



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE



⑪ CH 680828 A5

⑤① Int. Cl.⁵: A 43 B 13/20**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

⑳ Numéro de la demande: 395/89

㉔ Date de dépôt: 03.02.1989

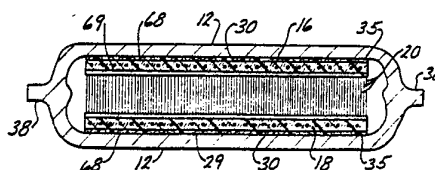
③① Priorité(s): 05.02.1988 US 147131
19.01.1989 US 297910

㉔ Brevet délivré le: 30.11.1992

④⑤ Fascicule du brevet
publié le: 30.11.1992㉔ Titulaire(s):
Marion Franklin Rudy, Northridge/CA (US)㉔ Inventeur(s):
Rudy, Marion Franklin, Northridge/CA (US)㉔ Mandataire:
Dipl.-Ing. ETH H. R. Werffeli, Zollikerberg⑤④ **Enveloppe sous pression et son procédé de fabrication.**

⑤⑦ L'enveloppe sous pression interne est formée d'un matériau élastomère (12) ayant des surfaces interne et externe distantes. Ses faces internes sont collées aux faces externes de deux nappes d'étoffe (16, 18) qui sont reliées l'une à l'autre par des fils de liaison (20) qui empêchent un écartement des nappes d'étoffe au-delà d'une valeur prédéterminée. De cette manière, le coussin d'amortissement peut avoir des surfaces parallèles et une faible épaisseur, même lorsque la pression interne d'un est très élevée.

Application aux semelles de chaussures.



Description

La présente invention concerne une enveloppe sous pression interne, ayant des surfaces interne et externe distantes et qui est particulièrement adaptée à une utilisation comme dispositif d'amortissement tel qu'une première ou un autre élément de chaussure.

On a rencontré jusqu'à présent des difficultés considérables à fabriquer des enveloppes multicouches sous pression interne, l'enveloppe ayant une surface plate ou de profil uniforme et pouvant être mise sous une pression relativement élevée. Jusqu'à présent, la plus grande partie de l'énergie d'impact et de choc qui a été absorbée, redistribuée et accumulée, a été perdue au lieu d'être retransmise sous forme utile, car l'ensemble a dû être enrobé dans une mousse viscoélastique jouant le rôle d'un modérateur destiné à donner la surface lisse ou profilée voulue.

Il n'a pas été possible de réaliser simplement un produit dans lequel la plus grande partie du matériau de support de charge du produit (c'est-à-dire plus de 60%) est du gaz sous pression. Dans un produit connu, moins de 40% de l'énergie d'impact appliquée à la structure a été restituée sous forme avantageuse, efficace et confortable, le reste de l'énergie étant absorbé et dissipé sous forme de chaleur. La réalisation selon l'invention peut restituer sous forme utile jusqu'à 92% de l'énergie qui serait autrement perdue. En outre, un amortissement et une souplesse excellents sont aussi obtenus et réduisent notablement les forces perturbatrices d'impact et de choc appliquées aux pieds et aux jambes, jusqu'à des valeurs inférieures à 12 G.

Le nouveau produit a été mis au point à cause des difficultés rencontrées, avec les produits connus, pour la réalisation de structures gonflées qui soient légères, de longue durée d'utilisation et sous pression élevée, destinées à être utilisées dans les chaussures et analogues, possédant un degré élevé d'élasticité et de souplesse, dans lesquelles l'énergie des chocs absorbée, redistribuée et accumulée lors d'un impact est efficacement restituée sous forme d'énergie utile de façon régulière, à une vitesse supérieure ou égale à celle à laquelle la charge appliquée est supprimée du dispositif. Le succès de ce nouveau produit repose sur la résolution de plusieurs problèmes fondamentaux: 1) la séparation (déitement) de l'élément résistant à la traction (couche d'étoffe ayant des fils de liaison) et la couche écran contenant le gaz, sous l'action des charges élevées observées dans des conditions de fatigue cyclique à long terme, 2) la défaillance des fils de liaison due à la fatigue provoquée par l'écrasement, l'abrasion et la flexion, 3) la défaillance des fils de liaison due à la dégradation hydrolytique, 4) la rupture du matériau écran sous l'action de contraintes hydrolytiques, de bactéries et de champignons, 5) l'effilochage des éléments résistant à la traction qui sont immédiatement adjacents aux bords coupés d'une étoffe, lorsqu'ils sont soumis à des charges élevées et à un fléchissement et une flexion 6) la défaillance du film formant écran par perforation et abrasion, 7) les fuites de gaz sous

pression au niveau du joint périphérique, sous l'action des filaments des fibres partant des côtés de l'étoffe résistant à la traction et piégés dans le joint périphérique et créant ainsi des ponts permettant la formation de minuscules trajets de fuite par lesquels le gaz comprimé peut s'échapper lentement.

En plus des problèmes précédents, l'un des défis à relever a été la réalisation d'un dispositif étanche d'amortissement gonflé de manière permanente, ayant des surfaces plates, contrairement aux chambres tubulaires ou arrondies, et pouvant être fabriqué avec une épaisseur relativement faible de manière qu'il assure un support et un amortissement pneumatiques à 100%, et ayant une résistance suffisante à la fatigue pour qu'il résiste à des millions de cycles de compression pendant l'utilisation. Dans le cas des articles pour le grand public, notamment les chaussures, une durée d'utilisation de plusieurs années est primordiale. En outre, ce produit doit garder les propriétés originales et avantageuses d'amortissement sans dégradation notable pendant toute sa durée d'utilisation. Ainsi, une diminution ou une augmentation notable de pression au cours du temps n'est pas acceptable surtout pour les produits pour le grand public. Il est aussi souhaitable qu'un produit gonflé soit capable de supporter des charges localisées relativement élevées sans atteindre une limite d'écrasement ou talonnement, par exemple dans le cas des forces appliquées dans les activités athlétiques.

Par exemple, dans la course à pied et d'autres événements sportifs qui mettent en œuvre la course ou le saut, des forces localisées importantes sont appliquées lors du choc d'un talon ou d'une poussée. Si le dispositif d'amortissement atteint sa limite d'écrasement, la totalité de la fonction du coussin d'amortissement est compromise. Dans la plupart des conditions rencontrées, pour que cette limite d'écrasement ne soit pas atteinte, le produit gonfle peut être mis sous une pression élevée. Une autre approche souhaitable est l'utilisation de chambres plus petites gonflées à des pressions plus basses et disposées au-dessous de la surface qui encaisse les forces de manière que le volume d'accumulation dans lequel le gaz peut s'échapper soit faible ou nul. Une mise à pression relativement élevée des dispositifs gonflés connus ayant des chambres tubulaires arrondies donne une sensation inconfortable, à moins qu'ils ne soient enrobés dans une mousse ou utilisés avec un autre type d'éléments modérateurs de profil et de surface.

La courbe charge-fléchissement de ce produit résistant à la traction a des caractéristiques d'amortissement totalement nouvelles, originales et avantageuses qui n'ont pas pu être obtenues avec les dispositifs connus d'amortissement.

Les caractéristiques de fléchissement sous charge du dispositif décrit dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 183 156 donnent un support à amortissement très doux sous de faibles charges. Lorsque les charges augmentent progressivement, la force de support augmente de manière linéaire ou exponentielle. Ce type de caractéristiques force-fléchissement convient dans de nombreuses applications. Cependant, il existe d'autres applications

dans lesquelles il est très souhaitable que le dispositif pneumatique d'amortissement sous pression présente initialement un support d'amortissement très ferme sous l'action de charges faibles à modérées par compression, avec un degré de support plus grand que le produit de la surface de la force appliquée par la pression interne de travail. Ensuite, lorsque les forces de compression appliquées sont plus élevées, le dispositif passe automatiquement, pour une charge prédéterminée, d'un support ferme d'amortissement analogue à celui d'une plaque à un niveau de support doux, relativement progressif et augmentant progressivement dans toute la plage disponible de déplacement du dispositif gonflé.

Ce type de support d'amortissement recouvre une nouvelle technologie notablement différente de la technique antérieure. Des produits nouveaux et très utiles peuvent être maintenant réalisés alors qu'ils n'ont pas pu l'être selon la technique antérieure.

Ainsi, un produit mis essentiellement sous une pression préalable permanente, ayant des avantages par rapport aux produits gonflés connus, est nécessaire. Bien entendu, des considérations pratiques imposent la fabrication de tels produits à un coût relativement faible, en quantité relativement grande et avec une qualité très élevée assurant que le produit n'a pas de fuite et a une durée acceptable d'utilisation même lorsqu'il est incorporé sous forme permanente ou solidaire à une chaussure. Il est avantageux qu'il puisse constituer un organe d'amortissement sous pression qui puisse être réalisé avec divers profils, configurations, et épaisseurs.

La présente invention remédie aux inconvénients de la technique antérieure décrite précédemment ainsi qu'à d'autres. L'invention est définie dans les revendications 1 et 50. La structure à deux nappes d'étoffe comporte une première et une seconde couche d'étoffe qui sont normalement maintenues à distance prédéterminée l'une de l'autre. Selon une forme particulièrement de l'invention des fils de liaison (ou de préférence des filés de liaison), avantageusement sous forme de fils multifilaments formés de nombreuses fibres individuelles, sont disposés à l'intérieur entre les surfaces internes ou en regard des couches respectives d'étoffe. L'utilisation de fils multifilaments de liaison est propre à ce produit. Les filaments des fils de liaison forment des dispositifs de retenue travaillant à la traction et sont fixés aux couches respectives d'étoffe. Les fils des liaisons ou dispositifs de retenue peuvent être disposés en direction nominalement perpendiculaire à la première et à la seconde couche d'étoffe, ou ils peuvent avoir un arrangement triangulaire. Il faut noter que le fil formant les fils de liaison ou dispositifs de retenue peut être séparé ou distinct du fil de la première et de la seconde couche d'étoffe, c'est-à-dire que le fil utilisé pour la première et la seconde couche d'étoffe peut être tout à fait différent du fil utilisé pour les fils de liaison ou les dispositifs de retenue, suivant l'application et les conditions d'utilisation. Ces dispositifs de retenue assurent le maintien d'une forme générale plate ou profilée de la structure gonflée et sous pres-

sion, et la liaison du revêtement externe aux faces externes ou exposées de la couche respective d'étoffe empêche la séparation du revêtement par pelage ou la séparation des surfaces externes et la formation d'un anévrisme. Selon une autre forme particulière de l'invention les fils de liaison sont disposés d'une couche d'étoffe à l'autre, travaillent purement à la traction comme dispositifs préférés de retenue et sont présents en quantité pour qu'ils maintiennent la structure à la forme plane voulue sans présenter une résistance importante à la compression vis-à-vis des deux couches externes lorsqu'elles se rapprochent l'une de l'autre. Ainsi, les dispositifs de retenue ont une très faible résistance à la compression et une résistance très élevée à la traction et ne constituent donc aucun support notable en compression sous l'action des charges externes, si bien que leur résistance à la fatigue est considérable. C'est le gaz sous pression qui assure le support d'amortissement à 100% dans le cas de très fortes charges de compression de type cyclique, pendant toute la durée d'utilisation. Le gaz sous pression a littéralement une résistance infinie à la fatigue. Ainsi, grâce à la séparation des éléments qui encaissent les forces de compression et de traction dans le dispositif, des résultats originaux et très avantageux sont obtenus. Le produit résultant a une résistance à la fatigue qui est un multiple élevé de ce qui est possible par ailleurs. La région comprise entre les surfaces internes des couches d'étoffe est pratiquement libre afin qu'elle permette le déplacement du gaz dans la chambre sous pression.

Les couches externes scellées hermétiquement formant des écrans, qui retiennent le gaz, sont de préférence formées d'un matériau élastomère composite semi-perméable qui est pratiquement imperméable aux gaz qui ne sont pratiquement pas polaires et qui peuvent en outre avoir de très grandes dimensions moléculaires. Les couches externes formant écran règlent aussi la vitesse de diffusion de N₂ et O₂ vers l'intérieur et vers l'extérieur ainsi que des autres constituants gazeux de l'air ambiant, en fonction du pourcentage de constituants cristallins dans le constituant élastomère de la couche écran. En conséquence, cette couche écran externe a une fonction secondaire très importante puisqu'elle est légèrement perméable à certains autres gaz, tels que l'oxygène. Grâce à cette matière, une diffusion sélective d'oxygène vers l'intérieur est obtenue à partir de l'air ambiant et, grâce aux pressions partielles, a tendance à augmenter la pression totale dans l'enceinte déjà sous pression. Ceci est décrit en détail par exemple dans les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 4 340 626, 4 183 156, 4 271 606 et 4 219 945. Ces documents décrivent le film écran, le gaz de mise sous pression et le phénomène physique, utilisé pour le pompage par diffusion et la diffusion activée du gaz à travers la couche écran semi-perméable.

Les structures selon l'invention sont particulièrement originales et conviennent particulièrement bien lors qu'elles doivent absorber et amortir des forces d'impact dans un espace limité et doivent ensuite rendre l'énergie qui serait autrement perdue, d'une

manière utile. Cette structure présente un avantage supplémentaire car elle a une masse notablement réduite par rapport aux structures connues, si bien que des éléments ou parois de retenue de pression ayant de faibles pertes d'énergie par hystérésis lorsqu'ils fléchissent sont réalisés. Du gaz à une pression au moins égale à 0,14 bar et de préférence supérieure à 1,05 bar, assure un amortissement excellent et confortable et la restitution de l'énergie emmagasinée d'une manière élastique, efficace, avantageuse et indéfinie. Lorsque la structure selon l'invention est mise à une pression dépassant 2,8 à 3,5 bars, la structure restitue jusqu'à 92% de l'énergie d'un impact.

En conséquence, lorsqu'une masse ayant la configuration, la masse et la vitesse d'un exemple de pied humain lors d'un choc du talon tombe d'une hauteur d'environ 60 cm sur une structure convenablement réalisée selon l'invention, mise à une pression d'environ 3,85 bars, le poids est d'abord bien amorti grâce à la force d'impact, si bien que les forces d'accélération agissant sur le poids sont comprises entre 9 et 12 G. Ensuite, presque toute l'énergie de l'impact qui est absorbée, redistribuée et accumulée dans le dispositif pendant la partie descendante de compression du cycle (c'est-à-dire environ 92%) est restituée très efficacement au poids si bien que celui-ci rebondit à 92% environ de la hauteur originale de chute soit 55 cm. Le terme «souplesse» est utilisé pour désigner la combinaison de ces deux facteurs, c'est-à-dire l'amortissement et l'élasticité. Un produit présentant simultanément un amortissement maximal et une restitution maximale d'énergie utile ou élasticité est considéré comme possédant une bonne souplesse. Une mauvaise souplesse est évidemment opposée.

La présente invention convient parfaitement aux chaussures et autres applications semblables d'amortissement dans lesquelles il faut un confort d'amortissement, un support et une protection contre les chocs qui sont maximaux et/ou des chaussures fines, dans un minimum d'épaisseur et d'espace (c'est-à-dire avec une faible hauteur). Des dispositifs relativement épais tels que décrits dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 183 156 conviennent mal dans une grande mesure à ce type d'application. Les sommets et les creux de ce produit connu, couplés à la nécessité de l'utilisation d'un type ou d'un autre d'enrobage par une mousse ou dans un dispositif modérateur pour la formation d'une surface lisse et confortable de support, a conduit à la formation d'un produit relativement épais et encombrant pour ce type d'application.

Les surfaces plates ou de profil plan destinées à encaisser les forces selon l'invention donnent un degré nouveau et original de flottement à 100% sur un coussin d'air, de support élastique, de confort et de protection qui n'ont pas été possibles jusqu'à présent. L'invention élimine la nécessité de l'enrobage par une mousse. Cependant, dans certaines distances, il peut être souhaitable d'utiliser une mousse pour la construction de l'ensemble dans une semelle intermédiaire afin qu'elle absorbe l'humidité et augmente encore la durée d'utilisation du produit sous pression. L'utilisation de mousse permet aussi

le réglage ou l'élimination de la tendance du produit d'amortissement à présenter un gauchissement, lorsqu'il est plié avec un faible rayon.

Selon l'invention, la formation d'un ou plusieurs anévrismes constitue un défaut. Les anévrismes peuvent apparaître soit lorsqu'il existe une séparation du matériau écran des surfaces externes de l'étoffe à deux nappes, soit à la suite de la rupture des fils de liaison. Une telle rupture des fils de liaison peut être provoquée par une fatigue à la suite de la flexion et/ou une abrasion des fils de liaison, normalement appelée «défaillance par fibrillation». La fig. 30 représente une image au microscope électronique d'un exemple de défaillance par fibrillation des fibres résistant à la traction des fils de liaison placés sous l'éminence métatarsienne du pied après avoir été portés six mois environ dans des chaussures de sport de performances élevées. Comme décrit dans la suite, l'invention résout ces problèmes de durée d'utilisation du produit.

L'utilisation des fils de liaison dans une structure à deux nappes et travaillant à la tension afin qu'ils retiennent les surfaces formant écran et leur donnent leur configuration a déjà été proposée. Un exemple de l'anévrisme qui peut apparaître lorsque les fils de liaison ont une résistance mécanique insuffisante ou sont coupés délibérément, est représenté dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 205 106. Dans ce cas, le produit joue tout à fait le rôle d'un dispositif de support sans assurer de fonction d'amortissement et il ne résout pas les problèmes propres à un produit d'amortissement tel que celui de l'invention. Ce document ne concerne pas les problèmes qui doivent être résolus pour l'obtention d'un gonflage permanent et n'utilise pas le pompage par diffusion de manière utile et originale comme dans le cadre de l'invention.

L'utilisation de fils et filaments de liaison comme organes d'amortissement ou renforcement résistant à la compression dans des structures à deux nappes a été proposée, par exemple dans les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3 616 126 et 4 005 532. Ces structures connues comportent un seul brin monofilament épais de matière plastique (c'est-à-dire ayant un grand diamètre compris entre 76 et 635 μm), tissé dans un feutre rigide de support de charge de compression qui est tridimensionnel. Le premier de ces deux brevets décrit un produit de ce type qui met en œuvre totalement les caractéristiques de flambage de monofilaments de matière plastique ayant un diamètre choisi dans la structure tissée et qui sont mis en compression afin qu'ils absorbent les forces de choc par compression. Dans ce document, aucun support pneumatique n'est assuré.

Le brevet précité des Etats-Unis d'Amérique n° 4 005 532 décrit aussi une nappe rigide de support de forces de compression tissée en un brin monofilament de matière plastique de 250 μm de diamètre afin qu'un élément rapporté formant isolant thermique pour chaussures soit formé, et il est indiqué que «le matériau de séparation» (c'est-à-dire les monofilaments de matière plastique) «ont une résistance mécanique telle qu'ils empêchent la déformation des étoffes sous forme de filés l'une vers

l'autre lorsqu'elles sont soumises au poids de la personne portant les chaussures». Ceci est identique aux enseignements du brevet précédent. Ce mode de réalisation impose le recouvrement du feutre par une matière écran et la fermeture afin qu'il forme une chambre hermétique. Dans un mode de réalisation, de l'air peut rester dans la chambre afin qu'un espace mort isolant soit délimité alors que, dans d'autres modes de réalisation, l'air peut être évacué de la chambre ou remplacé par un gaz tel que CO₂ afin que le coefficient de transfert de chaleur soit inférieur à celui de l'air ambiant. Ces structures constituent de très mauvais dispositifs d'absorption des chocs qui restituent une quantité faible ou nulle de l'énergie d'impact à l'utilisateur et gaspillent et dissipent l'énergie sous forme de chaleur interne de frottement. Des essais ont montré la défaillance rapide par fatigue de ces monofilaments de matière plastique de grand diamètre qui supportent les forces de compression et qui créent des échardes effilées de matière plastique qui dépassent et qui peuvent facilement perforer le film constituant l'enveloppe en provoquant une perte de vide ou une perte d'un gaz faiblement conducteur de la chaleur. Les échardes pointues provoquent de même une pénétration, une irritation et une perforation de la peau du pied et provoquent des douleurs, une gêne et une infection possible.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 409 271 concerne un élément léger de construction. La structure décrite est composée d'un velours non taillé ayant des poils verticaux entre des nappes supérieure et inférieure. L'étoffe est rendue imperméable à l'air par un revêtement de caoutchouc qui est vulcanisé et l'étoffe est soudée au niveau d'un joint. Le produit décrit dans ce document peut être rempli d'un gaz, d'un liquide ou d'une mousse. Ce produit n'est pas destiné à être utilisé comme dispositif d'amortissement ou d'absorption de chocs, comme le dispositif selon l'invention.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 2 743 510 est analogue au précédent. Dans ce cas cependant, l'étoffe utilisée n'a pas été mise sous tension si bien que, lorsqu'elle est exposée à de la chaleur et à des forces de traction, l'étoffe s'étire.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 205 106 décrit une structure dans laquelle des cordons de liaison sont présents. Ceux-ci sont coupés afin que la rigidité du produit augmente par formation d'une partie convexe. Ceci forme en réalité un anévrisme, c'est-à-dire la situation même qui est évitée selon l'invention.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 261 776 est aussi intéressant mais il décrit un produit totalement différent. Ce produit est un matelas pneumatique autogonflable.

Selon une forme particulièrement de l'invention, les fils de liaison sont formés de nombreux filaments séparés très fins, texturés ou gonflés (et non un seul monofilament comme dans la technique antérieure), ayant chacun une résistance élevée à la traction et ayant un très faible diamètre en coupe par rapport à la technique antérieure, si bien qu'ils n'agissent pas comme des organes de compression travaillant par flambage et sont totalement inca-

pables de supporter une force notable de compression par eux-mêmes. Si les filaments se brisent, le produit résultant ne crée pas une écharde effilée qui peut perforer ou détériorer d'une autre manière l'enveloppe formant écran. Ainsi, le mécanisme de support de charge selon l'invention est tout à fait différent de la technique antérieure, et a de meilleures propriétés sur les plans de la retenue de la pression élevée, de l'encaissement des forces, de l'absorption des chocs, de la résistance à la fatigue, de l'élasticité, du gonflage permanent sur une longue période et des caractéristiques avantageuses d'accumulation et de restitution d'énergie, qui sont très supérieures à celles de la technique antérieure.

Divers matériaux sous forme de mousse contenant un gaz ont déjà été enfermés dans des compartiments étanches flexibles, comme décrit par exemple dans les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 4 590 689 et 3 914 881. Des produits de ce type sous forme d'une mousse sous pression, même contenant un gaz spécifique (brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 183 156) n'ont pas donné satisfaction parce qu'ils ont posés plusieurs problèmes: (1) la résistance à la traction des mousses à cellules ouvertes même les meilleures n'est pas suffisante pour que les pressions nécessaires de gonflage soient supportées de manière fiable pendant la durée totale d'utilisation du produit de cette manière dans une chaussure, (2) sous l'action de fortes charges cycliques de compression, caractéristiques de la frappe par le pied lors de la marche ou de la course, les parois des cellules individuelles constituant la structure 30 de la mousse présentent une abrasion et une déchirure par déplacement mutuel si bien qu'elles présentent une défaillance rapide provoquant l'apparition d'un anévrisme et/ou une perte ultérieure de pression.

On sait que la mousse de la meilleure qualité possible, lorsqu'elle est utilisée comme organe de support de charge d'amortissement travaillant à la compression (c'est-à-dire comme semelle intermédiaire ou première) dans une chaussure de sport, par exemple de course, perd un pourcentage notable de ses propriétés originales d'amortissement après quelques kilomètres de course et, après 240 km environ, 75% environ des propriétés initiales d'amortissement ont disparu. La perte d'amortissement est le résultat de la rupture interne des parois des cellules de la mousse comme indiqué précédemment. Dans cette application, la chaussure ne devient pas inutilisable à la suite de la rupture décrite sur la mousse. L'utilisateur est simplement exposé à une réduction d'amortissement (et à un moins bon support du pied) et subit ainsi des forces de choc bien supérieures. Cependant, dans le cas d'une structure sous pression, la rupture de la structure de la mousse provoque la formation d'un anévrisme en saillie ou d'un bombement sous le pied. Une défaillance de ce type (c'est-à-dire en diamètre) même extrêmement petite rend le produit douloureux au-dessous du pied et donc inutilisable.

Les pressions relativement élevées qui sont nécessaires pour l'obtention du degré voulu de support et d'élasticité posent des problèmes très impor-

tants de pelage et de délitement du film écran externe par rapport aux surfaces externes de l'étoffe à deux nappes. Il est ainsi important selon l'invention qu'une liaison robuste existe entre les surfaces externes de chacune des couches d'étoffe et la surface en regard de l'enveloppe ou couche écran. En d'autres termes, la résistance au pelage ou la force nécessaire pour la séparation des couches liées doit être très élevée pendant toute la durée de vie du produit.

On a constaté que si le fil utilisé pour la formation de l'étoffe à deux nappes et créant l'armature entre les faces de fibres dans la couche écran est dans une certaine mesure sous forme gonflée, texturée ou pelucheuse ou est formé d'au moins 20% de filaments discontinus, si bien que le fil présente un degré élevé d'ouverture, avec présence de nombreuses boucles et/ou spirales de vrilles de petit diamètre ou d'autres vrilles et saillies d'un matériau filamenteux dépassant légèrement des surfaces externes des couches d'étoffe, la liaison obtenue peut être considérablement améliorée. En outre, les vrilles dépassent des fils de grand diamètre dont est formé le matériau de l'étoffe. La texturisation peut être obtenue par exemple par abrasion des surfaces externes de l'étoffe à deux nappes, par crépage des filaments individuels qui doivent former le fil, par utilisation d'une étape de texturisation par fausse torsion ou gonflage par air et par fixage thermique au cours de la fabrication du fil, et analogue. Un tel traitement de surface ou dans la masse est appelé dans la suite traitement de surface «FIRTEC» (technologie de renforcement de l'interface des fibres). Il est aussi souhaitable d'utiliser un fil dans lequel les surfaces des filaments sont mates ou semi-brillantes et non brillantes. En conséquence, dans un mode de réalisation préféré, le fil à partir duquel est construite l'étoffe à deux nappes est traité de manière que le produit final ait un fil très ouvert, et que les côtés externes des couches respectives d'étoffe présentent de nombreuses boucles minuscules ou dépassant vers l'extérieur. Les filaments individuels peuvent être de type continu dans le mode de réalisation préféré afin que les boucles soient fixées aux deux extrémités. Les filaments crêpés, lorsqu'ils sont combinés dans un fil, peuvent aussi être utilisés selon l'invention. Dans certains cas, il peut être souhaitable qu'une âme de fil soit formée de fibres rectilignes entourées par des fibres texturées. En outre, des fibres autres que celles qui ont une section circulaire, peuvent être utiles pour l'augmentation de la surface permettant la liaison; de telles fibres sont ovales, cruciformes, en haltère ou en Y en coupe. On a constaté qu'on obtenait des meilleurs résultats lorsque le fil avait subi un fixage thermique à l'état texturé-gonflé.

La présence de nombreuses vrilles sous forme de boucles et analogues augmente notablement la résistance de liaison par rapport à celle qui a été obtenue jusqu'à présent dans l'industrie pour la formation d'une liaison extrêmement robuste entre le matériau formant l'enveloppe écran et la couche d'étoffe placée en regard. L'un des facteurs est que la présence des vrilles augmente notablement la surface

des constituants d'ancrage. Un autre facteur est la dispersion pratiquement uniforme et très étendue des constituants d'ancrage renforçant l'interface des fibres, si bien que des liaisons robustes sont formées sur toute la surface de coopération de l'étoffe et du constituant externe de l'enveloppe. Un autre facteur est que l'ouverture du fil permet un degré soigneusement réglé de pénétration du matériau de liaison placé entre les nappes d'étoffe en regard.

La structure d'étoffe ou de tissu qui forme la partie de support des forces de traction du produit gonflé peut être réalisée par tous les procédés connus, notamment le tricotage, le tissage, la couture, le feutrage, etc. Il est préférable que les fils de liaison soient fermement fixés aux couches d'étoffe, par exemple par un point noué, si bien que les éléments résistants à la traction restent en place et empêchent un ballonnement le long des bords des couches d'étoffe. Un métier Rachel à tricoter à double barre à aiguilles donne particulièrement satisfaction car il assure le nouage des couches d'étoffe. En outre, un matériau qui est tissé avec un point de navette peut être utilisé. Une large gamme de produits ayant des surfaces profilées et/ou effilées complexes avec des configurations différentes peut être utilisée à l'aide des techniques de couture multiples commandées par ordinateur à grande vitesse, lorsque la longueur et l'inclinaison de chaque fil de liaison ou dispositif de retenue doivent être différentes de celles des dispositifs adjacents de retenue. Le fil de liaison ou les éléments résistants à la traction peuvent être perpendiculaires à la couche d'étoffe ou peuvent former des angles assurant un équilibrage des forces de cisaillement. Dans certains cas, lorsque des forces latérales sont appliquées, contrairement aux forces perpendiculaires à la surface du produit, des orientations opposées et d'équilibrage du fil résistant à la traction sont avantageuses pour le support des forces de cisaillement qui ne peuvent évidemment pas être supportées par le gaz sous pression. Il est important que la structure terminée formée par l'étoffe n'ait pas de lubrifiant ou d'adjuvant de traitement qui pourrait nuire à la formation d'une liaison robuste entre les filaments de l'étoffe et le matériau de liaison.

Le fil utilisé pour la construction des étoffes à deux nappes reliées par des fils de liaison doit être formé d'un matériau ayant une résistance élevée à la traction, qui est stable dans les conditions prévues de fabrication et d'utilisation. Divers matériaux de synthèse peuvent être utilisés. Cependant, étant donné le fléchissement et l'abrasion des fils de liaison qui apparaissent lorsque deux couches externes d'étoffe se déplacent l'une vers l'autre au cours de l'application de forces cycliques pendant des périodes relativement longues, il est important que les fibres utilisées aient de bonnes propriétés de résistance à l'abrasion et une bonne résistance à la fatigue par flexion comme décrit dans la suite.

De manière générale, les filaments utilisés dans le fil selon l'invention ont avantageusement un dénier par filament compris entre 1 et 20 et de préférence entre 2 et 5. Les filaments individuels ont en général des résistances à la traction (ténacité) com-

prises entre 2.10^{-2} et 10.10^{-2} N/denier, avec une plage préférée comprise entre 4.10^{-2} et 6.10^{-2} N/denier. De manière général, il est avantageux que le nombre de filaments par fil est compris entre 1 et 300, la plage préférée étant comprise entre environ 40 et 200. En général, chaque touffe ou brin contient environ un à huit fils, la plage préférée étant comprise entre un à huit fils, la plage préférée étant comprise entre 40 et 200. En général, chaque touffe ou brin contient un à huit fils, la plage préférée étant comprise entre un et trois fils par brin. L'étoffe préférée est tricotée à partir 8 à 150 brins ou touffes par centimètre carré d'étoffe et de préférence 60 à 80 brins par centimètre carré. La densité apparente de l'étoffe est donc en général comprise entre 800 et 24 000 fibres par centimètre carré.

Il est approprié que l'étoffe terminée (en plus du fil initial) subisse un traitement de fixage thermique afin que, dans l'étoffe à deux nappes, le fil de liaison ait tendance à rester dressé si bien qu'un point donné d'une couche d'étoffe a tendance à rester aligné axialement sur le même point déterminé de la couche opposée d'étoffe. Ceci constitue une construction avantageuse. Il est préférable, pendant la fabrication, que les fils de liaison soient dressés afin qu'ils ne présentent pas de défaut notable d'alignement entre les couches des surfaces supérieure et inférieure. La texturisation des fils de liaison empêche les filaments individuels de se comporter en organes travaillant à la compression par flambage quelles que soient les circonstances.

La construction de l'enveloppe multicouche sous pression interne selon l'invention commence par la sélection d'une étoffe convenable à deux nappes qui comporte des fils de liaison placés entre les surfaces internes des couches respectives d'étoffe. Les faces externes des couches respectives d'étoffe sont avantageusement imprégnées d'une quantité soigneusement dosée d'un matériau d'accouplement. L'opération peut être réalisée par utilisation initiale de grandes feuilles ou de rouleaux d'étoffe, puis par application du matériau d'accouplement. L'article de forme convenable peut alors être découpé dans ces feuilles ou rouleaux plus grands qui ont été préalablement traités. Ce procédé présente les avantages décrits dans la suite.

De manière générale, le matériau d'accouplement est avantageusement un produit qui a les propriétés suivantes: 1) il pénètre dans le matériau des couches externes d'étoffe sur une profondeur soigneusement réglée, ne dépassant pas l'épaisseur des étoffes de surface, et fixe le matériau, 2) il joue le rôle d'une matière élastomère semi-perméable, pénétrant dans les faisceaux de fils et se fixant fermement aux fibres constituant les éléments des couches externes d'étoffe et reliant ainsi ces fibres, et 3) il forme une liaison robuste avec le matériau élastomère semi-perméable formant un écran externe ou enveloppe.

Le matériau d'accouplement peut être appliqué par des opérations classiques comprenant par exemple les presses à plateaux chauffants, les opérations d'extrusion, le calandrage, la pulvérisation et l'enduction par raclage.

Cependant, de manière générale, le procédé préféré d'application comprend la formation du matériau d'accouplement sous forme d'une feuille ayant une épaisseur de 50 à 200 μm , une épaisseur de 100 μm étant préférable, puis la fusion et la compression de la feuille fondue sur les faces externes des couches d'étoffe. L'étoffe est placée dans une presse chauffante ayant des plateaux supérieur et inférieur chauffants, avec une feuille du matériau d'accouplement par-dessus et par-dessous l'étoffe, et une feuille d'un agent de démoulage entre le matériau d'accouplement et les plateaux chauffants de la presse. De telles feuilles d'agent de démoulage (anti-adhésives) sont utilisées afin que les feuilles du matériau d'accouplement ne collent pas aux plateaux chauffants de la presse. L'empilement formé des nappes d'étoffe et du matériau d'accouplement est soumis à une pression relativement faible dans la presse entre les plateaux chauffants (environ 0,21 à 0,35 bar) pendant 6 à 25 s, à une température comprise entre 170 et 205°C. Lorsqu'un polyuréthane thermoplastique est utilisé comme matériau d'accouplement, la température peut être suffisamment élevée pour que le matériau d'accouplement soit fondu et ramolli mais pas suffisante pour que l'étoffe soit détériorée ou présente un retrait. Le système d'avance utilisé dans l'opération peut être de type soit discontinu (mettant en œuvre des navettes mobiles) soit continu par mise en œuvre des rouleaux d'étoffe et de rouleaux du matériau d'accouplement, déplacés de façon intermittente par un mécanisme convenable de transport assurant le positionnement et la relaxation. Les dimensions de plateaux sont par exemple de 35 x 45 cm, 75 x 75 cm ou 90 x 90 cm, les plateaux étant usinés afin qu'ils soient bien plats et étant parallèles avec une précision meilleure que 50 μm . L'uniformité de température est telle que la température ne varie pas de plus de 3° par rapport à la valeur de consigne. Le fléchissement de la presse ne doit pas dépasser 50 à 100 μm . La presse froide utilisée pour la solidification du matériau chaud d'accouplement fonctionne à une température comprise entre 15 et 50°C. Le déplacement vertical de la presse froide est synchronisé sur celui de la presse chaude. Comme certaines étoffes ont tendance à présenter un certain retrait lorsqu'elles sont chauffées au cours de cette opération, il peut être utile d'utiliser des fibres ayant subi un retrait préalable lors du tricotage ou du tissage de l'étoffe. Dans certains cas, il est utile d'appliquer une tension longitudinale ou latérale à l'étoffe pendant l'application du matériau d'accouplement. De cette manière, une surface lisse et terminée est obtenue sur les faces supérieure et inférieure de l'étoffe.

Un réglage précis de la température, de la pression et de la durée est essentiel pour l'obtention d'un bon accrochage entre l'étoffe et le matériau d'accouplement, et de manière que le matériau d'accouplement ne soit pas transmis dans toute l'étoffe car la souplesse des fils de liaison pourrait être réduite ou, au pire, les couches d'étoffe pourraient être collées si bien que le produit ne pourrait plus être gonflé et mis sous pression. Dans le mode de réalisation préféré, la quantité du matériau d'accou-

plement disponible pour la pénétration dans l'étoffe est réglée par réglage de l'épaisseur de la feuille du matériau d'accouplement qui est appliqué sur l'étoffe. En outre, la chaleur est réglée et régulée avec une grande précision afin qu'il n'apparaisse pas de point chaud et que la profondeur de pénétration ne varie pas sur toute la surface de l'étoffe du fait d'une variation de fluidité de l'agent d'accouplement. On décrit maintenant plus en détail l'étape d'application du matériau d'accouplement dans un procédé excellent et préféré.

Les surfaces externes de l'étoffe doivent avoir un degré uniforme et réglé de proximité ou de densité de tissage. Cette densité doit être suffisamment uniforme pour que, lorsque l'étoffe est maintenue devant une source lumineuse, il ne soit pas possible de détecter la pénétration de rayons lumineux séparés. La densité doit être telle que le tissu n'est lâche dans aucune région. En outre, elle doit être telle que le tissu n'est pas trop serré dans des régions quelconques. Ce réglage de la densité est obtenu de plusieurs manières: 1) nombre de fils par unité de surface, 2) nombre de filaments par fil, 3) amplitude du gonflant, de la texturisation ou du traitement FIR-TEC, 4) tension dans le métier Rachel pendant le tricotage, par exemple. Ainsi, l'agent d'accouplement peut pénétrer à la fois dans les faisceaux de fils et dans l'épaisseur des 15 éléments d'étoffe uniquement jusqu'à une profondeur réglée et peut assurer la jonction des fils formant les surfaces externes de l'étoffe.

Un autre facteur de réglage pendant la fabrication de l'étoffe est l'utilisation de lubrifiants ou d'adjuvants de traitement au cours de la fabrication des fibres, des fils et de l'étoffe. Ces agents peuvent être nuisibles pour l'obtention d'une liaison robuste. Les lubrifiants de silicone et les adjuvants de traitement à base de polytétrafluoréthylène sont particulièrement nuisibles. L'utilisation de tels lubrifiants doit être réduite au minimum ou totalement éliminée pendant la fabrication des fibres, des fils ou des étoffes. Si un agent reste sur les surfaces de l'étoffe, l'étoffe doit être lavée (dégraissage) ou nettoyée convenablement à sec avant application de l'agent d'accouplement.

L'un des avantages de la fixation préalable du matériau d'accouplement sur l'étoffe est qu'elle élimine pratiquement les fibres dépassant latéralement et librement lorsque l'étoffe collée est découpée par un poinçon. L'absence de telles fibres latérales est importante pour l'opération ultérieure de scellement dans laquelle l'écran est raccordé sur lui-même dans des zones convenables de la périphérie du produit afin qu'il forme une enceinte qui peut être mise sous pression par un gaz. En fait, l'absence de fibres dépassant latéralement empêche la formation de trajets de fuite dans la région du joint périphérique ou dans la partie de l'enveloppe orientée latéralement par rapport aux bords de l'étoffe. La présence de petites fibres ou même d'une petite fibre dépassant latéralement et passant de part et d'autre du joint périphérique constitue une zone de fuite potentielle si faible qu'il est extrêmement difficile de la détecter au cours de l'inspection habituelle du contrôle de qualité. Le résultat est une fuite très

lente et pratiquement indétectable qui provoque une perte de pression au bout de deux à trois mois.

Le matériau d'accouplement peut aussi être extrudé sous forme d'un film de viscose semi-fondu et peut être chassé dans la couche ou les couches superficielles de l'étoffe à l'aide de cylindres chauffants et de refroidissement, dans un procédé continu.

Un autre procédé d'application du matériau d'accouplement est l'application, par extrusion ou pulvérisation, d'un mélange d'un polyol et d'un isocyanate de composition convenable sous forme d'un liquide partiellement polymérisé à base de viscose sur la couche superficielle de l'étoffe, avant raclage, des cylindres et un matériau de démoulage étant utilisé pour la pénétration du matériau d'accouplement, aussi appelé agent d'accouplement, à la profondeur nécessaire, réglée soigneusement. Il ne s'agit pas d'une technique préférée car la réactivité résiduelle du mélange risque de provoquer une réaction avec le fil résistant à la traction qui est ainsi affaibli et fragilisé. En outre, la résistance de liaison, dans cette technique, est en général plus faible que celle qui peut être obtenue avec le procédé mettant en œuvre des plateaux chauffants comme décrit précédemment.

L'étoffe imprégnée du matériau d'accouplement est ensuite découpée à la configuration voulue, avec des précautions pour que la découpe ne forme de fibres ou de filaments dépassant latéralement. L'étoffe imprégnée du matériau d'accouplement est alors placée dans une enveloppe constituée par une membrane externe élastomère semi-perméable, et cette membrane est fixée fermement à la surface externe du matériau d'accouplement imprégnant les couches supérieures et inférieures de l'étoffe, de préférence par chauffage à haute fréquence. La température des moules qui sont utilisés pour ces collages est de préférence réglée de manière que la fusion apparaisse à l'interface du matériau d'accouplement et de la surface interne de la membrane formant l'écran et non ailleurs. Le cycle de réglage de l'énergie à haute fréquence, de scellement préalable, de scellement et de refroidissement et les températures des moules et les radiateurs sont de préférence choisis de manière que le chauffage de l'étoffe et du film écran soit minimal. Le joint périphérique de la membrane externe n'a pas encore été réalisé à ce moment.

Une autre approche qui peut être utilisée pour la fixation du film écran à l'étoffe (imprégnée du matériau d'accouplement) met en œuvre une source de chauffage par rayonnement, par exemple des dispositifs de chauffage infrarouge, et la pression atmosphérique pour l'application de la pression nécessaire au collage. L'opération peut être réalisée par disposition des deux couches du film écran (dans un mécanisme convenable de serrage) de manière qu'il soit enfermé de façon étanche autour des bords de l'étoffe, puis la formation du vide dans l'étoffe fermée. La pression de l'atmosphère ambiante est ainsi utilisée pour l'application de la pression convenable de collage-stratification aux surfaces externes des couches écran lorsqu'elles fondent et fluent dans les couches d'étoffe.

La partie qui est obtenue après collage de la membrane externe semi-perméable aux faces externes des organes d'étoffe imprégnés en surface du matériau d'accouplement peut être fixée uniformément par une liaison qui est améliorée par de multiples minuscules sites de connexion comprenant des boucles ou vrilles du fil, si bien que la fixation de la membrane semi-perméable à l'étoffe est pratiquement continue le long des organes d'étoffe des surfaces supérieure et inférieure, sans fibres ou filaments qui pourraient former un pont (de la surface interne à la surface externe) à travers l'enveloppe formant l'écran. L'écran externe doit aussi être totalement dépourvu de piqûres. La résistance au pelage présentée par cette structure est élevée, c'est-à-dire qu'elle dépasse 35 N/cm et dépasse de façon générale la résistance à la rupture des fils de liaison lorsqu'ils sont soumis à un effet de traction dans un appareil «Instron».

Le dispositif d'amortissement est terminé sous forme d'un produit sous pression par soudage ou scellement d'une autre manière des parties convénables du matériau de l'enveloppe formant la membrane externe, à l'endroit où le matériau dépasse de l'étoffe interne imprégnée. Lorsque le matériau de la membrane externe est sous forme de deux nappes de film, une soudure peut être formée à proximité de toute nappe de film, une soudure peut être formée à proximité de toute la périphérie de l'étoffe interne imprégnée. Si l'enveloppe est partiellement formée préalablement, par extrusion, moulage par soufflage, formage sous vide par chauffage, par moulage avec polymérisation par chauffage, ou par vulcanisation, le joint périphérique peut aussi être réalisé partiellement ou totalement au cours d'une étape précédente.

Le scellement périphérique peut être réalisé commodément par mise en œuvre de techniques classiques telles que le soudage à haute fréquence, le scellement par impulsions thermiques, le collage, le soudage par ultrasons, le scellement par des particules magnétiques, la vulcanisation et analogue. C'est à ce moment que l'absence de fibres disposées latéralement est importante. Si de telles fibres existent, elles ont tendance à être enrobées dans la soudure périphérique pendant l'opération de scellement périphérique et à former un trajet potentiel de fuite. Si les fibres sont disposées sur toute la périphérie externe, il est très probable qu'elles créent des fuites lentes et indétectables. Si elles ne sont disposées qu'en partie dans le joint, elles constituent une zone de faiblesse dans laquelle une fuite peut apparaître, surtout lorsque l'enveloppe est soumise à des forces cycliques relativement importantes. Grâce à l'application du matériau d'accouplement, comme décrit précédemment, l'opération suivante de coupe est une coupe nette qui élimine la possibilité de formation de fibres libres dépassant latéralement.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un procédé actuellement préféré pour la fabrication, des élastomères vulcanisables et/ou polymérisant par chauffage peuvent être utilisés, à la place des élastomères thermoplastiques d'uréthane polymérisant par chauffage décrits précédemment, mais ils néces-

sitent encore le degré précis de réglage de la profondeur et de la qualité de pénétration de l'élastomère dans les couches d'étoffe supérieure et inférieure.

5 Dans une étape finale, la chambre qui est maintenant délimitée entre les parois de l'étoffe à deux nappes, est mise sous pression par un gaz convénable, par exemple un gaz non polaire à molécules de grande dimension, par exemple l'hexafluoréthane. Dans un mode de réalisation préféré, le gaz est avantageusement injecté à l'aide d'une aiguille, le canal d'injection (qui peut être dépourvu de tout matériau fibreux ou d'étoffe) étant scellé après que la mise sous pression a été terminée. Il est aussi possible d'utiliser une valve de gonflage-dégonflage. Le phénomène physique provoqué par le gonflage et la diffusion est décrit par exemple dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 340 626.

20 Comme indiqué précédemment, le dispositif selon l'invention permet le réglage de la vitesse de pompage par diffusion, d'une manière nouvelle et importante. Un but de ce réglage est de maintenir le produit à une pression nominale de gonflage pendant de plus longues périodes que cela ne serait possible autrement. Comme le dispositif est mince dans de nombreuses applications, le volume de fluide de gonflage qui est contenu est faible. En conséquence, le rapport surface-volume est très élevé. Ceci peut contribuer à une perte rapide de pression par diffusion. Cependant, l'addition d'éléments cristallins formant un écran au passage du gaz dans la couche écran a une fonction très originale et précieuse de dosage et de réglage du débit de diffusion vers l'intérieur et vers l'extérieur, en particulier dans le cas des molécules de O₂ et N₂ dans l'air ambiant.

Un autre avantage est dû à l'incorporation de matériaux cristallins formant un écran au passage du gaz dans l'enveloppe élastomère du dispositif. La plupart des millions d'éléments de chaussures classiques contenant un gaz sous pression et comprenant plusieurs chambres (brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 183 156) qui ont été fabriqués et utilisés dans le mode entier sont normalement formés d'un film de polyuréthane à base d'un ester, car cette composition a une très faible perméabilité au gaz après gonflage par l'hexafluoréthane par rapport à une composition à base de polyuréthane du type éther. Cependant, le film à base d'ester, contrairement au film à base d'éther, présente l'inconvénient d'être affecté de façon nuisible par l'humidité et l'eau (instabilité hydrolytique pouvant réduire les propriétés physiques), par les champignons et par les bactéries surtout aux températures supérieures à 38-43°C. En conséquence, de tels produits classiques contenant un gaz sous pression, dans une chaussure, sont protégés par encapsulation dans une semelle intermédiaire de mousse qui est coûteuse, et la mousse atténue et réduit les propriétés élastiques avantageuses du produit sous pression. D'autre part, le dispositif selon l'invention peut mettre en œuvre les caractéristiques souhaitables du film à base d'éther qui a une plus grande perméabilité au gaz et, grâce à l'enrobage

d'éléments cristallins dans les couches externes formant écran de la structure, les vitesses de diffusion vers l'extérieur peuvent être réduites à des niveaux suffisamment faibles pour être acceptables avec conservation de la diffusion très lente vers l'intérieur des molécules d'azote et d'oxygène de l'air ambiant qui compense toute perte d'hexafluoréthane et donne une durée d'utilisation de trois ans ou plus. L'enrobage dans une mousse n'est donc pas nécessaire. Les performances des amortisseurs pneumatiques sont donc considérablement accrues, et le coût et le poids sont réduits.

A titre de corollaire, il est parfois avantageux d'utiliser soit des films minces soit des films ayant un faible module d'élasticité pour la couche écran externe du produit. Cette variante donne un toucher plus doux et plus souple avec une plus grande flexibilité globale. Grâce au réglage ou à la variation du module d'élasticité, les caractéristiques de fléchissement sous charge du produit final peuvent être modifiées. Les matériaux de plus faible module donnent un plus grand confort alors que les matériaux de plus grand module ont de meilleures qualités de restitution d'énergie. La plus grande vitesse de diffusion qui peut exister lors de l'utilisation de ces matériaux peut aussi compenser l'addition de fibres cristallines déformées dans l'étoffe. Dans certains cas, la douceur du toucher peut aussi être accrue par utilisation de fibres élastiques (allongement bidirectionnel) comme fils de support dans les surfaces externes des étoffes.

Comme le volume du dispositif ne peut pas augmenter notablement sous pression (l'épaisseur est limitée et reste pratiquement constante étant donné la mise des fils d'interface ou du velours sous tension), le pompage de l'air par diffusion dans le dispositif peut provoquer facilement une surpression dans le produit, pendant la période de deux à douze mois suivant le gonflage. Il s'agit d'un problème potentiel pour le produit selon l'invention dans le cas de la diffusion de N_2 dans le dispositif sous pression, et ce problème doit être résolu. Il est résolu ou éliminé selon l'invention grâce à la présence de fils cristallins empêchant le passage de gaz ou d'éléments particuliers enrobés dans les couches élastomères semi-perméables formant écran de l'enceinte sous pression. Cette technique peut limiter, réduire ou supprimer la diffusion vers l'intérieur de l'azote d'une pression partielle d'environ 0,85 bar, dans l'air ambiant, à une valeur presque nulle après une période de deux ans, la diffusion vers l'intérieur de l'oxygène de l'air ambiant étant fortement réduite et réglée avec précision.

Il existe des limites pratiques au réglage du pompage par diffusion. Même dans le cas d'un tissage très serré des fils de support placés à la surface externe de l'étoffe, une certaine diffusion existe et la perméabilité ne peut pas être réduite à une valeur nulle. Cependant, dans la meilleure construction, il est commode en pratique de régler efficacement la diffusion de la plupart des gaz intéressants, y compris l'azote. Cependant, l'oxygène peut diffuser beaucoup plus rapidement que l'azote. La mise en œuvre de cette technique de réglage de la diffusion permet la diffusion d'oxygène dans l'enceinte pen-

dant une période de quatre à douze mois (après gonflage et scellement en usine).

La pression partielle d'oxygène dans l'atmosphère formée par l'air ambiant est d'environ 0,21 bar (sur une pression totale de 1 bar). Ainsi, la diffusion de l'oxygène dans l'autre sens vers l'enceinte ne peut qu'augmenter la pression totale dans l'enceinte d'une quantité maximale égale à 0,14 bar. Le cas échéant, cette pression peut être compensée par léger sous-gonflage initial par l'hexafluoréthane (ou par un mélange de celui-ci et d'azote gazeux ou d'air). Cependant, dans certains cas, cette mise sous pression n'est pas nécessaire; une élévation de pression de 0,14 bar entre dans la plage de tolérances des spécifications concernant la pression de gonflage. En outre, avec le vieillissement et en cours d'utilisation, le dispositif augmente légèrement de volume. La pression partielle de O_2 qui est ajoutée est presque parfaite pour la compensation de cette petite augmentation de volume si bien que la pression de gonflage est inhabituellement uniforme pendant toute la durée de vie du produit.

Lorsque le coût est primordial, le gaz de gonflage peut être formé d'azote à 100%, et la même diffusion d'oxygène vers l'intérieur se produit et facilite l'entretien d'une pression nominale de gonflage destinée à compenser la lente diffusion de l'azote vers l'extérieur. Un mélange d'air et d'azote peut être utilisé dans certains cas, lorsqu'un pourcentage important de la section des couches externes du dispositif contient un matériau cristallin. Ceci peut être très avantageux car le coût de l'azote est à peu près le dixième de celui de l'hexafluoréthane, et le poids de l'azote est égal au cinquième environ de celui de l'hexafluoréthane.

Les structures sous pression selon l'invention sont très utiles dans toutes sortes de chaussures y compris les bottes, les chaussures de sport, les chaussures de marche quotidienne et de loisir, les chaussures habillées, les chaussures de travail, les dispositifs et chaussures de prothèse, les revêtements de sabots et d'autres dispositifs y compris les casques et coiffures protectrices (destinés à être utilisés dans l'exercice du football, du hockey, du football américain, du base-ball et de l'équitation). L'invention peut aussi être utilisée dans des applications récréatives, militaires, marines, industrielles et aérospatiales, y compris sous forme de poignées de guidon de bicyclette, de poignées de marteau-piqueur, de scies à chaîne, de marteaux, de battes, etc. ainsi que dans d'autres applications sous forme de sièges et de selles pour bicyclettes, motocyclettes et équitation. Des surfaces de jeu, des tapis de sport, des revêtements de sol, des tapis de travail, des gants, des gilets de sauvetage et analogues sont d'autres domaines d'application de l'invention. Comme l'hexafluoréthane a d'excellentes propriétés d'isolation thermique et d'isolement électrique, le dispositif est utile lorsque le dispositif d'amortissement doit assurer aussi un isolement électrique et/ou une isolation thermique. Il faut en outre noter que les produits d'amortissement réalisés selon l'invention et gonflés par l'hexafluoréthane ont l'aptitude originale d'absorber et d'atté-

nuer sélectivement l'énergie acoustique à haute fréquence qui est potentiellement dangereuse, avec transmission simultanée des ondes à basse fréquence.

Les dispositifs selon l'invention sont originaux au moins sur les points suivants.

(1) Un gonflage pratiquement permanent peut être obtenu grâce à une nouvelle technique originale de réglage sélectif de la vitesse de pompage par diffusion à partir de l'air ambiant.

(2) L'utilisation d'une texturisation, d'un gonflement, de boucles, de vrilles et/ou de brins libres uniques augmente beaucoup l'accrochage entre l'organe d'accouplement et l'étoffe et en conséquence l'accrochage de l'étoffe au matériau élastomère associé de l'enveloppe externe, si bien que la résistance au pelage de la liaison qui est obtenue est un multiple élevé de celle qui peut être obtenue avec d'autres procédés classiques.

(3) Le procédé en deux étapes utilisé pour la fixation de l'enveloppe contenant le gaz à l'étoffe donne la liaison de résistance mécanique élevée nécessaire de la manière suivante:

(a) la chaleur, la pression et le refroidissement (solidification) sous pression ainsi que les durées des opérations utilisées pour le matériau de couplage sont soigneusement réglés afin que le degré précis essentiel et la qualité de pénétration du matériau d'accouplement dans les couches d'étoffe supérieure et inférieure soient obtenus,

(b) la surface interne du matériau semi-perméable élastomère de l'enveloppe externe est fixée à la surface externe du matériau formant l'étoffe par une opération de collage de courte durée mettant en œuvre de l'énergie à haute fréquence.

(4) Les fils et les fibres spéciaux utilisés ont une bonne résistance à l'abrasion, à la fatigue par flexion et par fibrillation et les fibres ont un gonflant suffisant.

(5) L'utilisation d'un matériau d'accouplement placé sur l'étoffe élimine les fibres dépassant latéralement et empêche le piégeage et l'accrochage des fibres dans le joint périphérique et la liaison du joint périphérique et la formation de trajet de fuite pour le gaz de gonflage.

(6) Les produits d'amortissement qui peuvent être fabriqués sont très divers, et sont notamment sous forme de produits essentiellement plats ou profilés, relativement minces et dont les configurations et formes sont très diverses.

(7) Les produits peuvent avoir des profils réglés en surface.

(8) Les produits gonflés ont une pression interne élevée, une grande durabilité et une grande longévité, et une longue durée d'utilisation avec une grande fiabilité et leur résistance à la défaillance par fatigue est excellente.

(9) L'utilisation d'une étoffe contenant des filaments forme un matériau constituant un écran pour le passage du gaz, fermement enrobé dans l'enveloppe élastomère semi-perméable si bien que la diffusion vers l'intérieur de O₂ et N₂ de l'air ambiant est réduite et réglée avec précision, dans les produits relativement minces qui ont un rapport élevé

de la surface au volume, si bien qu'ils sont relativement sensible à une perte de pression.

(10) Les produits donnent un niveau optimal d'amortissement et de restitution d'énergie ou d'élasticité (c'est-à-dire de souplesse) quelles que soient les restrictions imposées à la configuration.

(11) Les produits peuvent assurer sélectivement l'atténuation, la transformation et le ralentissement des vibrations acoustiques à haute fréquence qui sont potentiellement dangereuses, avec simultanément transmission des vibrations acoustiques de plus faible fréquence.

(12) Les produits assurent simultanément l'amortissement et un isolement électrique et une isolation thermique qui sont excellents, même dans un milieu très humide.

L'invention concerne donc un dispositif perfectionné d'amortissement pneumatique qui donne un excellent confort, un amortissement très efficace, une bonne atténuation des forces de choc qui sont potentiellement dangereuses, et une accumulation et une restitution élevée d'énergie, dans un dispositif gonflé qui est relativement mince et qui peut avoir des surfaces essentiellement plates et parallèles ou profilées.

L'invention concerne aussi un tel produit d'amortissement pneumatique gonflé par un gaz du type décrit précédemment, ayant le degré nécessaire de fiabilité, de durabilité et de durée d'utilisation dans des applications qui nécessitent d'excellentes propriétés de résistance mécanique et de résistance à la fatigue, lors d'une exposition à des forces cycliques sévères répétées.

L'invention concerne aussi le réglage et le ralentissement de l'écoulement vers l'extérieur d'un gaz de gonflage afin qu'une pression interne soit maintenue à une valeur uniforme dans un dispositif étanche ayant un rapport surface/volume relativement grand, pour des niveaux convenables de gonflage pendant des périodes relativement longues (par exemple de cinq ans et plus).

L'invention concerne aussi le ralentissement et le réglage précis de l'écoulement en sens inverse (vers l'intérieur) de l'air ambiant, vers l'intérieur du dispositif d'amortissement pneumatique, dans les premiers temps de la mise sous pression (deux à douze mois), si bien que la tendance à la mise sous pression excessive du produit est éliminée et la croissance en volume peut être pratiquement nulle après gonflage, contrairement à des dispositifs connus.

L'invention permet aussi l'utilisation de gaz de gonflage qui sont facilement disponibles, de faible poids et de faible coût.

L'invention concerne aussi un produit gonflé d'amortissement commode en pratique, qui peut être mis sous pression par de l'air ou de l'azote ou une combinaison d'air et d'azote et qui a cependant une durée acceptable d'utilisation d'au moins deux ans.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels:

la fig. 1 est une vue en plan d'une première destinée à des chaussures selon l'invention;

la fig. 2 est une vue éclatée, en coupe partielle et partiellement en élévation, des éléments d'un produit selon l'invention avant le montage final;

la fig. 2a est analogue à la fig. 2 et elle représente la structure avec une configuration partiellement assemblée, la couche d'accouplement ayant imprégné les surfaces externes des couches d'étoffe;

la fig. 2b est analogue à la fig. 2 mais elle représente la structure avec la configuration totalement assemblée, en coupe suivant la ligne 2b-2b de la fig. 1;

les fig. 3a, 3b et 3c sont analogues aux fig. 2, 2a et 2b et elles représentent un produit selon l'invention dans lequel les dispositifs de retenue ou fils de liaison ont une disposition triangulaire;

la fig. 4a est une perspective agrandie d'une fibre unique, représentant schématiquement les vrilles et les sites d'accrochage;

la fig. 4b est une vue de bout partiellement en coupe et partiellement en élévation, suivant la ligne 4b-4b de la fig. 4a

la fig. 4c est une coupe partielle agrandie représentant la liaison formée entre l'étoffe et l'enveloppe imprégnée de l'agent d'accouplement selon l'invention;

la fig. 5 est une élévation d'un court tronçon d'un fil plat non texturé;

la fig. 6 représente schématiquement une partie d'une étoffe tissée ou tricotée formée du fil plat de la fig. 5;

la fig. 7 représente un court tronçon de fil qui a subi une texturisation par une opération de fausse torsion, de torsion par friction, par entraînement en rotation, par frisage des bords ou de toute autre manière;

la fig. 8 représente schématiquement une partie d'une étoffe tissée ou tricotée par utilisation du fil de la fig. 7;

la fig. 9 est une vue agrandie d'un court tronçon de fil texturé par un procédé spécial, c'est-à-dire le procédé de gonflement par l'air et de fixage thermique;

la fig. 10 représente une partie d'une étoffe tissée ou tricotée par mise en œuvre du fil texturé spécial de la fig. 9;

la fig. 11 représente une partie d'une étoffe ayant une surface adoucie et/ou usée;

la fig. 12 est un schéma d'un court tronçon de fil qui a été filé avec une combinaison de fibres continues et discontinues, les fibres discontinues formant environ 30% de la quantité totale des fibres;

la fig. 13 est une élévation en coupe partielle d'une structure composite selon l'invention, montée dans une presse de scellement à haute fréquence et disposée entre des moules supérieur et inférieur de collage, avec une courbe indiquant la variation de température;

la fig. 14 est une vue en plan d'un élément gonflé sur toute sa longueur, ayant une épaisseur variable, à l'endroit où la partie épaisse du talon se raccorde à une partie plus mince de l'avant du pied par une partie de tige d'épaisseur variant progressivement, selon l'invention;

la fig. 14a est une coupe suivant la ligne 14a-14a de la fig. 14;

la fig. 15 est une vue en plan d'un talon selon l'invention;

5 la fig. 16 est une vue en plan d'un élément arrière rapporté d'amortissement de forme sinueuse formant stabilisateur du pied selon l'invention;

10 la fig. 17 est une vue en plan d'un autre exemple d'élément rapporté formant stabilisateur selon l'invention;

la fig. 17a est une perspective coupée suivant la ligne 17a-17a de la fig. 17;

15 la fig. 18 est une coupe, partiellement en élévation, d'un produit à plusieurs couches et plusieurs chambres selon l'invention;

la fig. 19 est une vue en plan d'un talon, l'enveloppe externe étant préalablement formée par moulage par injection, par moulage par soufflage, par moulage rotatif ou analogue, la couche d'étoffe étant imprégnée de l'agent d'accouplement et étant ensuite soudée par chauffage aux surfaces internes de l'enveloppe préalablement formée, selon l'invention;

25 la fig. 19b est une élévation de gauche de la fig. 19;

la fig. 19c est une coupe suivant la ligne 19c-19c de la fig. 19;

la fig. 19d est une coupe suivant la ligne 19d-19d de la fig. 19;

30 la fig. 20 est un graphique permettant la comparaison des caractéristiques force-fléchissement d'un élément tubulaire gonflé de la technique antérieure et du dispositif d'amortissement selon l'invention, gonflé à un niveau moyen de pression;

35 la fig. 21 est un graphique permettant la comparaison des caractéristiques force-fléchissement d'un élément tubulaire gonflé de la technique antérieure et du dispositif d'amortissement selon l'invention, gonflé à une pression supérieure à la pression moyenne;

40 la fig. 22 est un graphique représentant les caractéristiques force-fléchissement de l'élément d'amortissement selon l'invention, indiquant la partie de la charge qui est supportée grâce au comportement en peau de tambour du dispositif et la partie de la charge supportée par les propriétés thermodynamiques du fluide sous pression de gonflage;

45 la fig. 23a est une coupe schématique, représentant sous forme vectorielle les forces appliquées à un élément d'amortissement selon l'invention comprimé par une charge (un pied), lorsque la charge vient initialement en contact;

50 la fig. 23b est une coupe schématique représentant sous forme vectorielle les forces dues à la pression interne et les forces existant dans l'enveloppe du dispositif d'amortissement selon l'invention, cette figure montrant comment le dispositif donne l'effet original de peau de tambour et les caractéristiques originales force-fléchissement d'un nouvel élément d'amortissement;

55 la fig. 24 est un graphique permettant la comparaison des caractéristiques force-fléchissement et de souplesse d'une semelle tubulaire sous pression et à amortissement, enrobée dans une mousse et de type classique, et d'une semelle intermédiaire non

gonflée formée de mousse, de «Sorbathane» ou de gels, etc., avec les propriétés force-fléchissement et de souplesse de l'élément gonflé selon l'invention, à une pression moyenne;

la fig. 25 est un graphique montrant comment les différences de pression de gonflage peuvent affecter les caractéristiques force-fléchissement du dispositif d'amortissement selon l'invention;

la fig. 26 est un graphique montrant comment des dispositifs mécaniques tels que des pattes, des barreaux, etc. placés à la surface interne d'un tampon modérateur peuvent affecter et adapter les caractéristiques force-fléchissement et de raideur du dispositif selon l'invention;

la fig. 26a est une vue en plan d'un produit selon l'invention, ayant des picots et analogues;

la fig. 26b est une coupe suivant la ligne 26b-26b de la fig. 26a;

la fig. 27a est une coupe schématique du dispositif selon l'invention monté sur une machine spéciale d'essais de flexion «Kim» destinée à assurer des essais accélérés de fatigue par fléchissement du dispositif gonflé, le schéma représentant l'élément gonflé à l'état partiellement fléchi;

la fig. 27b est une coupe du dispositif analogue à celui de la fig. 27, lorsque l'élément gonflé est à l'état totalement fléchi, à la limite d'écrasement;

la fig. 28a est une représentation schématique très agrandie de trois types différents de fibres sous tension, 1) une fibre plate non texturée, 2) une fibre texturée de manière classique, et 3) une fibre spéciale gonflée par de l'air et fixée thermiquement;

la fig. 28b est une représentation schématique des trois mêmes fibres que la fig. 28a, sous forme partiellement comprimée ou relaxée;

la fig. 28c est une représentation schématique, avec un grandissement de mille, des trois mêmes fibres de la fig. 28b, après plusieurs millions de cycles de flexion à un état correspondant presque à la limite d'écrasement;

la fig. 29a est une vue schématique en plan représentant un groupe de fibres plates non texturées, dans une partie d'un groupe de fils, lors de l'application d'une charge transversale;

la fig. 29b est une coupe du groupe de fibres de la fig. 29a suivant la ligne 29b-29b;

la fig. 29c est une coupe agrandie d'une fibre plate unique d'un groupe de fibres de la fig. 29b montrant comment la charge transversale peut provoquer un début de séparation des groupes de chaînes moléculaires de la fibre unique puis leur rupture, avec défaillance par fibrillation de la fibre unique (voir aussi fig. 30) après application répétée de force transversale et suppression répétée de cette force;

la fig. 29d est analogue à la fig. 29a mais représente un groupe de fibres gonflées par de l'air et fixées thermiquement;

la fig. 29e est analogue à la fig. 29b et correspond à un exemple de groupes de fibres gonflées par de l'air et fixées thermiquement;

la fig. 30 est une photographie au microscope électronique à balayage avec un grandissement de mille par rapport à la dimension réelle, obtenu avec une fibre unique de liaison, après qu'une des fibres

résistant à la traction selon l'invention a subi une défaillance par fibrillation après un million de cycles environ de compression, avec fatigue par abrasion, par flexion et par déformation;

la fig. 31 est un graphique montrant comment des différences de volumes ou de plans de formes peuvent affecter les propriétés force-fléchissement et d'amortissement du dispositif gonflé selon l'invention, les fig. 31a, 31b, 31c et 31d représentant des contours utiles pour l'explication du graphique;

les fig. 32 et 32c sont des vues en plan et les fig. 32a, 32b, 32d et 32e sont des coupes de deux dispositifs gonflés d'amortissement selon l'invention ayant des volumes déformables élastiques différents autour de leur périphérie, permettant l'adaptation des propriétés d'amortissement des dispositifs;

la fig. 33a est une vue en plan et les fig. 33b et 33c sont des coupes en élévation latérale d'un dispositif selon l'invention de réalisation hybride composite ayant un support longitudinal dynamique bombé variant proportionnellement à la charge, alors que la fig. 33d est un graphique permettant la comparaison des caractéristiques force-fléchissement du dispositif, avec ou sans volume accumulateur de support de la voûte;

les fig. 34a et 34b sont des coupes d'un dispositif d'amortissement à deux chambres et à deux pressions selon l'invention, représentant respectivement l'impact initial de la charge et la caractéristique d'amortissement différentiel en cas de compression partielle;

les fig. 35a et 35b sont respectivement une vue en plan et une coupe du dispositif d'amortissement selon l'invention ayant des lignes de couture disposées latéralement afin que la flexibilité du dispositif augmente pendant la marche, la course et d'autres activités sportives;

la fig. 36a est une représentation schématique en plan, avec un grandissement de 20, d'un filament enrobé dans un joint périphérique lorsque le joint périphérique est formé dans le film écran;

la fig. 36b est une coupe de la fig. 36a représentant le trajet potentiel de fuite autour de la fibre, permettant des fuites lentes du gaz de gonflage hors du dispositif selon l'invention lors d'une fabrication erronée ou d'un mauvais contrôle de qualité; et

la fig. 36c représente schématiquement, avec un grandissement de 500 à 1000, la section d'un groupe de fibres de la couche externe de l'étoffe du dispositif selon l'invention, imprégnée et entourée d'un matériau fondu d'accouplement qui présente un retrait lors du refroidissement et assure un contact intime entre les fibres si bien que les trajets potentiels de fuite du gaz de gonflage sont éliminés.

On se réfère maintenant aux dessins qui représentent des modes de réalisation préférés de l'invention; la fig. 1 représente un produit gonflé selon l'invention, portant la référence 10 et qui, à titre illustratif, peut être constitué par une première. Comme indiqué plus précisément sur les fig. 2, 2a et 2b, la première 10 a une structure composite dans laquelle une couche élastomère semi-perméable ex-

terne 12 formant écran délimite une chambre hermétique dans laquelle une structure destinée à supporter les forces de traction est disposée, cette structure comprenant une étoffe double 14 à fils de liaison. Cette structure 14 à étoffe double et fils de liaison comporte une première couche 16 d'étoffe, une seconde couche 18 d'étoffe et des fils de liaison 20 (fils formant un velours de liaison) qui constituent uniquement des éléments travaillant à la traction car ils sont sous tension lorsque l'enveloppe est mise sous pression et est fermée de manière étanche. Le matériau des couches d'étoffe peut être différent des fils de liaison. En outre, les figures indiquent la présence de couches 23 et 24 d'un matériau d'accouplement, ainsi que les boucles et vrilles 29 et 30 dépassant des surfaces externes 32 et 34 respectivement.

Les fig. 2, 2a et 2b représentent progressivement une séquence générale de fabrication du produit selon l'invention. Comme indiqué sur la fig. 2a et comme décrit en détail dans la suite, l'agent d'accouplement 23 et 24 est collé aux surfaces externes exposées 16 et 18 de l'étoffe 14. Ensuite, le matériau 12 formant la couche écran est montée et collée au matériau d'accouplement et à l'étoffe 16 et 18 placée au-dessous afin qu'une couche assemblée 35 d'accouplement soit formée, la couche écran étant soudée comme indiqué en 38 afin qu'elle forme l'enceinte d'une enveloppe. Ensuite, l'enveloppe est mise sous une pression, par un gaz quelconque ou une combinaison de gaz comme décrit dans la suite.

Le matériau de l'enveloppe 13 est de préférence un matériau élastomère comme indiqué dans les brevets précités des Etats-Unis d'Amérique. Des matériaux préférés sont à base de polyuréthane, notamment des élastomères de polyuréthane de type polyester ou polyéther ou un élastomère polyester, bien que l'invention ne soit pas limitée à ces matériaux particuliers. Suivant les conditions finales d'utilisation du produit, l'un de ces matériaux peut être préférable aux autres. Par exemple, la chaleur, l'humidité et les bactéries peuvent poser des problèmes pendant un certain temps. Si un produit n'est pas utilisé dans ce type de condition, un matériau à base d'uréthane sous forme polyester donne tout à fait satisfaction. Si les conditions sont telles que la chaleur, l'humidité et les bactéries risquent de poser des problèmes, un matériau à base d'uréthane du type polyester est préférable. Ce dernier est un peu plus coûteux et nécessite un peu plus de soins pendant la fabrication du produit final. Lors de l'utilisation d'un uréthane de type polyester, la vitesse de diffusion plus grande de l'hexafluoréthane n'est pas un facteur important dans les produits selon l'invention, pour des raisons décrites dans la suite. Il faut noter que la surface externe de l'enveloppe peut éventuellement avoir une étoffe relativement mince collée sur elle.

Le matériau de l'étoffe qui a été décrit peut être formé de fils de polyester ou de polyamide, par exemple de «Nylon», ou de matériau tel que disponible sous la marque de fabrique «Dacron». Les polyamides ont tendance à avoir une résistance à la traction et une résistance à l'abrasion et à la fibrillation supérieures à celles des autres matériaux ci-

tés, mais nécessitent plus de précautions pendant la fabrication, surtout lors de l'utilisation de techniques de soudage à haute fréquence. En général, l'utilisation d'énergie puissante à haute fréquence pendant de courte période est satisfaisante, par rapport aux autres techniques de soudage par chauffage. On sait évidemment que l'énergie à haute fréquence peut être réglée de manière très précise.

La résistance au pelage existant entre les étoffes 16 et 18, la couche 35 d'accouplement et les couche élastomères semi-perméables 12 de l'enveloppe doit être au moins égale à 31,5 N/cm. Les valeurs préférées sont comprises entre 44 et 61 N/cm. Les techniques classiques de collage peuvent donner des résistances maximales de pelage seulement comprise entre 14 et 26 N/cm.

Les fig. 3a, 3b et 3c sont analogues aux fig. 2, 2a et 2b, mais elles représentent une étoffe 14a dans laquelle les fils de liaison 20a sont inclinés. Par ailleurs, la structure est pratiquement la même.

L'une des caractéristiques importantes de l'invention est l'existence d'une liaison robuste entre le matériau écran et le matériau de l'étoffe.

On se réfère aux fig. 4a et 4b qui représentent en coupe partielle des fibres 40 des couches 16 et 18 d'étoffe, ayant de vrilles 44 et 46 qui en dépassent. Il est préférable que le matériau d'accouplement et les couches 12 soient formés du même matériau afin que la liaison soit optimale. Le matériau 23, 24 d'accouplement ne pénètre que dans les couches d'étoffe 16 et 18 et ne pénètre pas dans les éléments 20 résistant à la traction. Ainsi, l'agent d'accouplement ne pénètre pas dans la région comprise entre les couches 16 et 18 et qui est occupée par les éléments résistant à la traction, si bien que ces éléments peuvent travailler librement, sans aucune retenue. En outre, le matériau élastomère 35 d'accouplement bloque fermement les fils 20 dans les couches 16 et 18, si bien que ceux-ci ne peuvent pas être détachés et ne peuvent pas s'effiloquer près des bords de coupe de l'étoffe, lors de la découpe à la dimension et à la configuration du produit voulu. Cette caractéristique est particulièrement importante lorsque les fils 20 ne sont pas bloqués dans les couches d'étoffe 16 et 18, par exemple dans le cas d'un tissu tridimensionnel. Cependant, le procédé préféré de fabrication de l'étoffe tridimensionnelle est un tricotage sur métier Rachel à double barre à aiguilles.

La configuration géométrique texturée et bouclée des fibres individuelles les fait agir à la manière de ressort hélicoïdaux miniatures. Ainsi, les forces appliquées sont réparties très régulièrement parmi toutes les fibres du fil si bien que la résistance à la rupture du fil est à peu près égale à la résistance à la rupture des fibres individuelles multipliées par le nombre de fibres du fil; dans le cas d'un fil non texturé, la résistance à la rupture n'est qu'une petite fraction de la résistance à la rupture des fibres individuelles multipliées par le nombre de fibres du fil. Ceci est dû à l'action de rupture par effet de «domino» des fibres individuelles qui sont soumises aux contraintes les plus élevées.

Des apprêts particuliers des filaments polymères

peuvent être utilisés du moment qu'ils sont différents d'un apprêt poli (c'est-à-dire semi-mat, mat, etc.). Ceci augmente la résistance de liaison et ainsi la résistance au pelage du matériau élastomère semi-perméable 35 d'accouplement. Cependant, de tels apprêts doivent être utilisés avec précaution dans le produit sous pression selon l'invention, car cette opération réduit à la fois la résistance à la traction et la résistance à l'abrasion des fibres 20 formant les fils de liaison.

Des agents de liaison tels que le silane Q1-6106 ou le «PAPI-50» de Dow Corning peuvent aussi être utilisés; cependant, des essais ont montré une augmentation inférieure à 15% de la résistance au pelage, lors d'une utilisation avec une étoffe de polyester ou de «Nylon» 66 non texturée.

Les filaments ayant une section autre que circulaire (c'est-à-dire cruciforme, en haltère, etc.) peuvent aussi être utilisés afin qu'ils augmentent la résistance de liaison dans la couche 35 d'accouplement, mais ils peuvent réduire la résistance à la traction et la résistance à l'abrasion, lorsqu'ils sont utilisés pour les fils de liaison, et ils ont tendance à avoir un coût accru. Des filaments du type d'un ruban permettent plus efficacement le réglage du processus de diffusion activée.

Le renforcement de l'interface des fibres (fils enrobés dans la couche d'accouplement) est primordial pour l'obtention d'une résistance de la liaison à la défaillance par séparation après fatigue. Cette caractéristique est obtenue par flanellisation, abrasion ou texturisation. Divers procédés de texturisation sont disponibles, par exemple les procédés de fausse torsion, de torsion par friction, d'entraînement en rotation, de crépage des bords et de gonflement pneumatique. La fausse torsion et le gonflement pneumatique avec fixage thermique sont préférables, le gonflement pneumatique avec fixage thermique étant le meilleur procédé des deux comme indiqué dans la suite.

La caractéristique essentielle des surfaces externes des fils de support et des fils du velours des couches 12 d'étoffe sont les suivantes: les filaments individuels des brins de fil texturé et/ou adouci doivent être pliés ou mis sous forme de cosses ou de boucles et/ou discontinus et sous forme en saillie par rapport à la surface du fil. Le fil plat de base a alors un diamètre et un volume accrus, avec formation d'une surface externe sur les étoffes supérieure et inférieure, les espaces existant normalement aux intersections des brins d'étoffe en recouvrement étant remplis et/ou recouverts par les boucles, les brins ou les filaments déformés.

Il est ainsi important de noter qu'une texturisation appropriée à la fois du fil qui constitue les étoffes supérieure et inférieure et du fil qui constitue les fils de liaison est primordiale pour l'obtention de la durabilité et de la résistance à la fatigue nécessaires dans le produit comme décrit ailleurs dans le présent mémoire. Il est cependant aussi important que le fil texturé et l'étoffe tridimensionnelle terminée ait subi un fixage thermique convenable.

Les caractéristiques de surface décrites précédemment sont très importantes. En outre, il est important que le matériau d'accouplement de la couche

élastomère 35 d'accouplement ait une masse moléculaire élevée (100 000 à 500 000, entre 170 000 et 350 000 dans un cas idéal) et des molécules à longue chaîne. En outre, il est primordial, dans le procédé préféré d'application de l'organe d'accouplement de polyuréthane dans l'étoffe supérieure à l'étoffe inférieure, que la chaleur soit transmise uniformément sur toute la surface, et que les températures de surface du plateau chauffant soient réglées avec soin entre des limites spécifiées (175 et 200°C pour le polyuréthane). Le réglage précis de la durée et de l'intensité du chauffage assure la viscosité convenable du matériau d'accouplement lorsqu'une pression mécanique ou la pression atmosphérique est appliquée afin que le matériau pénètre dans les couches supérieure et inférieure 16 et 18 d'étoffe. Si la viscosité est trop élevée, le matériau ne pénètre pas suffisamment dans la profondeur des brins de fil. Si la viscosité est convenable, le matériau semi-perméable d'accouplement pénètre dans les étoffes supérieure et inférieure et entoure les filaments individuels formant chaque fil, les recouvre et y adhère, tout en bloquant et limitant simultanément la pénétration du matériau d'accouplement à une profondeur telle qu'elle ne dépasse pas l'épaisseur totale de l'étoffe supérieure ou inférieure 16 et 18. Il est très important que la pénétration de la couche d'accouplement 35 n'atteigne pas les surfaces internes des couches d'étoffe, car le matériau pourrait alors perturber le déplacement libre des fils de liaison 20. Ceci peut se produire dans les cas suivants: 1) le matériau d'accouplement n'a pas une masse moléculaire élevée suffisamment uniforme, 2) la température de l'agent d'accouplement n'a pas la valeur convenable sur la courbe température-viscosité, 3) les surfaces externes d'étoffe n'ont pas une structure convenable comme décrit dans le paragraphe précédent (et dans la description qui suit faite en référence à d'autres figures), 4) la durée de maintien à une température donnée n'est pas convenable, 5) la pression appliquée n'est pas convenable, 6) le produit composite n'est pas solidifié (refroidi) approximativement à température ambiante avant enlèvement du papier de démoulage. La construction des étoffes 16 et 18 constitue un mécanisme de limitation de la pénétration de l'agent d'accouplement. Les molécules à chaîne longue et de masse moléculaire élevée du matériau semi-perméable d'accouplement, s'enroulent autour des très fins filaments du fil texturé et adouci (flanellisé), ce fil formant un filtre qui règle et limite la profondeur de pénétration du matériau d'accouplement 35 dans les couches d'étoffe supérieure et inférieure 16 et 18.

Il est important, à ce stade de la description, de discuter plus en détail les caractéristiques que doivent posséder les surfaces d'étoffe. La fig. 5 représente un fil plat individuel 50 (non texturé) dont les fibres ou filaments individuels sont essentiellement rectilignes et forment un groupe relativement compact. L'espace libre entre les filaments est très réduit. Le matériau de la couche 35 d'accouplement ne peut pas pénétrer dans la section du fil et se fixe uniquement aux surfaces externes du groupe. Ceci n'est pas acceptable car (1) la liaison

est trop faible, et (2) le groupe ouvert accélère la diffusion activée vers l'extérieur au lieu de la réduire et de la limiter.

La fig. 6 illustre le problème supplémentaire posé par les étoffes ayant des fils plats. Des espaces ouverts 52 existent entre les divers fils qui se recouvrent dans l'étoffe tridimensionnelle terminée, si bien que le matériau d'accouplement peut passer d'une manière pratiquement libre à travers les couches 16 et 18 d'étoffe, vers la zone comprenant les fils de liaison. Les fils de liaison 20 sont ainsi collés les uns aux autres et le dispositif d'amortissement pneumatique ne se gonfle pas uniformément à l'épaisseur convenable. Dans des cas extrêmes, les couches supérieure et inférieure d'étoffe 16 et 18 sont collées l'une à l'autre si bien qu'aucun gonflage n'est possible.

La fig. 7 représente un exemple de fil texturé individuel. Des boucles, des vrilles et des extrémités 54 de filaments dépassent de la surface du fil. Les fibres individuelles forment des cosses ou des enroulements et ne sont pas rectilignes. Le fil est pelucheux ou gonflant et a un diamètre supérieur à celui d'un fil plat comparable. Les fibres ne sont pas regroupées avec une configuration compacte. Il existe un espace et un volume important entre les fibres individuelles, permettant la pénétration du matériau d'accouplement dans le fil. Le matériau d'accouplement peut facilement pénétrer dans toute la section du fil et peut ainsi bloquer les fibres individuelles de résistance mécanique élevée à l'aide du matériau élastomère semi-perméable (polyuréthane) de manière qu'un matériau composite extrêmement robuste soit formé. La résistance au pelage, existant entre le fil et le matériau élastomère, est extrêmement élevée étant donné la configuration bouclée des fibres et la pénétration de l'élastomère en profondeur entre les fibres.

La fig. 8 représente schématiquement une étoffe 55 réalisée avec un fil texturé tel que représenté sur la fig. 7. Cette étoffe n'a pas d'espace libre entre les parties de fil qui se recouvrent 55a et 55b, pouvant permettre une pénétration d'excès du matériau d'accouplement à base de polyuréthane 35 comme dans le cas de l'étoffe de la fig. 6 formée d'un fil plat. Même dans le cas d'un fil texturé, on doit respecter les opérations convenables lors du tricotage ou du tissage de l'étoffe pour que le fil ait une tension convenable (qui n'est pas excessive) pendant l'opération de tricotage ou de tissage et de manière que la densité soit uniforme à la surface du tissu, dans toutes les parties de celui-ci. De cette manière, la technique de réglage de la préparation et de filtrage moléculaire est mise en œuvre et permet l'obtention très efficace du degré précis voulu de pénétration du matériau d'accouplement 35.

La fig. 9 est une perspective d'un fil unique 60 qui a été texturé par mise en œuvre d'un procédé très particulier. Il s'agit d'un fil gonflé par de l'air. Non seulement le fil est plus volumineux que d'autres fils texturés, mais il est fixé thermiquement de manière bien plus permanente, au cours de l'opération de texturisation. L'opération de fixage thermique verrouille les boucles, vrilles et cosses 56 si bien que, même après étirage par application de force de trac-

tion et relaxation de nombreuses fois, par exemple au cours du tricotage ou dans le produit terminé, les fibres reprennent leur état texturé lorsque la force de traction est supprimée. Cette propriété d'élasticité permanente peut exister même après plusieurs millions de cycles de mise sous tension et de relaxation si bien que la résistance à la fatigue par flexion et la résistance à l'abrasion des fils de liaison 20 (sous tension) sont fortement accrues. Ceci est décrit plus en détail dans la suite du présent mémoire. Il suffit de noter pour l'instant que la texturisation par gonflement pneumatique et fixage thermique est un procédé très satisfaisant pour que le réglage de la pénétration du matériau macromoléculaire 35 d'accouplement soit assuré.

La fig. 10 représente une étoffe 65 dont la construction a été obtenue avec le fil gonflé pneumatiquement de la fig. 9. Les avantages d'une telle étoffe sont supérieurs à ceux qui sont représentés sur la fig. 8. Il est ainsi important que les couches d'étoffe n'aient pas de passages directs libres ou de trajets communiquant avec la partie centrale ou d'âme des couches de fibres.

D'autres procédés de traitement de la surface de l'étoffe peuvent être utilisés pour l'augmentation de la résistance de liaison, bien qu'ils ne constituent pas des procédés préférés. De tels procédés comprennent l'abrasion de la surface ou la flammélisation de la surface de l'étoffe afin que des boucles ou des vrilles ou des brins rompus en saillie soient créés. Les espaces libres éventuels entre les fils qui se recouvrent sont ainsi recouverts par les vrilles et boucles de filaments rompus qui permettent au moins un réglage partiel de la pénétration du matériau macromoléculaire d'accouplement comme indiqué sur la fig. 11.

Une autre approche moins avantageuse est l'utilisation d'une fibre discontinue qui a été filée sous forme d'un fil contenant au moins 70% de filaments continus. Les vrilles ou fibres discontinues dépassent donc de la surface du fil, et les extrémités opposées sont bloquées dans le groupe de fibres ou fils comme représenté sur la fig. 12.

On se réfère à nouveau à la fig. 2; étant donné la structure des filaments et des fils, décrite précédemment, les faces externes 32 et 34 des couches d'étoffe ont de nombreuses vrilles ou boucles minuscules qui forment des points ou sites de fixation 29 et 30. Ils sont représentés comme dépassant vers l'extérieur des surfaces externes sur la fig. 2, à titre illustratif, mais il faut noter qu'il sont ensuite liés dans le matériau d'accouplement comme représenté sur la fig. 4c sur laquelle les références numériques sont les mêmes que celles qu'on a déjà utilisées. Ces sites de situation sont formés par les vrilles qui font partie des filaments dont l'étoffe est formée.

On se réfère maintenant à nouveau aux fig. 4a et 4b; le brin 40 de fil comporte plusieurs vrilles 42 qui dépassent de la surface du brin. Les vrilles peuvent être des boucles 44 ou des fibres fragmentées 46, ou les deux. Le procédé de formation de telles vrilles a déjà été décrit. Les vrilles augmentent notablement la surface de fixation comme décrit précédemment. Les vrilles dépassent dans di-

verses directions, suivant les opérations utilisées pour leur formation. Comme indiqué, les vrilles sont placées à la surface supérieure du brin et de préférence tout autour de la surface du brin.

Dans la structure terminée représentée par exemple sur la fig. 4c, les surfaces internes 68 de la couche semi-perméable externe 12 formant écran sont mises à l'état fondu afin que l'agent 23 d'accouplement puisse se fixer, celui-ci étant aussi par exemple fondu dans le plan de l'interface 69. L'application de chaleur à l'enveloppe pendant la fabrication est de préférence réglée de manière que la zone fondue 35 et la région correspondante d'agent d'accouplement à l'intérieur des couches d'étoffe soient les seules parties de la structure qui fondent. Cette couche fondue a une épaisseur très limitée, à la fois dans la couche formant écran et la couche d'agent d'accouplement (profondeur comprise entre 25 et 50 μm). Cependant, dans cette opération, les liaisons obtenues sont très robustes.

Le chauffage diélectrique à haute fréquence (en combinaison avec des radiateurs, est particulièrement utile pour la focalisation sélective de la chaleur fournie et pour le réglage des parties qui sont chauffées et de celles qui ne le sont pas. Un montage très efficace pour le réglage du collage du film écran 12 à l'agent d'accouplement en 35 est représenté sur la fig. 13. Les moules supérieur et inférieur de collage 70 et 71, qui peuvent avoir une configuration correspondant à la périphérie de l'étoffe découpée, sont formés de laiton plein et sont refroidis par circulation d'eau. Ces moules ont une hauteur de 2,5 à 5 cm afin que la zone de pénétration maximale de l'énergie à haute fréquence soit focalisée dans le plan central horizontal de l'étoffe. Comme l'étoffe a une faible constante diélectrique, elle ne s'échauffe pas. D'autre part, le matériau du film 12 et les couches 23 et 24 d'accouplement sont très polaires et s'échauffent rapidement à l'interface sous l'action de l'énergie à haute fréquence. Les moules refroidis de collage constituent un radiateur qui retire la chaleur de la surface externe du film écran. Le résultat est une focalisation très nette du chauffage à l'interface localisée de la surface interne du film écran 12 et des couches du matériau de collage. Cette zone s'échauffe rapidement à une température d'environ 175 à 200°C, comme l'indique l'échelle de températures du graphique de la fig. 13. A cette température, le film écran et la couche d'accouplement sont bloqués fermement au niveau moléculaire sous la pression des moules de collage. Cette opération est réalisée au mieux par application de la plus grande quantité d'énergie à haute fréquence possible en pratique pendant la plus courte durée possible.

Après raccordement de la couche 12 d'enveloppe (fig. 2b) à la surface de l'étoffe revêtue comme décrit, le matériau de la couche d'accouplement a tendance à s'associer ou à se fondre au matériau de l'enveloppe sous forme d'une structure cohérente dans laquelle les fibrilles sont fermement ancrées. Comme le matériau de l'enveloppe est raccordé au matériau d'accouplement et comme ce dernier entoure ou recouvre ou enrobe tous les fils relativement gros et les fibres et fibrilles relativement petites et

y pénètre, la résistance de la liaison est exceptionnellement élevée et bien supérieure à celle qui pourrait être obtenue simplement par utilisation d'agent d'accouplement. La séparation résultant de la pression interne du gaz n'apparaît donc pas à l'interface entre les deux matériaux mais est plutôt due à la fracture ou à l'extraction des fibres ou vrilles du matériau 35 d'accouplement. En d'autres termes, la séparation observée au-delà des résistances relativement élevées au pelage indiquées précédemment, n'est pas une séparation de deux couches distinctes, comme dans le cas de deux feuilles collées ou associées sur toute leur surface.

La couche écran 12 est fermée hermétiquement par une soudure 38 (fig. 2b) placée tout autour de la périphérie de la structure afin qu'une enceinte étanche soit formée.

Il est préférable que la périphérie de la structure, au niveau de la soudure, ait à peu près la moitié de l'épaisseur originale en coupe des deux feuilles du matériau écran. La soudure 38 est normalement aussi proche que possible du bord de l'étoffe 14 à deux nappes sans piégeage d'étoffe ou de fils de celle-ci dans la soudure. Des filaments qui peuvent être piégés dans la soudure risquent de provoquer des fuites comme décrit en détail dans la suite du présent mémoire. L'élimination d'étoffe ou des fils dans la zone de la soudure peut être obtenue par application initiale du matériau d'accouplement sur l'étoffe, comme indiqué précédemment. Cependant, dans certains cas, il est souhaitable que la soudure soit placée à une distance donnée du bord de l'étoffe afin qu'un ou plusieurs tubes ou tronçons formant accumulateur de pression et stabilisateur soient formés (fig. 32, 33a, 33b, 33c). Si une étoffe est appliquée à la surface externe de l'enveloppe, elle n'est placée qu'en dehors de la soudure périphérique si bien qu'aucune partie de l'étoffe ou de revêtement ne peut pénétrer dans la soudure.

Le cas échéant, les faces externes de l'étoffe peuvent être traitées par des agents chimiques de liaison tels que des silanes ou des matériaux «Silastic» tels que «Dow Q1-6106» afin que l'adhérence soit accrue. On a cependant constaté que des agents de liaison chimique n'augmentent pas la résistance nécessaire au pelage lorsqu'ils sont seuls.

Dans un procédé moins avantageux, les faces externes de l'étoffe 14 sont traitées à la flamme afin que la surface soit oxydée et que de nombreux sites mécaniques de fixation soient formés. On a cependant constaté que le traitement par une flamme pouvait réduire la résistance mécanique de l'étoffe d'une manière trop importante.

Des structures selon l'invention ayant des épaisseurs, après gonflage, comprises entre 2,5 et 12,5 mm ont été gonflées de façon satisfaisante au-delà de 12,5 bars et ont conservé ces pressions pendant plusieurs mois sans défaillance. Il est aussi possible, selon l'invention, de réaliser des produits qui ont des épaisseurs variables à l'état gonflé, grâce à la formation d'un profil réglé en surface, c'est-à-dire par utilisation d'une étoffe plus mince dans une partie et plus épaisse dans une autre partie. Les fig. 14 et 14a représentent une première 75 par

exemple dans laquelle l'étoffe 76, déjà décrite, est tissée ou tricotée afin qu'elle comporte une partie épaisse 77 (partie de talon) et une partie mince 79 (devant du pied) séparées et reliées par une partie 80 d'épaisseur variant progressivement. Dans ce mode de réalisation, un dispositif de gonflage-dégonflage peut aussi être utilisé. L'étoffe est revêtue du matériau d'accouplement puis découpé au poinçon, l'étoffe épaisse formant la partie de talon, l'étoffe mince la partie avant du pied et la partie d'épaisseur variant progressivement la zone intermédiaire du produit sous pression.

En général, le matériau préféré pour le film écran est un polyuréthane, comme décrit dans les brevets précités des Etats-Unis d'Amérique, bien que d'autres films écrans élastomères conviennent. Le matériau d'accouplement est avantageusement le même matériau à base d'uréthane qui est déjà utilisé pour la couche écran externe. L'étoffe est formée de filaments fixés thermiquement afin que les couches d'étoffe restent bien positionnées avec précision l'une par rapport à l'autre pendant la manutention et la fabrication. On a obtenu des résultats très satisfaisants avec des filaments ayant un denier égal à 3, une résistance à la traction de 3.10^{-2} N/denier, comprenant environ quarante filaments par fil et un à trois fils par touffe ou brin, l'étoffe étant composée d'environ soixante-huit brins ou touffes par centimètre carré. Lorsqu'un chauffage à haute fréquence a été utilisé pour le collage de la couche élastomère semi-perméable aux faces externes de l'étoffe revêtues de l'agent d'accouplement, on a constaté qu'un chauffage des moules à une température comprise entre 38 et 65°C, avec une haute fréquence de 27,12 MHz donnait la liaison voulue sans que le reste de la structure soit détériorée.

Le gaz préféré de gonflage est l'hexafluoréthane, bien que l'invention ne soit pas limitée à celui-ci. La vitesse de diffusion de l'air dans l'enveloppe et la vitesse réduite de diffusion de l'hexafluoréthane en dehors de l'enveloppe dépendent de la surface par laquelle la diffusion peut être réalisée. Il est aussi utile de considérer plus en détail la construction décrite en référence aux fig. 2, 2a et 2b à titre illustratif. On peut noter qu'un pourcentage important de la section des couches externes du dispositif est occupé par des fibres, formant les surfaces externes de l'étoffe et enrobées dans les matériaux élastomères de la substance d'accouplement 35 ainsi que dans le film élastomère écran 12 (enveloppe retenant la pression). Les fibres de l'étoffe sont formées de matériaux cristallins très déformés formant un écran au passage du gaz (par exemple polyester ou «Nylon»). Les vitesses de diffusion dans ces matériaux sont très faibles. En conséquence, la présence d'une quantité importante de polymères cristallins déformés dans les couches externes composées du matériau écran et du matériau d'accouplement dans le produit assure une réduction efficace ou un blocage des gaz à l'intérieur ou à l'extérieur de l'article gonflé, grâce au processus de diffusion activée. La vitesse de diffusion et le pompage par diffusion peuvent être réglés par modification de la construction ou de la densité des

surfaces externes de l'étoffe, c'est-à-dire de fibres et de fils qui constituent la partie de support de l'étoffe. Le cas échéant, la construction des surfaces de support de l'étoffe peut être modifiée indépendamment de la partie du velours 20 (fil de liaison) placée entre les surfaces externes de l'étoffe et les reliant. Ainsi, cette disposition permet la conservation des propriétés souhaitables et nécessaires des matériaux élastomères de l'enveloppe avec simultanément les avantages d'une réduction des vitesses de diffusion et du pompage par diffusion par incorporation sélective d'éléments cristallins à l'intérieur de la couche d'accouplement et de l'enceinte élastomère. L'effet immédiat est que, dans le cas de l'hexafluoréthane, la vitesse de diffusion vers l'extérieur de l'enveloppe, qui est déjà relativement faible, subit une réduction notable. L'effet pratique est que l'hexafluoréthane est retenu bien plus longtemps. Ceci est surtout important dans les dispositifs minces selon l'invention, ayant des rapports surface/volume importants. Par exemple, la surface des dispositifs minces selon l'invention peut présenter plus de quarante unités de surface pour la diffusion du gaz pour chaque unité correspondante du volume du gaz contenu. Ceci correspond à une valeur quatre fois supérieure environ à celle des dispositifs d'amortissement pneumatiques tubulaires ou bombés des brevets précités des Etats-Unis d'Amérique et le problème de la conservation de la pression uniforme voulue de gonflage dans le produit pendant toute la durée de vie prévue est quatre fois plus aigu.

L'effet secondaire est de permettre l'utilisation de 20 gaz autre que l'hexafluoréthane ou une plus grande quantité d'autres gaz lors du gonflage initial. Par exemple, on sait que l'oxygène a une vitesse élevée de diffusion à travers un matériau élastomère formant un écran. L'azote gazeux a une vitesse de diffusion bien inférieure et l'hexafluoréthane a une vitesse de diffusion encore très inférieure. Comme l'étoffe réduit la surface élastomère disponible pour le passage du gaz, permettant la diffusion, des gaz diffusant plus lentement peuvent être utilisés pour le gonflage, c'est-à-dire des gaz ayant une vitesse de diffusion inférieure à celle de l'oxygène. Comme l'air contient environ 78% d'azote et 21% d'oxygène, le reste étant formé de gaz présents en petites quantités, l'air peut être utilisé pour le gonflage dans un élément convenablement construit, puisque la diffusion d'azote est relativement lente à cause de la faible surface de diffusion et la vitesse relativement élevée de diffusion de l'oxygène ne représente que 21% du constituant gazeux (0,175 bar). Ainsi, le gonflage initial a une pression relativement élevée à l'aide d'air assure une perte de pression relativement faible au cours du temps. Il apparaît que l'utilisation d'air ou d'autres gaz ayant une vitesse efficace de diffusion inférieure à celle de l'oxygène présente des avantages en pratique. Des propriétés du matériau de l'étoffe comme protection contre la diffusion reposent sur la déformation et l'application de contraintes moléculaires au matériau de l'étoffe et à sa constitution très cristallographique. Dans tous les cas, la densité d'énergie de cohésion est telle que le matériau de l'étoffe forme

un écran au passage du gaz.

Lorsqu'il faut que la diffusion soit interdite pratiquement à 100%, un tissu serré (un taffetas a été utilisé de façon satisfaisante) est imprégné d'une couche d'uréthane à température élevée de fusion qui est collée sur une seconde couche d'uréthane de plus faible température de fusion. Cette étoffe composite est utilisée comme matériau pour l'enveloppe 12 (à la place du film d'uréthane). Le collage, à l'aide d'énergie à haute fréquence, assure la solidification satisfaisante de la couche à basse température à l'agent 48 d'accouplement aux surfaces externes de l'étoffe. Dans ce cas, des éléments cristallins sont formés non seulement par les fibres de support des surfaces de l'étoffe d'âme mais aussi par les fibres cristallines de la couche externe de taffetas. Dans cette disposition, toute la surface du dispositif, jusqu'à la soudure périphérique et y compris celle-ci, est formée de ce produit particulier qui est sélectivement perméable à l'oxygène gazeux de l'air ambiant et qui constitue une barrière pour l'azote gazeux de l'atmosphère ambiante.

On peut visualiser certains des comportements précédents relatifs à l'association du matériau composite par fusion, lorsqu'il comporte à la fois des constituants élastomères et cristallins, par considération du matériau élastomère comme le liant qui relie les éléments cristallins. Le matériau élastomère donne une bonne résistance à la fatigue par flexion et les propriétés physiques voulues relatives au module d'élasticité, à l'allongement, aux possibilités de traitement à la fabrication et au scellement par chauffage. Les éléments cristallins constituent une barrière proportionnelle s'opposant à la diffusion. De cette manière, les propriétés élastomères de la structure composite existe jusqu'aux limites entre les éléments élastomères et cristallins de la structure. Les matériaux cristallins sont ainsi protégés contre la détérioration par les contraintes de fatigue. L'aptitude au scellement est obtenue dans la partie élastomère interne du produit composite. Un cordon de soudure placé au raccord périphérique interne du produit empêche la création d'un trajet de fuite par des fibres qui pourraient être exposées au gaz interne sous pression.

Un autre des avantages de l'invention est la variété des configurations qui peuvent être formées. Par exemple, la fig. 15 représente un talon 90 dans lequel les surfaces supérieure et inférieure sont planes et pratiquement parallèles l'une à l'autre. Ce talon diffère des talons de la technique antérieure à cause de la configuration plane de ses surfaces, différente de celle des articles bombés ou tubulaires de la technique antérieure. Comme le talon selon l'invention est relativement mince, il peut être mis à une pression élevée et être léger, et il présente des avantages importants par rapport aux talons connus puisque le profil du talon de la chaussure peut être aminci et permet l'utilisation de nombreux types de chaussures, y compris des chaussures de ville ou habillées pour hommes et femmes. La structure du talon 90 est telle que décrite précédemment.

La fig. 16 représente un support gonflé 95 selon l'invention, appelé support sinueux à cause de sa

forme de serpent. La structure interne du dispositif est telle que décrite précédemment. L'ensemble comporte une branche médiale 97 et une branche latérale plus courte 99 avec une zone libre 100 entre les parties opposées des branches et en avant du tronçon arrière 101. L'ensemble 99 est introduit dans une chaussure de manière que la branche médiale 97 se trouve du côté médiale du pied, la zone libre 100 étant de façon générale sous le calcanéum. La branche médiale est placée sous la voûte du pied et assure le support de celle-ci alors que le tronçon arrière 101 est courbe comme représenté afin qu'il corresponde au profil général du talon. Les surfaces supérieure et inférieure sont plates et planes et distantes parallèlement. Le dispositif a tendance à stabiliser le pied et à assurer l'amortissement et le support de la voûte.

On se réfère maintenant aux fig. 17 et 17a qui représentent une variante d'organes stabilisateurs gonflés 110 sous forme d'un support sinueux ayant des branches médiale et latérale 112 et 113. La structure interne est telle que décrite précédemment. Les branches médiale et latérale sont distantes l'une de l'autre et se raccordent à un tronçon arrière qui est recourbé en 114 et qui correspond au profil du talon. Dans ce mode de réalisation, une chambre gonflée séparée 115 est placée en avant du tronçon arrière et entre les branches. Ce tronçon gonflé a une forme bombée, comme l'indique la fig. 17a, afin qu'il constitue un élément spécial d'amortissement placé sous le calcanéum. La surface du tronçon bombé est placée au-dessus de celle des branches adjacentes. Dans le mode de réalisation représenté, une soudure formée par chauffage est disposée tout autour de la périphérie de la chambre gonflée et elle constitue une chambre séparée des parties externes du support. Ainsi, les parties externes peuvent être mises à une première pression et la chambre 115 a une autre pression, habituellement plus faible pour des raisons de confort et d'amortissement. La partie centrale peut aussi être reliée à la partie externe et peut alors jouer le rôle d'un accumulateur donnant des propriétés différentes de fléchissement sous charge dans le coussin pneumatique.

Il faut noter que la chambre séparée 115 peut être réalisée avec un matériau sous forme d'une étoffe tridimensionnelle au lieu d'être simplement une chambre bombée gonflée. Dans cette variante, l'étoffe peut être plus épaisse que le matériau des branches médiale et latérale afin que l'amortissement soit accru et la pression de gonflage peut être réduite afin que le support soit plus doux sous le calcanéum.

Les fig. 18 et 34a, 34b représentent une structure gonflée 120 dans laquelle plusieurs chambres 122 et 124 sont formées par trois feuilles 125, 126 et 127 formant des écrans. Ces feuilles écrans sont composées d'un matériau élastomère tel que décrit précédemment et un matériau sous forme d'une étoffe 128, 129 est placé entre les feuilles adjacentes, comme décrit précédemment. Cette forme particulière de l'invention peut constituer un produit dans lequel une chambre constitue une première placée sur toute la longueur de la chaussure et la par-

tie supérieure constitue le support du talon ou un modérateur. En outre, la partie supérieure peut être à une pression plus faible que celle de la partie inférieure afin qu'un coussin supérieur relativement doux soit formé au contact de la partie inférieure du pied, le tronçon inférieur sous pression plus élevé empêchant un talonnement.

Dans le mode de réalisation de la fig. 18, la chambre supérieure peut avoir une surface inférieure à celle de la chambre inférieure, c'est-à-dire que la partie supérieure n'a pas à avoir la même étendue que la partie inférieure. Dans certains produits, il peut être souhaitable d'utiliser un support de talon ayant une pression supérieure à celle de la partie inférieure car il peut être placé dans une cavité formée dans le talon alors que le tronçon supérieur peut former un revêtement de sabot placé sur toute la longueur de celui-ci. Ainsi, l'invention concerne des structures possibles très diverses et de nombreuses variantes.

Par exemple, l'article sous pression peut être utilisé soit comme semelle à glisser sur toute la longueur ou sur une partie seulement de la longueur. Il peut avoir une configuration assurant le support de la voûte, constituant un article à rajouter ou incorporer à la chaussure. Il peut être placé dans une chaussure pendant la fabrication par incorporation à une cavité convenable de la première ou ailleurs dans la chaussure. Il peut être enrobé totalement ou partiellement dans une mousse, dans une semelle intermédiaire ou ailleurs dans une chaussure.

Il faut aussi noter que les feuilles du produit peuvent avoir des caractéristiques différentes de diffusion gazeuse. Ainsi, une seule couche doit être semi-perméable au gaz, l'autre pouvant être imperméable. En fait, il suffit qu'il existe au moins une région semi-perméable dans la structure. Bien qu'il soit préférable que les surfaces de l'étoffe soient uniformément liées à la surface du matériau formant l'écran, il peut arriver que des régions délimitées de la surface ne soient pas collées ou qu'aucune étoffe n'y soit présente. Un exemple de structure de ce type est représenté sur les fig. 17 et 17a et la fig. 33a. En outre, il apparaît que l'enveloppe peut être réalisée avec des matières premières autres que des matériaux en feuilles. D'autres techniques, par exemple le moulage par soufflage ou le moulage par injection, peuvent être utilisées pour la formation de l'enveloppe, suivies par le raccordement de l'enveloppe au tissu puis par sa mise sous pression. Les fig. 19 à 19d représentent une telle approche. Dans ce cas, un support 130 de talon a un tronçon arrière 132 de paroi qui est relativement épais et des parois latérales relativement épaisses 133 et 134 comme représenté. L'étoffe 14 est aussi présente. D'autres procédés comprennent le formage sous vide, par moulage par embouage, par moulage rotatif, par moulage par soufflage, par vulcanisation, par moulage par coulée en moule ouvert et analogue.

Il est important d'insister maintenant sur les propriétés originales de souplesse que donne le dispositif gonflé selon l'invention. Comme indiqué précédemment, un produit optimal d'amortissement doit absorber la plus grande quantité possible d'énergie de

choc et doit restituer le plus grand pourcentage possible de cette énergie, et simultanément il doit atténuer les forces de choc à la plus faible valeur possible. Ainsi, un dispositif d'amortissement optimal est considéré comme ayant une souplesse excellente.

Le fonctionnement du produit selon l'invention, possédant une bonne souplesse, apparaît à l'examen des fig. 20, 21, 22, 23, 24. Le coussin pneumatique selon l'invention peut absorber une énergie maximale de choc avec un amortissement maximal (bonne atténuation des chocs pour un fléchissement maximal permis) à cause de la configuration originale de la courbe force-fléchissement 150 de la fig. 20. La configuration de cette courbe 150 se rapproche d'une forme rectangulaire qui est la forme idéale, par rapport à la courbe 152 qui représente les caractéristiques force-fléchissement d'un dispositif gonflé à plusieurs chambres de la technique antérieure. La fig. 21 indique l'absorption d'énergie du produit de la technique antérieure, indiquée par la courbe 155, par rapport à celle d'un produit selon l'invention indiquée par la courbe 156, 20 ayant une épaisseur moitié de celle du produit de la technique antérieure.

Les fig. 22, 23a et 23b montrent comment ce résultat est obtenu. Le pied est représenté lors du début du choc du coussin pneumatique 160 sur la fig. 23a. Comme indiqué, la pression dans le dispositif peut agir sur toute la surface d'application de force de la partie inférieure du pied, avec création instantanée d'une grande force de support avant qu'un fléchissement notable ne soit assuré. Lorsque le pied s'enfonce plus loin dans le coussin pneumatique comme indiqué sur la fig. 23b, l'élément supérieur externe, qui est une structure composite comprenant la couche externe d'étoffe enrobée dans l'agent d'accouplement de polyuréthane et le film écran, travaille à la traction comme une peau de tambour et introduit une seconde force de support étant donné les composantes verticales de tension existant dans l'élément supérieur externe comme indiqué par le diagramme vectoriel 162. Cette force supplémentaire de support est représentée sur la fig. 22 par la région hachurée 165.

Etant donné la caractéristique efficace de restitution d'énergie 1) de l'effet de peau de tambour et 2) des propriétés thermodynamiques très efficaces, essentiellement analogues à celles d'un gaz parfait, du fluide de gonflage, ainsi que 3) du fait que les coussins selon l'invention peuvent être disposés dans des chaussures ou d'autres dispositifs d'amortissement sans enrobage dans une mousse (qui perturbent beaucoup les propriétés de restitution d'énergie), les produits selon l'invention restituent un pourcentage important de l'énergie d'impact absorbée par rapport aux produits classiques sous pression de gaz à enrobage par une mousse, aux semelles intermédiaires de mousse, au «Sorbothane», au gel, etc. qui gaspillent et dissipent la plus grande partie de l'énergie sous forme de chaleur. Sur la fig. 24, la référence 170 désigne la courbe d'énergie absorbée par un produit classique à enrobage de mousse, la courbe 172 représente l'énergie restituée par ce produit (avec un rendement d'envi-

ron 40%), la courbe 175 représente l'énergie absorbée par le produit selon l'invention, la courbe 176 représente l'énergie restituée par ce produit (rendement de 50 à 90%), la courbe 177 correspond à un produit de mousse (rendement de 30%) et la courbe 179 correspond à des produits de «Sorbothane» et de gel (rendement de 2%).

Par rapport aux produits tubulaires classiques sous pression, une quantité déterminée d'énergie d'impact peut être absorbée avec un beaucoup plus faible espace de déplacement lors de l'utilisation du produit de l'invention. Par exemple, la fig. 21 indique que le produit selon l'invention absorbe la même énergie d'impact pour un déplacement moitié de celui du produit classique sous pression, avec d'excellentes propriétés globales d'amortissement (c'est-à-dire des forces de choc suffisamment faibles pour être acceptables).

La pression de gonflage est le facteur principal (mais non unique) qui peut être utilisé pour la modification de la configuration des propriétés force-fléchissement du produit selon l'invention. La fig. 25 représente des courbes pour trois coussins différents à trois pressions différentes, c'est-à-dire une courbe 180 à pression moyenne, une courbe 182 à pression élevée et une courbe 184 à faible pression. On note que l'ensemble à pression élevée peut absorber beaucoup plus d'énergie dans un espace beaucoup plus réduit (ou pour un plus faible fléchissement). La courbe 182 de la fig. 25 est identique à la courbe 156 de la fig. 21. L'ensemble à basse pression a un toucher plus doux mais peut provoquer un talonnement dans certains cas.

Il arrive que la montée initiale rapide de la courbe force-fléchissement soit nuisible. Ceci se produit dans des chaussures dans lesquelles le confort perçu a une importance primordiale et les forces d'impact sont faibles, par exemple dans les chaussures de ville, les chaussures de travail des ouvriers ainsi que certains types de chaussures de marche. Il existe divers moyens pour obtenir un toucher initial relativement doux (autre que la réduction de la pression de gonflage). Certains sont illustrés sur la fig. 26 et les figures associées 26a et 26b. Par exemple, des pattes ou picots 190, des barres 191 ou un treillis 192, formés à la partie inférieure du modérateur, peuvent donner cet effet par modification des caractéristiques de force-fléchissement de la peau de tambour (voir les diverses parties représentées en trait interrompu pour la courbe force-fléchissement). Le modérateur est utilisé avec le coussin pneumatique selon l'invention, la face à picots étant au contact du coussin ou en sens opposé. En outre, la nature du fil, la construction de l'étoffe, le module d'élasticité du film écran, etc. peuvent modifier le confort perçu et les caractéristiques de force-fléchissement du dispositif.

Il est intéressant de décrire la solution à l'un des problèmes les plus gênants rencontrés au cours du programme de mise au point de six années qui a conduit à la réalisation des nouveaux coussins pneumatiques sous forme d'un produit fiable prêt à être commercialisé.

Le problème concerne la défaillance des filaments résistant à la traction (fils de liaison) à la sui-

te d'une fatigue lors d'une exposition prolongée à de nombreux cycles de flexion, de fléchissement, de torsion et d'abrasion. Ces défaillances (ainsi que les défaillances par séparation) ont apparues au cours des essais d'éléments gonflés de nombreuses centaines de chaussures de sport utilisées pendant des milliers de kilomètres d'essais par de nombreux athlètes de haut niveau. Bien que le taux de défaillance ne soit pas indépendant des taux de défaillance des autres éléments de la chaussure, dans le cas d'un dispositif gonflable à pression élevée de ce type, la fiabilité doit être supérieure à celle des autres constituants étant donné qu'une défaillance rend pratiquement inutilisable l'ensemble du produit.

Les coussins pneumatiques utilisés dans les chaussures de sport sont soumis à des forces de nombreux types différents, en plus de celles qui sont liées à un simple mouvement vertical, par exemple, des forces de cisaillement dues à un virage et à un arrêt, une flexion longitudinale lorsque le pied se déplace d'une frappe par le talon à une rotation de la pointe, une flexion latérale et une torsion en cours de pronation et de supination. Des machines très particulières d'essais qui simulent le cycle d'utilisation d'une chaussure sont aussi utilisées pour l'accélération des essais de contrôle de qualité des coussins pneumatiques. Ces machines fonctionnent à une vitesse relativement élevée et soumettent le coussin pneumatique à un nombre de cycles d'application de forces qui, en deux jours, correspond à ce qu'un athlète accumule en deux à trois ans d'entraînement. En outre, ces essais sont beaucoup plus sévères par le type de force appliquée, si bien que deux jours d'essais avec les machines d'essais de flexion «Kim» correspondent à en fait approximativement à 5650 km de course de marathon. Une chaussure de course de bonne construction ne dure pas plus d'environ 1300 à 2250 km. En conséquence, les éléments qui résistent à deux jours de cet essai durent en général plus longtemps que la chaussure d'un facteur au moins égal à deux. Les fig. 27a et 27b représentent un exemple de coussin pneumatique 210 monté sous la tête mobile 212 d'essai et supporté par des guides fixes formés par des galets 213 placés de part et d'autre de la tête d'essai de ces machines spéciales d'essais de flexion «Kim». Comme représenté, le coussin 210 est exposé à une force sévère de compression ascendante ainsi qu'à un fléchissement et une flexion et à un certain cisaillement lors du mouvement vertical de la tête d'essai 212 alors que les galets restent fixes. La compression est assurée par le fait que la tête 212 repousse le coussin contre un siège cylindrique profilé 215 comme indiqué sur la fig. 27b. De nombreux de ces essais ont été réalisés afin que les modes de défaillance soient isolés. L'essai permet une duplication précise et rapide des modes de défaillance observés dans des essais d'utilisation réelle.

Le but exclusif est la fonction des fils de liaison est de constituer des organes travaillant à la traction afin qu'ils retiennent le fluide sous pression et assurent la conservation de la configuration géométrique voulue et de l'intégrité de la structure du dis-

positif. En conséquence, le problème de défaillance a été relativement imprévu en ce qu'il a apparu pendant la partie du cycle d'utilisation dans laquelle les fils de liaison n'étaient pas sous tension et ne remplissaient aucune fonction utile. Les fils de liaison n'ont aucune fonction lorsqu'ils ne sont pas sous tension et ils n'encaissent pas les forces de compression, si bien qu'ils n'interfèrent pas avec la fonction principale du fluide sous pression qui est de supporter les forces de compression.

Une bonne réalisation donne un fléchissement aussi important que possible, dans les limites d'espace qui sont fixées, de manière que le fluide sous pression puisse supporter pleinement et atténuer les forces de choc et puisse absorber et restituer la plus grande quantité possible d'énergie qui serait autrement perdue. Dès que les fils de liaison ne sont plus sous tension (fig. 28b), ils commencent à fléchir, à se vriller et à se plier. Lorsque la descente se poursuit, il fléchissent et se replient de manière aléatoire et ils frottent aussi les uns contre les autres. Dans cette partie du cycle d'utilisation, le déplacement relatif des brins des fils est considérable. Ce déplacement est aggravé par les forces de cisaillement (associées à l'arrêt et au virage) appliquées au coussin pneumatique ainsi qu'à la torsion longitudinale et latérale et à la flexion du coussin lorsque l'athlète effectue des mouvements parfois très sévères au cours de divers exercices sportifs. Ce fléchissement et cette flexion des fils de liaison créent en général des contraintes de fatigue dans les parties externes des fibres individuelles. Une détérioration par abrasion peut apparaître lorsque les fibres se tordent et se déplacent les unes contre les autres. En présence de forces particulièrement importantes (c'est-à-dire pendant moins de 2% de l'utilisation normale de l'élément), le produit présente un talonnement dans lequel il piège et écrase les fibres résistant à la traction les unes contre les autres et contre les surfaces internes des couches composites (fig. 28c). Après de nombreux cycles d'une telle déformation, il est possible que les défaillances par fibrillation et fatigue des filaments des fils apparaissent du fait de l'écrasement répété des éléments de liaison lors du talonnement (fig. 29c et 30). Une partie des fibres est affaiblie et elle se rompt ensuite lorsqu'elles sont mises sous tension. La contrainte de tension dans les fibres restantes augmente et un effet de transmission de proche en proche apparaît lorsque les fibres successives se cassent. Finalement, un anévrisme apparaît. La texturisation par gonflement pneumatique et fixage thermique des fibres réduit et empêche efficacement ce type de défaillance comme décrit dans la suite.

Comme la plupart des dispositifs d'amortissement de ce type sont destinés à fonctionner à proximité des limites de talonnement afin que l'amortissement soit maximal dans le minimum d'espace, le talonnement se présente parfois et aggrave ce problème de défaillance.

Une analyse des défaillances et des essais de laboratoire ont été exécutés de manière très importante pour la résolution de ce problème. Le mécanisme de la défaillance et les solutions qui ont été mi-

ses au point pour la résolution de ces problèmes sont mieux décrits en référence aux fig. 28a à 29e. Les fig. 28a à 28c montrent comment trois types de fibres travaillent différemment en mode de flexion vers le bas, surtout lors du talonnement, ces fibres étant 1) des fibres plates ou rectilignes 200, 2) des fibres texturées classiques 201, et 3) des fibres gonflées pneumatiquement et fixées thermiquement 202. Comme indiqué sur la fig. 28a, lorsqu'elles sont sous tension, toutes ces fibres sont tendues sous forme rectiligne et elles travaillent toutes de la même manière sous l'action des forces de traction. Cependant, dès qu'une force de compression externe est appliquée, le coussin pneumatique fléchit vers le bas et les fibres des fils de liaison se détendent et passent à l'état relaxé (fig. 28b). La fibre rectiligne 200 (non texturée) présente une sorte de flambage et commence à fléchir. La fibre texturée de manière classique 201 (qui, comme représenté, est plus volumineuse que la fibre rectiligne) diminue de longueur comme un ressort hélicoïdal. La fibre gonflée pneumatiquement et fixée thermiquement 202 (plus volumineuse que la fibre texturée classique) présente aussi une réduction de longueur à la manière d'un ressort. La condition de talonnement, après plusieurs millions de cycles de flexion verticales, est représentée sur la fig. 28c. Comme indiqué, la fibre rectiligne 200 a fléchi sur elle-même. La fibre gonflée pneumatiquement 202 est comprimée sous forme d'un faisceau souple et volumineux de fibres mélangées formant des boucles qui s'imbriquent les unes dans les autres dans diverses directions de manière aléatoire. La fibre texturée de manière classique 201, étant donné les nombreux cycles de mise sous tension et de flexion, est revenue à son état antérieur à la texturisation, c'est-à-dire est sous forme d'une fibre rectiligne et elle a alors fléchi sur elle-même comme l'autre fibre rectiligne représentée. Après de nombreux cycles d'exposition à un tel phénomène, la fibre a tendance à se rompre comme décrit dans la suite.

Une partie d'un fil contenant les fibres rectilignes représentées, à l'état de talonnement (avec un grandissement de quarante), est représentée sur la fig. 29a. On note que les fibres sont très tassées sous forme d'un arrangement aligné parallèlement, les fibres étant côte à côte. La force de compression est représentée appliquée aux deux côtés du groupe du fil comme indiqué sur la fig. 29a et la coupe de la fig. 29b. Les fibres exercent aussi des forces transversales les unes sur les autres. Chaque fibre est formée d'un polymère ayant une molécule à longue chaîne orientée sur l'axe longitudinal de la fibre en général. Après flexion et fléchissement prolongés pendant les parties verticales du cycle, et étant donné les forces de torsion, de frottement et transversales dans la partie de talonnement du cycle, un défaut de cohérence transversale (séparation) peut apparaître entre les groupes individuels de chaînes moléculaires à l'intérieur de la fibre rectiligne unique. Ce mode de défaillance est représenté sur la fig. 29c qui est une coupe agrandie (1000 fois) d'une fibre unique et d'un groupe de fibres (fig. 29d). Comme représenté, lorsque la force de compression transversale est

appliquée à la fibre rectiligne, elle a tendance à éclater vers l'extérieur dans le plan de l'axe central horizontal et des contraintes de séparation par traction apparaissent sur les côtés de la fibre et ont tendance à la séparer et à effiloche les divers groupes de chaînes moléculaires les unes par rapport aux autres. La fibre se rompt en groupes individuels ou brins de chaîne moléculaire. Finalement, ces petits brins sont affaiblis par fatigue et rapidement ils se déforment et se rompent, sous l'action des forces de tension ou de fléchissement. La fig. 30 représente cet état sous forme d'une photographie réalisée au microscope électronique à balayage dans le cas d'une défaillance de ce type (avec un grandissement d'environ 1000). La séparation d'une fibre unique en divers brins (de groupes moléculaires) apparaît.

D'autre part, les fibres gonflées pneumatiquement et fixées thermiquement (fig. 29d et 29e) ont un comportement différent de celui de la fibre rectiligne. Les fibres gonflées pneumatiquement, lors du talonnement, se sont comprimées sous forme d'une masse de filaments bouclés et ondulés qui sont imbriqués. Ce conglomerat d'un matériau fibreux joue le rôle d'un élément d'amortissement (à la manière d'un feutre) si bien que les contraintes de compression appliquées à un filament unique sont réduites et les forces sont réparties dans tout le volume fibreux.

A la suite d'essais et d'analyses tels que décrits, on a déterminé que plusieurs facteurs devaient être pris en considération pour la réduction ou l'élimination de ce type de défaillance. D'abord, il est important que la fibre ait la plus longue chaîne moléculaire possible orientée dans la mesure du possible suivant l'axe longitudinal du filament. Ensuite, il est important d'utiliser un polymère ayant une excellente résistance à l'abrasion tel que le polyester industriel 68L de DuPont. Les fibres de la famille du «Nylon» 66, notamment le «Nylon Cordura» (ayant des chaînes particulièrement longues) sont meilleures.

Troisièmement, la texturisation des filaments de liaison est indispensable pour l'augmentation de la résistance à la fatigue par flexion et abrasion et de la résistance par fibrillation, par meilleur amortissement des forces appliquées à chaque fibre individuelle et par interdiction de formation de plis nets dans les filaments, car les fils se déplacent les uns contre les autres. A cet égard, la fibre «Cordura» est excellente grâce à sa texturisation par gonflement pneumatique et fixage thermique qui non seulement permet la formation d'un fil ayant un volume accru mais encore a des fibres qui gardent leur état texturé analogue à un ressort après des cycles prolongés de passage du mode tendu au mode relaxé et replié puis au mode tendu, grâce au fixage thermique à l'état texturé. D'autres types de filaments textures perdent leur forme texturée après exposition à des cycles répétés d'application et de suppression de force (qui peuvent être dus à un chauffage pendant la fabrication) et reprennent leur configuration originale de fils plats non texturés. C'est pour cette raison que les coussins pneumatiques selon l'invention, formés de «Nylon» «Cordura» ont

une durée d'utilisation qui est de l'ordre dix fois supérieure à celle du fil classique texturé de «Nylon» 66. En outre, le fil texturé normal a une durée d'utilisation qui est de l'ordre de dix fois supérieure à celle du fil plat non texturé.

Il existe aussi une quatrième considération importante pour la réduction au minimum de ces défaillances. On a constaté qu'il était nécessaire d'utiliser un nombre suffisant de fibres par unité de surface des fils de liaison pour que les forces d'abrasion et transversales soient réduites, surtout celles qui sont dues à un écrasement sous l'action des forces latérales et à une flexion des surfaces planes du coussin pneumatique. A cet égard, le nombre minimal de fibres de fils de liaison par centimètre carré est de 775 et le nombre maximal est d'environ 12 400.

La fig. 31 et les figures correspondantes 31a à 31d représentent plusieurs autres de mode de réalisation de l'invention montrant différentes propriétés d'amortissement qui peuvent être obtenues avec différents types de réalisation, pour une même pression de gonflage. Le support 220 de la fig. 31a indique une croissance rapide 220a de la force de support lorsque le fléchissement augmente à cause du faible volume de gaz contenu dans le support (c'est-à-dire que la plus grande partie du volume de support de charge du dispositif est piégé sous la zone qui supporte la force). Les divers compartiments 221, 222 et 223 du dispositif de la fig. 31b qui a la longueur de toute la chaussure se comportent de la même manière (220a) et donnent un toucher plus dur que celui d'un produit 225 ayant un seul coussin sur toute la longueur comme indiqué par la fig. 31d (courbe 225a). La force 227 de la fig. 31c a une configuration incurvée assurant un support essentiellement sous les parties de support de force du pied (pour une réduction du coût) et a une courbe intermédiaire force-fléchissement 227a.

On se réfère maintenant aux fig. 32 et 32a à 32e; une autre possibilité de modification et de réglage des caractéristiques d'amortissement est la formation d'un volume accumulateur dans lequel le gaz de gonflage peut être transporté massivement d'une partie du dispositif à une autre lorsqu'une force est appliquée. Un tel volume accumulateur peut être formé autour du périmètre 230 comme représenté sur les fig. 32, 32a et 32b. Le plus grand volume 233 des fig. 32c à 32e donne évidemment un toucher plus doux. La douceur du toucher est obtenue de deux manières: 1) le volume supplémentaire, à l'extérieur de la zone soumise à la force (fig. 32e), constitue un espace pour le gaz de gonflage qui peut se déplacer lorsqu'une force est appliquée, et 2) le fil élastomère qui entoure l'accumulateur peut se dilater et se contracter élastiquement lorsque la pression du gaz varie pendant qu'une force est appliquée si bien que le volume de l'accumulateur est encore accru et les propriétés d'amortissement du dispositif sont adoucies. Ce plus grand tronçon tubulaire a une fonction dynamique secondaire, proportionnelle à la force, de maintien et d'enveloppement du pied placé au centre de la chaussure.

La fig. 33 représente un autre dispositif avantageux délimitant un volume accumulateur. Ce volume

est délimité par un produit hybride 250 selon l'invention, comprenant un ensemble classique d'amortissement pneumatique qui a une partie tubulaire 251 dans la région de la voûte, comme représenté sur les fig. 33b et 33c, et une partie 252 selon l'invention. La fig. 33b est une coupe de la région de la voûte, pour une charge nulle. La fig. 33c représente la même partie lorsqu'une force est appliquée. La fig. 33d indique la variation de la caractéristique force-fléchissement pour le produit 253 selon l'invention, sans le coussin pneumatique classique, alors que la courbe 255 correspond au produit hybride selon l'invention. Comme indiqué, les tubes peuvent avoir une dimension qui augmente ou diminue élastiquement (en diamètre) lorsque la force est appliquée et supprimée, proportionnellement à la force appliquée, et la pression instantanée résultante varie dans le dispositif. Un toucher plus doux est obtenu dans les parties du coussin pneumatique dans lesquelles la force est appliquée (zone du talon ou de la partie avant du pied). En outre, un support dynamique automatique de la voûte, proportionnel aux besoins de la personne portant la chaussure, apparaît sous la partie longitudinale de la voûte du pied et facilite la réalisation d'un dispositif orthopédique réduisant le mouvement pronation. Lorsque la pointe s'écarte vers l'extérieur, le support de la voûte s'écarte automatiquement du contact avec le pied et n'irrite pas les tendons plantaires lorsqu'ils s'allongent pendant la phase de torsion de la pointe vers l'extérieur.

Une autre configuration intéressante est constituée par un produit multicouche sous pression. Il est représenté sur les fig. 34a, 34b et 18, les références utilisées étant les mêmes. Les deux couches sous pression (ou plus) peuvent être réalisées avec deux dispositifs séparés d'amortissement pneumatique placés l'un sur l'autre, ayant des joints périphériques séparés, comme décrit précédemment. Un autre procédé comprend le collage de l'empilement en une seule opération, la fermeture des trois nappes du film formant l'écran à la périphérie en une seule opération. La partie supérieure peut être gonflée à une pression plus faible que la chambre inférieure afin que le confort soit maximal. La partie supérieure qui est à plus faible pression se déforme donc plus facilement que la partie inférieure et se conforme plus facilement à la configuration de la surface inférieure du pied; une douceur initiale élevée de contact est donc perçue. La chambre inférieure à pression plus élevée empêche le talonnement du dispositif en présence de forces élevées et restitue un pourcentage accru de l'énergie de choc qui serait perdue et pourrait provoquer des blessures dans le cas contraire.

Dans certaines applications des chaussures, une flexion élevée de la pointe est souhaitable, par exemple dans une chaussure de marche. Cette caractéristique peut être obtenue par utilisation d'au moins deux éléments séparés de support sous la chaussure, un sous le talon et un sous l'avant du pied, avec éventuellement un autre sous la partie médiane du pied ou la voûte. Un autre procédé met en œuvre des lignes cousues de flexion 260 disposées latéralement dans les morceaux d'étoffe dé-

coupés avant l'étape finale de collage du film écran, comme indiqué sur les fig. 35a et 35b. Ces lignes de couture rapprochent l'étoffe à une distance prédéterminée (comprise entre la moitié et les trois quarts de l'épaisseur de l'étoffe), des précautions étant prises pour que l'étoffe ne soit pas totalement refermée sur elle-même, afin que le déplacement de l'air au niveau de la ligne de couture soit possible, et qu'une ligne de gêne ne soit pas formée sous le pied. Un autre procédé comprend la formation de picots ou de barres à la partie inférieure d'un élément modérateur placé dans une ou plusieurs régions dans lesquelles la flexion est souhaitable comme indiqué sur la fig. 26a.

Pour mieux comprendre le problème des fuites qui est important, comme cela est démontré par l'invention qui concerne une solution à ce problème, on se réfère aux fig. 36a, 36b et 36c. Sur les fig. 36a et 36b, un tronçon 275 de soudure formé de couches 275a et 275b est représenté, le côté sous pression portant la référence 276. Un filament unique 277 passe dans la soudure 275 du côté 276 sous pression vers le côté externe à pression ambiante 278. La contrainte résiduelle du film ou des couches 275a et 275b a tendance à provoquer un écartement du filament 277 avec formation de minuscules trajets de fuite 279a et 279b le long des côtés à l'endroit où les couches se raccordent au filament. Comme représenté, le filament 277 est placé sur toute la largeur de la soudure et représente la plus mauvaise condition. Des fuites peuvent apparaître même si le filament n'est pas placé sur toute la largeur de la soudure puisque la distance comprise entre l'extrémité du filament et l'extérieur de la soudure peut être suffisamment faible pour qu'elle permette une diffusion accélérée dans cette région par rapport aux autres régions du film.

La fig. 36c représente une autre caractéristique de l'invention, relative à l'effet de l'agent d'accouplement pour la réduction des fuites le long des fibres 290. Par exemple, une fibre 291 fait partie des fils de liaison et est placée du côté 295 du produit gonflé qui est sous pression. Pendant l'application de l'agent d'accouplement, ce dernier fond et s'écoule autour de la fibre comme indiqué par la référence 297, et forme une gaine sur toute la partie de la surface externe de la fibre à l'aide du matériau d'accouplement. Ceci empêche ou réduit le passage du gaz le long de la fibre ou de la surface externe de celle-ci et entre cette surface et le matériau du film écran.

Revendications

1. Enveloppe sous pression interne, comportant une membrane fermée ayant des surfaces interne et externe distantes, caractérisée en ce qu'elle comprend: une première et une seconde couche d'étoffe (16, 18) placées dans la membrane de manière qu'une surface de chaque couche d'étoffe soit tournée vers une surface interne de la membrane, la membrane (12) étant formée d'un matériau élastomère, chacune des surfaces d'étoffe étant collée à la surface interne en regard de la membrane, les couches d'étoffe (16, 18) comprenant un matériau

sous forme d'un fil qui est texturé, flanellisé ou gonflé afin que l'accrochage à la surface de la membrane soit accru, un dispositif souple (20) placé entre les couches d'étoffe et destiné à limiter l'écartement des couches d'étoffe l'une de l'autre à une distance prédéterminée, et un gaz placé à l'intérieur de la membrane et destiné à mettre celle-ci sous pression.

2. Enveloppe selon la revendication 1, destinée à être utilisée dans une chaussure, caractérisée en ce que; la membrane (12) comprend au moins une partie qui forme un joint étanche (38), le dispositif souple comprend plusieurs brins fibreux disposés entre les couches d'étoffe et raccordés à celles-ci, le joint étanche (38) est pratiquement dépourvu d'un matériau fibreux des couches d'étoffe et des brins fibreux, et un gaz est placé à l'intérieur de la membrane et destiné à mettre celle-ci sous pression, si bien que les brins fibreux sont mis sous tension et maintiennent les surfaces opposées de la membrane dans une configuration plane, le gaz constituant le milieu qui absorbe les forces de compression appliquées à l'enveloppe.

3. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend: une membrane fermée hermétiquement (12) qui est pratiquement imperméable aux gaz ayant des molécules de grande dimension et est légèrement perméable à l'oxygène, un dispositif (23, 24) destiné à former une liaison pratiquement continue entre le revêtement externe et la première et la seconde couche d'étoffe, les couches d'étoffe étant au moins partiellement enrobées dans le revêtement externe afin que la diffusion dans le revêtement soit réduite, la membrane (12) comportant au moins une partie soudée, la partie soudée étant dépourvue de matériau fibreux de la structure compressible, et un gaz non polaire ayant des molécules de grande dimension, placé dans la chambre, la membrane étant mise sous pression d'au moins 0,14 bar, si bien que la totalité pratiquement de la résistance de la membrane à la compression est due à la pression du gaz dans la chambre.

4. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) destiné à retenir les couches d'étoffe maintient ces dernières à une distance prédéterminée et préalablement définie l'une de l'autre.

5. Enveloppe selon la revendication, caractérisée en ce que la membrane (12) est pratiquement dépourvue de zone incompressible.

6. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la première et la seconde couche d'étoffe (16, 18) comportent des fils dans lesquels jusqu'à 30% des éléments fibreux sont discontinus afin que la fixation à la surface interne de l'enveloppe soit accrue.

7. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la résistance au pelage entre la surface interne et la surface complémentaire de l'étoffe est supérieure à 32 N/cm.

8. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que les couches d'étoffe (16, 18) comportent des filaments qui ont une structure moléculaire essentiellement cristalline et qui jouent le rôle

d'une barrière s'opposant à la diffusion d'un gaz.

9. Enveloppe selon la revendication 1, dans laquelle le matériau sous forme d'un fil texturé, flanellisé ou gonflé est fixé thermiquement.

10. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que les couches d'étoffe (16, 18) sont composées d'un matériau constitué d'un fil et qui a été traité afin qu'il ne forme pas de passage direct et sans obstacle dans la partie centrale des couches d'étoffe.

11. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) destiné à limiter le déplacement des couches d'étoffe a une résistance mécanique suffisante pour qu'il maintienne les couches d'étoffe à une distance prédéterminée lorsque la pression du gaz dans la chambre dépasse 10,5 bars.

12. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) destiné à limiter le déplacement des couches d'étoffe comporte des filaments disposés entre les couches d'étoffe et bloqués sur celles-ci.

13. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) est un matériau filamenteux et les couches d'étoffe sont formées d'un matériau différent de celui du matériau filamenteux.

14. Enveloppe selon la revendication 12, caractérisée en ce que les filaments sont composés d'un matériau ayant de bonnes propriétés d'arrêt des gaz.

15. Enveloppé selon la revendication 12, caractérisée en ce que les filaments sont composés d'un polyester de masse moléculaire élevée, à chaîne longue et orientée.

16. Enveloppe selon la revendication 15, caractérisée en ce que les filaments ont une finition mate ou semi-mate.

17. Enveloppe selon la revendication 15, caractérisée en ce que les filaments sont composés d'un fil texturé ou flanellisé ou gonflé et fixé thermiquement, et le fil a un degré élevé et uniforme de hauteur.

18. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que les couches d'étoffe (16, 18) sont imprégnées d'un agent d'accouplement sur une profondeur inférieure à leur épaisseur environ, l'agent d'accouplement étant fixé à la surface en regard de la membrane.

19. Enveloppe selon la revendication 18, caractérisée en ce que l'agent d'accouplement est un matériau élastomère semi-perméable à l'oxygène.

20. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le gaz est de l'hexafluoréthane.

21. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le matériau élastomère est un élastomère de polyuréthane.

22. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'enveloppe (12) a une surface externe qui porte une étoffe qui lui est collée.

23. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le gaz contient de l'azote.

24. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) forme une première destinée à être placée sur toute la longueur d'une chaussure.

25. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) forme un support de talon.

26. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) est un support de talon de forme sinueuse, ayant des branches.

27. Enveloppe selon la revendication 26, caractérisée en ce qu'une première branche (97) est plus longue que l'autre branche (95).

28. Enveloppe selon la revendication 27, caractérisée en ce que les branches (95, 97) sont distantes et séparées l'une de l'autre.

29. Enveloppe selon la revendication 28, caractérisée en ce qu'une chambre (115) gonflée par un gaz est disposée entre les branches.

30. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (120) contient au moins deux chambres.

31. Enveloppe selon la revendication 30, caractérisée en ce que les chambres sont interconnectées.

32. Enveloppe selon la revendication 30, caractérisée en ce que les chambres (122, 124) sont placées l'une au-dessus de l'autre.

33. Enveloppe selon la revendication 30, caractérisée en ce que l'une des chambres est mise à une pression différente de celle de l'autre chambre.

34. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que les surfaces sont sous forme planes.

35. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le matériau de l'étoffe (16, 18) est un tricot formé au métier à double bare à aiguilles.

36. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) est formé de fils de liaison présents à raison de 8 à 150 par centimètre carré d'étoffe, et la densité des fils de liaison est telle que l'étoffe comporte 800 à 24 000 fibres ou filaments par centimètre carré.

37. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) a la configuration d'une première d'épaisseur sensiblement uniforme, et la membrane n'a pas de zone incompressible dans toutes les parties de support de force de la première.

38. Enveloppe selon la revendication 37, caractérisée en ce que la première a le profil de la surface plantaire d'application de force du pied.

39. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que les couches d'étoffe (16, 18) sont profilées sous forme prédéterminée à distance l'une de l'autre.

40. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) a un tronçon gonflé qui n'a pas de matériau sous forme d'une étoffe.

41. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) a au moins un tronçon accumulateur d'énergie de gaz sous pression qui est déformable élastiquement, près de sa périphérie.

42. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte en outre une mousse souple au moins au contact d'une partie au moins de la membrane.

43. Enveloppe selon la revendication 1, caracté-

risée en ce que la membrane a des lignes cousues de flexion (260).

44. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte en outre un modérateur muni de picots, les picots ou nervures étant au contact d'une partie au moins la membrane.

45. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) est sous forme de fils de liaison placés perpendiculairement aux couches d'étoffe.

46. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif souple (20) est formé de fils de liaison inclinés par rapport aux couches d'étoffe.

47. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) est formée d'un film.

48. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce que la membrane (12) est d'un type préformé.

49. Enveloppe selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte une courbe force-fléchissement à deux régions, la première région représentative de la réponse sous application initiale de la charge, la seconde région représentative de la réponse après application initiale de la charge, la réponse selon la première région de la courbe étant moindre que celle de la seconde région de ladite courbe.

50. Procédé de fabrication d'une enveloppe selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes: la sélection d'un matériau élastomère semi-perméable sous forme d'une feuille qui est pratiquement imperméable aux gaz non polaires ayant de grosses molécules et légèrement perméable à l'oxygène, la sélection d'une structure compressible qui comporte une première couche d'étoffe (16), une seconde couche d'étoffe (18) normalement distante de la première couche et un dispositif (20) placé entre les faces internes des couches d'étoffe afin qu'il limite la séparation des couches d'étoffe à une distance prédéterminée, et un dispositif formant des points de fixation répartis de manière pratiquement continue sur les faces externes des couches d'étoffe, l'imprégnation des faces externes de la première et de la seconde couche d'étoffe par un agent d'accouplement (23, 24) sur une profondeur qui est inférieure à l'épaisseur des couches d'étoffe, le collage du matériau élastomère aux faces externes de manière qu'une liaison soit formée entre les couches d'étoffe et le matériau élastomère, cette liaison étant pratiquement continue sur toutes les faces externes, le scellement du matériau élastomère à la périphérie de la structure compressible afin qu'une membrane hermétique (12) soit formée, et la disposition d'un gaz dans la chambre afin que l'enveloppe soit sous pression.

51. Procédé selon la revendication 50, caractérisé en ce que le gaz est formé d'au moins un gaz non polaire à grosses molécules.

52. Procédé selon la revendication 50, caractérisé en ce que la sélection de la structure compressible comprend la sélection d'un matériau sous forme d'une étoffe dans lequel les fibres ont été fla-

nellisées ou texturées ou gonflées et fixées thermiquement.

53. Procédé selon la revendication 50, caractérisé en ce qu'un agent de collage est appliqué aux couches d'étoffe au moins avant l'application de l'agent d'accouplement (23, 24). 5

54. Procédé selon la revendication 50, caractérisé en ce que l'agent d'accouplement a une masse moléculaire comprise entre 100 000 et 500 000, et le matériau élastomère est formé d'au moins un polyuréthane. 10

55. Procédé selon la revendication 50, caractérisé en ce que le module d'élasticité du matériau élastomère est coordonné et corrélé à la pression de gonflage afin que la caractéristique voulue de fléchissement élastique en fonction de la force soit obtenue avec l'amortissement voulu dans l'enveloppe terminée. 15

20

25

30

35

40

45

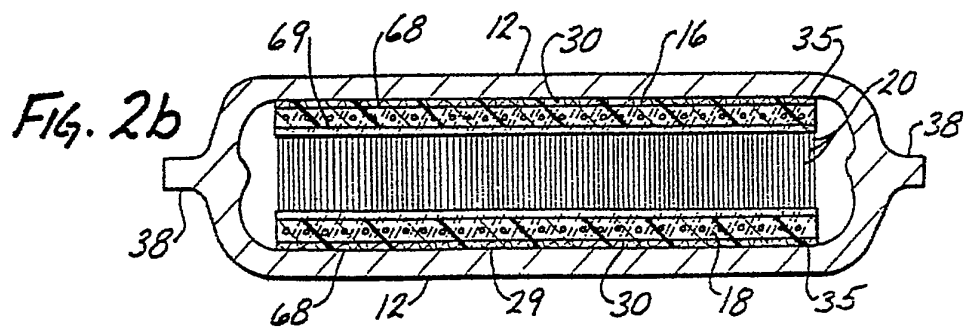
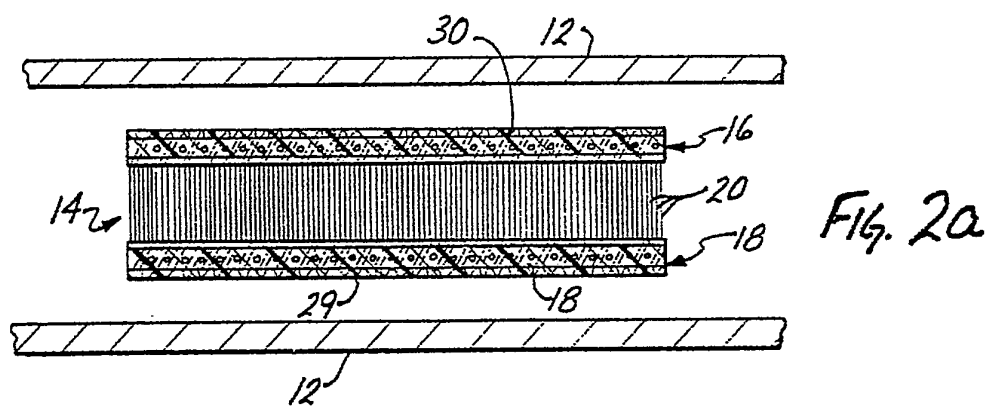
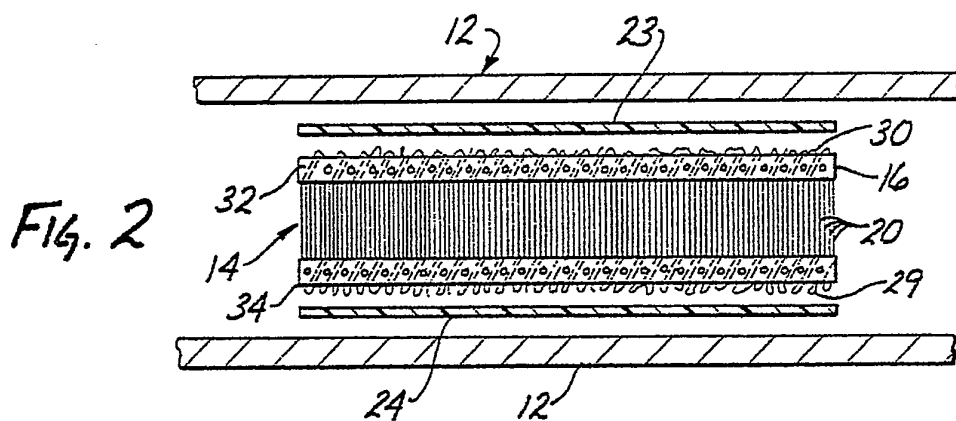
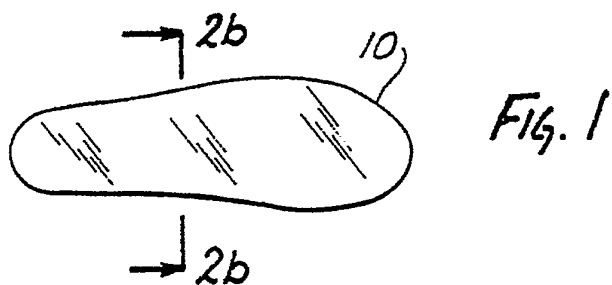
50

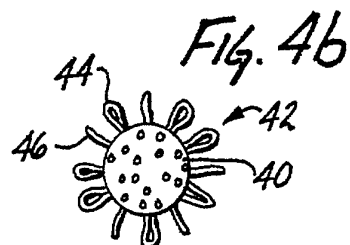
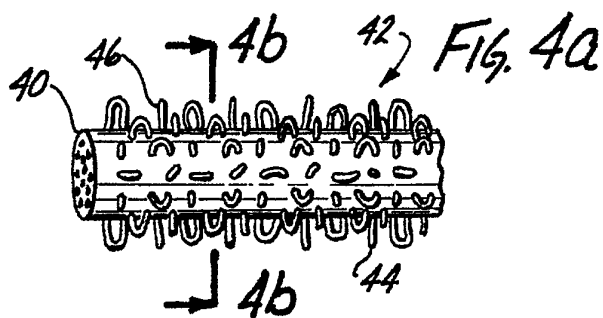
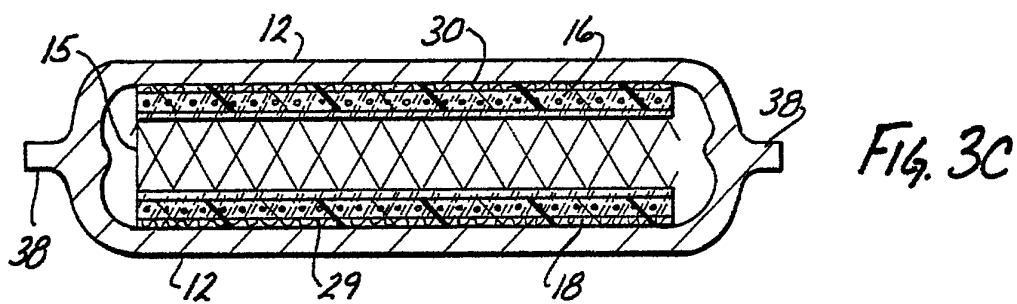
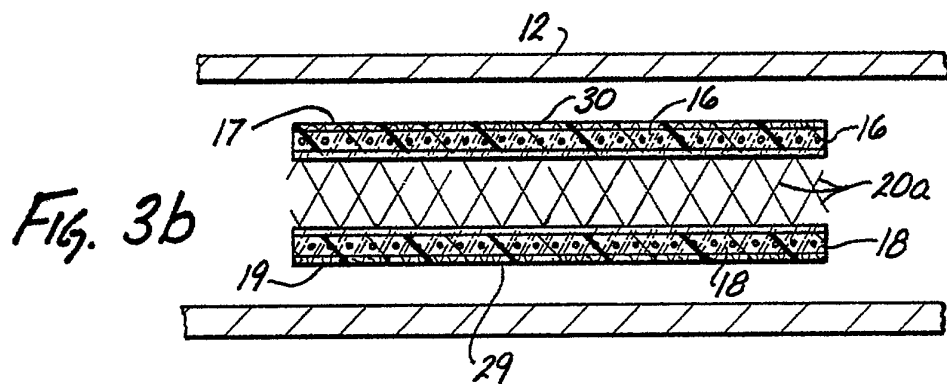
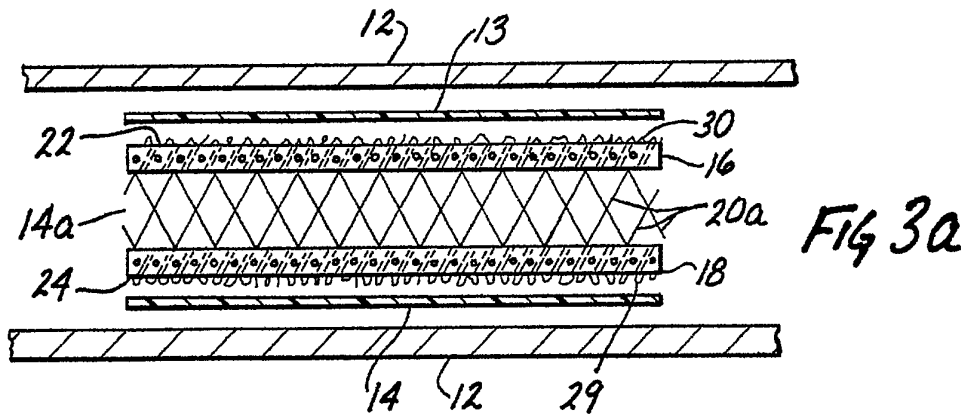
55

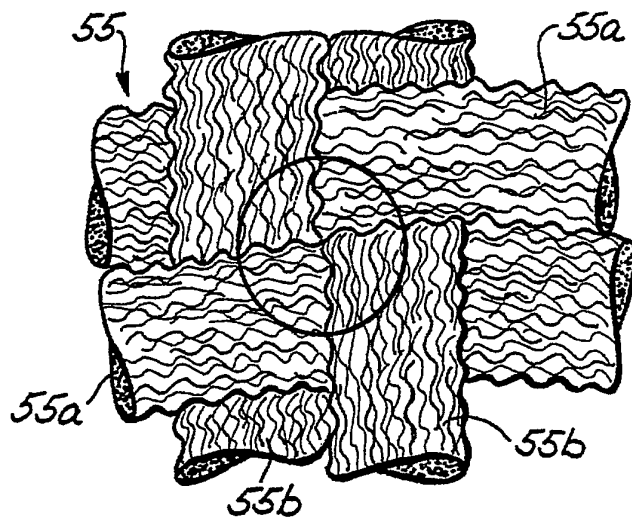
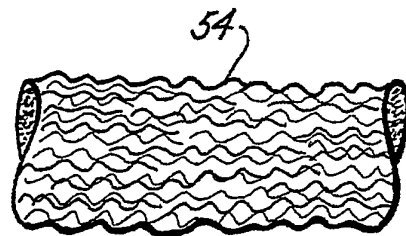
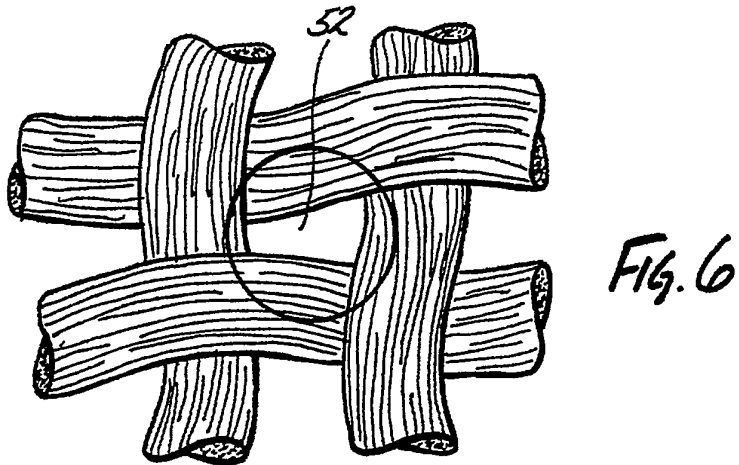
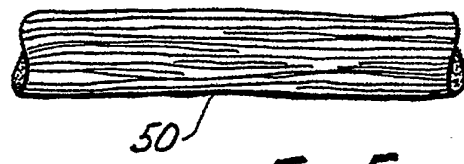
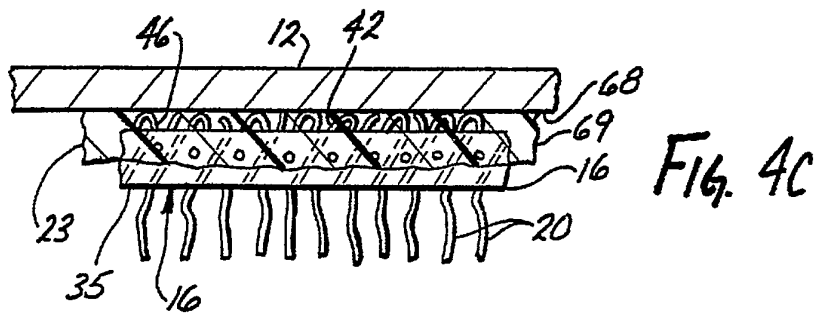
60

65

27







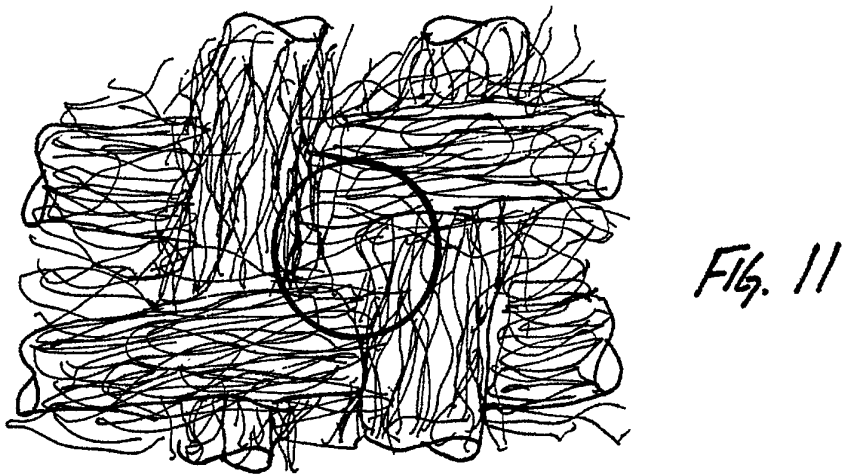
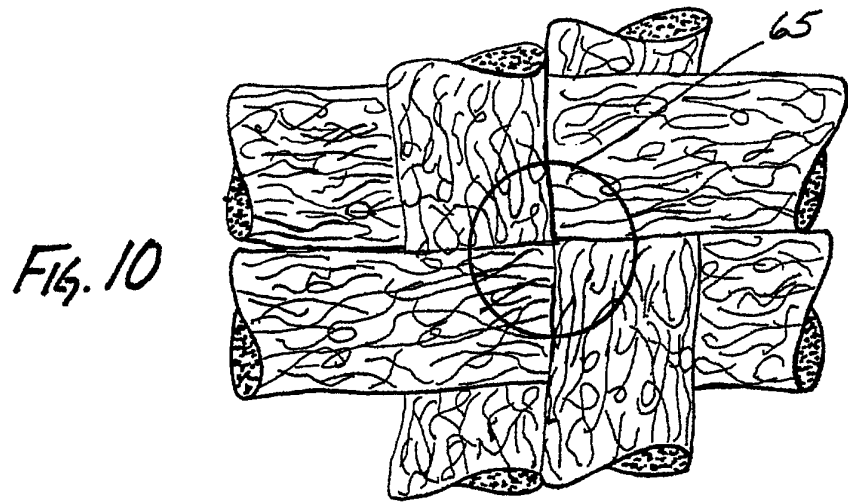
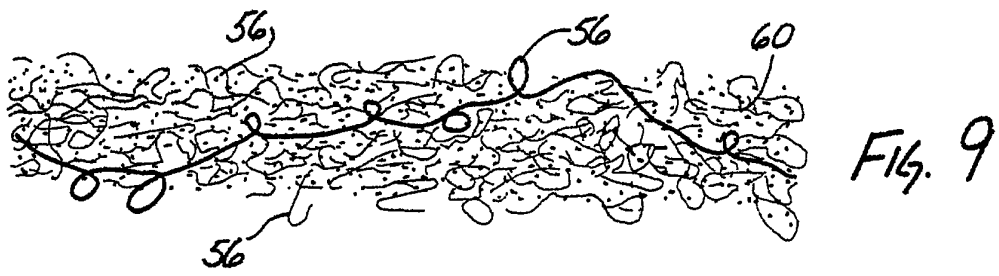
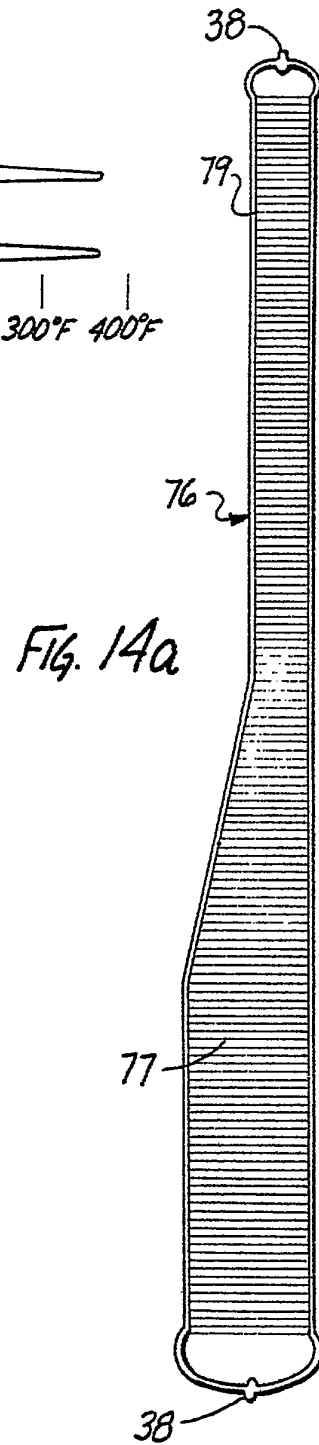
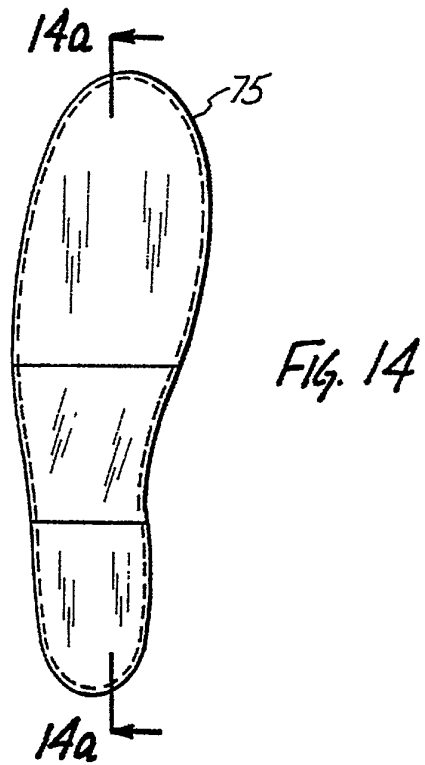
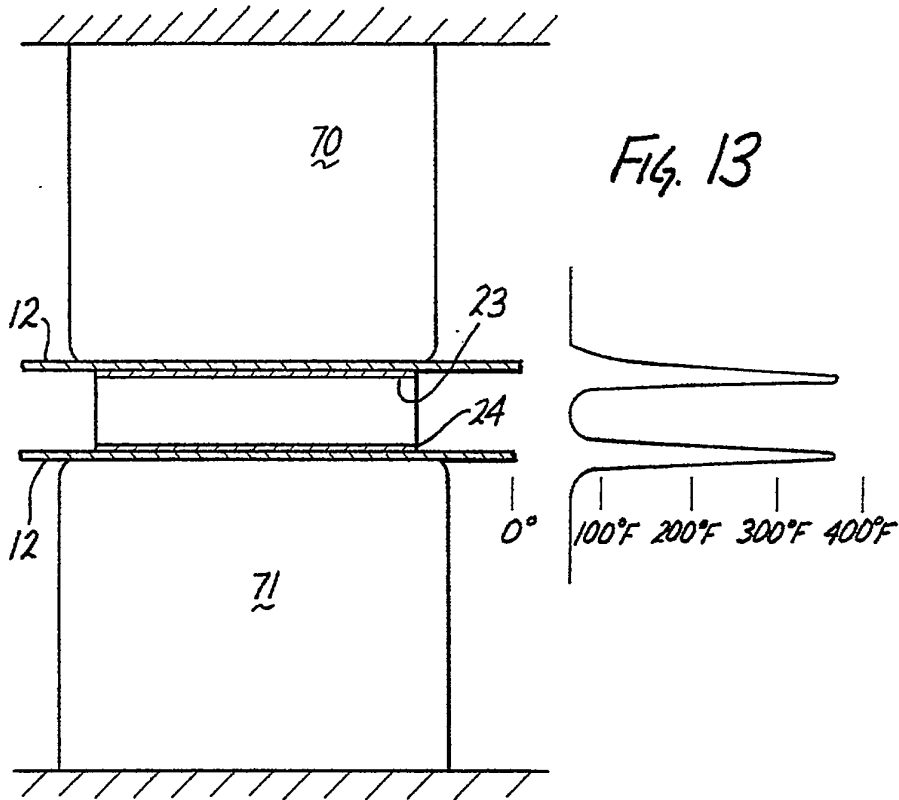


Fig. 12



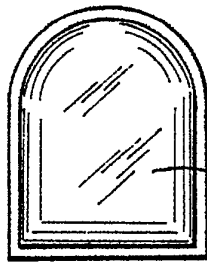


Fig. 15

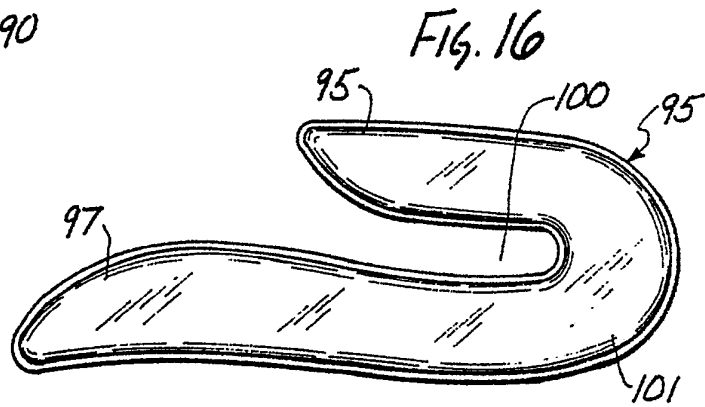


Fig. 16

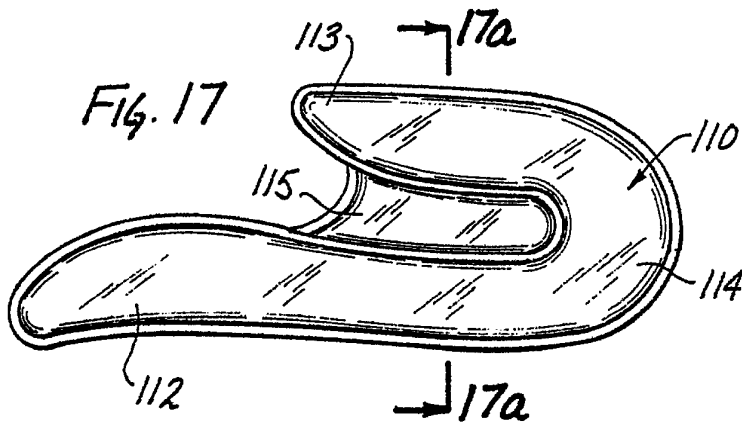


Fig. 17

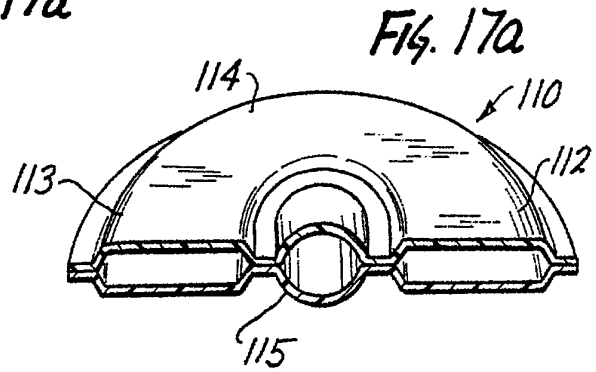


Fig. 17a

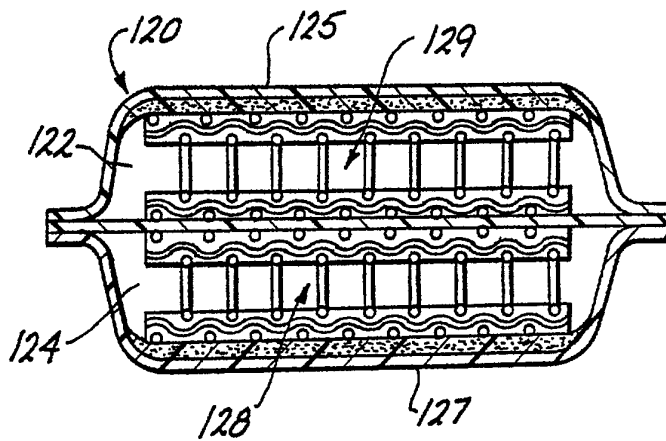


Fig. 18

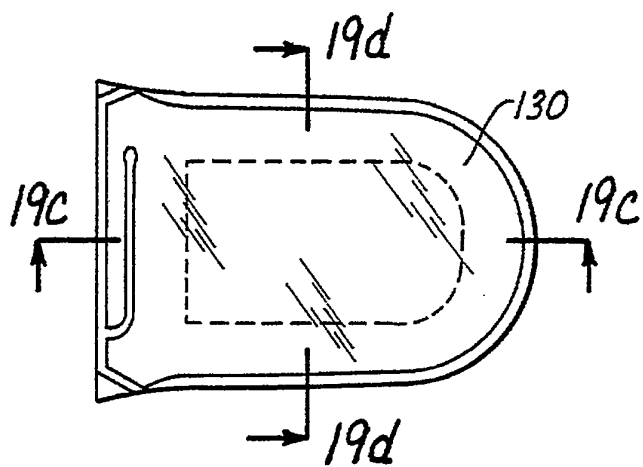


FIG. 19

FIG. 19b

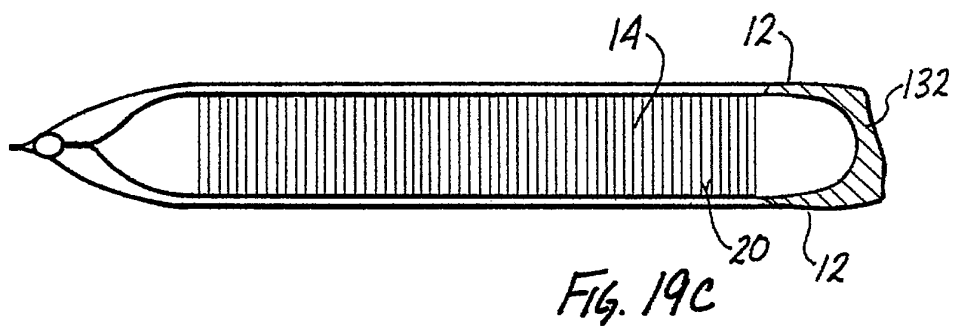


FIG. 19c

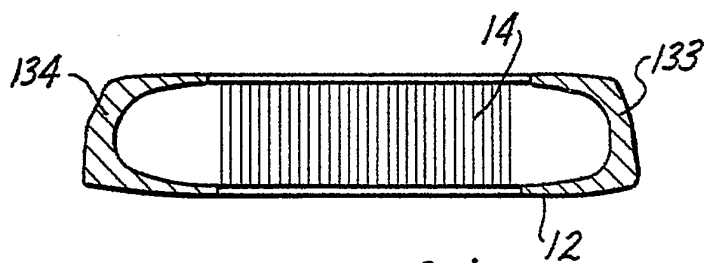


FIG. 19d

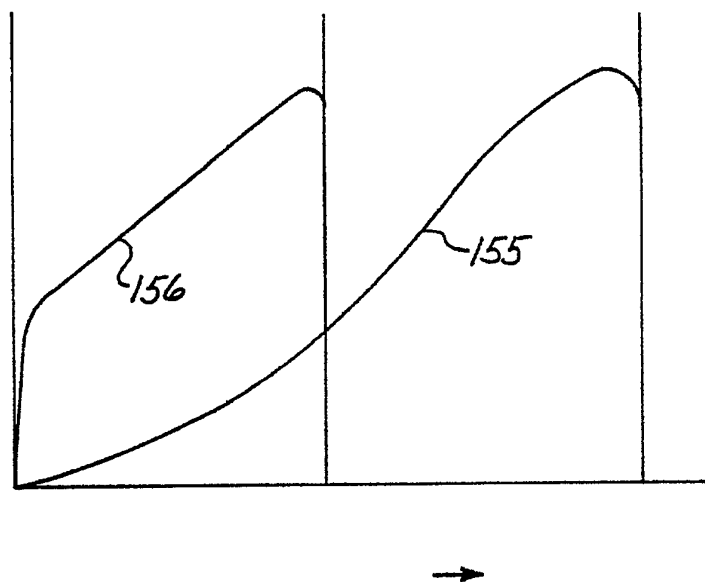
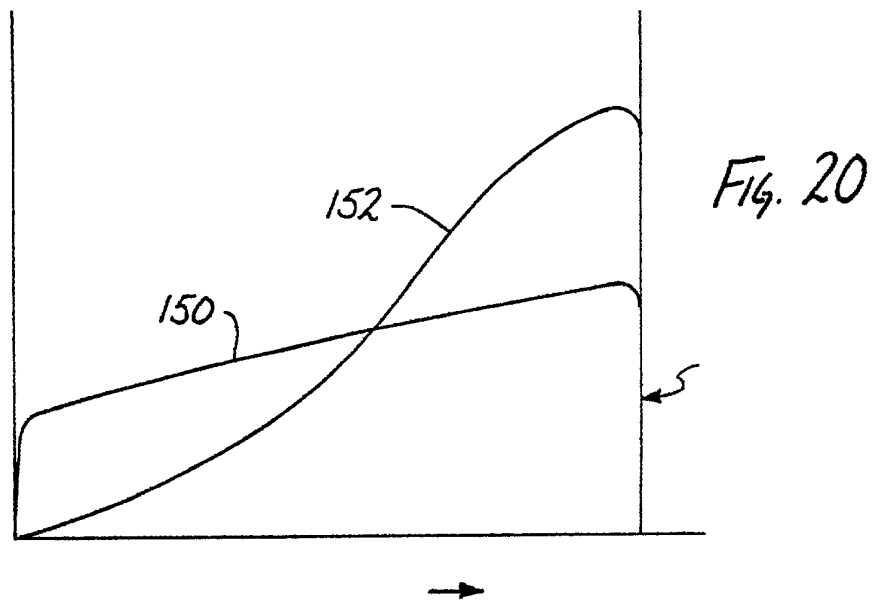


Fig. 21

Fig. 22

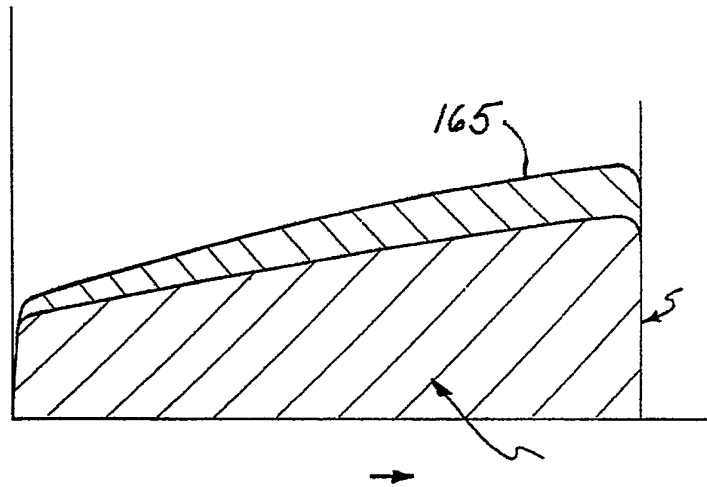


Fig. 23a

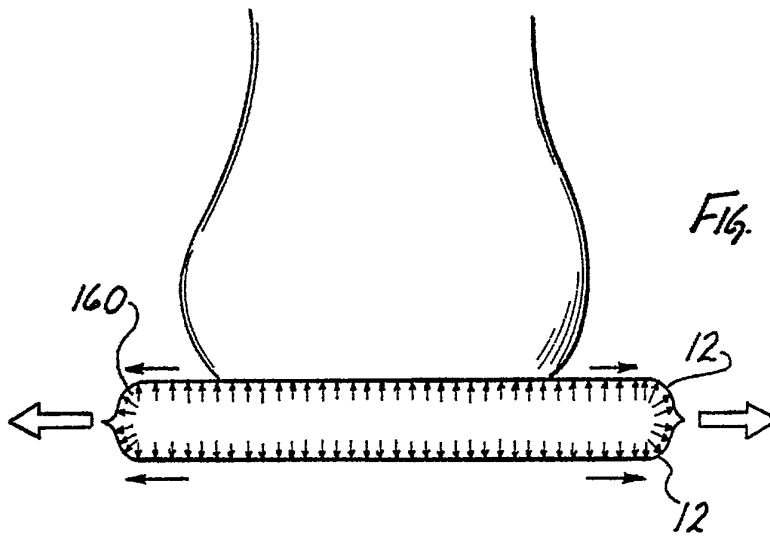
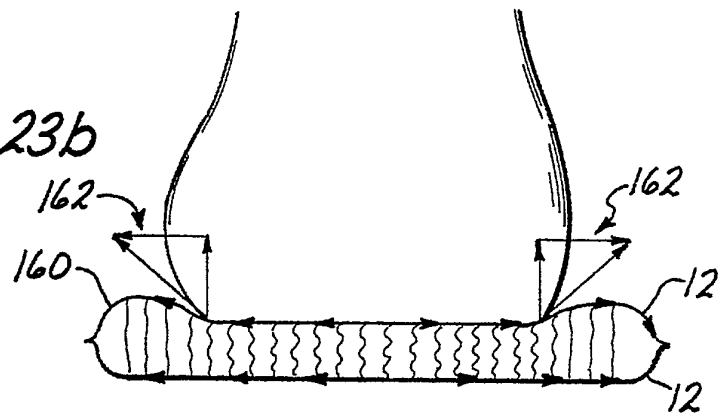


Fig. 23b



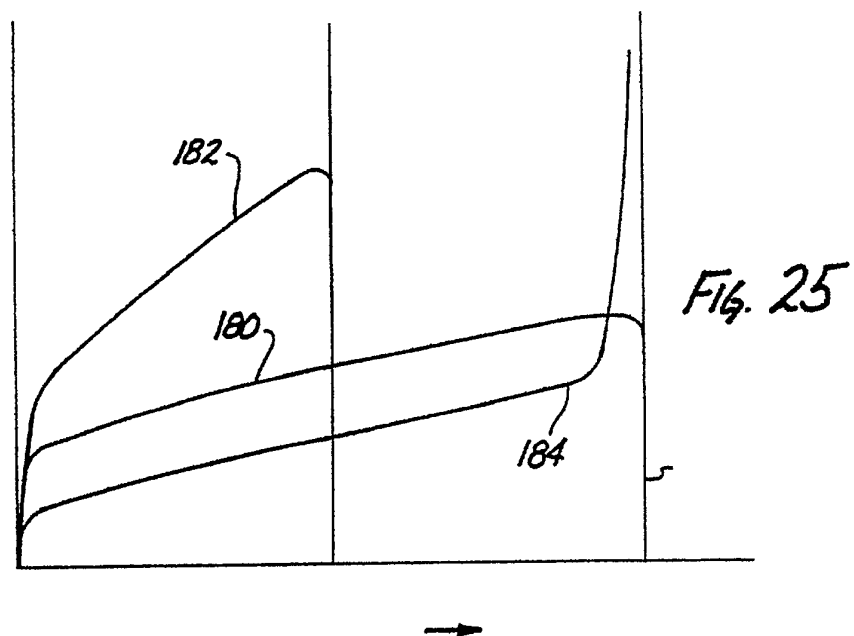
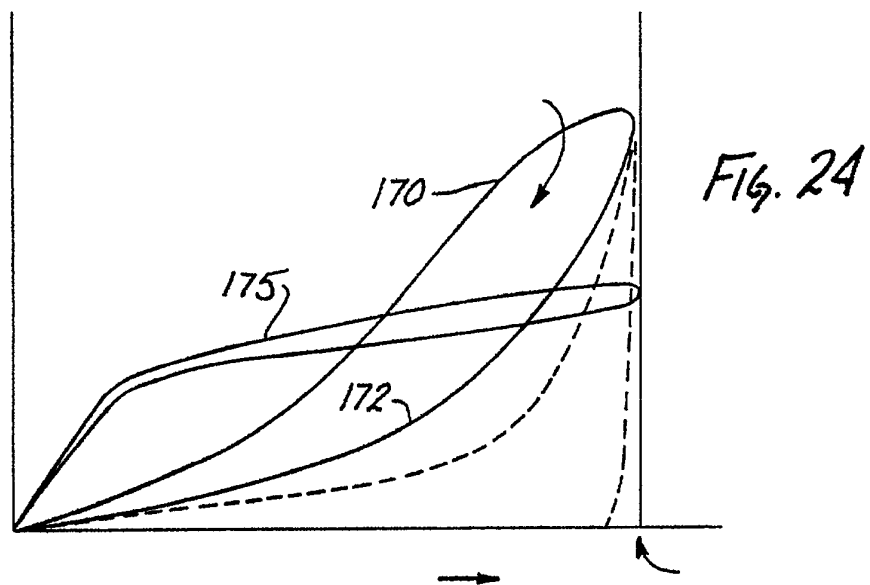


Fig. 26

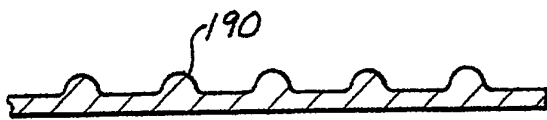
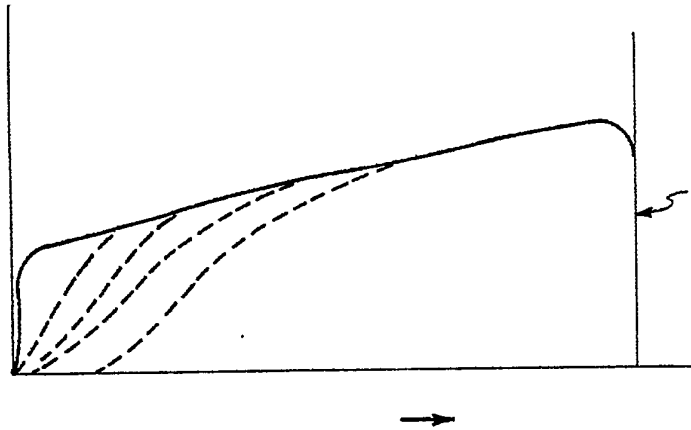


Fig. 26b

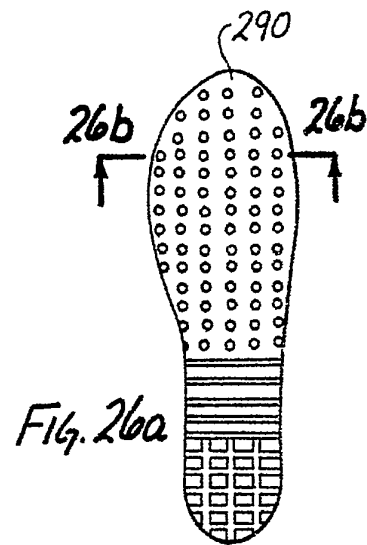


Fig. 26a

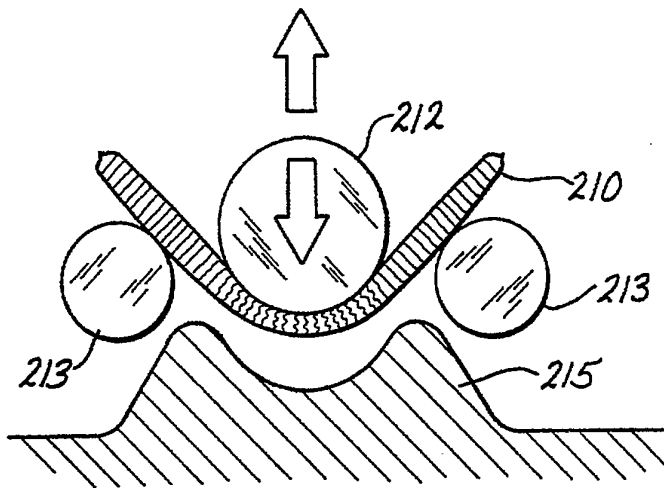


Fig. 27a

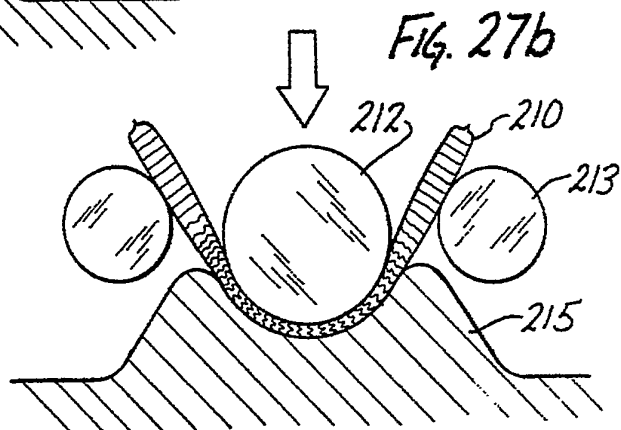
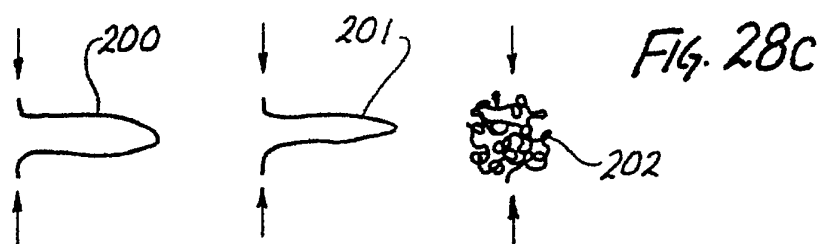
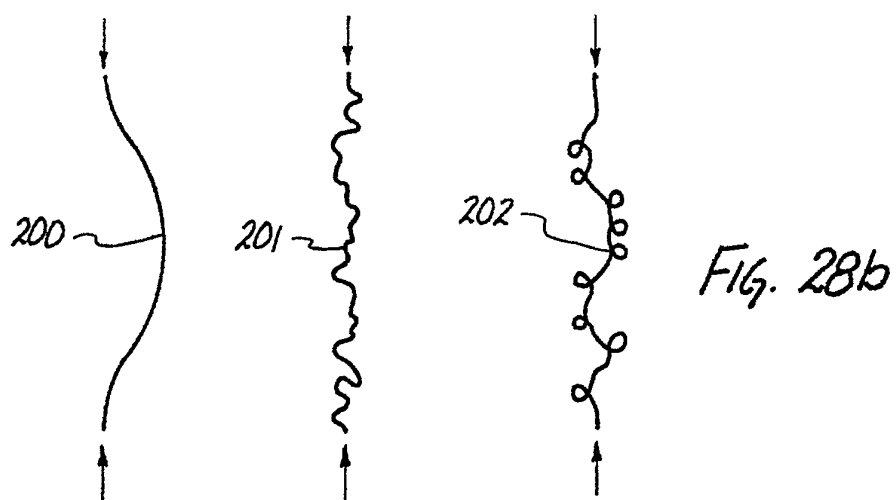
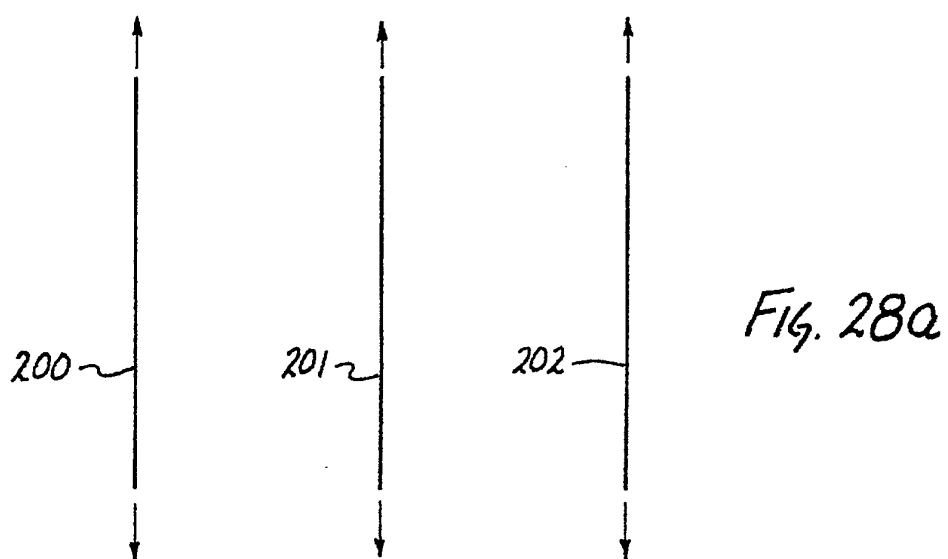


Fig. 27b



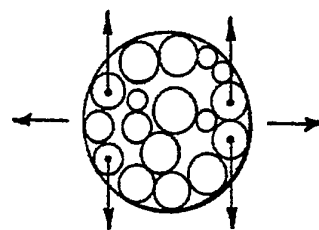
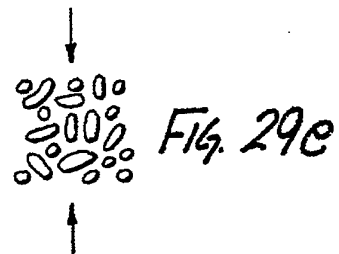
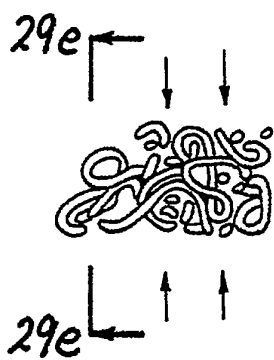
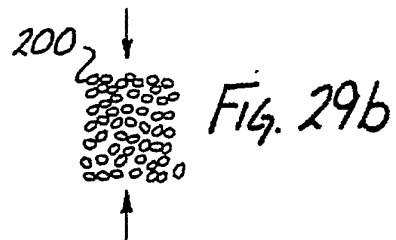
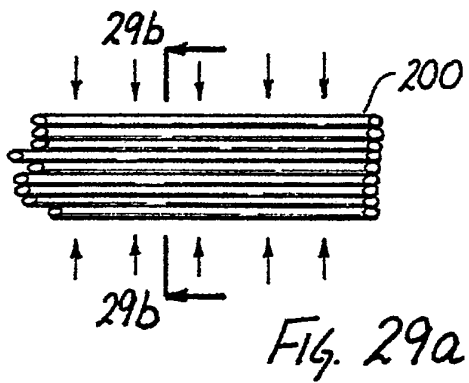


Fig. 29c

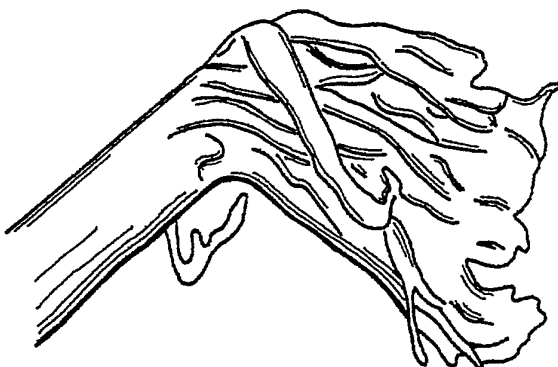
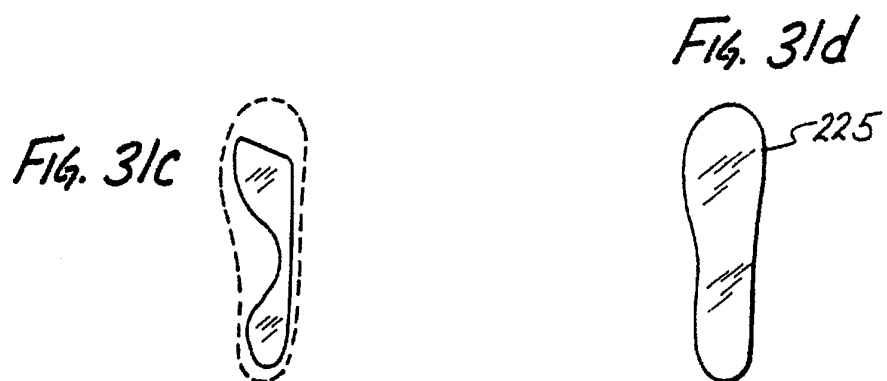
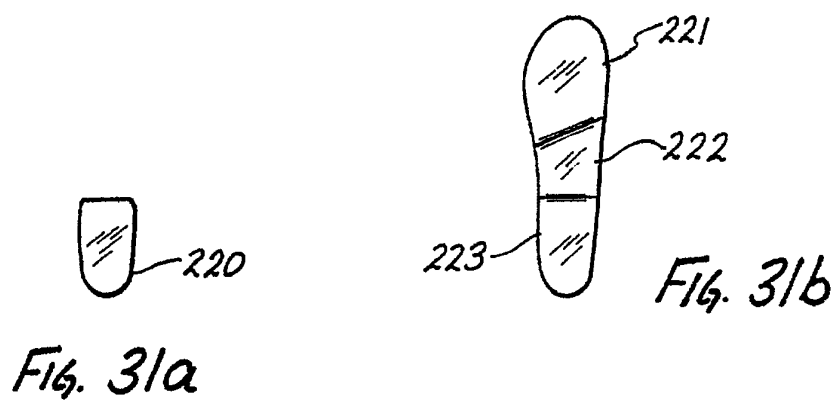
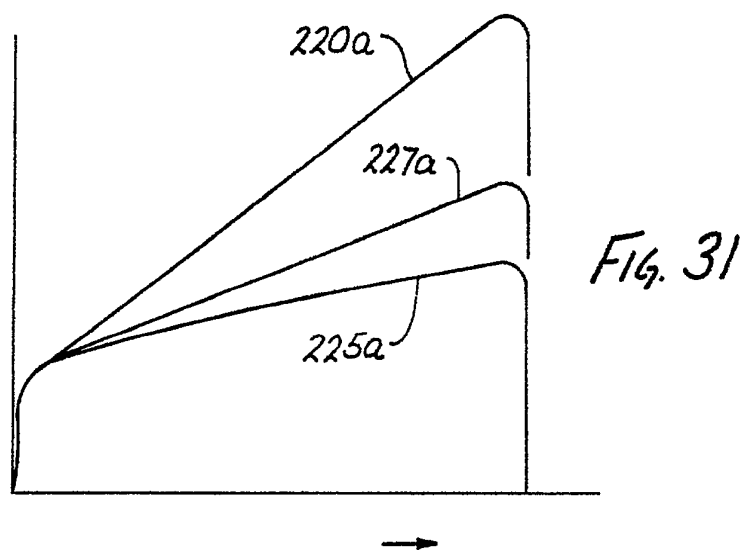


Fig. 30



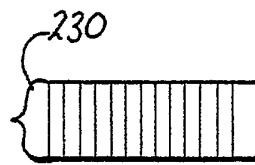
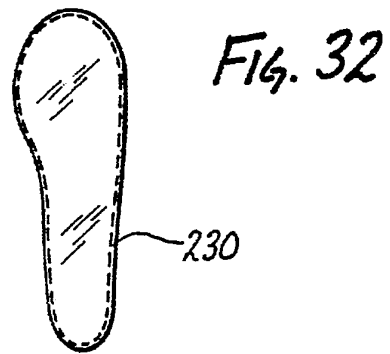


Fig. 32a

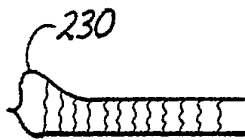


Fig. 32b

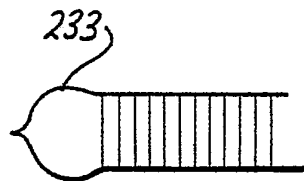
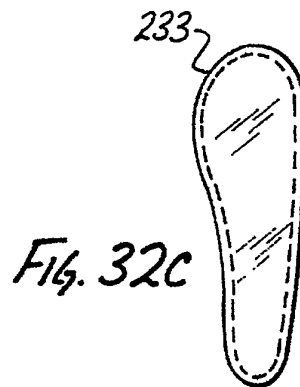
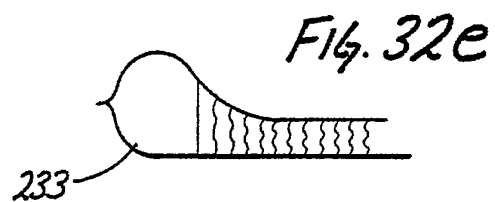
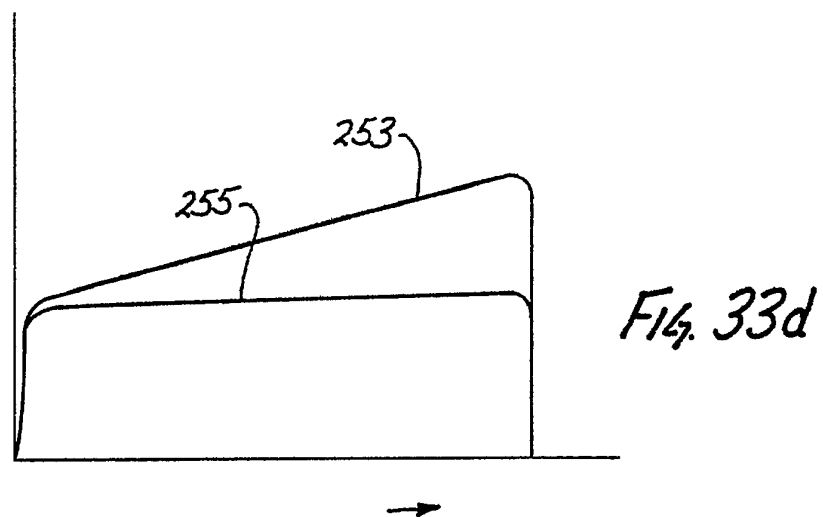
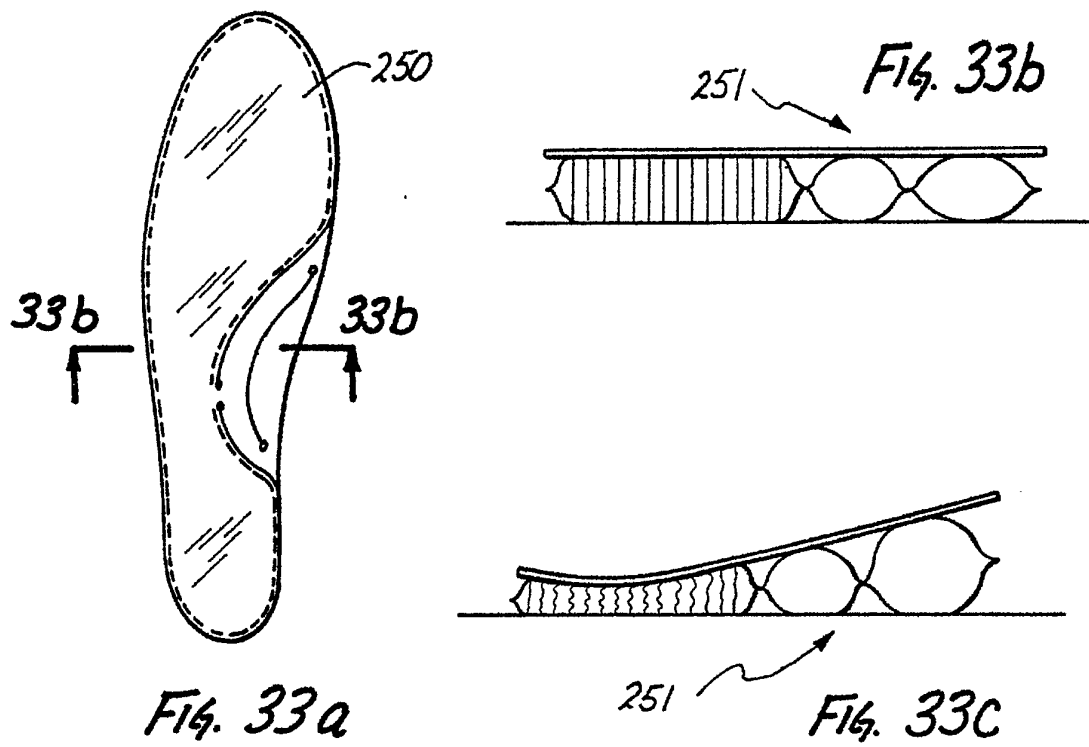


Fig. 32d





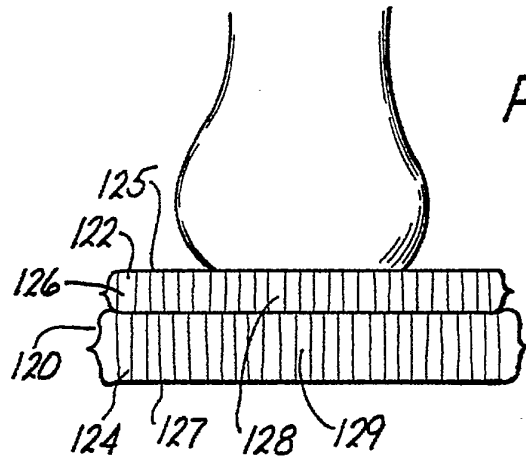


Fig. 34a

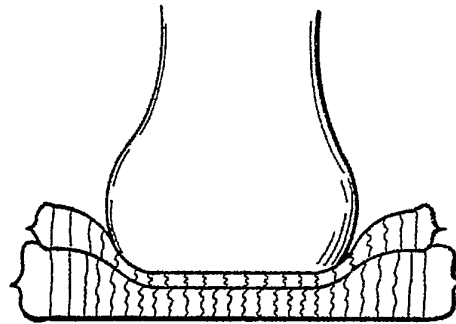


Fig. 34b

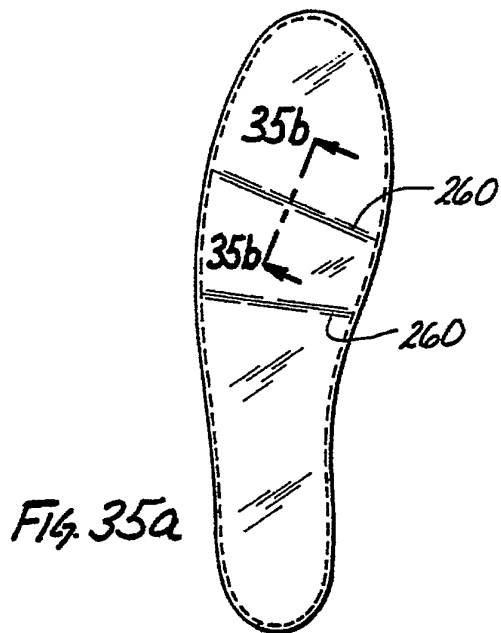


Fig. 35a

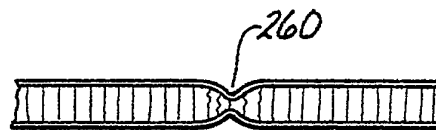


Fig. 35b

