeschwächt auf, weil die Wülste viel breiter sind als die engen Falten. Bei den breiten Wülsten werden die hohen Spannungen in den Pyramidenspitzen entsprechend den Sternpunkten von drei zusammenlaufenden Wülsten gleichmäßiger abgeleitet als bei den engen Falten der bekannten Beul- / Wölbstrukturen.

[0049] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass zur äußeren Druckbeaufschlagung ein Druckbauteil aus einem Elastomer oder einem Wirkmedium verwendet wird.

[0050] In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß anstatt einer separaten elastischen Zwischenlage der elastomere Werkstoff direkt auf dem Kern, auf dem die starren Stützelemente angebracht sind, fixiert ist. Dadurch kann die mitgeführte elastische Zwischenschicht entfallen.

[0051] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass die starren Stützelemente auf einem Kern oder in einem Werkzeug angeordnet werden, welcher / welches eine einer gewünschten Wulststruktur der Wülste angepasste Kontur aufweist. So kann in einer Ausgestaltung auf die zusätzliche elastische Zwischenlage verzichtet werden. Die Kontur der starren Stützelemente ist bereits den oben beschriebenen "gemeinsamen" Stützelementen entsprechend gebildet. Das "gemeinsame" Stützelement ergibt sich, wie oben beschrieben, aus dem ursprünglich schmalen Stützelement und der sich selbst einstellenden Kontur des Elastomers der zusätzlichen Zwischenlage bei der dreidimensional wellenförmigen Strukturierung. Vorzugsweise kann der Durchmesser der starren Stützelementwalze so gewählt werden, dass er dem Krümmungsradius der Materialbahn, welcher sich aus dem Strukturierungsprozess mit elastischer Zwischenlage von selbst ausbildet (dieser ist größer als der Krümmungsradius der ursprünglichen Stützelementwalze), nachempfunden ist. Anhand des oben beschriebenen experimentellen Vergleichs auf der Basis von Werkstoff DC 06, einer Wanddicke 0,8mm und einer Schlüsselweite 50mm ergibt sich ein Verhältnis des Durchmessers der neuen Stützelementwalze ohne elastomerer Zwischenlage zum Durchmesser der Stützelementwalze mit elastomerer Zwischenlage von etwa 1,5.

[0052] Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung des Verfahrens zum Herstellen dreidimensional wellenförmig strukturierter Materialbahnen mit Hilfe einer elastischen Zwischenlage besteht darin, dass auf dem gleichbleibenden Stützelementwalzenumfang eine geringere Anzahl von Stützelementen angeordnet wird, so dass somit größere Strukturen entstehen. Infolge der elastischen Zwischenlage verlässt die strukturierte Materialbahn die Strukturwalze mit einer Krümmung, die der einer entsprechend größeren Strukturierungswalze ohne Verwendung der elastischen Zwischenlage entspricht. Der Vorteil hierbei liegt darin, dass die dreidimensional wellenförmigen Strukturen auf diese Weise mit tieferen Mulden ausgestattet werden können. Die Strukturen sind hierbei tiefer ausgeprägt, weil eine kleinere Anzahl von Strukturen auf dem gleichen Zylinderumfang einen größeren Winkelabschnitt einer Struktur auf dem Zylinderumfang zur Folge hat.

[0053] Bevorzugt ist bei einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, dass die wellenförmige und dreidimensional gebildete Strukturierung mit einer geringen Krümmung *("Coilset")* gebildet wird. Im Gegensatz dazu ist die Krümmung der bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahn sehr groß, weil sich die strukturierte Materialbahn beim Strukturieren eng an die Stützelementwalze anschmiegt.

[0054] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahnen mit Hilfe einer kompletten mechanischen Formmatrize (anstelle einer Stützelementwalze), in welche die Konturen einer bereits dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn mit Hilfe einer mechanischen Fertigung eingearbeitet sind, erzeugt wird. Auf diese Weise kann auf die zusätzliche elastische Zwischenlage verzichtet werden. So wird die zu strukturierende Materialbahn mit Hilfe eines Wirkmediums, beispielsweise eines elastischen oder pneumatischen / hydraulischen Kissens oder einer elastischen Druckwalze, unmittelbar gegen die mechanische Formmatrize gedrückt und hierbei dreidimensional wellenförmig strukturiert. Der Vorteil besteht darin, dass kein Verschleiß einer elastischen Zwischenlage auftritt und keine zusätzliche Vorrichtung für den Transport und die Führung der elastischen Zwischenlage benötigt wird. Anstatt des Wirkmediums kann auch ein mechanischer Stempel verwendet werden, in den ebenfalls die entsprechenden Konturen eingearbeitet sind, die der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn nachempfunden sind.

[0055] Eine in der vorbeschriebenen Weise ausgebildet und hergestellte Materialbahn kann gemäß einer der dargestellten Ausführungsformen, wahlweise nach geeigneter Weiterverarbeitung, in verschiedenen Anwendungen unter Ausnutzung der beschriebenen vorteilhaften Eigenschaften verwendet werden, insbesondere als strukturierte Materialbahn für Teile bei Fahrzeugen, beispielsweise eine versteifende und stoßenergieabsorbierende Verstärkungsschale für eine Motorhaube, eine Heckklappe, ein Seitenteil, eine Trennwand, ein Bodenteil. Als Werkstoff werden je nach Anwendungsgebiet zweckmäßig genutzt: Stahl, Aluminium, Titan, Magnesium oder Legierungen hiervon.

[0056] Im Gegensatz zur Falte bei der aus dem Stand

der Technik bekannten Strukturierung verhält sich die Wulst viel unempfindlicher gegen über thermischen Ausdehnungsbehinderungen bei Temperaturwechselbeanspruchungen und bei Schwingungsbelastungen. Schließlich wird infolge des größeren Deformationsvermögens der Wulst gegenüber der bekannten Falte der Versagensfall bei äußerer Belastung, insbesondere bei Stoßbelastung erheblich weiter zu größeren Belastungen hin verschoben. Deshalb sind dreidimensional versteifte dünne Wände oder Folien oder Sandwichs besonders gut im Bereich der Fahrzeugtechnik, wie für Wände, Dächer und Karosserieteile, im Bereich der Luft- und Raumfahrt für Paneele, Sonnensegel, Einhausungen, Kapselungen, Isolierungen und Apparatewände sowie in der Kryotechnik (bei tiefen Temperaturen) und in der Wärmetechnik (bei hohen Temperaturen) geeignet. Bei all diesen beispielhaft genannten Anwendungen zeigen sich die synergetischen Vorteile dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialien hinsichtlich hoher Steifigkeit, geringem Gewicht und Sicherheit bei unterschiedlichen dynamischen Belastungen.

[0057] Wenn zwei oder mehrere dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahnen miteinander durch thermisches Fügen, mechanisches Fügen und / oder Kleben beim Übereinanderlegen der gleichmäßig kugelförmig gekrümmten Kalotten der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn verbunden werden, ergeben sich weitere Vorteile der einfachen Konstruktion. Hierzu zählt beispielsweise ein Strömungskanal mit einer vorteilhaften Verwirbelung oder Umlenkung einer Strömungsgrenzschicht für einen verbesserten Wärme- und Stoffaustausch. Dazu zählt ferner eine Sandwichbauweise für eine definierte Wärmeleitung oder Wärmedämmung aus dünnen, miteinander punktförmig verbundenen strukturierten und zugleich formsteifen dünnen Wänden oder Folien, die beispielsweise in der Raumfahrttechnik Anwendung finden können.

[0058] Bei der Verwendung als eine innere Verstärkungsschale, die mit einer äußeren Motorhaubenschale verbunden wird, um beim Kopfaufprall den Fußgänger zu schützen, besitzt die wellenförmige und dreidimensional strukturierte Materialbahn den wesentlichen Vorteil, dass auch sehr tiefe Strukturen hergestellt werden können, die für eine gleichmäßige und zugleich stoßenergieabsorbierende Wirkung beim körperverträglichen Kopfaufprall besser geeignet sind als die bekannten Motorhaubenschalen (Verstärkungsschalen) mit den Beul- / Wölbstrukturen, die in den Dokumenten DE 102 59591 A1 und in DE 10 2004 044 550 A1 offenbart sind. Diese bekannten Motorhaubenschalen weisen noch die Nachteile auf, dass die maximal erreichbare Strukturtiefen noch unbefriedigend sind, und ferner die Dauerschwingfestigkeit bei der auftretenden dynamischen Belastung aufgrund der engen Faltenradien noch gering ist. Die wesentliche Verbesserung mit Hilfe der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn für die Motorhaubenschale. lässt sich folgendermaßen erklären: Das Flächenträgheitsmoment in Verbindung mit der äußeren Motorhaubenschale und damit die Stossenergieaufnahme je Deformationsweg wird so größer. Beim Kopfaufprall oder im Crashfall deformiert sich der Bereich der Wülste erheblich mehr als der Bereich der Kalotten, was eine Folge sehr großer Formsteifigkeit der Kalotten ist. Bei der Deformation in der Wulst entstehen erheblich geringere örtliche Materialspannungen als in den Falten der bekannten Beul- / Wölbstruktur, da die Falten eine sehr enge Krümmung aufweisen und einen sehr kleinen Flächenanteil an der strukturierten Materialbahn einnehmen. Diese erheblich geringeren Materialspannungen in den Wülsten wirken sich nicht nur bei der Deformation beim Aufprall sondern auch beim langzeitigen, dynamischen Fahrbetrieb sehr günstig auf die Dauerfestigkeit (Crashperformance und Dauerschwingfestigkeit / Wöhlerkurve) aus.

[0059] Bei Nutzung der strukturierten Materialbahn für Dosen, insbesondere Konservendosen besitzt die Strukturierung mit Wülsten und Kalotten den Vorteil, dass größere Strukturtiefen angewendet werden können. Ein weiterer Vorteil ergibt sich dadurch, dass sich die im Vergleich zur bekannten engen Falte der Beul- / Wölbstrukturen die breiteren Wülste erheblich unempfindlicher gegenüber örtlichem Einknicken bei seitlichem Anschlagen der Dosen gegeneinander (bei ihrer Herstellung oder auch später beim Transport) oder beim Greifen der gefüllten Dosen durch den Verbraucher verhalten.

[0060] Bei Nutzung der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn in der Leuchtenindustrie, insbesondere für Reflektoren mit diffuser, blendarmer Lichtstreuung ergeben die gleichmäßigen kugelförmigen Kalotten den Vorteil, dass sogar auch bei großen Strukturen eine exakte punktförmige Reflexion nach dem Prinzip der Lichtpunktzerlegung erzielt wird.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung

[0061] Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf Figuren einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen:

- Fig. 1 schematisch eine Vorrichtung zum Herstellen einer herkömmlichen beul- / wölbstrukturierten Materialbahn nach dem Stand der Technik;
- Fig. 2 schematisch eine Vorrichtung zum Herstellen einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung einer Materialbahn mit Hilfe einer transportierten elastischen Zwischenlage nach der Erfindung;
- Fig. 3 im oberen Bild den Querschnitt durch einen dünnwandigen runden Zylinder (gestrichelter Kreis) und eine sinusförmige, elastische Welle (durchgezogene Linie), die sich bei geringer äußerer, allseitiger hydraulischer Druckbelastung (vor dem dynamischen Durchschlag) einstellt, und im unteren Bild eine "girlandenförmige"

Welle nach dem dynamischen Durchschlag (bei erhöhter äußerer, allseitiger hydraulischer Druckbelastung);

Fig. 4 im oberen Bild den Querschnitt einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn im Schnitt entlang einer Linie A - A und im Schnitt entlang einer Linie B-B und im unteren Bild die entsprechende Draufsicht mit der Positionierung dieser beiden Schnitte;

Fig. 5 schematisch eine Vorrichtung zum Herstellen einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn mit Hilfe eines Kerns mit breiten Stützelementen (oberer Teil) und eine Draufsicht auf einen Ausschnitt der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn (unterer Teil);

Fig. 6 den Querschnitt durch eine dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn mit einfallenden und reflektierten Lichtstrahlen;

Fig. 7 einen Abschnitt einer Motorhaube im Querschnitt und eine Verstärkungsschale in Aufsicht;

Fig. 8 im Querschnitt einen Abschnitt einer Motorhaube für den Fußgängerschutz mit einer inneren Verstärkungsschale aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn;

Fig. 9 einen Abschnitt eines dünnwandigen Rohres im Querschnitt aus einem dreidimensionalen wellenförmig strukturierten dünnwandigen Material;

Fig. 10 im oberen Bild den Querschnitt durch eine strukturierte, dünne und zugleich formsteife Wand aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn und im unteren Bild den Querschnitt durch ein Sandwich aus einem oberen und unteren Gurt aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn;

Fig. 11 eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Herstellen eines ovalförmigen Rohrabschnittes aus einem kreisrunden Rohrabschnitt unter Verwendung einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn vor dem Verformen zum ovalförmigen Rohrabschnitt;

Fig. 12 eine weitere schematische Darstellung zur Erläuterung des Verfahrens zum Herstellen des ovalförmigen Rohrabschnittes aus dem kreisrunden Rohrabschnitt unter Verwendung der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn nach dem Verformen zum ovalförmigen Rohrabschnitt;

Fig. 13 eine schematische Darstellung einer in ihrer Laufrichtung gebogenen, dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn im Querschnitt mit zwei Strukturen in einer Krümmung im oberen Bild und mit einer einzigen Struktur in der Krümmung im mittleren Bild sowie eine dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn vor der Verformung (Bild unten links) und nach der Verformung (Bild unten rechts) in Draufsicht;

Fig. 14 eine schematische Darstellung eines Abschnitts einer geschwungenen Motorhaube für den Fußgängerschutz mit einer inneren Verstärkungsschale aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn und einer äußeren glatten Motorhaubenschale; und

Fig. 15 eine schematische Darstellung zum Erläutern des Herstellens einer bekannten beul- / wölbstrukturierten Materialbahn (oberes Bild links), einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn mit elastischer Zwischenlage (unteres Bild links), einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn bei einer größeren Stützelementwalze mit breiteren, starren Stützelementen ohne elastische Zwischenlage (oberes Bild rechts) und einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn mit einer Stützelementwalze mit einer reduzierten Anzahl von Strukturen auf dem Umfang sowie mit einer elastischen Zwischenlage.

[0062] Im folgenden wird zunächst das Herstellen einer Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff mit einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 14 beschrieben. Für gleiche Merkmale werden in den Fig. 1 bis 14 dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0063] Fig. 1 zeigt schematisch eine Vorrichtung zum Herstellen einer herkömmlichen beul- / wölbstrukturierten Materialbahn 9 nach dem Stand der Technik mit einem Stützelementkern 3 und einer elastischen Druckwalze 4. Nachteilig ist, dass sich die beul- / wölbstrukturierte Materialbahn 9, die aus Falten 10 (erheblich mehr plastifiziert) und Mulden 11 (vergleichsweise flacher und mehr abgeplattet) besteht, beim Strukturieren eng an den Stützelementkern 3 schmiegt und deshalb die Strukturierungsanlage mit einer sehr starken Krümmung verlässt. Deshalb werden die Falten 10 und die Mulden 11 beim anschließenden Richten in die ebene Gestalt zusätzlich deformiert und dabei erheblich plastifiziert.

[0064] Fig. 2 zeigt schematisch eine Vorrichtung zum Herstellen einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung einer Materialbahn 2, wobei eine elastische Druckwalze 4 eine glatte Materialbahn 1 gegen eine elastische Zwischenlage 5 und die Zwischenlage 5 gegen einen Stützelementkern 3 drückt. Durch das Eindrücken des Elastomers der Zwischenlage 5 im Bereich des wirksamen Stützelements entsteht quasi von selbst ein "gemeinsames" angepasstes, breiteres

Stützelement, bestehend aus dem starren Stützelement 3 und dem angedrückten Elastomer 5, das vergleichsweise breite Wülste 6 in der Materialbahn 2 erzeugt.

[0065] Die zick-zack-förmigen Wülste sind in Fig. 2 nur als Linie 7 zu erkennen. Auf diese Weise und ferner durch den Reibschluss zwischen dem "Fluss" des Elastomers der Zwischenlage 5 (eingequetschtes Elastomer unmittelbar bei den Flanken des Stützelements) und der Materialbahn wird die Materialbahn im Bereich der Wülste 6 gleichmäßig deformiert und vergleichsweise nur sehr wenig plastifiziert. Deshalb kann der Anpressdruck der elastischen Druckwalze 4 weiter gesteigert werden, um sogar tiefe Kalotten 8 in der strukturierten Materialbahn 2 zu erzeugen, ohne dass der Werkstoff reißt. Die Kalotten 8 erhalten vorzugsweise bei hexagonalen Stützelementen eine etwa kugelförmige Kalottengestalt. Die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 tritt mit einer geringeren Krümmung (sogenannter Coilset) aus der Strukturierungsanlage aus, als es in Fig. 1 der Fall ist. Die strukturierte Materialbahn 2 in Fig. 2 ist etwas vorgerichtet. Die nachgeschaltete Richteinheit ist nicht explizit dargestellt.

[0066] Fig. 3 zeigt im oberen Teil den Querschnitt durch einen dünnwandigen runden Zylinder (gestrichelter Kreis) und die sinusförmige, elastische Welle 12 (durchgezogene Linie), die sich bei geringer äußerer, allseitiger hydraulischer Druckbelastung (vor dem dynamischen Durchschlag) einstellt. Das untere Bild zeigt nach dem dynamischen Durchschlag bei erhöhter äußerer, allseitiger hydraulischer Druckbelastung die zum bekannten Beulstrukturieren vergleichbare, "girlandenförmige" Welle, die aus den Beulfalten 10 und den Beulmulden 11 besteht. Beim Durchschlagen ziehen sich jeweils die äußeren Sinus-Halbwellen 12 (oberer Teil in Fig. 3) zur Beulfalte 10 (unterer Teil in Fig. 3) zusammen. Auf diese Weise entsteht die Beulmulde 11 in der Form einer inneren Cosinus-Halbwelle, wobei die Wellenlänge dieser Cosinus-Halbwelle doppelt so groß ist wie die der ursprünglichen Sinus-Halbwelle. Durch den dynamischen, noch nicht gedämpften Durchschlag beim bekannten Beul- / Wölbstrukturieren bilden sich die bekannten Beulfalten 10 mit ihren sehr engen Biegeradien aus.

[0067] Fig. 4 zeigt im oberen Bild den Querschnitt einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2 im Schnitt A - A und im Schnitt B - B und im unteren Bild die entsprechende Draufsicht mit der Positionierung dieser beiden Schnitte. Durch das Richten der gekrümmten, strukturierten Materialbahn in die ebene Gestalt wurden die zick-zack-förmigen Wülste 7 in Richtung der Materialbahn 2 (siehe Pfeil in Fertigungsrichtung im unteren Bild) etwas gestaucht und die Wülste 6 quer zur Richtung der Materialbahn 2 etwas gedehnt. Deshalb ist die Strukturhöhe der Wülste und der Kalotten im Schnitt A - A größer als im Schnitt B - B.

[0068] Fig. 5 zeigt im oberen Teil schematisch eine Vorrichtung zum Herstellen einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2 mit breiten Stützelementen 13 auf dem Stützelementkern 3 und einer elastischen Druckwalze 4. Die Breite und die Rundung der Stützelemente 13 entsprechen vorzugsweise der Breite des "gemeinsamen" angepassten Stützelementes aus dem starren Stützelement und dem angedrückten Elastomer, wodurch die vergleichsweise breiten Wülste 14 (nachempfunden aus den Wülsten 6 in der Materialbahn 2 aus Fig. 2) erzeugt wurden.

[0069] Damit die gerundete Kontur der angepassten breiten Stützelemente 13 durch Andrücken der Druckwalze 4 auch tatsächlich auf die Kontur der Wülste 6 der Materialbahn übertragen wird, erhält das Elastomer der Druckwalze 4 in Fig. 5 ohne elastische Zwischenlage 5 vorzugsweise eine etwas höhere Shore-Härte als das Elastomer der Druckwalze 4 in Fig. 2 mit elastischer Zwischenlage 5. Während beispielsweise das Elastomer der Druckwalze 4 in den Fig. 1 und 2 eine Shore-Härte 60 besitzt, kann das Elastomer der Druckwalze 4 in Fig. 5 mit einer Shore-Härte 65 bis 70 ausgestattet werden.

[0070] Da die sich einstellenden Wülste 6 aufgrund der breiten "gemeinsamen" Stützelemente in Fig. 2 und der breiten starren Stützelemente 13 in Fig. 5 viel größer ist als die engen Falten 10 bei dem bekannten Beul- / Wölbstrukturierprozesses in Fig. 1, kann in den Fig. 2 und 5 der Anpressdruck der Druckwalze 4 gegen die zu strukturierende Materialbahn noch erheblich gesteigert werden, ohne dass der Werkstoff der Materialbahn reißt. So können vergleichsweise tiefe Strukturen hergestellt werden, die beispielsweise für die Crashenergieabsorption einer Motorhaube oder für Sandwichkonstruktionen mit großer Wandversteifung infolge eines großen Flächenträgheitsmomentes bei vergleichsweise geringem Gewicht oder beispielsweise für einen Strömungskanal oder einen Wärmeaustauscher aus zwei oder mehreren übereinander geschichteten und miteinander gefügten strukturierten Materialbahnen mit einem vergleichsweise großem Strömungsquerschnitt, beispielsweise für Gas-Gas-Wärmeaustauscher, hergestellt werden. Beispielsweise kann mit Hilfe einer Hexagonalstruktur der Schlüsselweite 50mm eine 0,6mm dicke Materialbahn aus Stahlblech nach dem Verfahren in Fig. 5 eine Strukturtiefe von mehr als 6mm erreicht werden, während nach dem bekannten Beul- / Wölbstrukturierungsverfahren in Fig. 1 lediglich eine Strukturtiefe von etwa 4mm realisiert werden kann. In Fig. 5 ist die strukturierte Materialbahn 2 in einer teilweise vorgerichteten Gestalt dargestellt (nachgeschaltete Richteinheit ist nicht explizit dargestellt).

[0071] Fig. 6 zeigt den Querschnitt durch eine dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 mit tiefen, etwa kugelförmigen Kalotten 8 für eine breite, diffuse Lichtstreuung. Die drei Bilder zeigen die Reflexion des Lichts in einer gleichmäßigen und zugleich breit diffusen Lichtstreuung, die sich dadurch ergibt, dass die einfallenden Lichtstrahlen an den gleichmäßig gekrümmten und zugleich tiefen Kalotten 8 punktförmig und zugleich breit diffus reflektiert werden. So entsteht ein blendfreies oder zumindest ein sehr blendarmes reflektiertes Licht. Wird eine weniger breit gestreute Lichtre-

flexion gewünscht, werden flachere Kalotten 8 dadurch erzeugt, dass vorzugsweise die Materialbahn 1 mit einem geringeren Druck durch die Druckwalze 4 beim Strukturieren beaufschlagt wird. Auch hierbei ergibt sich eine gleichmäßig gekrümmte Kalotte 8 in der Materialbahn, die eine punktförmige Lichtreflexion gewährleistet. Das obere Bild und das mittlere Bild zeigen, dass infolge der etwa kugelkalottenförmigen Gestalt auch bei unterschiedlichem Einfallswinkel des Lichts eine punktförmige, diffuse Lichtreflexion erzielt wird. Das untere Bild zeigt beispielhaft eine gerichtete, diffuse Lichtstreuung.

[0072] Fig. 7 zeigt schematisch im oberen Bild den Querschnitt durch eine Motorhaube für den Fußgängerschutz mit einer inneren, etwas gekrümmten Verstärkungsschale aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2. Diese strukturierte Materialbahn ist an ihren Wülsten 6, 7 mit der äußeren glatten Motorhaubenschale 15 vorzugsweise durch linienförmige Klebestellen 16 verbunden. Die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 lässt sich mit Hilfe einfacher Präge- oder Kalibrierwerkzeuge, die aus starren oder elastischen Werkstoffen bestehen, an die Kontur der nur wenig gekrümmten, äußeren Motorhaubenschale 15 anpassen, weil die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 insbesondere auch bei tiefen Strukturen über große mehrdimensionale Biege- und Streckreserven verfügt, ohne dass dabei die Strukturen (Kalotten und Wülste) wieder eingeebnet werden oder örtlich einknicken. Die besonders großen Umformreserven dieser strukturierten Materialbahn 2 erlauben sogar auch komplexe, geometrische Anpassungen an individuell gestaltete äußere Motorhaubenschalen. Analoges gilt für andere Verstärkungsschalen im Fahrzeugbereich, wie für Türen, Dächer, Kotflügel, Heckklappen, Hutablagen sowie untere und seitliche Trennwände.

[0073] Fig. 8 zeigt den Querschnitt durch eine Motorhaube für den Fußgängerschutz mit einer inneren Verstärkungsschale aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2. Dabei wird die strukturierte Verstärkungsschale vorzugsweise durch Klebestellen 17 an den Kalotten 8 der strukturierten Materialbahn 2 mit der äußeren, glatten Motorhaubenschale 15 verbundenen. Für weitere Anwendungen gelten die für Fig. 7 genannten Beispiele.

[0074] Fig. 9 zeigt den Querschnitt durch einen dünnwandigen Rohrabschnitt 18 aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2. Diese vereinfachte Darstellung zeigt nur den sichtbaren Rand des aufgeschnittenen dünnwandigen Rohrabschnittes 18 mit den Wülsten 6 und den Kalotten 8. Auf die Darstellung der Strukturen in der Mitte des dünnwandigen Rohrabschnittes 18 wurde verzichtet.

[0075] Bei einer Dosenherstellung oder beim Transport von Dosen erweisen sich die gegenüber den bekannten Falten erheblich breiteren Wülste 6 und 7 unempfindlicher gegenüber seitlichem und punktförmigen Anschlagen. Analoges gilt für Kunststoffflaschen, insbesondere für PET-Flaschen.

[0076] Bei Verwendung von dünnwandigen Rohrabschnitten aus den dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahnen als Läuterkammerrohr, Tiegel oder Rührerschaft aus Platinlegierungen für die Glasschmelze und die Ausgasung vom geschmolzenen Glas ergeben sich erhebliche Vorteile, weil bei der thermischen Ausdehnungsbehinderung infolge der extremen Temperaturwechselbelastungen beim An- und Abfahren der Anlage die breiten Wülste 6 die auftretenden Spannungen viel gleichmäßiger und damit werkstoffschonender verteilen können.

[0077] In den vorgenannten Anwendungen der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahnen ergeben sich jeweils selbständige Vorteile auf den verschiedenen technischen Gebieten zusätzlich zu den erläuterten allgemeinen Vorteilen der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahnen.

[0078] Fig. 10 zeigt im oberen Bild den Querschnitt durch eine strukturierte, dünne und zugleich formsteife Wand aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2. Das untere Bild zeigt den Querschnitt durch ein Sandwich aus einem oberen und unteren Gurt aus einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2 und einem inneren Kunststoff- bzw. Kunststoffschaumkern 20.

[0079] Die Fig. 11 und 12 zeigen eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Herstellen eines ovalförmigen Rohrabschnittes 25 (siehe Fig. 12) aus einem kreisrunden Rohrabschnitt 22 (siehe Fig. 11) unter Verwendung einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn.

[0080] Fig. 11 zeigt den Zustand vor der Verformung, und Fig. 12 zeigt den Zustand nach der Verformung. Das obere Bild in Fig. 11 zeigt einen Querschnitt durch ein kreisrundes dreidimensional wellenförmig strukturiertes Rohr 22 mit umlaufenden Wülsten entlang der Linie 7 und axialen Wülsten 6 sowie Kalotten 8 und zwei starren oder elastomeren Druckwalzen 24. Das untere Bild in Fig. 11 zeigt die Draufsicht auf die abgewickelte Materialbahn 23 (Blickrichtung aus der Projektion des Rohrabschnittes 22) in der Projektion des Rohrabschnittes 22.

[0081] Fig. 12 zeigt im oberen Bild den ovalförmig umgeformten Rohrabschnitt 25, welcher durch das Andrükken der Druckwalzen 24 und wahlweise der zusätzlichen starren oder elastischen Druckwalzen 27 in die gewünschte ovale Gestalt übergeführt wurde. Anstelle der Druckwalzen 24 und 27 können auch elastische oder starre Formkissen oder Druckelemente verwendet werden. Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, dass es nicht erforderlich ist, die Druckwalzen 24 und 27, Formkissen oder Druckelemente mit einer Negativform zur dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn auszustatten. Im einfachsten Fall genügen sogar einfache Finger-oder Handbewegungen, um das Umformen in die ovalförmige Gestalt zu vollziehen.

[0082] Ein weitere Verfahrengestaltung sieht vor, dass beim engen Biegen mit kleinem Biegeradius der kreisrunden dreidimensional wellenförmig strukturierten Ma-

terialbahn 22 in die ovalförmige Gestalt des Rohrabschnitts 25 sich die Wülste 6 und 7 selbständig "intelligent" beanspruchungsgerecht deformieren und dabei von der hexagonalen Anordnung der Wülste 6 und 7 mit zunehmender Krümmung (entsprechend abnehmendem Krümmungsradius) des Ovals stetig (d. h. ohne Knicke in den Mulden und Wülsten) in eine gemeinsame, etwa schlangenformige Wulst quer zur Laufrichtung der Materialbahn übergeht.

[0083] Im unteren Bild von Fig. 12 ist die Draufsicht auf die abgewickelte Mantelfläche des ovalförmigen Rohrabschnittes 25 dargestellt. Die umlaufenden Wülste 7 (in Laufrichtung der Materialbahn, Pfeilrichtung in Fig. 11 und Fig. 12) drehen / verschränken sich zu Wülsten 29 und 31. Die axialen Wülste 6 quer zur Laufrichtung der Materialbahn verkürzen sich stetig zu Wülsten 28 und 30. Im Ergebnis nehmen die Wülste 32 und 34 am Ort der kleinsten Krümmung des Ovals die Gestalt einer gemeinsamen, etwa schlangenförmigen Wulst an. All das geschieht quasi von ganz alleine, d. h. ohne den Eingriff von Formwerkzeugen, welche die schlangenförmige Negativkontur aufweisen, nach dem Energieminimierungsprinzip und gelingt mit Hilfe der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn mit ihren sanft gerundeten Wülsten und Kalotten. Gleichzeitig wird der lichte Abstand zwischen den axialen Wülsten 6 (entsprechend der Schlüsselweite des noch nicht verformten Hexagons) etwas reduziert, so dass der lichte Abstand zwischen den schlangenförmigen Wülsten 32 etwas geringer wird, beispielsweise um etwa 10%, als die Schlüsselweite des ursprünglichen Hexagons. Diese Effekte erklären, warum sich die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn eng zu einem Oval biegen lässt. Deshalb können vergleichsweise große und tiefe Strukturen zwecks hoher Gesamtsteifigkeit des ovalförmigen Rohres/Kanals zum Einsatz kommen. Bei den im Stand der Technik bekannten Beul- / Wölbstrukturen ist das nicht möglich, weil beim engen Biegen der großen Strukturen ihre Mulden und Falten einknicken, wodurch die Gesamtsteifigkeit stark reduziert wird.

[0084] Fig. 13 zeigt schematisch im oberen und mittleren Bild den Querschnitt durch eine in ihrer Laufrichtung eng gebogene, dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 35. Im oberen Bild sind am Ort der Krümmung der Materialbahn 35 zwei Strukturkalotten 36 angeordnet. Im mittleren Bild ist am Ort der Krümmung nur eine einzige Strukturkalotte 37 angeordnet. Diese zueinander versetzte Anordnung der Strukturkalotten am Ort der Krümmung ergibt sich aus der Geometrie der schlangenförmigen Wülste (im Querschnitt in Fig. 13 nicht sichtbar) in Querrichtung zur Laufrichtung (siehe Draufsicht auf die abgewickelte Materialbahn im unteren Bild von Fig. 12). Wenn die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn (im Bild unten links der Fig. 13) jedoch alternativ quer zu ihrer Laufrichtung eng gebogen wird, bilden sich, wie in Fig. 13 unten rechts dargestellt, die verkürzten zick-zackförmigen Wülste 7a und entsprechend dazu die gelängten Wülste 6a am Ort der Krümmung heraus.

[0085] Fig. 14 zeigt schematisch, und perspektivisch lediglich angedeutet, den Querschnitt durch eine Motorhaube 38 für ein Fahrzeug unter Verwendung einer dreidimensional wellenförmig strukturierten Verstärkungsschale mit den Wülsten 6 und 7 und den Kalotten 8. Die Kalotten 8 sind auf ihrer Außenseite beispielsweise mittels Klebepunkten 17 mit der äußeren glatten Motorhaubenschale 15, welche links und rechts mit einer geschwungenen Gestalt 39 ausgestattet ist, verbunden. Es können aber auch alternativ die Wülste 6 und 7 der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn durch beispielsweise Klebestellen 16 (analog zu Fig. 7) mit der äußeren Motorhaubenschale 15 (in Fig. 14 nicht explizit dargestellt) verbunden sein. Die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn / Verstärkungsschale kann mit engen Biegeradien, wie beispielsweise im Bereich 40, und zugleich mit tiefen und großen Strukturen ausgestattet werden.

[0086] Fig. 15 zeigt schematische Darstellungen in vier Bildern zum Erläutern des Herstellens einer mehrdimensional strukturierten Materialbahn mit Stützelementkern. Zur Vereinfachung wurde auf die Darstellung der Druckwalze 4 verzichtet. Das erste Bild (oben links) zeigt die beul- / wölbstrukturierte Materialbahn 9, die sich beim Strukturieren an den Stützelementkern 3 mit dem Radius R1, auf dessen Umfang 8 Strukturen angeordnet sind, eng anschmiegt (analog zu Fig. 1).

[0087] Das zweite Bild (unten links) zeigt die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 an dem Stützelementkern 3 mit der elastischen Zwischenlage 5. Die dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 verläßt von selbst (d. h. ohne Einfluß einer nachgeschalteten Richteinheit) die Strukturiervorrichtung mit einer natürlichen Krümmung entsprechend dem Krümmungsradius R2 = 1,5 * R1, wobei die Größe (Schlüsselweite des Hexagons) der Struktur etwa gleich bleibt (in Fig.2 und Fig. 5 ergeben sich eine Materialkrümmung mit einem größeren Krümmungsradius, weil die strukturierte Materialbahn 2 in Fig. 2 und Fig. 5 bereits durch eine nachgeschaltete Richteinheit etwas plan "gezogen" wurde).

[0088] Das dritte Bild (oben rechts) zeigt eine dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2, die sich beim Strukturieren (ohne zusätzliche elastische Zwischenlage 5) an den Stützelementkern 3 mit breiteren Stützelementen 13 (analog zu Fig. 5) eng anschmiegt. Der Radius R2 des Stützelementkerns 3 in dem dritten Bild (ohne elastische Zwischenlage 5) ist gleich dem Radius R2 der "natürlich" gekrümmten Materialbahn 2 aus dem zweiten Bild (Fig. 15, unten links). Dabei bilden sich zwölf Strukturen auf dem Umfang des Stützelementkerns 3. Auf diese Weise wird der mechanische Umformvorgang beim dreidimensional wellenförmig Strukturieren (anstatt eines schmalen starren Stützelementes plus eingequetschtes Gummi als "gemeinsames" Stützelement wird ein breites starres Stützelement verwendet) nachempfunden.

[0089] Das vierte Bild (unten rechts) zeigt eine dreidimensional wellenförmig strukturierte Materialbahn 2 an einem Stützelementkern 3 mit einer elastischen Zwischenlage 5. Auf dem Stützelementkern 3 sind sechs Strukturen (anstelle von acht Strukturen in den beiden Bildern in Fig. 15 mit den Stützelementkernen 3 und dem Radius R1) angeordnet, wobei der Radius R1 jeweils gleich ist. So erhalten die Strukturen der dreidimensional wellenförmig strukturierten Materialbahn 2 im Bild unten rechts in Fig. 15 eine größere Schlüsselweite und zugleich größere Strukturtiefe als bei den beiden anderen Strukturvorrichtungen mit den Stützelementkern-Radien R1.

[0090] 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 Bahnwerkstoff, insbesondere Blechmaterialbahn, mit einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung, die mit Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten gebildet ist, wobei die Wülste zusammenhängend ausgeführt sind und eine Krümmung aufweisen, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist.

2. Materialbahn nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kalotten in einem mittleren Kalottenbereich eine Gestalt aufweisen, die einer Kugelschalenform zumindest angenähert ist.

3. Materialbahn nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste gemäß einer oder 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.

4. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste gemäß einer einheitlichen geometrischen Grundform gebildet sind.

5. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste und / oder die Kalotten jeweils mit einer im wesentlichen einheitlichen Wülst- / Kalottenhöhe gebildet sind.

6. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bahnwerkstoff aus die folgenden Gruppe von Werkstoff ausgewählt ist: Metall, Kunststoff, faserige Stoffe, insbesondere Papier und Pappe, Fasergewebe und Maschengewebe.

7. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bahnwerkstoff in Sandwich-Bauweise gebildet ist, bei dem zwischen zwei Außenbahnen mindestens eine Zwischenbahn angeordnet ist.

8. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **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.

9. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **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.

10. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bahnwerkstoff anodisiertes Aluminiumblech ist.

11. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wellenförmigen und dreidimensional gebildete Strukturierung als selbstorganisierende Strukturierung gebildet ist.

12. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen gekrümmten Abschnitt, der wahlweise als gebogener Abschnitt ausgeführt ist und in dem eine Krümmung mit einem engen Krümmungsradius gebildet ist, wobei die Wülste und Kalotten im Bereich der Krümmung einknickfrei ausgeführt sind.

13. Materialbahn nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Krümmung in Richtung einer Wölbungen auf einer nach außen gerichteten Seite der Kalotten gebildet ist.

14. Materialbahn nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Krümmung zumindest teilweise in einer Laufrichtung gebildet ist.

15. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe der Wülste in und quer zur Laufrich-

tung in einem Verhältnis von höchstens etwa 1:1.5 (Wulsthöhe in Laufrichtung : Wulsthöhe quer zur Laufrichtung), bevorzugt von höchstens etwa 1:1.3 und weiter bevorzugt höchstens etwa 1:1.1 stehen.

16. Materialbahn nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Verhältnis (Krümmungsradius / Materialdicke) eines Wertes für den Krümmungsradius im Bereich der Kalotten zum Wert der Materialdicke einer verwendeten Werkstoffbahn wenigstens etwa 8, bevorzugt wenigstens etwa 10 und weiter bevorzugt wenigstens etwa 15 beträgt.

17. Artikel, bei dem zumindest eine Artikelabschnitt unter Verwendung einer Materialbahn nach einem der Ansprüche 1 bis 16 gebildet ist.

18. Artikel nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit dem Artikelabschnitt ein Rohrabschnitt gebildet, welcher einen wahlweise oval oder rund ausgeführten Querschnitt aufweist.

19. Artikel nach Anspruch 17 oder 18, ausgeführt als Artikel ausgewählt aus der folgenden Gruppe von Artikeln: Lichtreflektorbauteil, Crashbauteil für ein Fahrzeug, insbesondere Motorhaubenbauteil, Dose und Rohrbauteil wie Ionenstrahlring-Rohr oder Ausgasungsrohr.

20. Verfahren zum Herstellen einer strukturierten Materialbahn, insbesondere einer strukturierten Blechmaterialbahn, bei dem eine Materialbahn aus einem Bahnwerkstoff mittels Wülsten und von den Wülsten eingeschlossenen Kalotten mit einer wellenförmigen und dreidimensional gebildeten Strukturierung versehen wird, wobei die Wülste zusammenhängend und mit einer Krümmung gebildet werden, die entgegengesetzt zur Krümmung der Kalotten ist.

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wellenförmige und dreidimensional gebildete Strukturierung unter Ausnutzung eines selbstorganisierenden Strukturierungsprozesses des Bahnwerkstoffes gebildet wird.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste und die Kalotten gebildet werden, indem die Materialbahn gekrümmt und anschließend durch eine äußere Druckbeaufschlagung auf einer Innenseite zuerst gegen eine elastische Zwischenlage, die auf starren Stützelementen angeordnet ist, und dann gegen die starren Stützelemente gedrückt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elastische Zwischenlage eine Zwischenlage aus einem Werkstoff oder einer Kombination von Werkstoffen der folgenden Gruppe von Werkstoffen verwendet wird: Elastomer, flexibler Werkstoff und faseriger Werkstoff.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur äußeren Druckdruckbeaufschlagung ein Druckbauteil aus einem Elastomer oder einem Wirkmedium verwendet wird.

25. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die starren Stützelemente auf einem Kern oder in einem Werkzeug angeordnet werden, welcher / welches eine einer gewünschten Wulststruktur der Wülste angepasste Kontur aufweist.

26. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wellenförmige und dreidimensional gebildete Strukturierung mit einer geringen Krümmung (*"Coilset* ") gebildet wird.

27. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 20 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wülste in und quer zur Laufrichtung mit einer Wulsthöhe in einem Verhältnis von höchstens etwa 1:1.5 (Wulsthöhe in Laufrichtung : Wulsthöhe quer zur Laufrichtung), bevorzugt von höchstens etwa 1:1.3 und weiter bevorzugt höchstens etwa 1:1.1 gebildet werden.

28. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 20 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kalotten mit einem Krümmungsradius gebildet werden, welcher zu einem Wert der Materialdicke einer verwendeten Werkstoffbahn in einem Verhältnis (Krümmungsradius / Materialdicke) von wenigstens etwa 8, bevorzugt von wenigstens etwa 10 und weiter bevorzugt von wenigstens etwa 15 steht.

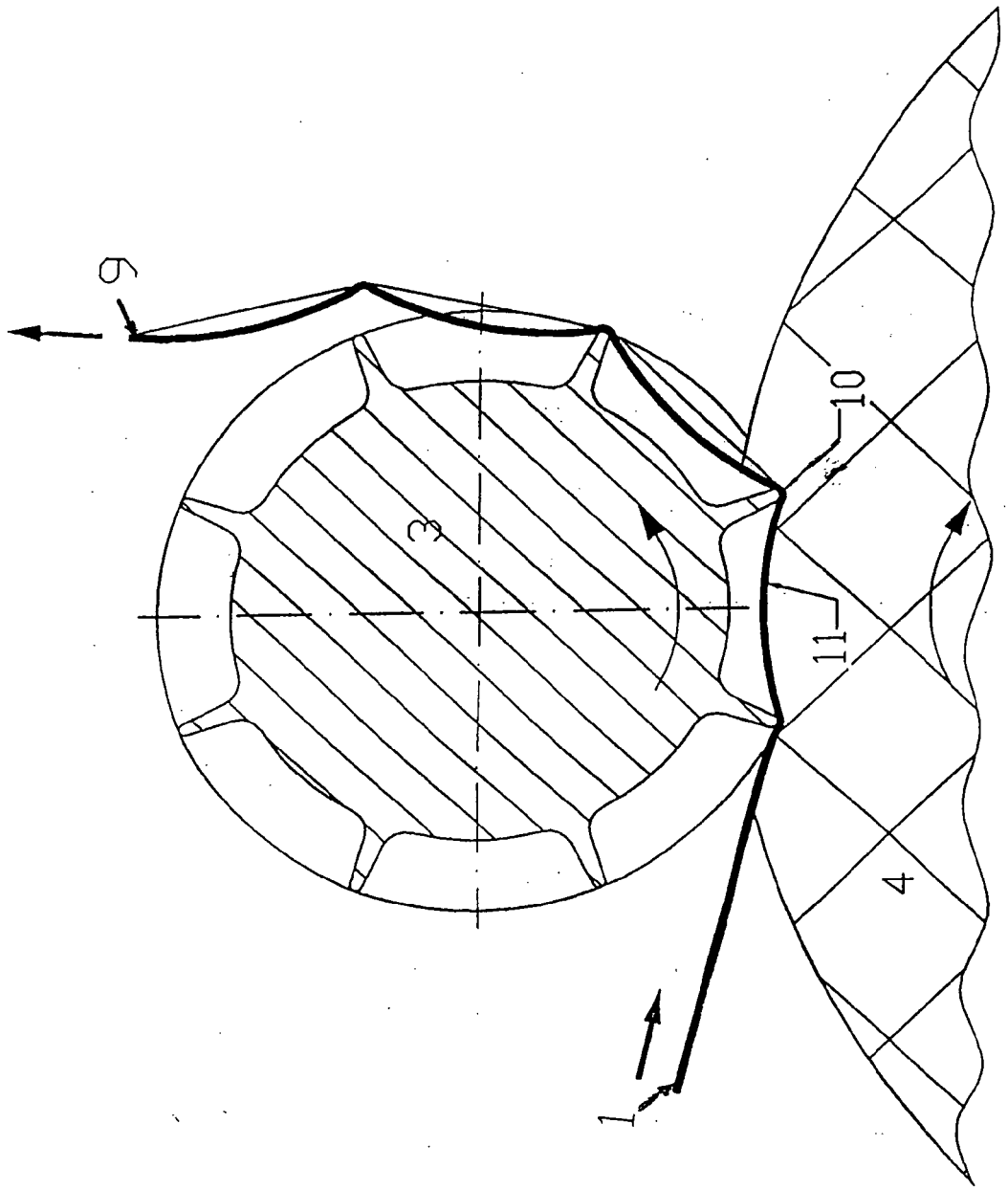


Fig. 1

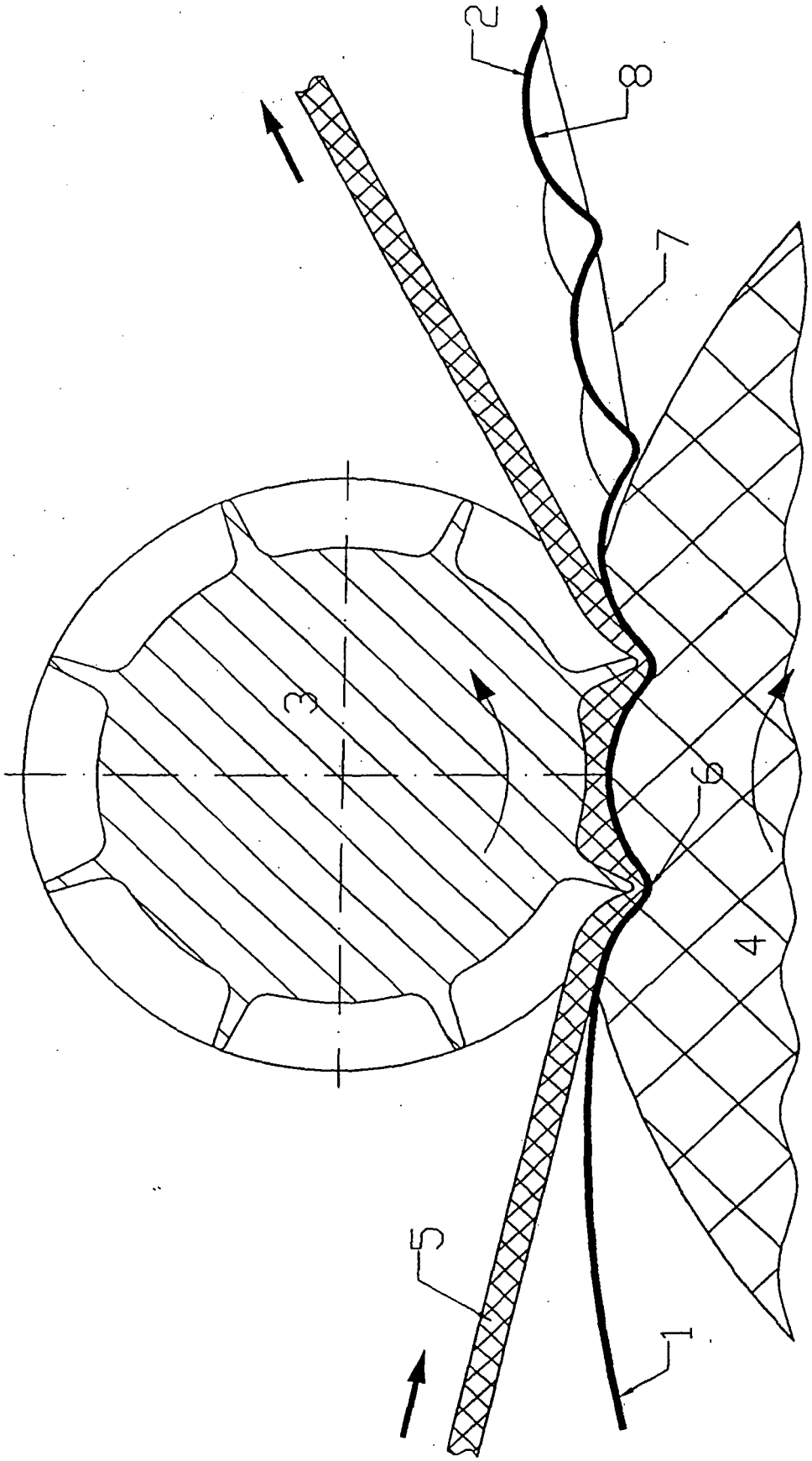


Fig. 2

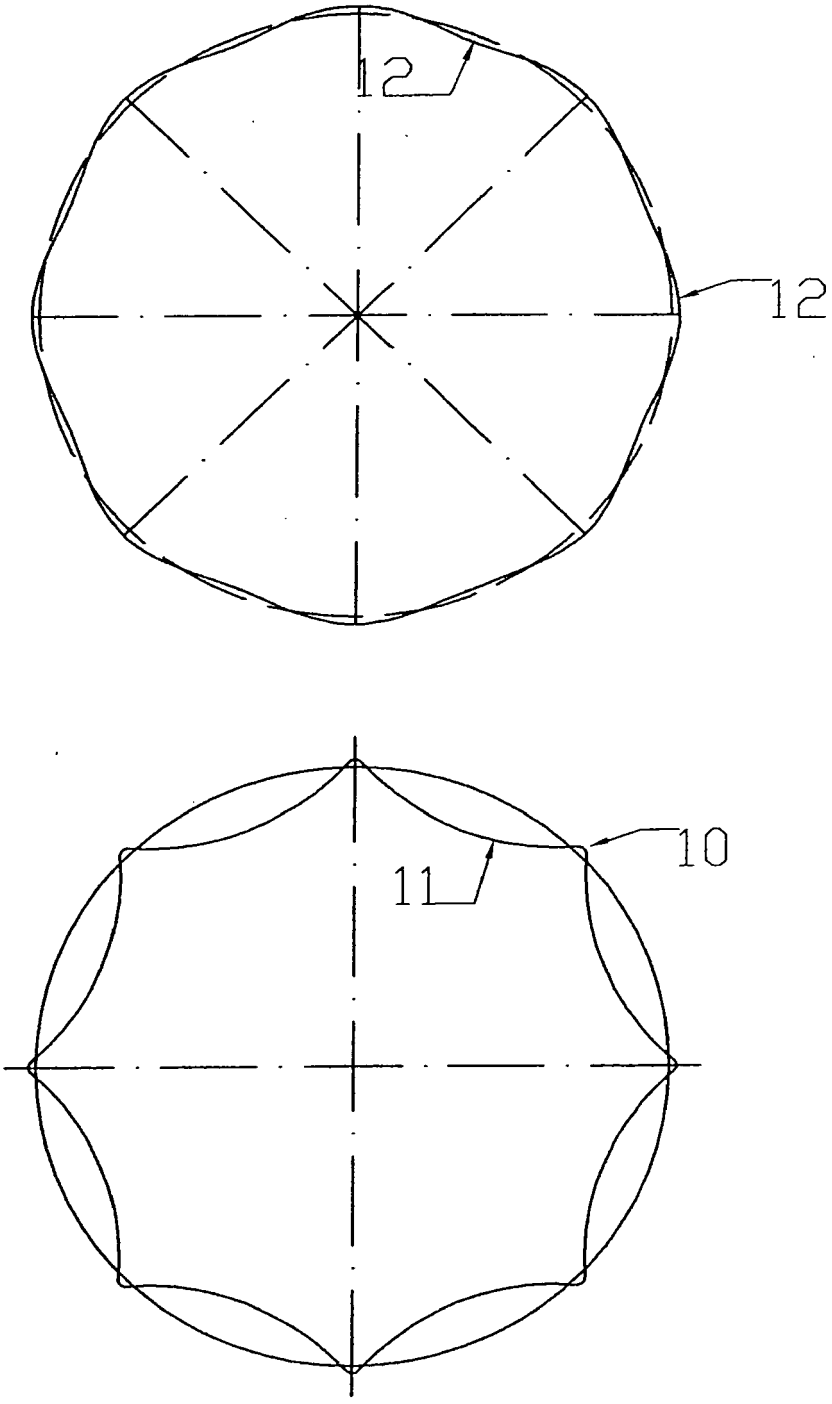


Fig. 3

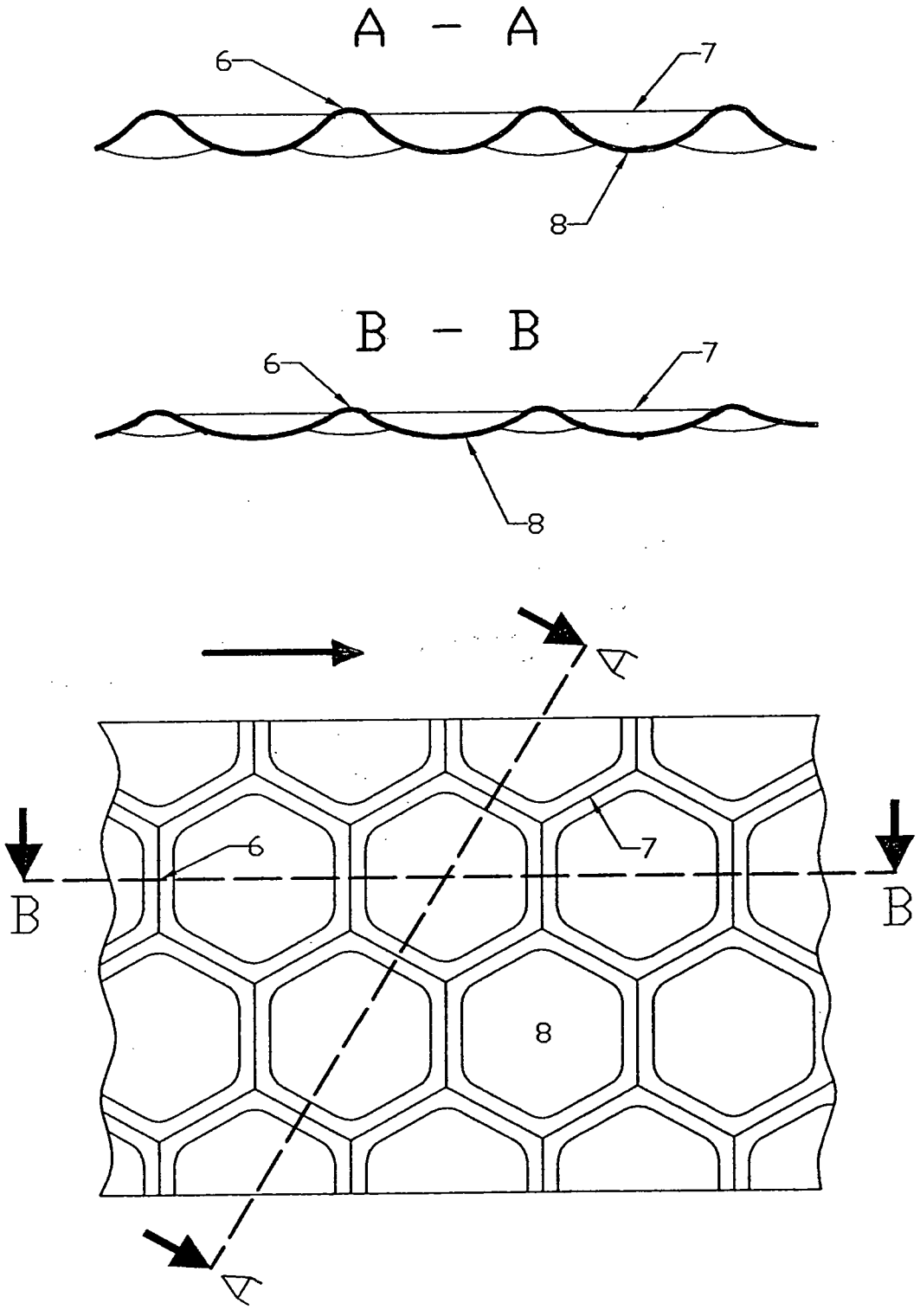
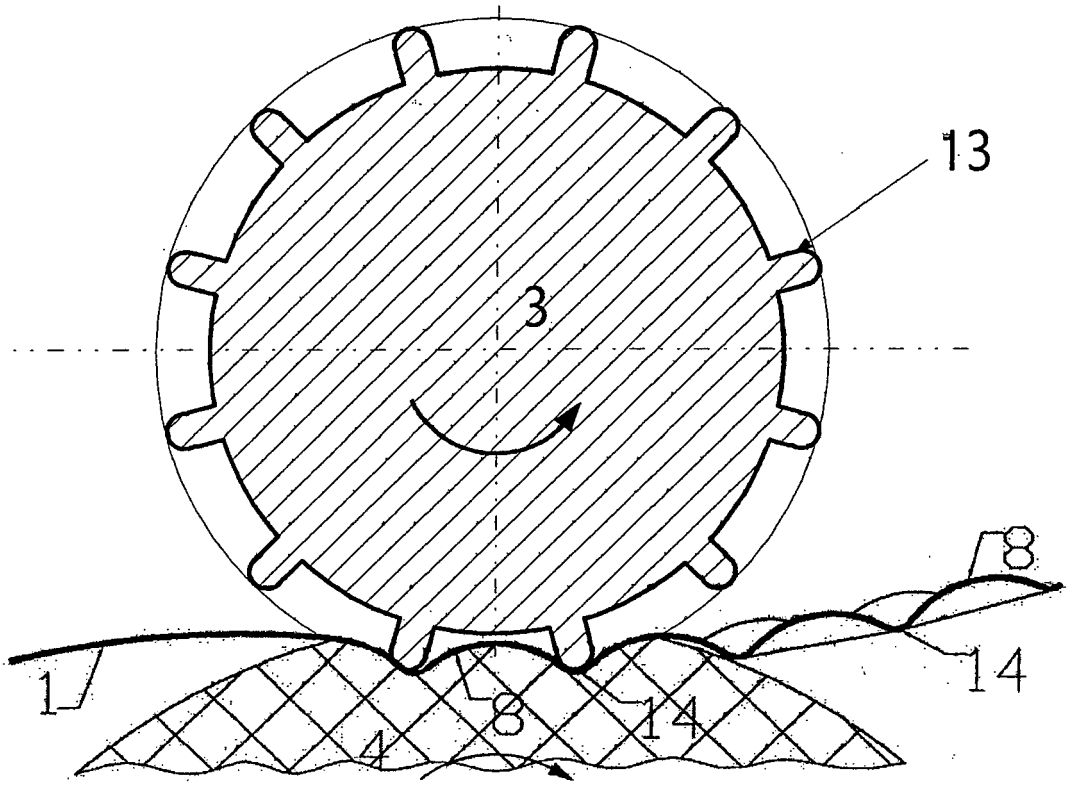


Fig. 4



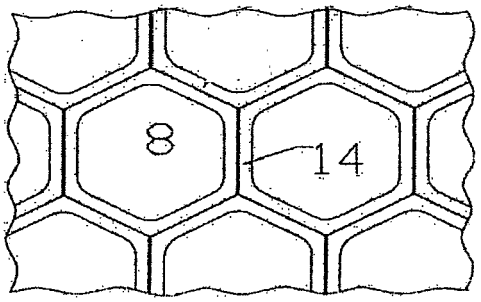


Fig. 5

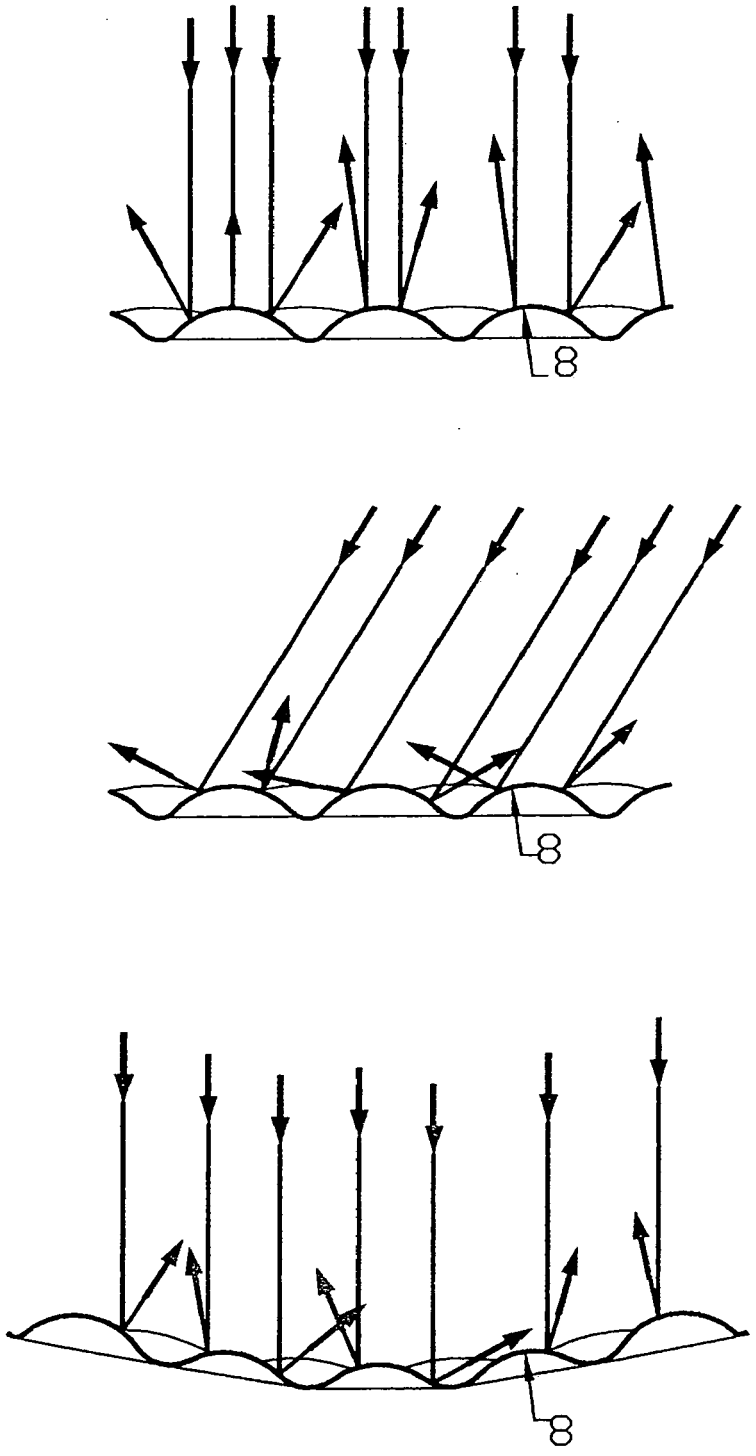
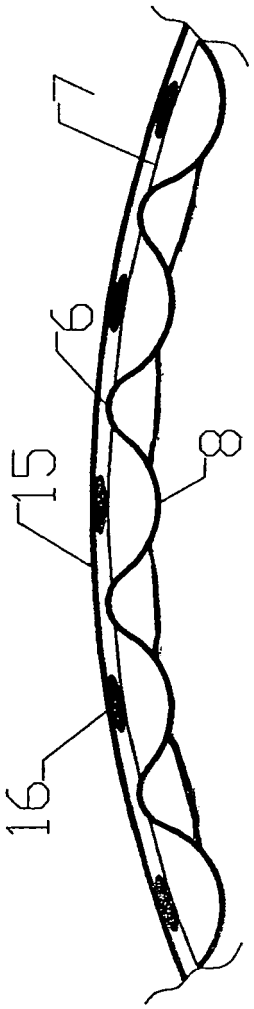


Fig. 6



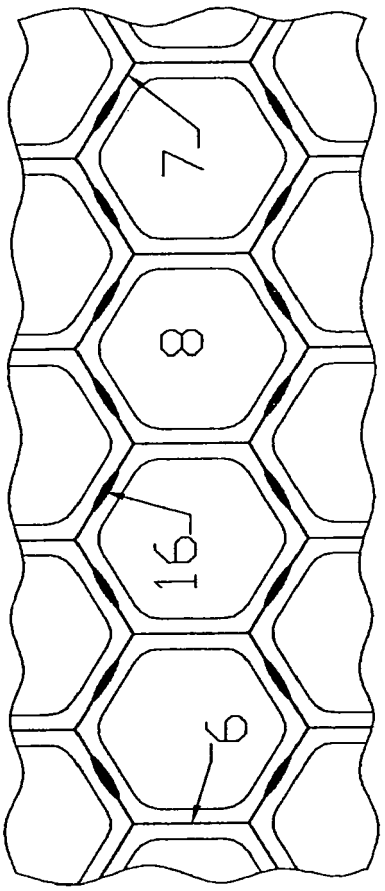


Fig. 7

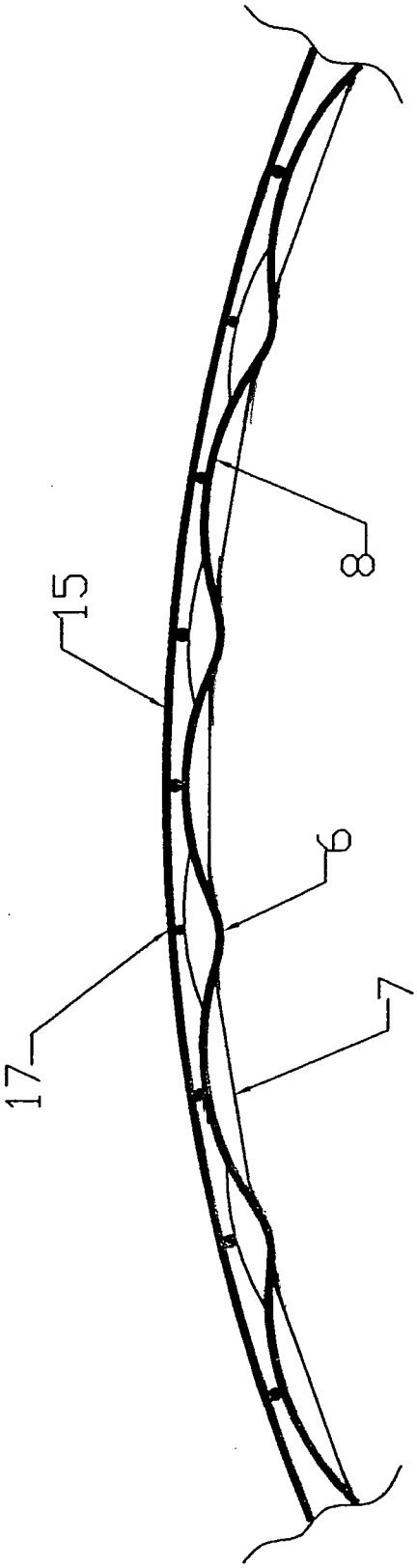


Fig. 8

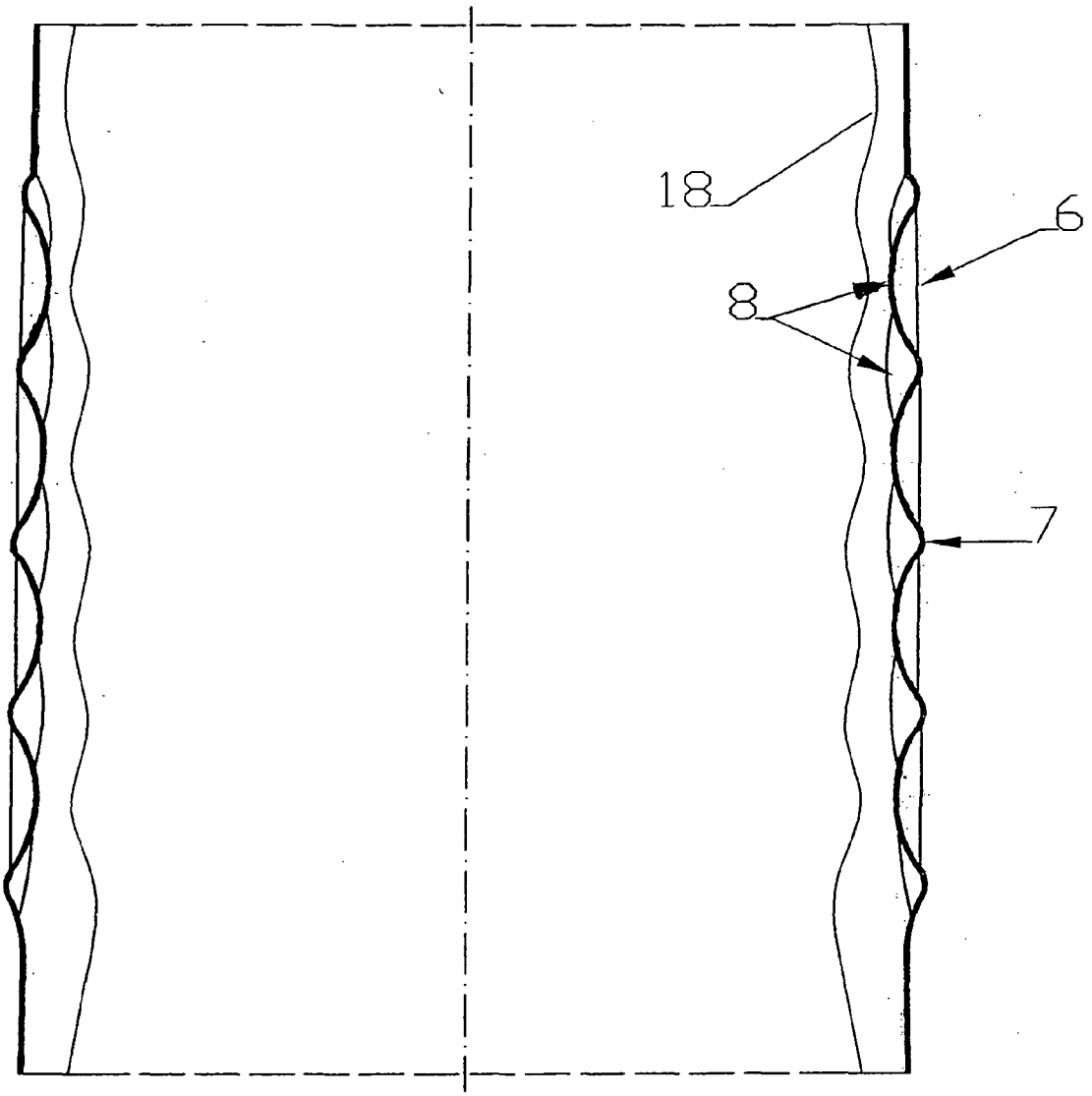


Fig. 9

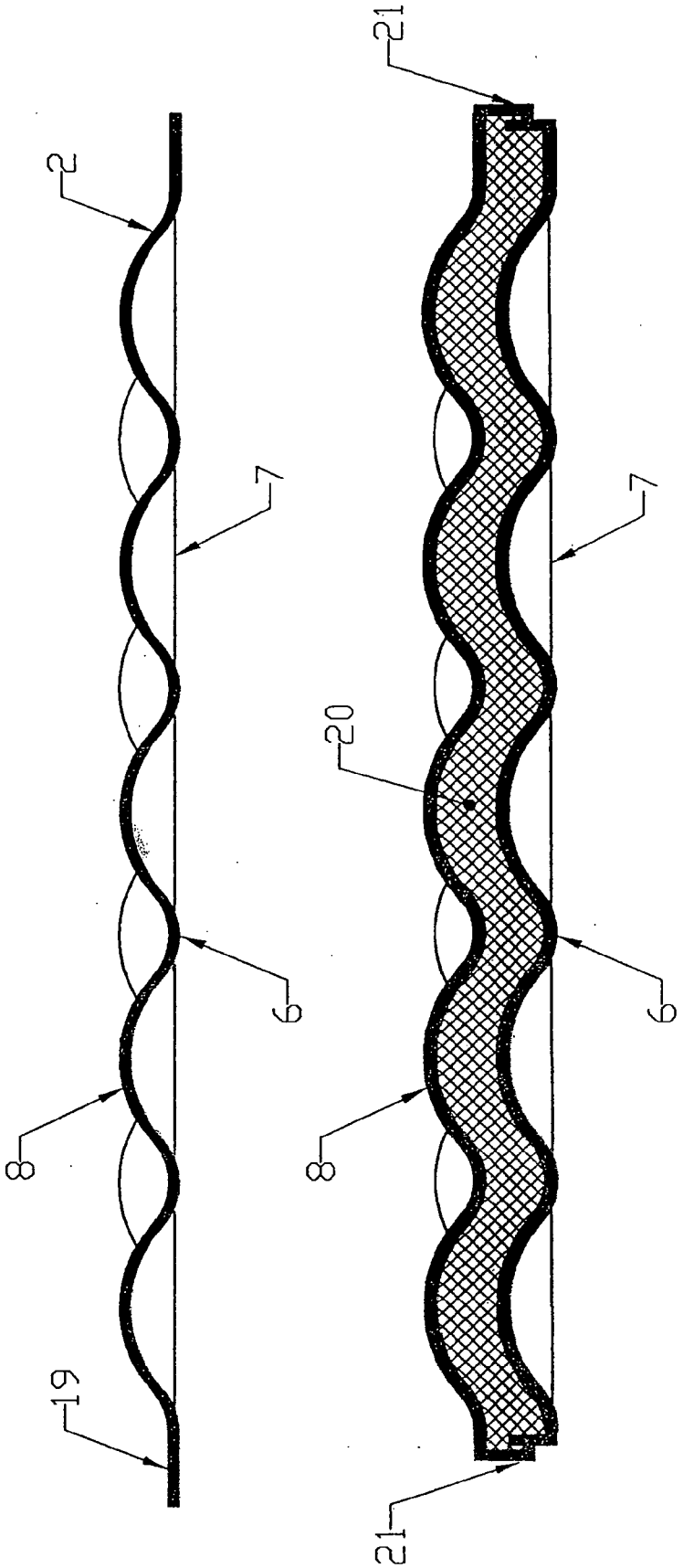


Fig. 10

Schnitt A-A

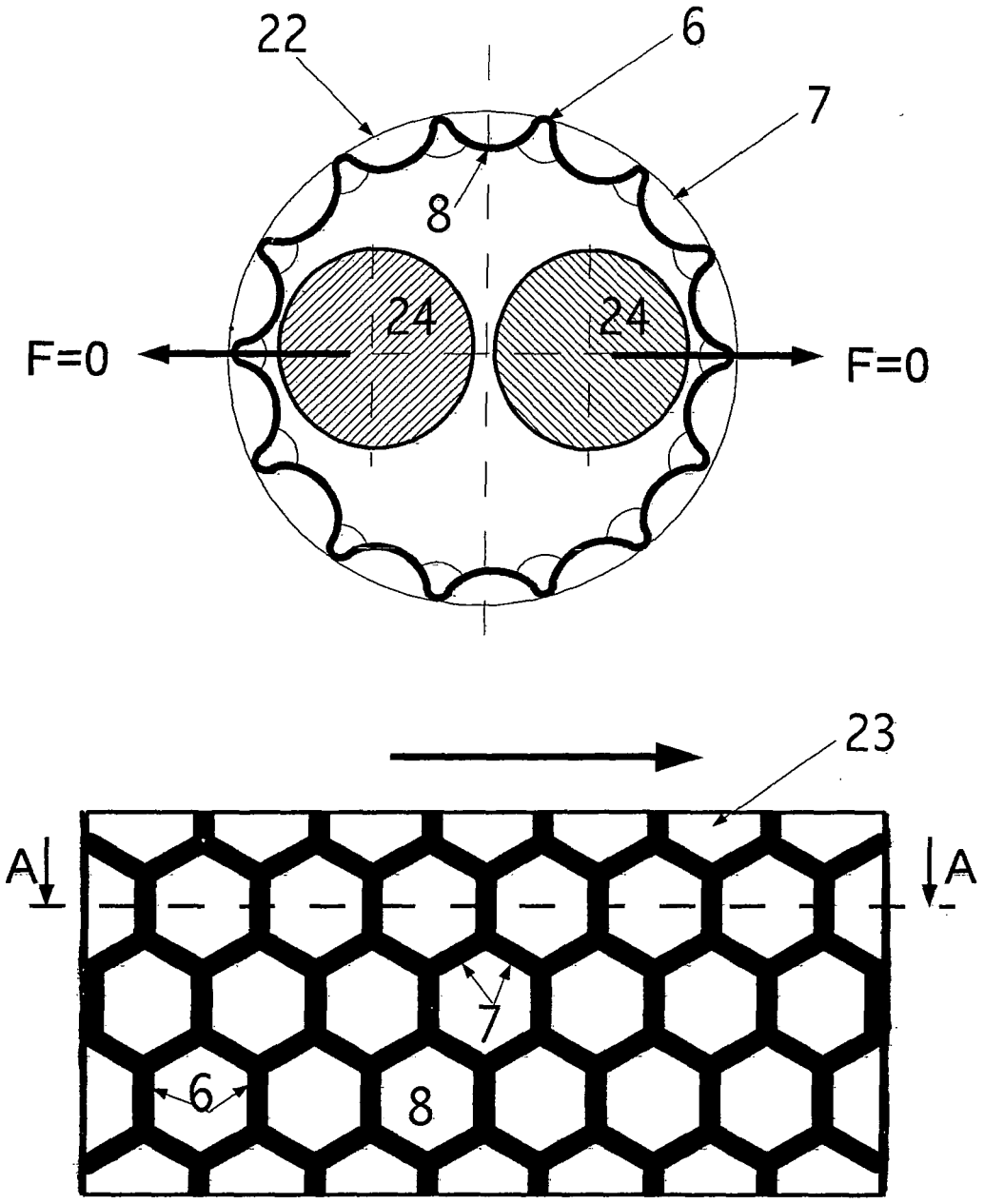


Fig. 11

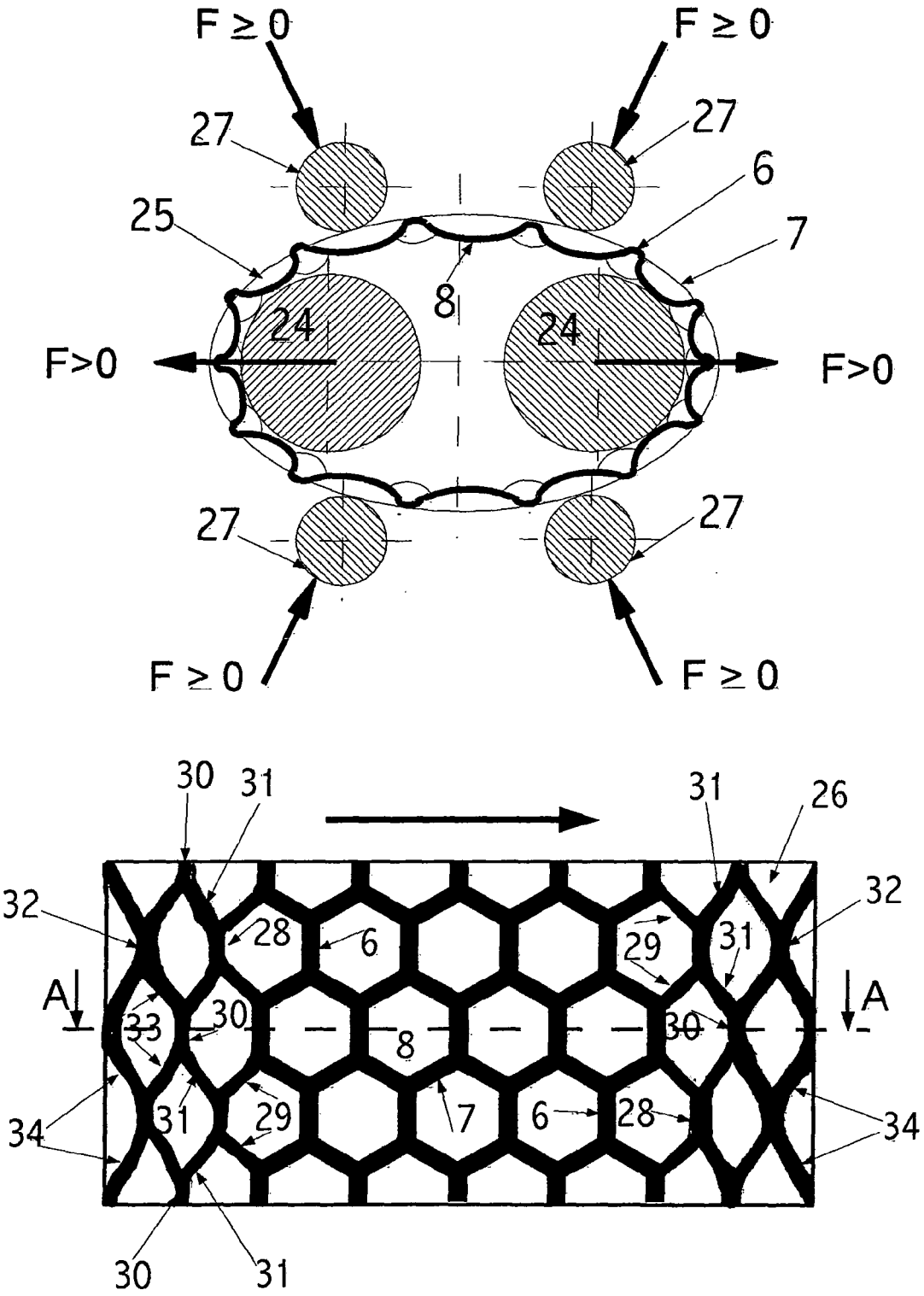
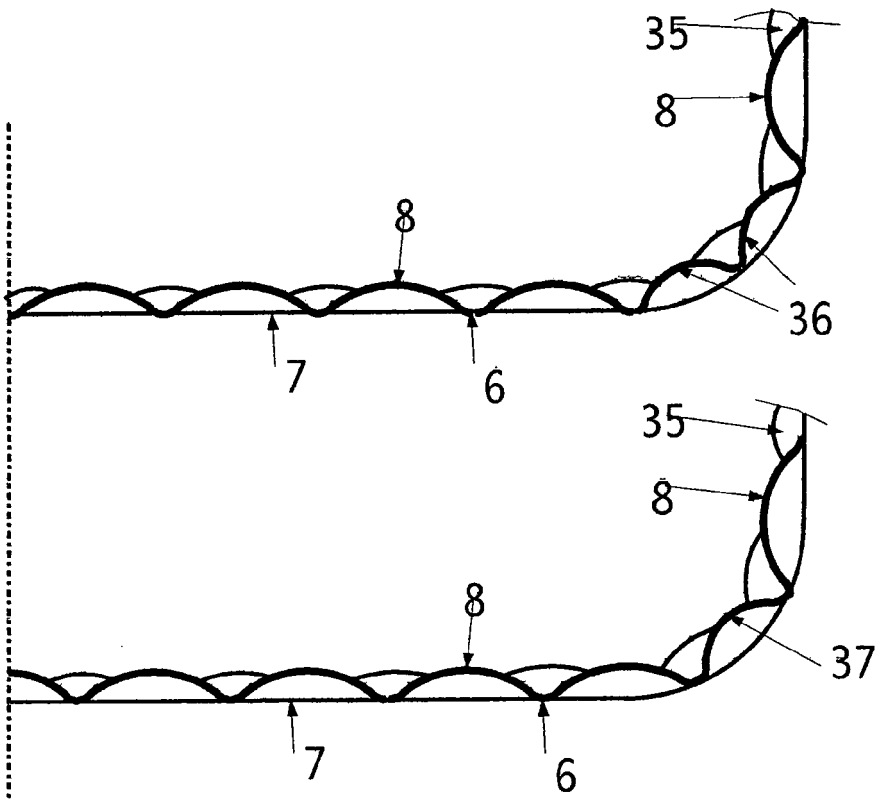

Schnitt A-A
F ≥ 0
F ≥ 0
27
27
6
25
7
8
24
24
F>0
F>0
27
27
F ≥ 0
F ≥ 0
30
31
31
26
32
32
28
6
29
31
A
A
33
30
30
8
34
34
31
29
7
6
28
30
31

Fig. 12



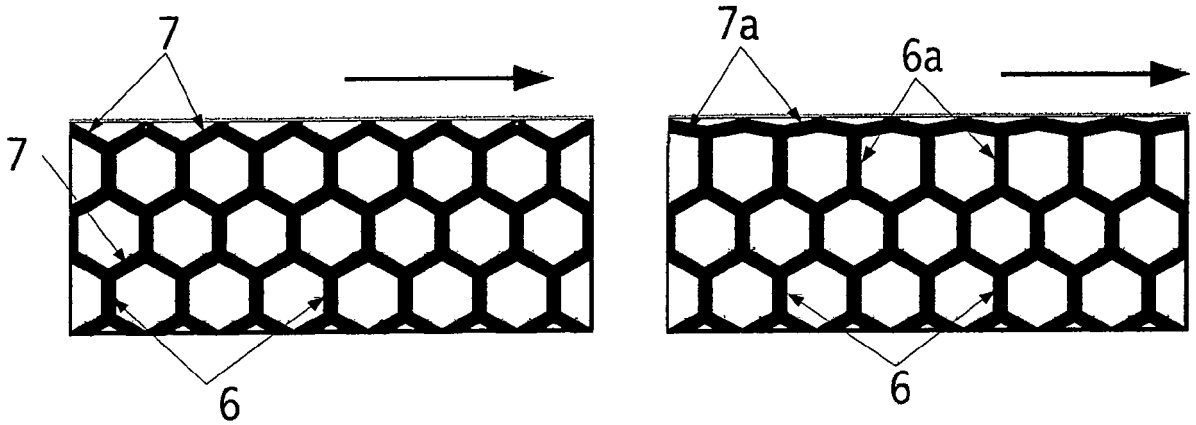


Fig. 13

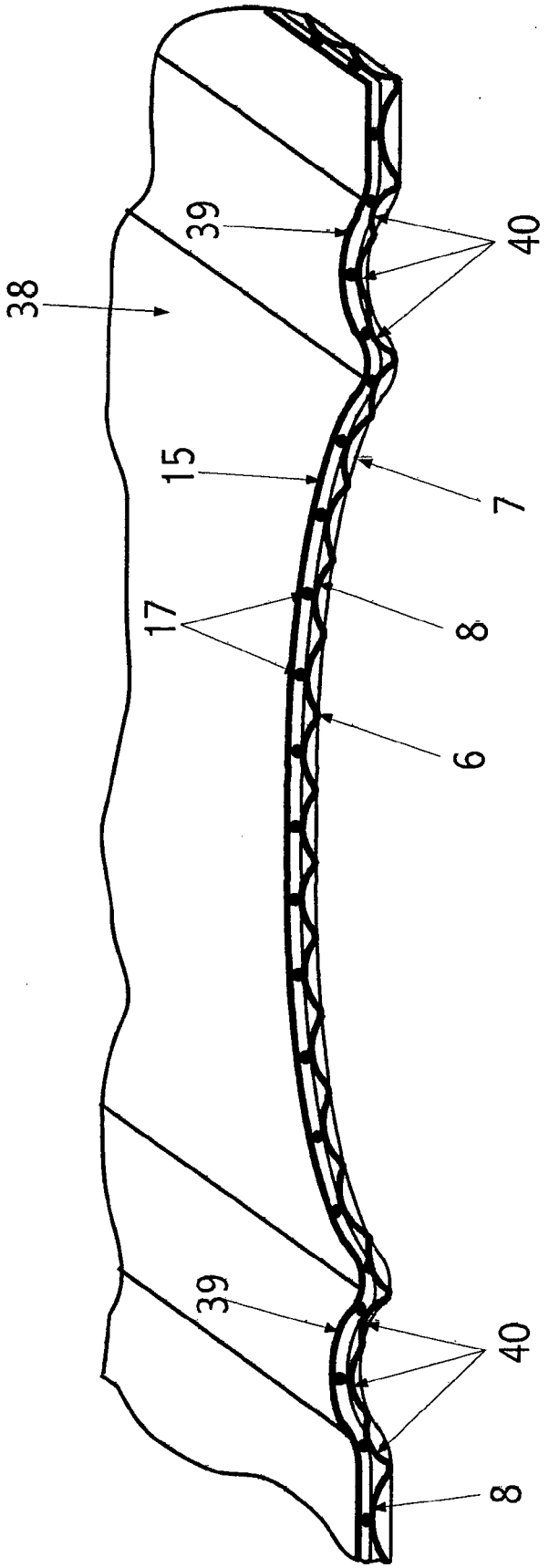


Fig. 14

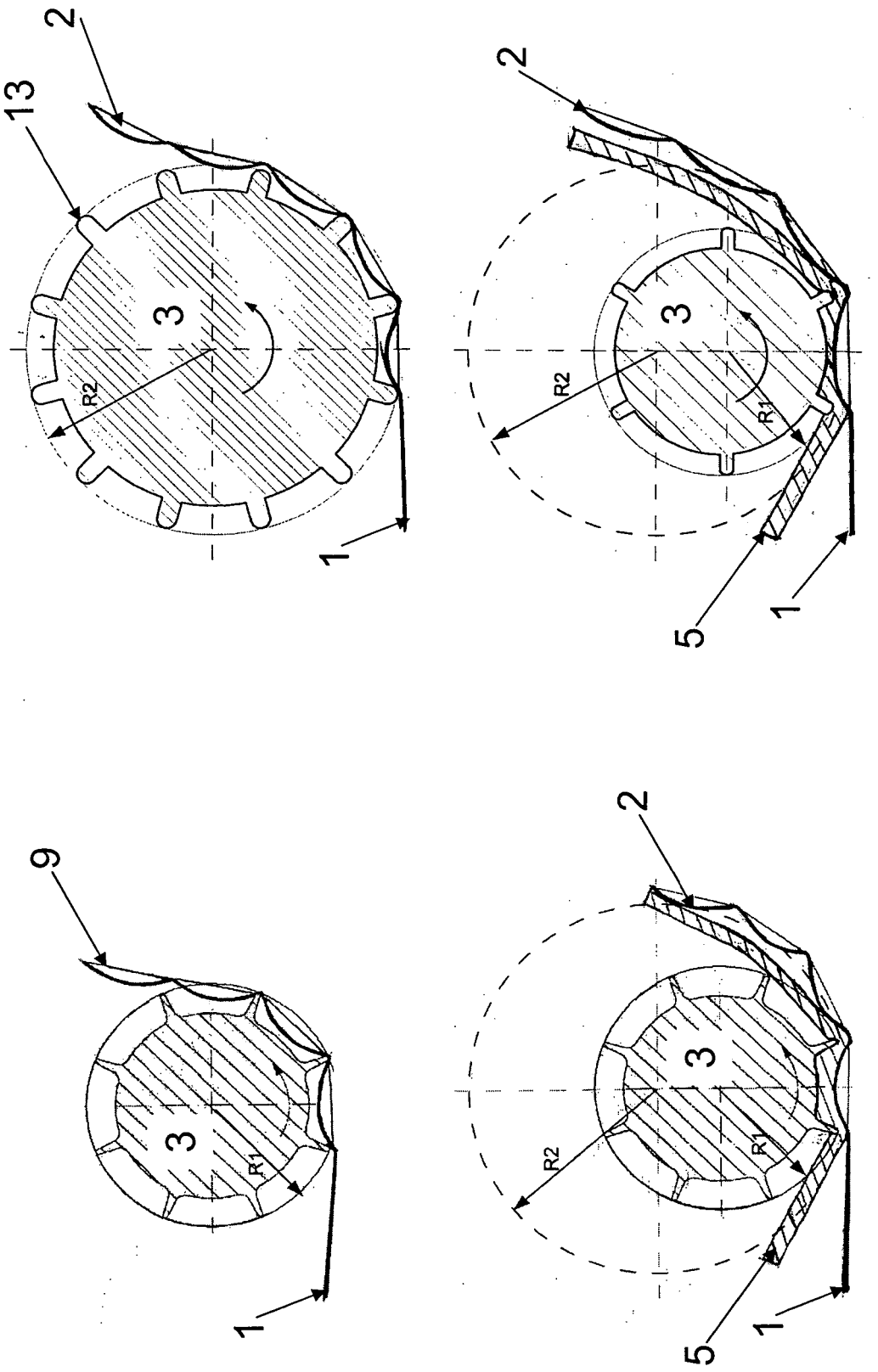


Fig. 15

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]**
- EP 0888208 A **[0011]**
- DE 19847902 B4 **[0013]**
- DE 10051946 A1 **[0034] [0035] [0036]**
- DE 10249682 A1 **[0036]**
- DE 10259591 A1 **[0058]**
- DE 102004044550 A1 **[0058]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **I. PRIGOGINE et al.** Dialog mit der Natur. *Serie Piper, SP1181,* 21, 152 **[0005]**
- Corrugated Sheet Metal on the Basis of self organization. **F. MIRTSCH et al.** First International Industrial Converence Bionic. Hannover Messe, 2004, vol. 15, 299-313 **[0005]**
- Design and study of a superferric model dipole and quadrupole magnets for the GSI fast-pulsed synchrotron SIS 100. **A. KOVALENCO.** Proceedings of EPAC. Lucerne, 2004, 1735-1737 **[0037]**