

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Oktober 2008 (09.10.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/119491 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B29C 70/44 (2006.01) **B29L 23/00** (2006.01)
B29C 70/86 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/002380

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. März 2008 (26.03.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 015 909.0 2. April 2007 (02.04.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MT AEROSPACE AG** [DE/DE];
Franz-Josef-Strauss-Strasse 5, 86153 Augsburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LIPPERT, Thomas** [DE/DE]; Thomastrasse 7, 86179 Augsburg (DE).
MICHEL, Helmut [DE/DE]; Raunswiesenweg 18,

73733 Esslingen (DE). **STRASSER, Ulrich** [DE/DE];
Ziehrerstrasse, 86368 Gersthofen (DE).

(74) Anwalt: **SCHWARZENSTEINER, Marie-Luise**; Grape
& Schwarzensteiner, Sebastiansplatz 7, 80331 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

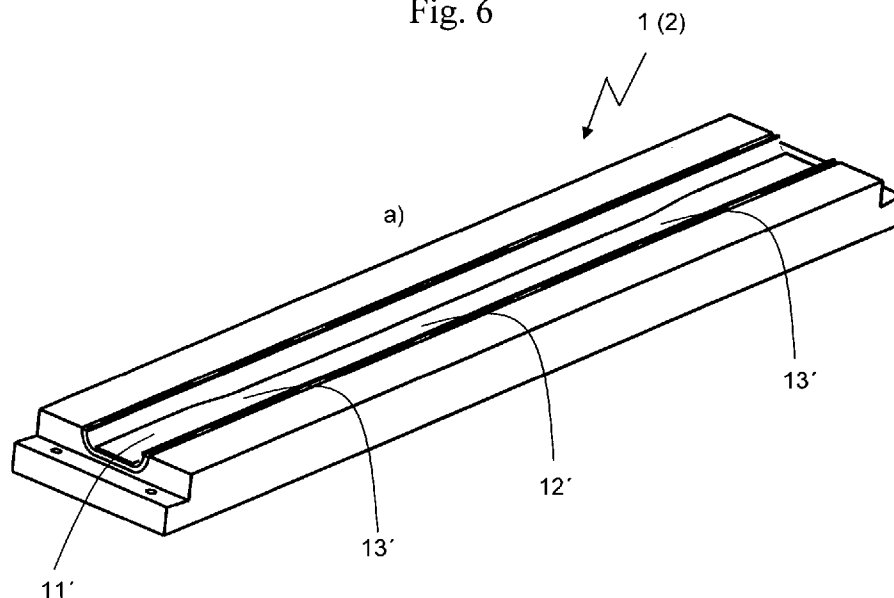
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING FIBRE-REINFORCED HOLLOW BODIES AND PRODUCTS FORMED USING SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG FASERVERSTÄRKTER HOHLKÖRPER UND NACH DIESEM VERFAHREN ERZEUGTE PRODUKTE

Fig. 6



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing fibre-reinforced hollow bodies comprising integrally formed elements in a hollow mould. A fibre mat is laminated in two halves of the hollow mould, which respectively form the negative mould for the fibre-reinforced hollow bodies comprising integrally formed elements to be produced, and, once the two halves of the thus lined hollow mould have been connected, the fibre mat is pressed into the hollow mould under pressure in a form-fitting manner. The invention also relates to products produced according to the inventive method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/119491 A2



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Hohlkörpern mit integral angeformten Elementen in einer Hohlform, wobei in zwei Hälften der Hohlform, welche jeweils die Negativform für den herzustellenden faserverstärkten Hohlkörper mit integral angeformten Elementen bilden, eine Faserplatte laminiert wird und nach dem Verbinden der beiden Hälften der so ausgekleideten Hohlform, die Faserplatten unter Anwendung von Druck formschlüssig in die Hohlform gepresst wird. Die Erfindung betrifft auch Produkte, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt sind.

Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Hohlkörper und nach
diesem Verfahren erzeugte Produkte

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Hohlkörpern mit integral am Hohlkörper angeformten Elementen, wie Anschlusslaschen, Aufhängelaschen, Flanschen, Flossen und dergleichen Elemente, und die so erzeugten Produkte.

10 Faserverstärkte Hohlkörper mit Anschlusslaschen, Aufhängelaschen, Flanschen, Flossen und dergleichen Elementen lassen sich nur mit sehr aufwendigen Arbeitstechniken herstellen. Im Stand der Technik wurden zahlreiche Vorgehensweisen beschrieben.
15

So ist beispielsweise in der US-PS 4,963, 301 ein Verfahren zur Herstellung einer Strebe mit endseitigen Laschen beschrieben. Diese Strebe besteht aus drei Teilstücken, nämlich einem
20 rohrförmigen Hohlkörper und zwei an den Enden des Hohlkörpers eingesetzten Laschenköpfen mit geringerem Durchmesser. Die Fertigung erfolgt unter Verwendung von vorimprägniertem Fasermaterial, das auf ein Kernrohr gewalzt und anschließend ausgehärtet wird. Danach kann das ausgehärtete Fasermaterial durch
25 Pyrolyse umgewandelt (konvertiert) und durch Infiltration verdichtet werden. Durch mehrfache Anwendung der Pyrolyse und Infiltration entsteht eine feuerfeste Strebe. Die Laschenköpfe werden entweder nachträglich angeformt bzw. eingesetzt oder man verwendet zum Aufwalzen ein, sich an einem Ende verjüngendes,
30 Kernrohr. Eine faltenfreie Herstellung eines einstückigen faserverstärkten Hohlkörpers ist damit nicht möglich.

Gemäß der DE-PS 31 13 791 wird zur Herstellung von Streben ein harter stangenförmiger Kern benutzt, über den ein Gummischlauch gespannt wird. Um den Schlauch sind mehrere Lagen mit
35 Harz vorimprägniertes Fasermaterial überlappend gewickelt. Der so präparierte Innenkern wird in eine mehrteilige Hohlform mit

vier Ausnehmungen gelegt. Nach festem Verschluss der Hohlformhälften wird der einseitig abgeklemmte Schlauch aufgeblasen, so dass das Fasermaterial gegen die Innenwandung der Hohlform gepresst und der harte Kern über das offene Ende des Schlauches herausgezogen werden kann. Anschließend werden in vier Ausnehmungen der Hohlform 4 Formkörper zur Ausbildung der Übergangs- und Endbereiche (Laschen) eingesetzt. Die Aushärtung des Harzes erfolgt im Ofen oder Autoklaven, je nach Harzsystem bei z.B. 125°C bzw. 175°C und unter geregelter Schlauchinnendruck. Nach Abschluss der Aushärtung wird der Schlauch an einem der offenen Laschenenden aus der Strebe herausgezogen und der Laschenbereich konturgefräst. Verklebungen von ausgehärteten Bauteilen sind nicht erforderlich, da gemäß dem "Einschuss-Verfahren" (one shot curing) gehärtet wird.

Die Laschen erhalten je eine Bohrung, in die, zur besseren Lastaufnahme, jeweils eine Hülse gepresst bzw. eingeklebt wird. Um ein mögliches Scheuern zu vermeiden, sind die Hülsen mit einem Bund versehen, der aus der Laschenoberfläche hervorsticht.

Nachteilig ist bei diesem Verfahren, dass zur Ausbildung der Übergangs- und Endbereiche, der abgelegte Faserverband aus der Kreisring- in die Rechtecks-Form gequetscht wird, und daher dazu neigt, in diesen Bereichen Verwerfungen und Faserverschiebungen zu erleiden. Generell ist es außerdem ausgesprochen schwierig, Faserverbunde, die in mehreren Lagen auf Kernrohre gewickelt sind, durch Aufblasen des Schlauches gleichmäßig zu expandieren. Eigene Versuche zeitigten mangelhafte Ergebnisse.

Die vorgenannten Verfahrenstechniken sind nur beispielhaft für die grundlegenden bekannten Techniken genannt. Deren gemeinsamer Nachteil ist, dass die Verfahren uneinheitliche Produkte liefern. Darunter leidet die Qualität der faserverstärkten Hohlkörper, insbesondere in dem von äußeren Lasten hoch beanspruchten Laschenbereich. Die Ausschussrate ist entsprechend

hoch. Außerdem sind die verwendete Vorrichtung und die Handhabung derselben, relativ aufwendig.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, insbesondere ein Verfahren zur Herstellung dünnwandiger rohr- bzw. prismenförmiger Hohlkörper mit integral angeformten Elementen anzugeben, mit welchem die Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren vermieden werden können. Insbesondere soll es ermöglicht werden, faserverstärkte Hohlkörper mit integral angeformten Elementen stets reproduzierbar herstellen zu können, wobei die geforderten Stabilitäts- und Qualitätseigenschaften der Hohlkörper in allen ihren Herstellungsabschnitten bis zur Endform gewährleistet sind. Von großem Interesse ist es, so hergestellte Hohlkörper über integral angeformte Elemente, z.B. Rippen oder Stege zu flächig ausgebildeten Strukturbauteilen, wie Schilden, Paneelen und dergleichen Elementen, miteinander zu vereinigen und gemeinsam auszuhärten. Zum Verschluss der dafür benötigten größeren Hohlformhälften können die von außen erforderlichen, ebenfalls größeren Gegendruckkräfte, über geeignet platzierte Schrauben aufgebracht werden. Geeignet hierzu sind auch temperaturbeständige Hilfsmittel wie Druckpolster, Niederhalter, insbesondere hydraulisch oder pneumatisch kontrollierte Kraftdosen bzw. Druckmanschetten, die von außen auf die Hohlform wirken und sich zwischen dieser und der Decke bzw. Traversen befinden. Darüber hinaus kann allein oder in Kombination das Prinzip der Vakuumverpackung eingesetzt werden, indem die Hohlform in eine undurchlässige flexible Hülle verpackt und diese Hülle evakuiert wird, so dass der Umgebungsdruck zur Wirkung kommt. Statt der Hülle, die auch als Vakuumsack bekannt ist, kann auch eine undurchlässige flexible Folie verwendet werden, die entlang des Randes umlaufend gegen die Bodenplatte bzw. das Formwerkzeug abgedichtet ist.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist demnach ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Hohlkörpern mit integral angeformten Elementen in einer Hohlform, wobei in zwei

Hälften der Hohlform, welche jeweils die Negativform für den herzustellenden faserverstärkten Hohlkörper mit integral angeformten Elementen bilden, eine Fasermatte laminiert wird und nach dem Verbinden der beiden Hälften der so ausgekleideten Hohlform, die Fasermatte unter gleichzeitiger Aushärtung und Ausbildung des faserverstärkten Hohlkörpers mit integral angeformten Elementen gegen die Hohlforminnenwand gepresst wird.

Es versteht sich, dass beim Anpressen der Fasermatten gegen die Hohlforminnenwand Druck angewendet wird und zum Aushärten eines in den Fasermatten aufgenommenen Harzsystems die Einwirkung von vorzugsweise Hitze erforderlich ist. Bei den faserverstärkten Hohlkörpern handelt es sich insbesondere um solche mit rohr- oder prismenförmiger Außengestalt, es sind jedoch auch viele andere Querschnittsformen möglich, wie sie von Fall zu Fall später noch erläutert werden. Mit dieser Erfindung können faserverstärkte Hohlkörper mit geringer Porosität und hohem Faservolumenanteil unter Verwendung wenigstens eines aufblasbaren Schlauches, bzw. Blase, in einer, mit speziell vorbehandelten, trockenen textilen Faserhalbzeugen bzw. mit durchtränkten Faserhalbzeugen (Prepregs) ausgelegten, Hohlform, insbesondere solche die eine rohr- bzw. prismenförmige Gestalt mit integrierten Laschen, Flossen, Flanschen und dergleichen aufweisen, vorteilhaft hergestellt werden. Darunter fallen Streben, die für Strukturkonstruktionen, z.B. in der Luft- und Raumfahrt oder für den Fahrzeugbau benötigt werden (Fig. 1 bis 5, Fig. 34 bis 40), Rohre mit Aufhängelaschen oder Flanschen (Fig. 27 bis 30), Flossenrohre (Fig. 31), Strukturbauteile für Flugzeugsitze (Fig. 41, 43, 45, 50 bis 54), Gabelstreben z.B. für den Ein- bzw. Ausfahrmechanismus von Flugzeugfahrwerken (Fig. 55), Speichenkörper (Fig. 56 bis 61), Steuerklappen z.B. für Wiedereintrittskörper der Raumfahrt (Fig. 64, 66 bis 75), Flügel z.B. für Windkraftanlagen (Fig. 76), Bremsscheiben (Fig. 77 und 78), die Einlassvorderkante von Fluggasturbinen (Fig. 79 bis 84), Rumpfsegmente von Flugzeugen (Fig. 32, 85, 92, 93, 95, 96) und ähnliches. Diese Bauteile können einen weiten thermomechanischen Einsatzbereich

abdecken, zumal sie je nach Einsatzbereich aus unterschiedlichen Materialien, wie z.B. aus faserverstärktem Kunststoff oder faserverstärkter Keramik (CMC) bestehen können und somit sowohl für normale, als auch sehr tiefe oder sehr hohe Temperaturen ausgelegt werden können.

Unter dem Begriff Fasermatte sollen im Rahmen der vorliegenden Erfindung alle vorimprägnierten und/oder vorbehandelten Fasergelege, respektive Faserhalbzeuge verstanden werden, welche nach dem Auslegen der Hohlform auch als Laminat bezeichnet werden können. Darunter fallen auch trockene textile Faserhalbzeuge, die z.B. durch das so genannte Vorformen, gegen Verrutschen beim Ablegen in Hohlformen präpariert wurden.

Die erforderliche Hohlform ist als Negativ des herzustellenden faserverstärkten Hohlkörpers im Wesentlichen zweiteilig sowie entlüft- und verschließbar ausgeführt. Sie besteht vorzugsweise aus einem festen Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit. Bei Verwendung von teildurchtränkten ursprünglich trockenen textilen Faserhalbzeugen, die erst in der Hohlformen mit Harz injiziert werden, kann die zweite Formhälfte auch aus flexiblen Materialien, wie z.B. einer Vakuumfolie bestehen.

Im Vergleich zu metallischen Ausführungen sind faserverstärkte Hohlkörper leichter und weisen mindestens gleich große Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften hinsichtlich Druck, Zug, Biegung und Torsion auf. Darüber hinaus haben sie ein besseres Dämpfungsvermögen. Bei faserverstärkten Hohlkörpern mit z.B. integrierten Anschlusslaschen ergeben sich Gewichts- und Festigkeitsvorteile gegenüber solchen mit eingefügten Laschenköpfen, da im Bereich der Fügung (Verklebung) Kerben und Doppeldimensionierungen unvermeidbar sind. Ähnliches gilt für faserverstärkte Rohre mit Flanschen und viele weitere faserverstärkte Hohlkörper.

Obwohl das erfindungsgemäße Verfahren ähnliche Prozessschritte wie der Stand der Technik verwendet, stellt es doch eine we-

sentliche Verbesserung und Vereinfachung der bisher bekannten Verfahren dar. Einerseits wird ohne den vorgenannten harten Kern gearbeitet und andererseits wird der Faserverbund in allen Hohlkörperbereichen, speziell im Übergangs- und Endbereich (Lasche) lastgerechter in Kraftflussrichtung abgelegt. Im hoch beanspruchten Endbereich (Lasche) erfolgt die Ablage isotrop. Zu diesem Zweck wird mit entsprechenden Hohlformhälften (Negativformen) gearbeitet. Dadurch erspart man sich das, die Querschnittsform ändernde, Zusammenpressen der Faserschichten mittels Formstücken samt allen damit verbundenen Nachteilen. Die Übergangsbereiche brauchen also nicht mehr von Kreis- auf Rechteckprofil, allgemein also von großen auf kleine Querschnitte in Form gepresst zu werden, da das Prepreg-Material faltenfrei und lagestabil direkt in zwei einander sich ergänzende offene Negativformen abgelegt wird. Prinzipiell sind dadurch weniger Arbeitsschritte erforderlich und damit sowohl der Zeitaufwand als auch die Ausschussgefahr geringer. Hinzu kommt, dass die Hohlform einfacher aufgebaut und die bisherige verfahrensbedingte Gefährdung des Bauteilrohrlings weitgehend eliminiert sind.

Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

So ist die Fasermatte vorzugsweise ein mit Harz getränktes Fasergelege oder ein Faser-Prepreg. Das Fasergelege kann auch nur teilweise mit Harz durchtränkt sein.

Die Fasermatte wird vorzugsweise mit Hilfe eines in die Hohlform eingebrachten aufblasbaren Elementes gegen die Hohlforminnenwand gedrückt, indem das aufblasbare Element nach dem Verbinden der Hälften der Hohlform aufgeblasen wird. Das Verbinden der Formhälften ist z.B. auch unter Nutzung des Umgebungsdrucks (Atmosphäre, Autoklav) bei Verwendung eines Vakuumsacks möglich.

Vorzugsweise wird bzw. werden die Fasermatte(n) entsprechend

einer vorgegebenen Belastungsspezifität verschiedener Abschnitte des Hohlkörpers in den Hälften der Hohlform abgelegt. Dazu werden die Fasermatte(n) in den Hohlformhälften so ausgerichtet abgelegt, dass sie die spezifizierten Belastungen im Verbund optimal aufnehmen können.

Auf der/den Fasermatte(n) kann im Rahmen der Erfindung zusätzlich ein Belüftungsgewebe, d.h. Entlüftergewebe abgelegt werden. Auch unter der/den Fasermatte(n) kann ein Entlüftergewebe abgelegt sein. Dazwischen kann sich eine semipermeable Folie befinden, wenn das Harz per Vakuum infiltriert wird.

Die Fasermatte(n) und gegebenenfalls das Entlüftergewebe werden bei einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in jeweils einer Hälfte der Hohlform derart abgelegt, dass sie um einen bestimmten Betrag über wenigstens eine Oberkante der jeweiligen Hohlformhälfte überstehen.

Die überstehenden Abschnitte der Fasermatte und gegebenenfalls des Entlüftergewebes können erfindungsgemäß vor dem Zusammensetzen der Hohlformhälfte derart aufgefächert werden, dass die jeweils aufgefächerten Abschnitte nach dem Zusammensetzen ineinander greifen.

Zur Ausbildung der über die Oberkante der Hohlformhälften hinausragenden Materialabschnitte wird, soweit erforderlich, an den Hohlformhälften wenigstens einseitig eine Leiste angeordnet, welche die überstehenden Materialabschnitte während der Laminierung unterstützen. An den Leisten können zusätzlich Metallschienen angeordnet sein, die der Auffächerung der Laminatlagen dienen bzw. die gewünschte Positionierung der überstehenden Materialabschnitte vor dem Zusammensetzen der Hohlformen erleichtern.

Das in der Hohlform befindliche Fasergelege wird soweit erforderlich, evakuiert und gegebenenfalls zusätzlich mit Harz infiltriert. Das in der Hohlform befindliche Fasergelege kann

auch einer zusätzlichen Druck- und Temperaturbehandlung ausgesetzt werden.

5 Der so erhaltene, ausgehärtete Hohlkörperrohling wird vorzugsweise einer mechanischen Nachbehandlung, z.B. einem Konturfräsen, unterworfen und kann darüber hinaus physikalisch und/oder chemisch verdichtet werden.

10 Die Fasern in den eingesetzten Fasermatten sind unidirektional, gekreuzt, multiaxial, und/oder überkreuzt ausgerichtet und sind vorzugsweise in einem thermoplastischen oder duroplastischen Matrixmaterial festgelegt.

15 Die zur Materialverstärkung ausgewählten Fasern werden vorzugsweise aus Kohlenstoff-, Glas-, Polyester-, Polyethylen-, und Nylonfasern ausgewählt.

20 Die verwendeten Fasern werden aus anorganischen Fasern ausgewählt, wenn ein feuerfester, chemisch verdichteter Hohlkörper hergestellt werden soll. Hierzu zählt Kohlenstoff. Die Fasern bzw. Filamente werden dann aus Kohlenstoff-, Siliciumcarbid-, Aluminiumoxid-, Mullit-, Bor-, Wolfram-, Borcarbid-, Bor-nitrid- und Zirconiumfasern ausgewählt. Es können sortengleiche oder sortengemischte Fasern verwendet werden.

25 Die äußere Form des herzustellenden faserverstärkten Hohlkörpers ist durch das erfindungsgemäße Verfahren nicht besonders beschränkt. So können faserverstärkte Hohlkörper mit im Wesentlichen kreisförmigem, ovalem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitt, mit/oder ohne Innenrippen, bei geeigneter
30 Ausgestaltung der Hohlraumform bzw. der Hohlraumhälften, erzeugt werden. Das Verfahren eignet sich gleichermaßen zur Erzeugung von Streben, Rohren, so genannten Flossenrohren und auch kastenförmigen Gebilden, wie beispielsweise Steuerklappen
35 oder durch Quer- und Längsprofile versteifte Rumpfsegmente.

Laminiert wird bevorzugt mit Prepreg-Fasermaterial. Im Rohr-

bzw. Prisma-Bereich, z.B. einer Strebe mit Laschen, werden z.B. 60 % des Fasermaterials parallel zur Längsachse (0°-Richtung) und 40 % jeweils hierzu unter $\pm 45^\circ$ (auch +/-Richtung genannt) abgelegt. Im Bereich der Enden (Laschen) sind die Fasern zu etwa einem Drittel parallel zur Längsachse angeordnet. Senkrecht zu ihr (90°-Richtung) sind etwa 30 % und der Rest unter $\pm 45^\circ$ zur Längsachse abgelegt. Im rampenförmigen Übergangsbereich zwischen Lasche und Rohr- bzw. Prisma-Bereich erfolgt eine abgestufte Ablage der Verstärkungsfasern.

Die Faserhalbzeuge sind unidirektional, gekreuzt, multiaxial aber auch überkreuz auf verschiedene Weisen miteinander verwebt oder verflochten beziehbar. Als Lieferanten wären z.B. Firmen wie Cytec, Hexcel, ICI, Interglas, Kramer, und Saertex zu nennen.

Ungehärtetes Matrixmaterial kann sowohl mit thermoplastischen als auch mit duroplastischen Eigenschaften von Firmen wie Cytec, Hexel, ACG, Huntsman kommerziell erworben werden.

Bei Bedarf kann auch in gemischter Weise laminiert werden, d.h. auf unidirektionale Faserhalbzeuglagen können kreuzweise verwebte Faserlagen folgen. Das kann im Bereich der Laschenbohrung, je nach spezifizierter Last, zweckmäßig sein.

Aus Gründen der Kosten oder geringeren Anforderungen an die Steifigkeit des faserverstärkten Hohlkörpers, können statt Kohlenstofffasern andere Fasermaterialien eingesetzt werden und zwar sowohl sortengleich als auch sortengemischt. Eine faserverstärkte Kunststoff-Strebe bei der z.B. Glas- und Kohlenstofffasern kombiniert sind, ist flexibler und preisgünstiger als eine, die ausschließlich mit Kohlenstofffasern verstärkt ist. Neben Glas- und Kohlenstoff-Faserhalbzeugen gibt es weitere Fasermaterialien die für faserverstärkte Hohlkörper einsetzbar sind. Sie sind dem Fachmann für die Anwendung in verschiedenen Temperaturbereichen bekannt.

Wird für faserverstärkte Hohlkörper bzw. deren vorfixierte, teilweise oder voll gehärtete endformnahe Faservorform eine Harz-Matrix durch Pyrolyse konvertiert und durch weiteren Eintrag von Harzmaterial (Polymerinfiltration) und erneute Pyrolyse verdichtet, werden im Allgemeinen anorganische Fasermaterialien einschließlich Keramik-Filamenten, wie Kohlenstoff, Graphit, Glas und Aramid verwendet. Als keramische Filamentmaterialien sind u.a. Kohlenstoff, Siliciumcarbid, Aluminiumoxid, Siliciumnitrid, Mullit, Bor, Wolfram, Borcarbid, Bor-
nitrid und Zirconium in Anwendung. Keramische Fasern sind
hochtemperaturbeständig. Die mit diesem Liquid Polymer Infiltration (LPI)-Verfahren erzeugten CMC-Baukörper (Ceramic Matrix Composites) durchlaufen im Allgemeinen 5 bis 8 Pyrolysen und sind für Bauteile geeignet, die mittleren mechanischen und thermischen Belastungen widerstehen.

Für thermomechanisch hoch beanspruchte CMC-Werkstoffe kann die Abscheidung der Matrix auf den Faseroberflächen in der Gasphase nach dem Chemical Vapour Infiltration (CVI)-Verfahren erfolgen. Dabei scheidet sich, unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen, auf und zwischen den Fasern des endformnahen Baukörpers, Matrixmaterial solange auch im Inneren des Baukörpers ab, bis die Bauteiloberfläche mit Matrixmaterial zugewachsen ist. Auf diese Weise lassen sich z.B. Kohlenstofffasern in eine Siliciumcarbidmatrix, Siliciumcarbidfasern in eine Siliciumcarbidmatrix oder eine Siliciumnitridmatrix, Aluminiumoxidfasern in eine Aluminiumoxidmatrix oder Mullitfasern in eine Mullitkeramik einbetten.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand von Anwendungsbeispielen, Hinweisen zum Fertigungsablauf und der benutzten Hohlform mittels Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 einen erfindungsgemäß hergestellten faserverstärkten Hohlkörper mit gabel- bzw. nutförmigen Anschlusslaschen und kreisrohrförmigem Mittelteil

- a) in Seitenansicht,
- b) in Vorderansicht, und
- c) perspektivisch dargestellt,

5 Fig. 2 einen weiteren erfindungsgemäß hergestellten faser-
verstärkten Hohlkörper gemäß Fig. 1, jedoch mit ova-
lem Querschnitt im Mittelteil
a) in Seitenansicht,
b) in Vorderansicht, und
10 c) perspektivisch dargestellt,

Fig. 3 und 4 einen erfindungsgemäß hergestellten faser-
verstärkten Hohlkörper nach Fig. 1 oder 2 mit im Mit-
telteil eben ausgebildeten Flächen, jeweils in
15 a) Seitenansicht, und
b) perspektivischer Darstellung,

Fig. 5 eine Schnittdarstellung des Hohlkörpers gemäß Fig. 4,

20 Fig. 6 eine gemäß der Erfindung ausgestaltete Hohlformhälfte
für Streben mit integrierten Laschen
a) perspektivisch,
b) im Schnitt, und
c) kurz vor dem Zusammenfahren beider Formhälften in
25 mit Fasermaterial und Schlauch versehener Bestückung,

Fig. 7 bis 9 den Ablauf des erfindungsgemäßen Herstel-
lungsverfahrens in einer bevorzugt ausgestalteten
Vorrichtung für rohr- bzw. prismenförmige Hohlkörper
30 in Querschnittdarstellung,

Fig. 10 ein erfindungsgemäß beispielhaft gewähltes Ablagemus-
ter für Laminatschichten von Faserhalbzeugen,

35 Fig. 11 eine Ablage mit hohen Randüberständen,

Fig. 12 faltenfrei mit L-Schienen positionierte Randstreifen

kurz vor dem Zusammenfahren und Schließen der Formhälften,

- 5 Fig. 13 überstehende Randstreifen für eine mit Überlappung vorgesehene Ablage auf der oberen Laminatschicht,
- 10 Fig. 14 bis 17 weitere mögliche Vorgehensweisen um Laminatlagen miteinander zu verbinden, nämlich Fig. 14 ohne obere Laminatschicht, Fig. 15 mit oberer Laminatschicht. Fig. 16 und 17 mit Auffächerung der Laminatlagen,
- 15 Fig. 18 bis 22 jeweils Ergebnisse der Vorgehensweisen entsprechend den korrespondierenden Fig. 9, 12, 13, 14 und 17 in Querschnittsdarstellung,
- 20 Fig. 23 bis 26 Ausführungsformen mit Innenrippe im Hohlkörperquerschnitt,
- 25 Fig. 27 einen faserverstärkten Hohlkörper mit am Rohrmantel integrierten Aufhängelaschen
a) in Seitenansicht,
b) perspektivisch, und
c) die Schnittdarstellung eines möglichen Formenaufbaus mit Ablagebeispiel,
d) mit einem weiteren Ablagebeispiel,
- 30 Fig. 28 und 29 einen Hohlkörper mit angeformten Flanschen jeweils
a) perspektivisch, und
b) die Schnittdarstellung eines möglichen Formenaufbaus mit Ablagebeispiel,
- 35 Fig. 30 einen im Raum gekrümmten Hohlkörper (Rohrbogen) mit integral angeformten Flanschen
a) in Perspektive, und
b) eine Hohlformhälfte hierzu,

- Fig. 31 einen faserverstärkten Hohlkörper
a) mit seitlich angeformten Flossen
b) in Form einer Flossenrohrwand,
5 c) in Schnittdarstellung samt Formenaufbau zur Herstellung der Flossenrohrwand,
d) wie unter c) jedoch mit kontrollierbarer Anpressung der Flossenstege,
- 10 Fig. 32 einen großflächigen faserverstärkten Hohlkörper (versteifte Platte) mit integral angeformten Längs- und Querverstrebungen (-versteifungen)
a) in Perspektive,
b) die zur Herstellung erforderliche Hohlform,
15 c) die mit Laminat ausgelegte Hohlform,
d) Formschläuche bzw. -blasen in auslaminierter Hohlform, und
e) Planlaminat mit Deckplatte auf mit Laminat und Formschläuchen bestückter Hohlform,
- 20 Fig. 33 den Formenaufbau ähnlich Fig. 32 e) umhüllt mit Lüftergewebe, in einem Vakuumsack bzw. einer evakuierbaren Folie
a) in perspektivischer Darstellung,
25 b) im Schnitt,
c) den Detailausschnitt aus Fig. 33 b),
d) den Formenaufbau ähnlich Fig. 33 a) jedoch mit einer gegen die untere Hohlform abgedichteten Folie,
e) einen Formenaufbau mit zwei separat evakuierbaren
30 Räumen (Lüfterraum und Harzinjektionsraum),
f) einen Formenaufbau ähnlich dem in Fig. 33 e) jedoch mit einer flexiblen oberen Formhälfte,
g) den Formenaufbau ähnlich Fig. 33 f) jedoch mit der planen Paneelfläche auf der unteren Formhälfte,
- 35 Fig. 34 eine Strebe mit gabelförmigen Laschen und rechteckigem Querschnitt

- a) perspektivisch,
- b) in Seitenansicht,
- c) in Draufsicht,
- d) in Vorderansicht,

5

Fig. 35 eine Strebe mit zur Mitte zunehmendem Querschnitt

- a) perspektivisch,
- b) in Seitenansicht,
- c) in Draufsicht,
- d) in Vorderansicht,

10

Fig. 36 Abschnitt einer stufenlos längenverstellbaren Strebe mit angekoppeltem Spansschloss

- a) mit einfachen Laschen an den Schraubenenden,
- b) mit Lasche und Gabellasche an den Schraubenenden,

15

Fig. 37.1 eine stufenlos längenverstellbare Strebe mit gegenläufigem Gewinde innen (Spansschloss-Prinzip),

- a) perspektivisch,
- b) in Draufsicht,
- c) in Schnittdarstellung,

20

Fig. 37.2 eine stufenlos längenverstellbare Strebe mit gegenläufigem Gewinde außen (Spansschloss-Prinzip)

- a) perspektivisch,
- b) in Draufsicht,
- c) in Schnittdarstellung,

25

Fig. 38 eine stufenweise längenverstellbare Strebe mit Zahnplattenverstellung

- a) perspektivisch,
- b) in Schnittdarstellung,

30

Fig. 39 eine zu einem Ende konisch zulaufende, stufenweise längenverstellbare Strebe mit Gewindeanschluss,

- a) perspektivisch,
- b) in Seitenansicht,

35

c) in Schnittdarstellung,

Fig. 40 eine stufenweise längenverstellbare Strebe mit Aufdickung an einem Ende.

5 a) perspektivisch,
b) in Draufsicht,
c) in Schnittdarstellung,

10 Fig. 41 einen Sitzstrebenrohling, z.B. für einen Flugzeugsitz,

Fig. 42 einen Sitzstrebenrohling in einer Hohlform im Querschnitt,

15 Fig. 43 eine Sitzstrebe mit integrierter Versteifungsrippe,

Fig. 44 eine Sitzstrebe mit integrierter Versteifungsrippe in einer Hohlform im Querschnitt,

20 Fig. 45 eine Sitzstrebe mit integrierten Anschlüssen für Strukturbauteile,

Fig. 46 und 47 die obere und die untere Formhälfte für die Sitzstrebe gemäß Fig. 45,

25 Fig. 48 eine Aufteilung der Formhälfte gemäß Fig. 47,

Fig. 49 eine Beschreibung in Bildern zur Entformung der Sitzstrebe gemäß Fig. 45 aus der Hohlform nach Aushärtung,

30 Fig. 50 eine weitere Ausführung der Sitzstrebe ähnlich Fig. 45,

35 Fig. 51 eine Sitzfußstruktur hergestellt in erfindungsgemäßer Weise,

- Fig. 52 eine Struktur zur Anbindung einer Armlehne gemäß Fig. 53 hergestellt in erfindungsgemäßer Weise,
- 5 Fig. 53 eine Armlehnenstruktur hergestellt in erfindungsgemäßer Weise,
- Fig. 54 den Zusammenbau der Strukturen gemäß den Fig. 50 bis 53,
- 10 Fig. 55 eine erfindungsgemäß hergestellte Gabelstrebe, z.B. für das Bugfahrwerk eines Flugzeuges,
- Fig. 56 Streben im rechten Winkel zueinander mittig gekreuzt mit Laschen
- 15 a) in Perspektive, und
b) in Seitenansicht,
- Fig. 57 einen sternförmigen Hohlkörper mit zentral angeformtem Flansch
- 20 a) perspektivisch,
b) in Vorderansicht,
c) in Seitenansicht,
- Fig. 58 Hohlformvarianten für sternförmige Hohlkörper gemäß Fig. 57, wobei
- 25 a) bis c) eine erste Variante unter Verwendung zweier Blasen, und
d) eine zweite Variante unter Verwendung einer Blase veranschaulichen,
- 30 Fig. 59 einen sternförmigen Hohlkörper mit integral angeformter Nabe
- a) perspektivisch,
b) in Vorderansicht,
- 35 c) in Seitenansicht,
- Fig. 60 einen sternförmigen Hohlkörper mit angeformter Nabe

und integrierten Endflanschen

- a) perspektivisch,
- b) in Draufsicht,
- c) in Seitenansicht,

5

Fig. 61 eine Radfelge mit integral angeformten hohlen Speichen

- a) perspektivisch,
- b) in Seitenansicht,
- c) in Schnittdarstellung,

10

Fig. 62 den Aufbau der Form für die Radfelge gemäß Fig. 61,

Fig. 63 die zusammengebaute Form für die Radfelge gemäß Fig. 61 in Schnittdarstellung einschließlich Formblasen,

15

Fig. 64 eine einseitig offene rechteckige Steuerklappe

- a) in Perspektive, und
- b) in Seitenansicht,

20

Fig. 65 eine Veranschaulichung des prinzipiellen Herstellprozesses anhand einer Querschnittdarstellung der Steuerklappe gemäß Fig. 64,

25

Fig. 66 eine einseitig offene rechteckige Steuerklappe ähnlich wie Fig. 64, jedoch mit Innenrippe

- a) in Perspektive, und
- b) in Seitenansicht,

30

Fig. 67 eine einseitig offene rechteckige Steuerklappe ähnlich wie Fig. 66 jedoch mit Versteifungssicke,

- a) in Perspektive, und
- b) in Seitenansicht.

35

Fig. 68 bis 70 Steuerklappen für Flugzeuge und Wiedereintrittskörper für die Raumfahrt aus Faserverbundkeramik,

- Fig. 71 eine weitere Ausführung einer Steuerklappe,
- Fig. 72 weitere Ausführungen von Steuerklappen für Flugzeuge
5 und Wiedereintrittkörper
a) mit horizontaler Teilungsebene,
b) mit vertikaler Teilungsebene,
- Fig. 73 bis 75 Mechanismen zum Auslenken von Steuerklap-
10 pen,
- Fig. 76 einen Flügel mit integral angeformtem Flansch, z.B.
für Windturbinen,
a) perspektivisch,
15 b) in Seitenansicht
- Fig. 77 einen Hohlkörper in Form einer Bremsscheibe,
- Fig. 78 die Veranschaulichung des Herstellungsprozesses einer
20 erfindungsgemäß gefertigten Bremsscheibe gemäß Fig.
77,
- Fig. 79 einen Hohlkörper in Form der Lufteinlauf-Vorderkante
eines Turbinentriebwerkes, z.B. von Gasturbinen eines
25 Flugzeuges,
a) isometrische Vorderansicht,
b) isometrische Rückansicht, und
c) Schnittdarstellung,
- Fig. 80 die untere Formhälfte für die Lufteinlauf-Vorderkante
30 gemäß Fig. 79
a) isometrisch,
b) in Schnittdarstellung,
- Fig. 81 die obere Formhälfte zur Fertigung der Lufteinlauf-
35 Vorderkante gemäß Fig. 79 mit abgelegten Laminat-
schichten,

- Fig. 82 den Aufbau der oberen Formhälfte gemäß Fig. 81 in
Schnittdarstellung samt Laminatschichten und Blasen,
- 5 Fig. 83 die zusammengebauten Formhälften aus Fig. 80 und 81
in Schnittdarstellung,
- Fig. 84 einen weiteren Formenaufbau zur Herstellung einer
Lufteinlauf-Vorderkante gemäß Fig. 79,
- 10 Fig. 85 ein erfindungsgemäß hergestelltes Rumpfsegment eines
Flugzeuges mit integral angeformten Stringern und
Spanten vor der mechanischen Bearbeitung,
- 15 Fig. 86 die untere Formhälfte des Rumpfsegmentes gemäß Fig.
85,
- Fig. 87 einen vergrößerten Ausschnitt aus Fig. 86,
- 20 Fig. 88 eine mit Faserhalbzeugen auslamierte untere Form-
hälfte zur Herstellung eines Rumpfsegmentes gemäß
Fig. 85,
- Fig. 89 die untere Formhälfte gemäß Fig. 88 mit eingelegten
Formschläuchen ähnlich jenen in Fig. 32 d),
- 25 Fig. 90 die mit Fasermaterial laminierte obere Formhälfte zur
Herstellung des Rumpfsegmentes gemäß Fig. 85,
- 30 Fig. 91 den gesamten Formenaufbau zur Herstellung des Rumpf-
segmentes gemäß Fig. 85,
- Fig. 92 ein erfindungsgemäß hergestelltes Rumpfsegment gemäß
Fig. 85 mit integral angeformten Anschlusslaschen
nach dem Bohren und Konturfräsen,
- 35 Fig. 93 vier zu einem Teilsegment eines Flugzeugrumpfes mit-
einander verbundene Außenhautpaneele,

- Fig. 94 einen erfindungsgemäß hergestellten Hohlkörper in Form eines Fußbodenquerträgers,
- 5 Fig. 95 ein Teilstück eines Flugzeugrumpfes mit erfindungsgemäß hergestellten Rumpfsegmenten und Fußbodenquerträgern,
- 10 Fig. 96 einen Hohlkörper in Form eines Außenhautpaneels mit integrierten Stringern und einem integrierten Rahmen für eine Passagiertüre,
- Fig. 97 ein Fahrgestell für Eisenbahn- bzw. Schwebebahnwagons
- 15 a) isometrisch von oben, und
b) isometrisch von unten, und
- Fig. 98 ein Rad für ein Hochgeschwindigkeits-Schienenfahrzeug
- 20 a) isometrisch,
b) isometrisch im Schnitt, und
c) den Formenaufbau im Schnitt.

Fig. 1 zeigt als mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäß hergestellten, faserverstärkten Hohlkörpers 10, eine Strebe mit gabel- bzw. nutförmigen Anschlusslaschen 11, sowohl in Seiten- (a) und Vorderansicht (b) als auch perspektivisch (c) dargestellt. Sie weist einen rohrförmigen bzw. zylindrischen Mittelteil 12 auf, an den sich über keil- oder rampenförmige Abschnitte 13 integral angeformte Laschen 11 anschließen. In den Laschen 11 sind etwa mittig Bohrungen 14 vorhanden, die mit Hülsen 15 mit jeweils einem Bund 15 ausgestattet sind. Der Bund verhindert ein mögliches Scheuern eines lasteinleitenden Zapfens (nicht dargestellt) bei Übertragung von Biege- bzw. Torsionskräften.

35 Fig. 2 zeigt ebenfalls eine Strebe mit nut- bzw. gabelförmigen Laschen 11. Der hohle Mittelteil 12 weist jedoch einen ovalen

Querschnitt auf, wie aus der Seitenansicht (b) zu ersehen ist. Alle weiteren Merkmale sind identisch mit der Strebe gemäß Fig. 1 und mit denselben Bezugsziffern versehen.

- 5 Die Streben (faserverstärkte Hohlkörper 10) der Fig. 3 und 4 entsprechen in ihren wesentlichen Merkmalen denen der Fig. 1 und 2 und sind soweit wieder mit identischen Bezugsziffern versehen. Sie zeigen darüber hinaus in ihrem zylindrischen oder auch ovalen Mittelteil 12 abgesenkte 16 oder erhabene 17
10 flach ausgebildete Flächen, an welchen Querkräfte eingeleitet werden können. Die Laschen 11 in Fig. 3 sind für den Eingriff in Gabelaschen konzipiert und als solche zungenförmig ausgebildet.
- 15 Fig. 5 zeigt den Querschnitt des Mittelteils 12 mit erhabenen ausgebildeter Fläche 17 gemäß Fig. 4, an einer Stelle, an welcher Querkräfte mittels beispielsweise eines nicht dargestellten Zapfens einleitbar sind.
- 20 Fig. 6a zeigt dann eine erfindungsgemäß ausgestaltete Hohlformhälfte (1, 2) in perspektivischer Darstellung und Fig. 6b einen Längsschnitt durch dieselbe Hohlformhälfte. Aus den Fig. 6a und 6b ist eine halbe Negativ-Form einer Strebe gemäß den vorangehenden Ausführungsformen gut zu erkennen, insbesondere
25 die Querschnittsänderungen vom Mittelteil 12' zu den Endbereichen (Laschen) 11' über die rampenförmig verlaufenden Abschnitte 13'. Diese muldenförmige Negativ-Form wird mit imprägniertem Faserhalbzeug 5 (Fig. 7 ff) laminiert und dieses wiederum, soweit erforderlich, mit einem Entlüftergewebe 7
30 überspannt, worauf nach Verschluss der Hohlformhälften 1, 2 vor und während des Aushärtens Druck ausgeübt wird, in der Weise, dass die Faserablagen gegen die Innenwand der Hohlkörperform gepresst werden. In Fig. 6c sind die beiden auslamierten Hohlformen 1, 2 kurz vor dem Zusammenfahren dargestellt. Der
35 Schlauch 8, der die Laminate gegen die Hohlforminnenwände presst, ist bei diesem Verfahrensschritt bereits in der unteren Hohlform abgelegt.

In den Fig. 7 bis 9 ist ein Herstellungsprozess der vorliegenden Erfindung schematisch wiedergegeben. Er gilt speziell für alle Querschnitte der zuvor gezeigten Streben, gleichgültig ob diese äußerlich z.B. kreisförmig oder rechteckig auszubilden sind.

Fig. 7 zeigt diesen Herstellungsprozess für eine untere 1 und Fig. 8 für eine obere 2 Hohlformhälfte, auch Unter- bzw. Oberform genannt. Auf beide nach oben offenen Formhälften 1 und 2 wird bevorzugt jeweils eine Leiste 3, 4 gelegt und imprägniertes Faserhalbzeug 5 in die Form laminiert, bis hinauf zu den Anschlagflächen 18 der Leisten 3, 4. Danach wird, soweit erforderlich, ein Entlüftergewebe 7 auf dem Faserhalbzeug 5 abgelegt. Bei der gezeigten Ausführungsform wird in die untere Formhälfte 1 ein Schlauch 8 eingesetzt. Nach Wegnahme der Leisten 3, 4, kann die obere Formhälfte 2 auf die untere Formhälfte 1 aufgesetzt und mit ihr fest verschlossen werden. Die überstehenden Randstreifen 6 dienen der Überlappung 9 im Nahtbereich des Hohlkörpers 10, so dass die Hälften ohne weiteres miteinander verbunden (verklebt) werden, sobald der Schlauch 8 unter Druck gesetzt wird. Dies gilt umso mehr bei zusätzlich einwirkender Hitze.

Damit ergeben sich folgende Verfahrensschritte zur Herstellung eines Hohlkörpers gemäß der Erfindung:

- 1.1 Befestigen der Leisten 3 und 4 auf den dafür vorgesehenen Stirnflächen der geöffneten Hohlformhälften 1 und 2.
- 1.2 Drapieren der konkav ausgesparten Hohlformhälften 1 und 2 mit Faserhalbzeug bzw. Laminat 5, so dass jeweils an den Leisten 3, 4 überstehende Streifen 6 gebildet werden.
- 1.3 Gegebenenfalls Ablegen von Entlüftergewebe 7 auf dem Faserhalbzeug 5, inklusive oder exklusive der überstehenden Streifen 6.

1.4 Einlegen des Schlauches (Blase) 8, der aus einem isotrop elastischen Material besteht, in die untere Hohlformhälfte 1.

5

1.5 Entfernen der Leisten 3, 4 von den Hohlformhälften 1 und 2.

10

1.6 Aufeinandersetzen der mit Laminat ausgelegten Hohlformhälften 1 und 2 und gegenseitige Arretierung derselben, z.B. mittels Schrauben.

15

1.7 Abdichten eines Schlauchendes, soweit nicht eine Blase benutzt wird, Absaugen und/oder Verdrängen der Luft die in der Hohlform enthaltenen ist, Einlass von Gas in den Schlauch das unter Druck steht.

20

1.8 Härtung unter kontrollierten Gasdruck- und Temperaturbedingungen im Ofen bzw. Autoklaven.

25

1.9 Öffnen der Hohlform, Entfernen des Schlauches bzw. der Blase, Entnahme des faserverstärkten Kunststoff-Hohlkörpers, Konturfräsen der Laschen, Bohren von Löchern, Einsetzen von Deckscheiben und/oder Bohrlochhülsen.

30

35

Aus Fig. 10 ist insbesondere erkennbar, dass die Ablage der Faserhalbzeuge 5 im Allgemeinen nicht einheitlich sondern nach einem erwarteten Belastungsprofil, also einer erwarteten Beanspruchung des faserverstärkten Hohlkörpers 10 in seinen Einzelabschnitten 11,12,13, erfolgt. Im Mittelteil 12" werden beispielsweise unidirektionale Fasern in Längsrichtung und unter $\pm 45^\circ$ zu ihr abgelegt. Im Endbereich (Laschen oder sonstige Anschlusselemente) 11' erfolgt die Ablage isotrop, das heißt axial, quer zur Längsachse und unter $\pm 45^\circ$ zu ihr. Zwischen dem Mittelteil 12 und dem Endbereich der Laschen 11 oder dergleichen angeformten Elementen, also dem keil- bzw. rampenförmigen Bereich 13, wird abgestuft abgelegt. In Fig. 10 sind

die hierzu korrespondierenden Abschnitte mit 11", 12" und 13", die wiederum den Hohlformbereichen 11', 12' und 13', gemäß der Fig. 6, entsprechen.

- 5 Die Faserhalbzeuge 5 können unterschiedlich in die Formschalen 1 und 2 und gegen die Anschlagflächen 18 der Leisten 3 bzw. 4 schichtweise laminiert werden.

Fig. 11 zeigt eine Ablage mit sehr hohen Randüberständen 6. Die überstehenden Randstreifen 6 sind gegen die Leisten 3, 4 und eine Schiene 19 mit L-Profil angeschlagen. Die Schiene 19 erlaubt es, die Randstreifen 6 faltenfrei zusammenzufahren. Dies kann mit und ohne Überlappung der Randstreifen 6 erfolgen.

15 In Fig. 12 sind die Randstreifen 6 für eine bis maximal auf Stoß vorgesehene Ablage vorbereitet und in Fig. 13 auf eine mit Überlappung. Nach Schließen der Formhälften 1 und 2 und Aufblasen des Schlauches 8, verbinden sich die Randstreifen 6 in gewünschter Weise mit dem Faserhalbzeug 5, das in der oberen Hohlformhälfte 2 abgelegt ist.

Fig. 14 zeigt, wie sich ein faserverstärkter Hohlkörper 10 herstellen lässt, der nur eine Überlappung aufweist. Zu diesem Zweck werden die Randstreifen 6, wie in den Fig. 11 und 13 veranschaulicht, überlappt und in die obere unlaminierte Formhälfte 2 mittels des Schlauches 8 gepresst. Bei Hohlkörpern mit beispielsweise Aufhängelaschen oder Flossen, ist es zweckmäßig, die Überlappung, wie in Fig. 15 angedeutet, in die Trennlinie der Formhälften 1, 2 zu setzen. Auf Details hierzu wird weiter unten noch eingegangen.

Gemäß der Fig. 16 werden die Lagen aus Faserhalbzeug 5 im Bereich der späteren Nahtlinien aufgefächert, so dass beim Aufeinandersetzen der Formhälften 1, 2 die aufgefächerten Lagen alternierend ineinander greifen. Zu diesem Zweck sind an den Formhälften 1, 2 wieder Leisten 3 und L-Schienen 19 und 19',

vorgesehen. Während die untere Formhälfte 1 eine Leiste 3 in Zusammenwirken mit einer Schiene 19 zur Aufspaltung des Fasergeleges um einen bestimmten Betrag zeigt, dient die andere Leiste 19' an der oberen Formhälfte dazu, das Laminat leicht von der Formwand entfernt zu halten. Dadurch gelingt ein verzahnter Verbund. Diese in Fig. 17 erkennbare "Verzahnung", erhöht die Qualität der Verbindung.

In den Fig. 18 bis 22 sind im Ergebnis Querschnitte, hier zylindrische Mittelteile 12 mit unterschiedlich ausgestalteten Überlappungen wiedergegeben. Diese sind auf Unterschiede zurückzuführen, die mit der Positionierung der überstehenden Randstreifen 6 vor dem Aufeinandersetzen der Formhälften 1, 2 zusammenhängen. Wie leicht zu erkennen ist, korrespondiert die Positionierung der Randstreifen 6 gemäß Fig. 9 mit dem Ergebnis in Fig. 18, desgleichen die Positionierungen der Fig. 12, 13, 14, 15 und 17 mit den Ergebnissen in den Fig. 19, 20, 21 und 22 in dieser Reihenfolge und Zuordnung.

Mit nur geringfügigen Änderungen, kann unter Einsatz von zwei U-förmigen Rippenstegen 20, z.B. aus Prepregs und zwei miteinander kommunizierend verbundenen Schläuchen, ein faserverstärkter Hohlkörper 10 mit faserverstärkter Innenrippe 21 hergestellt werden. Dies ist in den Fig. 23 und 25 schematisch gezeigt. Die U-förmigen Rippenstege 20 werden jeweils in die untere 1 und die obere 2 Formhälfte mit der zuvor abgelegten Fasermatte 5 vereinigt. Die Fig. 24 und 26 zeigen jeweils einen Schnitt durch das fertige Produkt.

In Fig. 27 ist ein faserverstärktes Rohr 22 mit am Rohrmantel integrierten Aufhängelaschen 23 dargestellt. Das Rohr 22 und die Aufhängelaschen 23 sind einteilig integral nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt.

In den Fig. 28 und 29 sind jeweils faserverstärkte Rohre 24 mit einem, respektive zwei integral angeformten Flanschen 11 gezeigt, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gefertigt

sind. Zur Verbindung mit einzelnen Rohren 24 oder Rohrleitungsbauteilen untereinander, wie z.B. Rohrkrümmern gemäß Fig. 30, sind in den Flanschen 11 gegebenenfalls wieder Bohrungen 14 vorgesehen. Im Übrigen lassen sich Rohrkrümmer prinzipiell in gleicher Weise wie die geraden Rohre gemäß Fig. 28 und 29 produzieren.

Fig. 31 zeigt in Perspektive ein faserverstärktes Flossenrohr (a), eine aus gleichem Werkstoff bestehende Flossenrohrwand (b) sowie zwei Hohlformvarianten (c) und (d) zur Herstellung derartiger Bauteile, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gefertigt wurden. Sie können z.B. aus Kunststoff oder Keramik (CMC) bestehen. Die integral angeformten Flossen/Stege können kürzer als das Rohr/die Rohre sein (nicht gezeigt). Anwendbar sind derartige Flossenrohre bzw. Rohrwände in der Wärme- und Kältetechnik z.B. als Kühlrohre, zum Aufbau von Hitzeschutzschilden, Wärmetauschern und dergleichen.

Die Fertigung eines Paneelsegments aus faserverstärktem Kunststoff, das mit integriert angeformten Streben mit Steck- bzw. Anschlusslaschen versehen werden soll, ist im Wesentlichen aus Fig. 32 und 33 ersichtlich. Abweichend von der gezeigten Darstellung, können die Paneelsegmente auch gekrümmt sein. Die Steck bzw. Anschlusslaschen sind in Fig. 92, 93, und 95 deutlich erkennbar. In der Formhälfte 1 verlaufen parallel zueinander, hier in äquidistanten Abständen, Vertiefungen 20' zur Ausbildung von Längs- und Querverstrebungen 20. Nach Ablegen von Fasermatten, d.h. dem Laminieren der Formhälfte 1, werden (hier vier) Formschläuche bzw. Formblasen 8 in die dafür vorbereiteten Vertiefungen 20' verstaute, und die ebenfalls mit Fasermatten (Prepregs) 5'' laminierte Form 2 auf die Form 1 abgesetzt. Unter äußeren Druckkräften, die die Formhälften 1 und 2 zusammenpressen und dem Druck der Formschläuche 8 entgegenwirken verbinden sich die Laminatkontaktflächen bzw. Überlappungen 9' und 9'' miteinander, so dass unter Hitze das Faserverbundhalbzeug im Ofen bzw. Autoklaven maßgenau aushärtet. Wie in Fig. 33 dargestellt, können die äußeren Kräfte, unter

Zuhilfenahme des Außendruckes, mittels einer Vakuumhülle 59, auch Vakuumsack genannt, die die Formhälften 1 und 2 umschließt, bei Anschluss an eine Vakuumpumpe (hier nicht gezeigt) erzeugt werden. Zusätzlich oder davon unabhängig können regel- oder steuerbare pneumatische bzw. hydraulische Kräfte (Kraftdosen, Druckpolster und dgl.) 62 nützlich sein. Zwischen der Vakuumhülle 59 und den Formhälften 1 und 2 können, zur Verbesserung des wirksamen Vakuums, und damit der Entlüftung über den Vakuumananschluss, Lüftergewebe 7 (= Entlüftergewebe) platziert sein.

Statt aus Prepregs können faserverstärkte Bauteile, wie z.B. das Paneelsegment in Fig. 32 a), auch mit trockenen textilen Fasergeweben (Faserhalbzeugen) hergestellt werden. Um zu verhindern, dass die einzelnen Faserschichten, nach dem Ablegen in der Formhälfte verrutschen, wird das so genannte Preforming bzw. Vorformen angewendet. Dabei werden die einzelnen Faserlagen mit einem thermo- oder duroplastischen Binder versehen und auf einer Positiv- bzw. Negativform bzw. Negativform abgelegt. Zum Fixieren der Lagen wird eine Folie darüber gespannt und deren Rand auf der Positiv- bzw. Negativform mit Dichtmasse umlaufend abgedichtet. Beim Absaugen der Luft unter der Folie, kommt der äußere Luftdruck zur Wirkung und presst die einzelnen Faserlagen fest auf bzw. in die Positiv- bzw. Negativform. Durch anschließende Wärmezufuhr wird der Binder aktiviert, dringt in das trockene Fasergelege ein und härtet im weiteren Verlauf aus. Der so erzeugte Faserverbund wird im weiteren Verarbeitungsprozess wie trockenes Faserhalbzeug behandelt.

Nach dem Einlegen in die Formhälfte 1 wird das vorgeformte Faserhalbzeug 5' mit Harz infiltriert. Fig. 33 e) zeigt den prinzipiellen Formenaufbau. In der Formhälfte 1 befinden sich Vertiefungen, um die Längs- und Querversteifungen 20 des Paneelsegments (Fig. 32 a) integral im Ein-Schuss-Verfahren anzuformen. Unter dem Fasergewebe 5' kann sich - je nach Erfordernis - Lüftergewebe 7 befinden. In den mit Fasermaterial 5' ausgelegten Vertiefungen 20' sind Formschläuche 8 verstaut,

die ebenfalls - je nach Erfordernis - mit U-förmigem Lüftergewebe 7 unterlegt sein können. Das Fasergewebe 5' und die Formschläuche 8 sind mit vorgeformtem Fasergewebe 5'' überdeckt, auf dem sich in der Regel die Abreißfolie 66, das Verteilergewebe 67 und eine semipermeable Folie 65 befinden. Letztere ist gasdurchlässig und harzundurchlässig.

Über der semipermeablen Folie 65 (Fig. 33 e)) befinden sich das Lüftergewebe 7, die obere Formhälfte 2, ein weiteres Lüftergewebe 7' und die gas- und harzundurchlässige Vakuumfolie 59. Diese ist, ebenso wie die semipermeable Folie, umlaufend gegen die Formhälfte 1 abgedichtet. Der Lüfterraum zwischen der Vakuumfolie 59 und der semipermeablen Folie 65 wird über den Vakuumanschluss 60 evakuiert und der Injektionsraum, zwischen der Formhälfte 1 und der semipermeablen Folie 65, über den Vakuumanschluss 68.

Sobald und erst wenn an den Anschlüssen 60 und 68 Vakuen anliegen, können die Schläuche 8 vorsichtig einem höheren Gasdruck ausgesetzt werden. Dabei muss dieser so bemessen sein, dass die Faserhalbzeuge 5' und 5'' im vorgesehenen Überlappungsbereich 9' und 9'' stets fest miteinander in Verbindung bleiben und nicht etwa, speziell im Bereich der Versteifungen 20, voneinander getrennt werden. Unter diesen Voraussetzungen wird das Harzzuflussventil (hier nicht gezeigt) geöffnet. Damit wird Harz angesaugt und vom Verteilergewebe großflächig ausgebreitet, so dass unter dem Einfluss des Vakuums und der Schwerkraft die Faserhalbzeuge 5' und 5'' von diesem gleichmäßig durchtränkt werden.

Dabei werden zuerst die in Kontakt befindlichen Laminatabschnitte, also die Überlappungen 9' und 9'' und zuletzt die tiefer stehenden Laminatbereiche, die der Ausbildung der Längs- und Querversteifungen 20 dienen, vom Harz benetzt. Spätestens wenn sich die Sättigung mit Harz anhand von Harzdurchbrüchen bemerkbar macht, wird der Harzfluss gesperrt. Dies kann selbstregulierend mittels entsprechender Indikatoren,

z.B. durch Harzdurchbruch-Anzeigen 71 (Füllstände in durchsichtigen Rohren, Siphons, Änderung elektrisch erfassbarer Größen mittels Sensoren und ähnlichem) erfolgen. Die Evakuierung wird fortgesetzt, bis die Matrix aushärtet. Zu verfahrenstechnischen Details kann die DE-PS 10 239 325, die das so genannte MT-RI Verfahren beschreibt, dienlich sein. Von diesem unterscheidet sich die vorliegende Erfindung unter anderem dadurch, dass Formschläuche 8 zur Ausbildung von Versteifungen benutzt werden. Außerdem auch dadurch, dass die in Fig. 33 e) benutzten Harzdurchbruch-Indikatoren selbstregulierend sind. Zudem kann das Vakuum im Lüfter- und Injektionsraum und damit die Effektivität der Gasabsaugung aus diesem, bei Harzdurchbruch praktisch unvermindert aufrechterhalten werden.

Aus Fig. 33 f) ist ein Formenaufbau ersichtlich, der dem zuvor besprochenen ganz ähnlich ist. Der Unterschied liegt in der nun fehlenden, aus massivem Material bestehenden Formhälfte 2. Ihre Funktion wird bei Anlegen eines Vakuums von der Vakuumfolie 59 übernommen.

In Fig. 33 g) ist der aus Fig. 33 e) bekannte Formenaufbau nach dem Laminieren umgedreht dargestellt, also auf den Kopf gestellt. Dadurch ergibt sich beim Infiltrieren eine entsprechend andere Flussrichtung des Harzes.

Fig. 34 zeigt eine weitere erfindungsgemäß hergestellte Strebe mit Rechteckprofil und integral angeformten gabelförmigen Anschlusslaschen 11 sowohl perspektivisch (a), als auch in Seitenansicht (b), Draufsicht (c) und in Vorderansicht (d).

In Fig. 35 ist eine erfindungsgemäß hergestellte Strebe mit zur Mitte hin zunehmendem Durchmesser in Perspektive (a), Seitenansicht (b), Draufsicht (c) und in Vorderansicht (d) dargestellt. Derartig gegen hohe Knicklasten ausgebildete Streben finden Anwendung im Flugzeugbau und werden dabei unter anderem für die Konstruktion von Fahrwerken eingesetzt.

Zum Ausgleich von Einbautoleranzen sind Streben erforderlich, deren Anschlusslänge adaptierbar ist. Für die meisten Anwendungen genügt es, die Laschen 11 ausreichend lang auszuführen und, nach Maßgabe der vor Ort gemessenen Anschlusslängen, mit Bohrungen 14 zu versehen. Genügt dies nicht, sind Adapter erforderlich. Vorrichtungen zur Längenanpassung sind aus dem Stand der Technik für diverse Anwendungen bekannt. In den Fig. 36 bis 40 sind erfindungsgemäße Streben mit einer Auswahl derselben wiedergegeben.

Die Fig. 36 zeigt Streben 10, die unter Zuhilfenahme von Spannschlössern, bestehend aus Spannmuttern 42, Schrauben mit Laschen 44', 44'' und Kontermuttern 43', 43'', insbesondere auch unter Last, stufenlos verstellbar sind.

In der Fig. 37.1 ist eine weitere Ausführungsform einer stufenlos längenverstellbaren Strebe mit innerem Spannschloss in perspektivischer Darstellung (a), in Draufsicht (b) und als Schnittdarstellung (c) gezeigt. Die Längenverstellung der Strebe erfolgt, insbesondere auch unter Last stufenlos, ohne dass sich die Laschen dabei drehen. Zum Einsetzen des Spannschlusses wird eine erfindungsgemäß hergestellte Strebe geteilt. Da eventuell durch Knicklasten auftretende Biegemomente in der Strebenmitte am höchsten sind, wird dafür vorzugsweise eine Stelle am Ende der Strebe gewählt. In die jeweils zylindrischen Teile der Strebenabschnitte werden Gewindebuchsen 40 und 41 eingesetzt und z.B. durch Verkleben fixiert. Die linke Gewindebuchse 40 weist ein Innenlinksgewinde und die rechte Gewindebuchse 41 ein Innenrechtsgewinde auf. Beide Strebenabschnitte sind über die Stellschraube 42 mit einem jeweils entsprechenden Außengewinde miteinander verbunden. Die Drehung der Stellschraube bewirkt durch die beiden gegenläufigen Gewindegänge eine stufenlose Verlängerung oder Verkürzung der gesamten Strebe, abhängig davon in welche Drehrichtung die Stellschraube 42 gedreht wird. Nach Einstellung der gewünschten Strebenlänge verhindern die Kontermuttern 43' und 43'', ein Lösen der Stellschraube 42.

Fig. 37.2 zeigt erneut eine längenverstellbare Strebe unter Nutzung eines Spannschlosses. Sie ist sowohl perspektivisch (a), als auch in Draufsicht (b) und in Schnittdarstellung (c) wiedergegeben. Die mit den Strebenabschnitten verbundenen Gewindebuchsen 44' und 44" sind im Gegensatz zu jenen in Fig. 37.1 nunmehr außen mit der Strebe formschlüssig verbunden. Zu diesem Zweck können sie schon während des erfindungsgemäßen Herstellprozesses der Strebe mit in die Hohlform eingelegt werden. Durch das Aufblasen des verwendeten Schlauches bzw. der Blase 8 umschließt das Fasergelege die Endbereiche der Gewindebuchsen. Dies führt nach dem Aushärten zu einem Formschluss zwischen den Gewindebuchsen 44', 44" und der Außenfläche der Strebe. ber diese formschlüssige Verbindung können Zug- und Druckkräfte bestens übertragen werden. Alternativ können die Gewindebuchsen 44' und 44" auf den ausgehärteten Kunststoff z.B. geklebt werden.

Bei der Strebe gemäß Fig. 38, die sowohl in perspektivischer (a) als auch in Schnittdarstellung (b) vorliegt, wird eine stufenweise Verschiebung des Anchlusselementes 34 im Langloch 14 durch Versetzen der kleinen Platten 35 auf den Platten 36 erreicht, die jeweils eine Verzahnung aufweisen. Zwischen den Zahnplatten 36 und der Lasche 11 besteht Formschluss. Folglich kann das Anchlusselement 34 an die Lasche ebenfalls formschlüssig fixiert werden. Dazu ist das Anchlusselement 34 mit einer Bohrung versehen, in der ein Gewindebolzen 37 passgenau steckt, der im Langloch 14 verschiebbar ist. Mit der Kronenmutter 39 kann der Formschluss der fixierten großen Zahnplatten 36 und der verschiebbaren Zahnplatten 35 gelöst, wieder hergestellt und gesichert werden. Die kleinste Stellweite des Anchlusselementes 34 entspricht dabei einem Zahnabstand. Je feiner die Zähne der Platten ausgeprägt sind, desto feiner unterteilt ist somit auch die Längenverstellung. Diese kann nur lastfrei erfolgen.

Im Weiteren zeigt Fig. 39 eine längenverstellbare Strebe mit

einem konisch zulaufenden Ende sowohl perspektivisch (a), als auch in Seitenansicht (b) und in Schnittdarstellung (c). Die Längenverstellung der Strebe erfolgt lastfrei über einen gabelförmigen Anschluss mit Gewindebolzen 45, der über ein
5 Einsatzstück 46 mit einem entsprechenden Innengewinde, ein- bzw. herausdrehbar ist. Die kleinstmögliche Verstelllänge beträgt eine halbe Gewindesteigung. Zur Sicherung ist eine Kontermutter 38 vorgesehen. Die Übertragung von Zugkräften erfolgt über das konische Einsatzstück 46. Druckkräfte werden
10 über die Beilegscheibe 39 in die Strebe eingeleitet.

Fig. 40 zeigt eine längenverstellbare Strebe, die im Wesentlichen der in Fig. 39 besprochenen entspricht. Sie ist sowohl perspektivisch (a), als auch in Draufsicht (b) und in Schnittdarstellung (c) zu sehen. Der Unterschied zur Strebe in Fig.
15 39 liegt in der Ausbildung des Endteils. Zum Fixieren des Einsatzstückes 46 ist eine Aufdickung 52 vorgesehen, die entsprechend dem Einsatzstück 46 konisch geformt ist. Die Längenverstellung und die Übertragung von Zug- und Druckkräften erfolgt lastfrei so wie bei der Strebe in Fig. 39.
20

In Fig. 41 ist ein erfindungsgemäß hergestellter Rohling einer Sitzstrebe dargestellt, der z.B. in Flugzeugsitzen anwendbar ist.
25

Fig. 42 zeigt den Querschnitt des Rohlings aus Fig. 41 mit den Bauteilen, die zur erfindungsgemäßen Herstellung nötig sind, wie die untere Formhälfte 1, die obere Formhälfte 2 und drei aufblasbaren Schläuchen bzw. Blasen 8. Darüber hinaus ist zu erkennen, wie die Fasermatten 5' und 5" in die Hohlformhälften
30 abgelegt werden und wo sie überlappt sind.

Fig. 43 zeigt einen ausgehärteten, konturgefrästen Rohling für eine Sitzstrebe analog dem Rohling in Fig. 41, jedoch nun mit zusätzlicher Versteifung, in Form einer Innenrippe 21. Eine
35 derartige Sitzstrebe ist bereits aus der DE 10 2005 059 134 A1 bekannt. Der dort beschriebene, sogenannte Single Beam besteht

jedoch aus mehreren miteinander verklebten Einzelteilen und nicht, wie die erfindungsgemäß hergestellte Strebe, aus einem Teil. Durch das Verkleben dieser Einzelteile entstehen Ungenauigkeiten die bei einer erfindungsgemäß hergestellten Strebe nicht auftreten. Zudem können bei einer erfindungsgemäß hergestellten Sitzstrebe sämtliche benötigten Anschlüsse direkt in die Strebe integriert und im "one shot-Verfahren" ausgeführt werden.

10 In Fig. 44 ist der Querschnitt der in Fig. 43 dargestellten Strebe gezeigt. Für die erfindungsgemäße Integration der Innenrippe 21 sind zwei Schläuche, respektive Blasen 8 notwendig, wobei die beiden Schläuche bzw. Blasen miteinander kommunizierend verbunden sind, um ein Verschieben der Rippenstege 15 21 während des Fertigungsprozesses auszuschließen.

In Fig. 45 ist eine Ausgestaltung der in Fig. 41 abgebildeten erfindungsgemäß gefertigten Sitzstrebe zu sehen.

20 Fig. 46 zeigt die obere Formhälfte 2 zur erfindungsgemäßen Herstellung der in Fig. 45 dargestellten Sitzstrebe. Die zugehörige untere Formhälfte 1 befindet sich in Fig. 47. Sie besteht aus mehreren Einzelteilen, um die Sitzstrebe nach dem Aushärten aus der Form entnehmen zu können.

25 In Fig. 48 ist die untere Formhälfte 1 geöffnet dargestellt. Zu sehen sind 4 Blöcke unmittelbar vor dem Ablegen von Laminat. Jeder Block wird so mit Fasermatten (Prepregs) ausgekleidet, dass die Übergänge zum jeweils nächsten Block einen überstehenden Abschnitt 6 (nicht dargestellt jedoch analog Fig. 9) bilden. Nach dem Zusammenbau der einzelnen Blöcke mit Hilfe von Gewindestangen 53 entsteht die untere Formhälfte 1 mit den gewünschten Überlappungen 9 (nicht gezeigt). In die so auslamierte Form 1 wird vorsichtig eine entsprechend vorgeformte 30 Blase 8 eingebracht, danach auf Form 1 die ebenfalls auslamierte obere Form 2 gesetzt und mit ihr fest verbunden, so dass in bekannter Weise die Aushärtung erfolgen kann.

Fig. 49 zeigt den Vorgang der Entformung der in Fig. 45 dargestellten und nun in der Hohlform (a) ausgehärtet vorliegenden Sitzstrebe 10. Um es vorweg zu nehmen, sei gleich gesagt, dass eine Entformung wegen der vorhandenen Hinterschnitte nicht ohne weiteres machbar ist. Um dies in einfacher Weise zu ermöglichen, ist die untere Formhälfte 1 mit zwei zusätzlichen Elementen, nämlich den Distanzstücken 55 ausgestattet. Mit deren Hilfe erfolgt die Entformung folgendermaßen:

- 10 1. Lösen der unteren Formhälfte 1 von der oberen Formhälfte 2
2. Lösen der Gewindestangen 53
3. Abnehmen der oberen Formhälfte 2 und der Endstücke 51
4. Entnahme der Distanzstücke 55
- 15 5. Entfernen der restlichen Formelemente

Aus Fig. 50 ist eine weitere Ausgestaltung der in Fig. 45 skizzierten Strebe entnehmbar. Geändert ist im Wesentlichen nur die Geometrie der drei integral angeformten Laschen. Der Herstellprozess bleibt davon unberührt.

Fig. 51 enthält eine erfindungsgemäß hergestellte Sitzfußstruktur mit integral angeformten Anschlusslaschen.

25 Fig. 52 zeigt eine erfindungsgemäß hergestellte Trägerstruktur für eine Armlehne und Fig. 53 eine erfindungsgemäß hergestellte Armlehnenstruktur mit integrierten Anschlusslaschen 11 für eine Drehachse.

30 In Fig. 54 sind die erfindungsgemäß hergestellten Bauteile aus den Fig. 50 bis 53 zusammengebaut dargestellt. Der Zusammenbau der Einzelteile erfolgt jeweils über die integral angeformten Anschlusslaschen 11 durch Verschrauben, Vernieten und/oder Verkleben.

35 Fig. 55 zeigt eine erfindungsgemäß hergestellte Gabelstrebe perspektivisch (a), in Draufsicht (b) und in der Teilungsebene

geschnitten. Anwendung finden solche Gabelstreben z.B. als so genannte Knickstreben in Ein- bzw. Ausfahrmechanismen von Bugfahrwerken für Flugzeuge.

5 In Fig. 56 ist eine erfindungsgemäß hergestellte, rechtwinklig gekreuzte Strebenanordnung in perspektivischer Ansicht (a) und in Seitenansicht (b) gezeigt. Andere als rechtwinklige Strebenanordnungen sind machbar. Eingesetzt werden können derartige Streben z.B. als Karosserie- bzw. Schutzkäfigversteifungen in
10 Sportwagen oder zur Aussteifung von Rumpfsegmenten in Flugzeugen.

In Fig. 57 ist ein erfindungsgemäß hergestellter sternförmiger Hohlkörper abgebildet, der im Zentrum über einen integral angeformten Flansch 11 verfügt. Wird während des Herstellprozesses nur eine Blase verwendet, die das Laminat gegen die Hohlformhälften presst, so erhält man einen Flansch mit Spalt, dessen Laminate getrennt sind. Mittels eines zweiten Schlauches lässt sich der Spalt schließen, so dass nach dem Aushärten ein massiver Flansch vorliegt.
15
20

Fig. 58 (a) zeigt eine Schnittdarstellung der zur Herstellung des in Fig. 57 gezeigten Hohlkörpers benötigten Formenanordnung unter Verwendung von zwei Blasen 8. Die beiden Hohlformhälften hierzu sind jeweils in Fig. 58 (b) und (c) perspektivisch dargestellt. Fig. 58 (d) verdeutlicht einen Schnitt durch den Formenaufbau des prinzipiell gleichen Bauteiles unter Verwendung von nur einer Blase. Dadurch ergibt sich anstatt eines Anschlusses ein Doppelanschluss mit einem Spalt.
25
30

In Fig. 59 ist eine weitere, dem erfindungsgemäßen Prinzip folgende, Ausführung eines sternförmigen Hohlkörpers mit integral angeformten zentrisch sitzenden Flanschen 11 dargestellt. Gegen beide Flansche 11 lässt sich eine Lagerbuchse
35 (nicht dargestellt) mit stirnseitigem Anschlag (unter Benutzung der Bohrungen 14) befestigen, wobei die Vorderseite (Luftanströmseite) im Allgemeinen mit einer pilzförmigen Na-

benkappe (nicht dargestellt) versehen wird. Dabei zeigt (a) die isometrische Ansicht, (b) die Draufsicht und (c) die Seitenansicht des Hohlkörpers. Wie aus der Seitenansicht (c) erkennbar ist, verläuft die Teilungsebene der Hohlform senkrecht zur Nabenachse. Aerodynamisch geformte Hohlkörper dieser Art, sind z.B. in der Luftfahrt im Kaltluftstrombereich vor dem Kompressor eines Gasturbinentriebwerkes als Lagerträger für Wellen einsetzbar, die sich gegen die Innenwand der Turbinengondel abstützen.

Fig. 60 zeigt in Perspektive (a), in Draufsicht (b) und in Seitenansicht (c) den aus Fig. 59 bekannten sternförmigen Hohlkörper, erweitert um die Flansche 11 an den Stützarmen 24. Diese ebenfalls integral angeformten Flansche lassen sich nach Verfahren anformen, die in den Fig. 28 bis 30 bildlich veranschaulicht sind.

Je nach Erfordernis können die äußeren Flansche azimuthal so groß ausgeführt werden, dass sie sich gegenseitig berühren bzw. einen geschlossenen Außenring oder ein Oval (Speichenrad- bzw. Felgen-Prinzip) bilden.

In Fig. 61 ist ein erfindungsgemäß hergestelltes Speichenrad in Perspektive (a), in Seitenansicht (b) und im Schnitt (c) zu sehen. Zur Herstellung genügen, wie in Fig. 63 im Schnitt gezeigt, zwei Hohlformhälften. Die Trennfläche zwischen Ober- und Unterform verläuft annähernd sphärisch durch die Mitte der Radspeichen. In Fig. 61 (b) ist ihr Schnitt (57) mit dem Felgenzylinder als strichpunktierte Linie zu sehen.

Aus Fig. 62 ist der prinzipielle Aufbau der Form, die zur Herstellung des in Fig. 61 gezeigten Speichenrades benutzt wird, erkennbar. Nach dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren werden wie in Fig. 63 gezeigt, erst die beiden Formhälften 1 und 2 mit Faserhalbzeugen 5' und 5" so auslaminiert, dass sich an den Nahtkanten überstehende Abschnitte 6' und 6" (nicht gezeigt) bilden. Die Ringe 26 und 27 werden noch während des

Auslaminierens der beiden Formhälften 1, 2 in diese eingelegt und von Fasergelege überlappend bzw. ummantelt. Sie dienen der exakten Ausbildung der Felge 11 von der später der Radreifen (nicht gezeigt) gehalten wird. Im weiteren Verlauf werden die beiden Formblasen 8 in die entsprechenden Vertiefungen der Formhälften eingesetzt. Auf die ringförmigen Außenwände 28 wird nicht laminiert. Die Druckluftzuleitungen 29 werden über die dafür vorgesehenen Öffnungen 25 (Fig. 62) aus der oberen bzw. unteren Hohlformhälfte geführt. Nach dem Zusammenbau der beiden fertig präparierten Hohlformen werden diese z.B. mittels Schrauben, die durch die ringförmigen Formwände 28 geführt werden, miteinander fest verbunden. Danach kann die Pressluft und damit Druck angelegt werden, um die Laminatschichten maßgenau in die Hohlform zu pressen und in bekannter Weise auszuhärten.

Fig. 63 zeigt die zusammengebaute Form aus Fig. 62 im Querschnitt.

Die Fig. 64, 66 und 67 zeigen erfindungsgemäß hergestellte, einseitig geschlossene Hohlkörper, in Perspektive (a) und in Seitenansicht (b), die im Wesentlichen über die gleichen Merkmale verfügen. Im Gegensatz zu der Fig. 64 sind die Hohlkörper in den Fig. 66 und 67 mit zusätzlichen Versteifungsrippen versehen. Den Hohlkörper in Fig. 66 versteift eine Innenrippe 21. In Fig. 67 ist zur Versteifung des Hohlkörpers ein Rippensteg 20 integriert. Alle Hohlkörper in den Fig. 64 bis 67 sind erneut nach dem in den Fig. 6 bis 9 veranschaulichten, erfindungsgemäßen Prinzip hergestellt und weisen im Anschlussbereich integral angeformte Elemente 11 auf. Anwendungen finden sie z.B. als Basiselemente für Steuerklappen in der Luft- und Raumfahrt nach entsprechender Ausgestaltung und gegebenenfalls Keramisierung.

Die Fig. 68 bis 70 zeigen weitere Ausgestaltungen der vorher beschriebenen Basiselemente für Steuerklappen. Sie unterscheiden sich durch die Lage der jeweiligen Trennebene 57 der zur

Herstellung verwendeten Hohlform. Äußerlich besteht geometrische Identität zwischen den erzeugten Faserverbundprodukten. In Fig. 69 ist eine horizontale und in Fig. 70 eine vertikale Formenteilung mittels der Trennlinien 57 angedeutet. Diese speziellen Steuerklappen können also mit unterschiedlich geteilten Hohlformen gefertigt werden und somit unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen, die sich allein schon auf die jeweils unterschiedliche Laminierungen zurückführen lassen.

10 Die in Fig. 71 dargestellte Steuerklappe ist nur entformbar, wenn die Teilungsebene 57 der benutzten Form horizontal verläuft. Die Laschen- bzw. Anschlussbereiche 11 sind erfindungsgemäß integriert und mit Bohrungen 14 versehen.

15 Fig. 72 zeigt zwei weitere, geometrisch jeweils gleiche, Ausführungsformen einer erfindungsgemäß hergestellten Steuerklappe mit einer horizontalen (a) und mit einer vertikalen (b) Teilungsebene 57. Die Anschlussbereiche 11 sind voll integrierte "Laschen" deren Ränder konturgefräst sein können. Die
20 Löcher 14 werden nach dem Aushärten gebohrt.

Die Fig. 73 bis 75 illustrieren einen von mehreren Mechanismen zum Ein- und Ausfahren einer Steuerklappe 30. Das angedeutete Lager 32 ist hier als Teil der fixen Struktur eines Wiedereintrittskörpers zu sehen, um dessen Achse 63 sich die Steuerklappe 10 dreht. Dabei reagiert die Steuerklappe 10 auf Druck oder Zug der Steuerstange 31. Den Steuerklappen in den Fig. 64, 66 und 67 fehlen integral angeformte Elemente 11 für den Lagerzapfen 63 der Steuerstange 31 (Fig. 73 bis 75). Um derartige Steuerklappen auszulenken sind Aufbauten erforderlich, die z.B. mit Keramik-Schrauben auf diesen befestigt werden. Bei relativ kleinen Steuerklappen 10 ist es möglich, deren Drehbewegungen von Aktuatoren ausführen zu lassen, die, z.B. über Schneckengetriebe, direkt auf die, in der Ebene der Lager
30
35 32 gelegene, Drehachse 63 der Steuerklappe 10 wirken.

Fig. 76 zeigt einen erfindungsgemäß hergestellten Flügel mit

einem integrierten Flansch in isometrischer Ansicht (a) und in Seitenansicht (b). Solche Flügel können z.B. bei Windkraftanlagen eingesetzt werden.

5 Eine weitere Anwendung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für faserverstärkte Hohlkörper bieten Bremsscheiben. In Fig. 77 ist eine beispielhaft dargestellt. Ihre Seitenwände 58 dienen als Reibflächen. Im Fahrbetrieb wird die Bremsscheibe von innen und außen Luftströmen ausgesetzt, die die Wände 10 58 und Innenrippen 21 kühlen. Sie ist so gestaltet, dass sie großen mechanischen und thermischen Belastungen widersteht, die bei Bremsvorgängen auftreten. Zur Sicherstellung eines geringen Abriebes befinden sich auf der Struktur Beläge aus Keramik, Sintermetall oder dgl. Bei Verwendung von anorganischen 15 Fasern aus z.B. Siliziumcarbid für den Rohling der Bremsscheibe, kann durch Mehrfachanwendung der Pyrolyse und Infiltration von SiC eine abriebfeste, thermomechanisch sehr hochwertige SiC/SiC-Keramik-Bremsscheibe erzeugt werden. Ihre Herstellung ist wegen des hohen Aufwandes relativ teuer und vorerst bevorzugt in Autos der Oberklasse und Sportwagen vorgesehen. Beide 20 Herstellvarianten weisen im Vergleich zum Stand der Technik Vorteile auf, wie z.B. geringeres Gewicht und somit einer Reduktion der trägen translatorischen und rotatorischen Massen des Fahrzeugs.

25 In den Fig. 78 (a) bis (f) ist eine Abfolge des Fertigungsprozesses der in Fig. 77 dargestellten Bremsscheibe gezeigt. Dabei wird zunächst das Laminat 5' bzw. 5" in die untere bzw. obere Hohlform 1 und 2 eingelegt. Im weiteren Verlauf werden 30 die Lamine für die Rippenstege 21 so nebeneinander in die untere Hohlform 1 abgelegt, dass sie sich gegenseitig stützen und einen vollständigen Kranz bilden. Um den Zeitaufwand dafür möglichst gering zu halten, werden die einzelnen U-förmigen Lamine entsprechend vorgeformt. Das so erfolgende Ablegen 35 der Rippenlamine 21 kann vor oder nach dem Einlegen des aufblasbaren Elementes 8 in die Hohlform 1 erfolgen. Die Überstände 6 der Rippenstege 21 werden über den jeweiligen Seiten-

arm der Formblase 8 gebogen. Bevor die beiden Hohlformhälften fest miteinander verschlossen werden, wird die Druckluftzuleitung 29 durch die Öffnung 49 aus der oberen Hohlform 2 geführt. Durch Druckbeaufschlagung der Formblase 8 werden die
5 einzelnen Fasergelege derart gegen die Innenwände der Hohlform bzw. gegen benachbarte Fasermatten gepresst, dass sich im ausgehärteten Zustand eine maßgenaue Einheit mit sehr guten Festigkeitseigenschaften bildet. Im letzten Schritt wird die ausgehärtete Bremsscheibe noch geringfügig nachgearbeitet und am
10 Flansch 11 mit Bohrungen 14 versehen. Die Rippenlamine können statt U-förmig auch L-förmig zugeschnitten werden, so dass jeweils nur ein Überstand 6 umzubiegen wäre.

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren lässt sich, in all
15 seinen Merkmalen, auch auf die Lufteinlauf-Vorderkante, z.B. einer Fluggasturbine anwenden, wie aus Fig. 79 bis 83 hervorgeht. Von der Fertigung der geraden Sitzstrebe gemäß Fig. 41 und 42 unterscheidet sich das nun erforderliche Verfahren im Wesentlichen lediglich durch die näherungsweise torusförmige
20 Geometrie. Wie bei der Sitzstrebe sind auch bei der Einlauf-Vorderkante integriert angeformte Befestigungsmöglichkeiten 11 vorhanden. In Fig. 79 ist die Triebwerksvorderkante perspektivisch von vorne (a), perspektivisch von hinten (b) und im Schnitt (c) schematisch dargestellt. Fig. 80 zeigt eine für
25 die Herstellung verwendbare, bereits mit Faserhalbzeugen 5' ausgelegte, untere Formhälfte 1 in Perspektive (a) und in Schnittdarstellung (b). Die obere, ebenfalls mit Fasermatten 5" belegte Formhälfte 2, ist in Fig. 81 zu sehen. Fig. 82 zeigt diese obere Formhälfte 2 mit eingelegten Blasen 8 im
30 Schnitt.

Insgesamt werden zur Herstellung der Lufteinlauf-Vorderkante gemäß Fig. 83 drei Schläuche bzw. Blasen 8 benötigt. Um den vom Laminat umschlossenen Schlauch bzw. die Blase 8 aus dem
35 ausgehärteten Bauteil entnehmen zu können, wird bereits beim Ablegen der Fasermatten eine entsprechende Entnahmeöffnung 49 vorgesehen. Vor der Entnahme wird der Schlauch bzw. die Blase

8 durchschnitten. Die Druckluftzuleitungen 29 werden über zwei Bohrungen 25 in der oberen Formhälfte 2 zu den aufblasbaren Schläuchen bzw. Blasen 8 geführt, wie aus den Fig. 82 und 83 zu erkennen ist. In Fig. 83 sind die laminierten Formhälften 1 und 2 aufeinander gesetzt und im Schnitt gezeigt.

Fig. 84 zeigt eine Alternative zur Fertigung der Lufteinlaufvorderkante. Dabei drücken die beiden seitlichen Blasen 8 die Laminatschichten 5' und 5'' nicht von innen gegen die obere Formhälfte sondern von außen. Je nach dem ob von der Innen- oder der Außenfläche eine höhere Genauigkeit verlangt wird, kann eine entsprechend ausgestaltete Form gemäß den Fig. 83 und 84 verwendet werden.

In Fig. 85 ist ein Paneel gezeigt, welches z.B. die Außenhaut eines Flugzeuges bildet und mit integrierten Längs- und Querverstrebungen 20 versehen ist, die auch als Stringer und Spante 20 bezeichnet werden. Das Paneel lässt sich mit und nach allen Merkmalen der Erfindung herstellen.

Fig. 86 zeigt die untere Formhälfte 1 zur Herstellung eines solchen Außenhautpaneels mit den Vertiefungen 20' für Stringer und Spante. In den Fig. 87 bis 92 ist jeweils der in Fig. 86 markierte Ausschnitt in aufeinander folgenden Fertigungsschritten zu sehen. Die anwendbaren Herstellprozesse entsprechen im Wesentlichen jenen wie bereits anhand der Fig. 32 u. 33 veranschaulicht ist. Die wesentlichen Unterschiede ergeben sich lediglich aus der gekrümmten statt der planaren Geometrie des Außenhautpaneels und dem Umstand, dass Spanten im Querschnitt größer sind als Stringer, so dass auch die Formschläuche bzw. Formblasen 8 entsprechend anzupassen sind. Begonnen wird in bekannter Weise mit dem Auslegen der unteren Formhälfte 1, indem Entlüftergewebe 7, Abreissfolien 66, Faserhalbzeuge 5', wie ebenfalls in Fig. 33 gezeigt, ausgelegt werden. Für die Ausbildung von Stringern (Längsverstrebungen) 20 bzw. Spanten (Querverstrebungen) 20, ist durch entsprechend unterschiedliche Vertiefungen in der unteren Hohlformhälfte Fig. 88

gesorgt. Sie werden mit dem ersten Laminiervorgang angelegt. Im nächsten Schritt werden Formschläuche mit Querarmen 8, analog Fig. 32d in die auslamierten Spanten- und Stringer-Vertiefungen 20' der Form 1 gelegt. Parallel dazu wird die obere Formhälfte 2 mit Faserhalbzeug 5" beschichtet und gemäß den Fig. 90 und 91, mit der Laminatseite nach unten, auf der Formhälfte 1 abgesetzt und gegen diese, unter der Wirkung von Druckkräften 62 gepresst. In der Regel bedient man sich dabei des Luftdrucks, in dem man den Formenaufbau, z.B. mit einer Vakuumschale 59, wie in Fig. 33 gezeigt, überzieht und diese evakuiert. Danach werden die Schläuche bzw. Blasen 8 unter Druck gesetzt, so dass sich, bei erhöhter Temperatur im Ofen, die Laminatschichten miteinander verbinden und das Prepreg-Harz aushärtet. Dabei entsteht das Außenhautpaneel. Erfindungsgemäß handelt es sich um einen Verbund von Stringern und Spanten 20, an die Elemente 11 - hier insbesondere die Außenhaut - integral angeformt sind. Zusätzlich sind im Allgemeinen Anschlüsse angeformt.

Statt Prepreg kann auch vorbehandeltes und mittels einer Positiv- bzw. Negativform vorgeformtes trockenes Faserhalbzeug 5 verwendet werden, das nach Ablegen der Laminatschicht 5' auf der Formhälfte 1, sowie dem Einlegen der Schläuche 8 in die Vertiefungen 20' und Ablegen der Laminatschicht 5", mit flüssigem Harz zu durchtränken ist. Der erforderliche Formenaufbau entspricht jenem in der Fig. 33 e) bzw. f). Die Laminatschicht 5" ist mit einer Abreißfolie 65 sowie einer gasdurchlässigen und harzundurchlässigen Folie 66 abgedeckt. Von der DE 10 239 325, dem so genannten MT-RI Verfahren, unterscheidet sich das vorliegende Verfahren im Wesentlichen dadurch, dass zusätzlich Formschläuche 8 verwendet werden. Diese erlauben die Herstellung wesentlich komplexerer Bauteile mit erhöhter Maßgenauigkeit und Produktqualität im Ein-Schuss-Verfahren (one-shot-process).

Fig. 92 zeigt ein erfindungsgemäß hergestelltes Außenhautpaneel mit integrierten Anschlüssen 11. Diese Anschlüsse sind in

der Weise ausgebildet, dass das Außenhautpaneel durch Vernieten, Verschrauben und/oder Verkleben, wie in Fig. 93 gezeigt, miteinander verbunden werden können.

5 Fig. 94 weist auf einen erfindungsgemäß hergestellten Fußbodenquerträger mit integral angeformten Anschlüssen hin.

In Fig. 95 ist ein Rumpfsegment wiedergegeben, das aus 8 erfindungsgemäß hergestellten Außenhautpaneelen zusammengesetzt
10 wurde. Zusätzliche Anschlüsse an zwei Paneelen, ermöglichen das Anbinden von weiteren Strukturbauteilen, wie z.B. den in Fig. 94 abgebildeten Fußbodenquerträger.

Fig. 96 zeigt ein erfindungsgemäß hergestelltes Außenhautpaneel mit Öffnung für eine Passagiertüre und einem integrierten
15 Versteifungsrahmen um die Öffnung. Derartige Rahmen werden in entsprechender Weise, auch um Öffnungen von Frachttoren, Fenstern und dergleichen, insbesondere bei Flug- und Fahrzeugen (Magnetschwebbahnen, Schnellzügen, Bussen und dgl.) verwendet.
20 det.

Bei Schienenfahrzeugen mit Anwendungen im Hochgeschwindigkeitsbereich ist es erforderlich, massereiche Bauteile durch
25 leichte zu ersetzen. Fig. 97 zeigt ein Fahrgestell aus Faserverbund, das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist. Die erforderlichen Formhälften entsprechend weitgehend jenen, die bei der Herstellung von Paneelsegmenten in den Fig. 32, 33, 86 bis 89 vorgestellt wurden.

30 In Fig. 98 ist ein Eisenbahnrad für hohe Fahrgeschwindigkeiten abgebildet. Der Radkranz besteht aus Metall, ebenso die in die Nabe einsetzbare Lagerbuchse. Die Nabe ist integral an den diskusförmigen faserverstärkten Radkörper mit Felge angeformt. Die Fertigung erfolgt, wie aus dem Formenaufbau ersichtlich
35 ist, in erfindungsgemäßer Weise.

Herstellung eines Keramik-Hohlkörpers

Als Matrixmaterial ist ein Kunstharz auf Epoxidharzbasis vorgesehen, das bei Prepregs üblich ist. Es können jedoch auch andere Harze, z.B. Vinylesterharze verwendet werden. Deren
5 Zeitspanne zum Verarbeiten ist bei Raumtemperatur jedoch kürzer.

Zur Herstellung eines faserverstärkten Hohlkörpers nach dem erfindungsgemäßen Verfahren sind zwei Hohlformhälften, wie
10 z.B. in Fig. 6 dargestellt, erforderlich, wobei jede eine Negativ-Aussparung, also eine Mulde hat, die bei Streben mit Laschen etwa derjenigen in Fig. 6 b) entspricht. Es handelt sich hierbei um einen Längsschnitt durch eine Hohlformhälfte. Die
15 konisch verlaufenden bzw. keilförmigen Übergänge zu den endseitigen Laschenbereichen, sind deutlich zu erkennen. In den Fig. 7 bis 9 sind Formhälften für eine zylindrische Strebe samt Verfahrensabfolge bildlich wiedergegeben.

In die Formhälften werden Prepregs, entsprechend Belastungsspezifikation, mit jeweils optimalen Faserausrichtungen eingelegt. Fig. 10 zeigt beispielhaft einen möglichen Lagenaufbau
20 der Prepregs. Im Übergangs- und Laschenbereich werden unidirektionale Verstärkungsfasern in axialer Richtung mit erhöhtem Prozentsatz abgelegt. Faserschichten die kreuzweise gewebt
25 sind, können lagenweise dazwischen gemischt werden.

Bevor zwei mit Prepreg-Lagen ausgekleidete Formhälften durch Aufeinanderlegen (Gegeneinanderfahren) vereinigt werden, wird ein Schlauch oder eine Blase, z.B. aus Silikonmaterial, in
30 eine der Formhälften auf die mit oder ohne Entlüftergewebe versehenen Faserschichten abgelegt. Dieser Schlauch wird nach dem festen Zusammenfügen, z.B. durch Zusammenschrauben, der zwei Formhälften und dem vorherigen Abklemmen eines seiner Enden, aufgeblasen. Dadurch wird der Schlauch, und damit das Faser-
35 halbzeug (Prepreg), unter Druck faltenfrei fest gegen die Innenwand der Hohlform gedrückt, so dass es die gewünschte Hohlkörperform annimmt.

Zur faltenfreien Ausrichtung der überstehenden Randstreifen 6, die aus den Negativ-Aussparungen um einen vorbestimmten Betrag überstehen, sind erfindungsgemäß Leisten 3, 4 vorgesehen, die z.B. aus Stahl bestehen (Fig. 7 und Fig. 8). Ihre Anschlagflächen 18 können beschichtet sein, um auf diesen die Haftung der Prepreg-Streifen zu beeinflussen. Ferner können sich auf den Leisten 3, 4 horizontal bewegliche Schienen 19, z.B. mit L-Profil befinden (Fig. 11), die während des Laminierens und während der Positionierung (Verschiebung) überstehenden Randstreifen 6 als Anschlagflächen 18 dienen. Dies erleichtert eine faltenfreie Handhabe der aus den Formhälften 1, 2 überstehenden Randstreifen 6 bis zu deren endgültigen Positionierung kurz vor dem Aufeinanderlegen der beiden Formhälften 1, 2. Sobald der einliegende Schlauch bzw. die Blase 8 unter Druck gesetzt wird, unterstützt dessen Expansion die vorbestimmte Überlappung der überstehenden Randstreifen 6 untereinander und/oder mit dem in die Negativ-Form zuvor abgelegten Faserhalbzeug 5. Dies gilt für alle Bereiche, auch an den Enden der Hohlform. Für eine dauerhafte Fixierung des faserverstärkten Hohlkörpers 10 sorgt das Aushärten der Matrix unter Wärmeeinfluss bei Polymerisationstemperatur des verwendeten Harzsystems. Nach Aushärtung schließt sich eine mechanische Nachbearbeitung an, z.B. Konturfräsen der Laschen und Bohren der Laschenlöcher.

Im Falle der Herstellung von faserverstärkten Hohlkörpern 10 für den Hoch- und Tieftemperaturbereich, kann sich nunmehr die Konvertierung der vorliegenden Matrix mittels Pyrolyse und Infiltration anschließen. Dabei entsteht unter Hitzeeinfluss und Sauerstoffabschluss ein keramischer Hohlkörper, mit erhöhter Porosität. Um die Poren weitgehend zu schließen, wird die Matrix mittels Infiltration verdichtet. Unter Verwendung von Nassverfahren wird der pyrolysierte Hohlkörper in ein Bad mit flüssiger Matrix getaucht und nach Ablauf einer gewissen Zeit, wird der infiltrierte Hohlkörper herausgenommen und erneut pyrolysiert. Dieser Prozess kann mehrfach wiederholt werden. Da-

bei vermindert sich die Porosität und die Dichte erhöht sich.

Mittels Trockenverfahren, wie CVI (Chemical Vapour Infiltration) und CVD (Chemical Vapour Deposition) kann ein ganz ähnlicher Effekt mit erhöhter Qualität erzielt werden. Der auf diese Art und Weise verdichtete keramische Hohlkörper (z.B. aus SiC/SiC) ist im weiten Temperaturbereich, insbesondere bei sehr tiefen als auch sehr hohen Temperaturen einsetzbar, z.B. als feuerfeste Lanze für die Entnahmen von Proben aus flüssigen Metallschmelzen, als Schlackenentferner, als Strebe für Steuerklappen bei Wiedereintrittskörpern, als kälte- und hitzebeständiges Bauteil für Strukturen der Luft- und Raumfahrt usw..

15 Einsatzbereich der erfindungsgemäß hergestellten faserverstärkter Hohlkörper

Streben dienen der Übertragung von Kräften auf Bauteile, die nicht unmittelbar bzw. hinsichtlich Kraftableitung ohne Streben, nur unbefriedigend in Kontakt mit der tragenden Struktur zu bringen sind. Faserverstärkte Hohlkörper, wie z.B. Rohre, mit Laschen oder seitlich angebrachten Flossen können thermomechanisch hoch belastet werden, insbesondere wenn diese aus faserverstärktem keramischen Werkstoffen bestehen (CMC).

25 Wegen der Gewichts-, Steifigkeits- und Festigkeitsvorteile gegenüber metallischen Ausführungen, werden faserverstärkte Kunststoff-Hohlkörper, insbesondere CFK-Streben, bevorzugt in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Abgesehen von Sportgeräten (Rennrädern, Sportautos) ist deren Verbreitung im Fahrzeugbau derzeit noch vergleichsweise gering. Das ist auf die bis dato damit verbundenen relativ hohen Kosten zurückzuführen.

35 Mögliche weitere Einsatzbereiche bei entsprechender Kostenreduktion, befinden sich im modernen Bauwesen, generell im Leichtgerüstbau, im Säulen- und Turmbau, im Kranbau, bei Auslegerarmen, z.B. für Solarrinnen-Tragwerke oder Photovoltaik-

Paneelen, sei es auf der Erde oder im Weltraum, bei Windkraft-Anlagen, bei architektonisch lichtdurchlässig gestalteten Dachkonstruktionen, wie z.B. Sporthallen und Arenen, bei Solar-Aufwind-Kraftwerken und ähnlich großflächig ausgeführten Leichtbaukonstruktionen, die hohen Belastungen ausgesetzt sind.

Feuerfeste faserverstärkte Hohlkörper können sowohl sehr tiefen als auch sehr hohen Temperaturen ausgesetzt werden. Als solche finden sie Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, speziell bei Wiedereintrittskörpern, z.B. als Streben für Steuerklappen oder als Steuerklappen und dergleichen Konstruktionen selbst. Faserverstärkte Keramikrohre mit seitlich integrierten Laschen bzw. Flossen, können extremen Temperaturunterschieden und gleichzeitig großen mechanischen Belastungen ausgesetzt werden. Sie sind beispielsweise in der Kälte- und der Wärmetechnik, im Dampferzeuger- und Reaktorbau verwendbar. Anwendungen in der Hochtemperatur-Solartechnik sind inbegriffen.

Wie bereits erwähnt, sind die wesentlichen Verfahrensschritte zur Herstellung eines erfindungsgemäß gefertigten faserverstärkten Hohlkörpers aus den Fig. 7 bis 10 zu erkennen.

Danach werden auf den beiden nach oben offenen Hohlformhälften (Negativformen) 1 und 2 die Leisten 3 und 4 befestigt und die mit einem Harz-Härter-Gemisch imprägnierten (Prepreg-) Faserhalbzeuge 5 in die Negativformen 1 und 2 schichtweise mit Randüberständen 6 abgelegt, also laminiert. Alsdann werden über die Faserschichten 5, soweit erforderlich, Entlüftergewebe 7 ausgelegt. Anschließend wird noch in die Hohlformhälften 1 beispielsweise ein aufblasbarer Schlauch 8 eingefügt, danach wird die Hohlformhälfte 2 auf die Hohlformhälfte 1 gesetzt und dicht verschraubt. Parallel dazu wird ein Ende des Schlauches 8 abgeklemmt, soweit nicht statt des Schlauches 8 ein "Schlauch" mit geschlossenem Ende, in der Art eines länglichen Luftballons bzw. einer Blase verwendet wird. Danach wird der Schlauch 8 unter Druck gesetzt, die zwischen Schlauch und den

Faserhalbzeugen (Prepregs) eingeschlossene Luft herausgedrückt und das Harz, unter kontrollierten Bedingungen, hinsichtlich Schlauch-Innendruck und Temperatur, im Ofen ausgehärtet. Soweit erforderlich, können Restluftbestandteile und sich entwickelndes Gas aus der Hohlform, und damit den Faserschichten, 5 vakuumtechnisch über ein Kanalsystem (nicht gezeigt) abgesaugt werden.

Nach Aushärtung der Matrix wird die Druckluft bzw. das Druckgas aus dem Schlauch bzw. der Blase abgelassen, die Verbindung 10 der Hohlformhälften gelöst und der Schlauch aus dem freigelegten faserverstärkten Kunststoff-Höhlkörper, samt eventuell vorhandenem Entlüftergewebe 7, herausgezogen. Zugang zum Schlauch bzw. zur Blase besteht über die hohlen Enden (Laschen). 15 Alsdann werden die Laschen mechanisch bearbeitet, insbesondere konturgefräst, und mit Bohrlöchern versehen.

Soweit der faserverstärkte Hohlkörper in keramischer Konsistenz anzuwenden ist, ist die nunmehr vorliegende ausgehärtete 20 Matrix entsprechend, wie bereits oben beschrieben, zu konvertieren.

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren ist unabhängig von der Faserart, von der Art des Gewebes und vom Matrixmaterial 25 (Harztyp). Das Harz kann ein Thermoplast oder Duroplast sein. Es können sowohl vorimprägnierte Faserhalbzeuge, so genannte Prepregs, als auch durchtränkte Fasermaterialien verwendet werden. Die Härtungstemperatur ist vom verwendeten Prepreg- bzw. Harzsystem abhängig, desgleichen der zur Anwendung kommende 30 Druck.

Bei Verwendung von trockenen Faserverbundhalbzeugen zur Herstellung von Hohlkörpern, ergibt sich das Problem, dass sich die Fasergelege, nach dem Ablegen in der Formhälfte verschieben. Um dies zu verhindern, ist eine Vorbehandlung der trockenen 35 Faserverbundhalbzeuge erforderlich, die als so genanntes Preforming bzw. Vorformen bekannt ist. Dabei werden die ein-

5 zellen Faserlagen mit einem thermo- oder duroplastischen Bin-
der versehen und auf einem Positivkern abgelegt. Zum Fixieren
der Lagen wird eine Folie darüber gespannt und mittels einer
Dichtmasse luftdicht mit dem Rand der Positiv- bzw. Negativ-
form abgedichtet. Mit dem Absaugen der Luft unter der Folie
10 presst der äußere Luftdruck die einzelnen Faserlagen fest auf
den Positivkern. Durch anschließende Wärmezufuhr wird der Bin-
der aktiviert, womit er in das trockene Fasergelege eindringt
und im weiteren Verlauf aushärtet. Der so erzeugte Faserver-
bund wird im weiteren Verarbeitungsprozess wie trockenes Fa-
15 serhalbzeug behandelt, das heißt, in der Negativform mit Harz
durchtränkt und die Harzmatrix unter Hitze und Druck ausgehär-
tet.

20 Der Schlauch besteht aus einem gummiartigen, flexiblen Materi-
al, vorzugsweise aus Silikon oder Teflon. In der Massenferti-
gung können, statt des Schlauches, Schläuche (Blasen) mit ge-
schlossenem Ende und "Mundstück" verwendet werden, die äußer-
lich ähnlich aussehen wie aufblasbare längliche Luft-Ballons.
25 Verwendbar sind auch Schläuche mit endseitigen "Mundstücken",
wobei z.B. eines abgeklemmt und das andere an die Druckluft-
bzw. Druckgasleitung angeschlossen werden kann. Bei kompli-
zierten Hohlkörpern ist es erforderlich, speziell angefertigte
Formschläuche bzw. Formblasen zu verwenden.

30 Eingeschlossene Luft und Gase können über das Entlüftergewebe
bzw. ein Kanalsystem (nicht dargestellt) aus der geschlossenen
Hohlform entweichen bzw. vakuumtechnisch abgesaugt werden.

35 Infolge der offenen Bauweise lassen sich in jede der beiden
Formhälften (Fig. 7 und Fig. 8) unidirektionale Verstärkungs-
fasern ideal in Längsrichtung der Negativ-Aussparungen able-
gen. Die Faserhalbzeuge haften an den Innenwandungen der Nega-
tiv-Aussparungen aufgrund ihrer Harzdurchtränkung bzw. ihrer
Klebrigkeit (tack). Bei der Ablage sowie während und nach der
Anpressung, mittels des unter Druck gesetzten Schlauches, ent-
stehen keine Falten. Durch die Möglichkeit gezielt Verstär-

kungsfasern entsprechend Spezifikation ablegen zu können, lassen sich besonders leichte, hochfeste und hochsteife Hohlkörper mit Anschlusslaschen und dergleichen Elementen zu wirtschaftlichen Konditionen herstellen. Gerade die gezielte Ablage der Verstärkungsfasern im hoch beanspruchten Lastaufnahmebereich der Laschen, erlaubt eine überraschend hohe Lochleibungsbelastung.

Mit dem Aufblasen des Schlauches wird Luft aus der geschlossenen Hohlform nach außen gedrängt. Entlüftergewebe, die auf den innersten Faserschichten abgelegt sind, können das Herausdrängen der Luft vorteilhaft unterstützen. Parallel dazu werden die Faserschichten komprimiert. Vorhandene Lufteinschlüsse werden im Wesentlichen aus der Hohlform gepresst. Soweit erforderlich, kann auch die gesamte Hohlform evakuiert werden. Dies hängt von den spezifizierten Anforderungen und vom Harzsystem ab.

Besonders vorteilhaft ist, dass der Hohlkörper in einem Schuss gehärtet werden kann (one shot curing). Nachträglich brauchen keine faserverstärkten Kunststoff-Bauteile miteinander verklebt zu werden. So können faserverstärkte Hohlkörper mit Laschen oder dergleichen angeformten Elementen, als Einheit ausgeführt werden.

Wie bereits weiter oben erwähnt können neben rohr- bzw. ovalförmigen Hohlkörpern nach dem erfindungsgemäßen Verfahren auch offene Hohlkörper hergestellt werden, die einen ebenen Boden und dazu schräg oder senkrecht stehende Ränder bzw. Seitenwände aufweisen. Laschen, z.B. in Form einer oder zweier Außenflossen bzw. Innenrippen, können fest mit dem Boden und den Seitenwänden verbunden sein. Topfähnliche, kasten- oder schachtelförmige Hohlkörper mit Zwischenwänden als Laschen sind praktische Beispiele. Der Boden kann eine beliebige Form besitzen, vorzugsweise ist er kreisförmig oder rechteckig. Die Formgebung erfolgt wie bisher unter Verwendung von Faserhalbzeugen, die im Allgemeinen in mehreren Lagen in die untere

Formhälfte, belastungsorientiert, abgelegt werden. Ferner wird nach wie vor ein Schlauch bzw. eine Blase verwendet, der das Fasermaterial in die Mulden der Negativ-Form presst, sobald die untere Formhälfte von der oberen Formhälfte verschlossen wird und Luft in den Schlauch geblasen wird. Bei komplizierten Formen können mehrere Schläuche oder Blasen eingesetzt sein, die hinsichtlich des Drucks miteinander kommunizierend verschaltet sind.

Die Aushärtung des die Fasern bindenden Harzes erfolgt im Ofen unter kontrollierten Druck- und Temperaturbedingungen. Soweit erforderlich, lässt sich die geschlossene Form in eine luftdichte Hülle setzen und die Form im Ofen evakuieren. Nach Aushärtung kann der faserverstärkte endformnahe Kunststoffhohlkörper mit integrierten Laschen, Rippen, Zwischenwänden oder dergleichen, konturgefräst und fertig gestellt werden.

Für Hoch- und Tieftemperatureinsätze ist die Konvertierung der Matrix mittels Pyrolyse und einer sich anschließenden Verdichtung nach einem der bekannten Verfahren erforderlich. Als Beispiel für die Verwendung eines so erzeugten faserverstärkten offenen CMC- Hohlkörpers in Kastenform sei die Steuerklappe eines Wiedereintrittskörpers genannt. Der konstruktive Aufbau kann demjenigen der Fig. 2 in der EP 0 941 926 B1 gleichen, muss es aber nicht, da dieser aus vielen kleinen Segmenten besteht, die nach der vorliegenden Erfindung zu größeren Segmenten endformnah vereinigt werden können. Auch eine einteilige CMC- Steuerklappe erscheint mit dem vorliegenden erfindungsgemäßen Verfahren grundsätzlich machbar zu sein.

Schon anhand der ersten Versuche, bei denen Prepreg-Kohlenstofffasern zur Herstellung von Kunststoff-Hohlkörpern, speziell von Streben mit integrierten Laschen, verwendet wurden, konnte nachgewiesen werden, dass die erzielte Laminatqualität den Anforderungsstandards der Luft- und Raumfahrtindustrie mehr als genügt, d.h. der Porengehalt des Strebenmaterials lag unter 1 % und der Faservolumengehalt bei ca. 60 %. Auf-

grund der neuartigen Bauweise konnte die Ausschussquote auf nahezu null abgesenkt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Hohlkörpern
5 (10) mit integral angeformten Elementen (11) in einer Hohlform, wobei in zwei Hälften (1, 2) der Hohlform, welche jeweils die Negativform für den herzustellenden faserverstärkten Hohlkörper (10) mit integral angeformten Elementen (11) bilden, Fasermatten (5) laminiert werden und nach dem
10 Verbinden der beiden Hälften der so ausgekleideten Hohlform, die Fasermatten (5) unter Anwendung von Druck formschlüssig in die Hohlform gepresst werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
15 Fasermatte (5) ein mit Harz getränktes Fasergelege ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasermatte (5) ein Faser-Prepreg ist.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasermatte (5) ein im Wesentlichen trockenes Fasergelege ist, das, mit thermo- oder duroplastischen Bindern versehen, mittels des Vorformens, unter Verwendung einer Positiv- bzw. Negativform, vorgeformt wurde.
- 25 5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasermatte (5) mit Hilfe eines in die Hohlform eingebrachten aufblasbaren Elementes(8) formschlüssig in die Hohlform gedrückt wird, indem das aufblasbare Element (8) nach dem Verbinden der Hälften (1, 2) der Hohlform
30 aufgeblasen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasermatte(n) (5) entsprechend einer
35 vorgegebenen Belastungsspezifität verschiedener Abschnitte (11,12,13) des Hohlkörpers (10) in den Hälften (1, 2) der Hohlform abgelegt wird/werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass auf der/den Fasermatte(n) (5) zusätzlich ein Belüftungsgewebe (7) abgelegt wird.
- 5
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasermatte(n) (5) und gegebenenfalls das Entlüftergewebe (7) in jeweils einer Hälfte (1, 2) der Hohlform derart abgelegt wird, dass sie um einen bestimmten Betrag über wenigstens eine Oberkante der jeweiligen Hohlformhälfte (1, 2) überstehen.
- 10
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die überstehenden Abschnitte (6) der Fasermatte (5) und gegebenenfalls des Entlüftergewebes (7) vor dem Zusammensetzen der Hohlformhälften (1, 2) derart aufgefächert werden, dass die jeweils aufgefächerten Abschnitte nach dem Zusammensetzen ineinander greifen.
- 15
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ausbildung der über die Oberkante der Hohlformhälften (1, 2) überstehenden Materialabschnitte (6) an den Hohlformhälften (1, 2) wenigstens einseitig Leisten (3, 4) angeordnet werden, welche die überstehenden Materialabschnitte (6) während der Laminierung unterstützen.
- 20
- 25
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass an den Leisten (3, 4) zusätzlich Metallschienen (19,19') angeordnet sind.
- 30
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das in der Hohlform befindliche Fasergelege, soweit erforderlich, evakuiert und gegebenenfalls zusätzlich mit Harz infiltriert wird.
- 35
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das in der Hohlform befindliche Fasergelege, einer Druck-

und Temperaturbehandlung ausgesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der so erhaltene Hohlkörperrohling einer mechanischen Nachbehandlung unterworfen wird.
5
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der so erhaltene Hohlkörperrohling einer Pyrolyse und chemischen Verdichtung unterworfen wird.
10
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern in den eingesetzten Faser-
matten unidirektional, gekreuzt, multiaxial, und/oder über-
kreuzt ausgerichtet sind.
15
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern in einem thermoplastischen
Matrixmaterial festgelegt und ausgerichtet sind.
- 20 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern in einem duroplastischen
Matrixmaterial festgelegt und ausgerichtet sind.
- 25 19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zur Faserverstärkung verwendeten
Fasern aus Kohlenstoff-, Glas-, Aramid-, Polyester-, Poly-
ethylen-, und Nylonfasern ausgewählt sind.
- 30 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die verwendeten Fasern aus anorgani-
schen Fasern ausgewählt werden, wenn ein chemisch verdich-
teter Hohlkörper hergestellt werden soll.
- 35 21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass
die Fasern aus Kohlenstoff-, Siliciumcarbid-, Aluminium-
oxid-, Mullit-, Bor-, Wolfram-, Borcarbid-, Bornitrid- und
Zirconiumfasern ausgewählt werden.

22. Verfahren nach den Ansprüchen 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass sortengleiche oder sortengemischte Fasern verwendet werden.

5

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlformhälften (1, 2) zur Herstellung von faserverstärkten Hohlkörpern (10) mit zylindrischem, ovalem, quadratischem oder rechteckigen Querschnitt mit/oder ohne Innenrippen (21) ausgebildet sind.

10

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlformhälften (1, 2) zur Herstellung von faserverstärkten Bauteilen, wie Streben, Rohren mit Flanschen, Flossen-Rohren, versteiften Plattensegmenten, Sitzelementen, Gabelstreben für Flugzeug-Bugfahrwerke, Speichenkörper, Speichenräder, oder (CMC-) Steuerklappen, Flügel für Windturbinen, Bremsscheiben, Lufteinlauf-Vorderkanten von Fluggasturbinen, Außenhautsegmente von Verkehrsmitteln, Fahrgestelle für Waggone oder Eisenbahnrädern ausgebildet sind.

15

20

Fig. 1

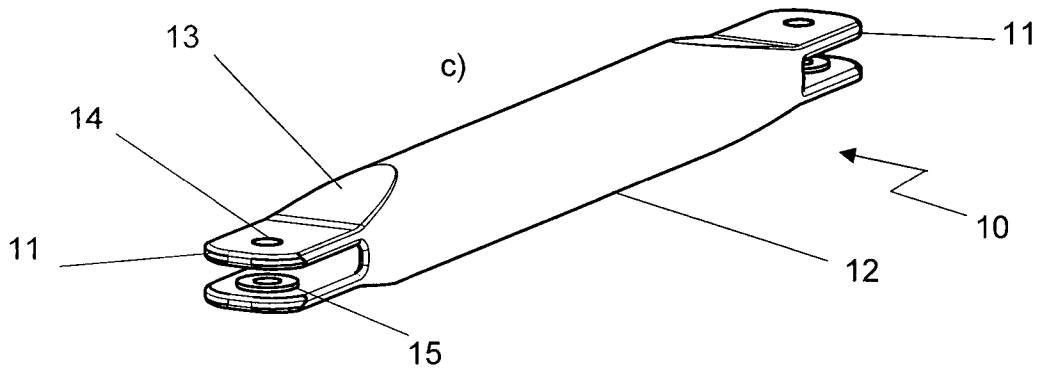
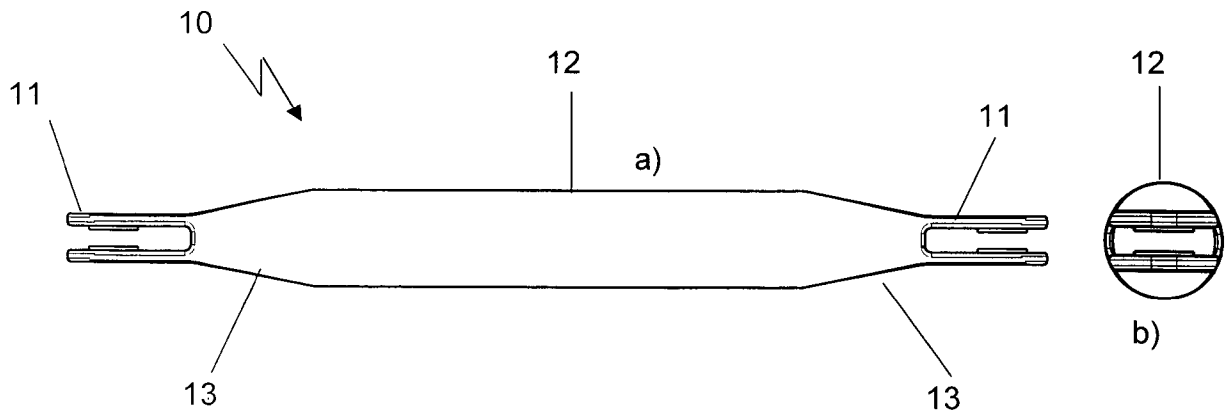


Fig. 2

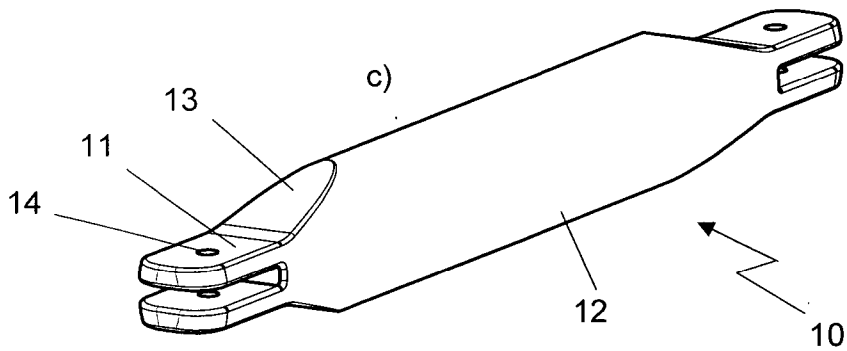
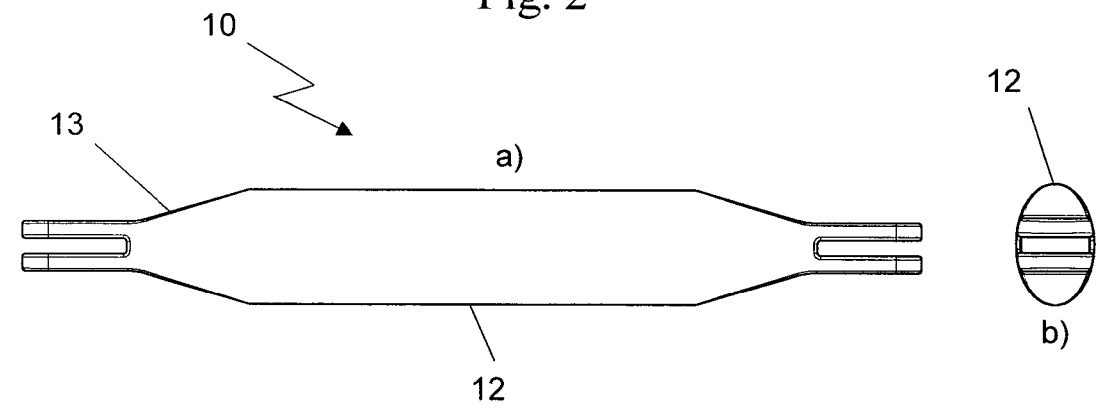


Fig. 3

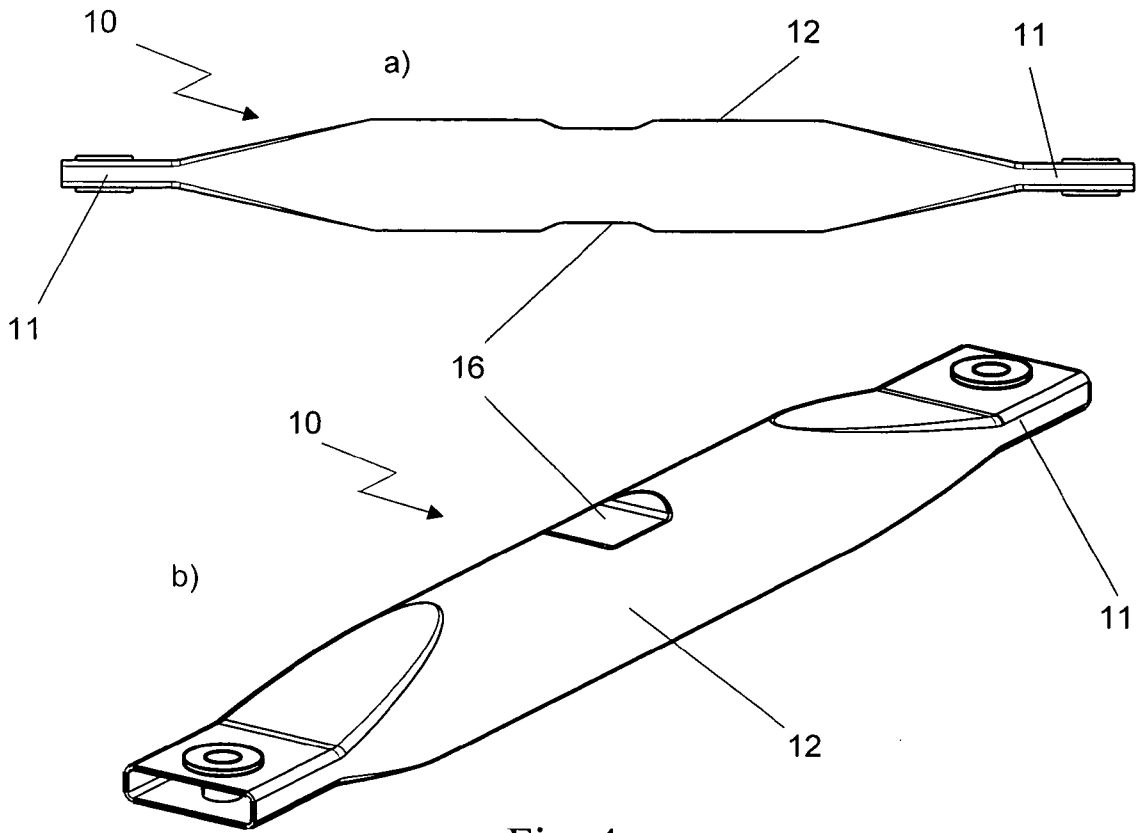


Fig. 4

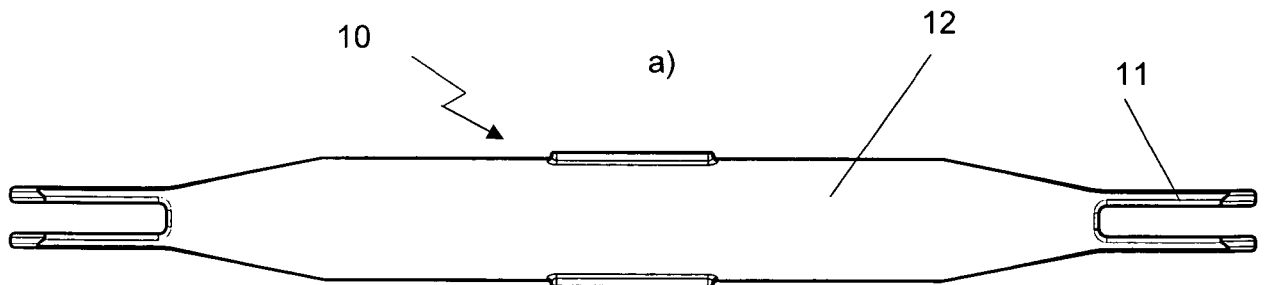


Fig. 5

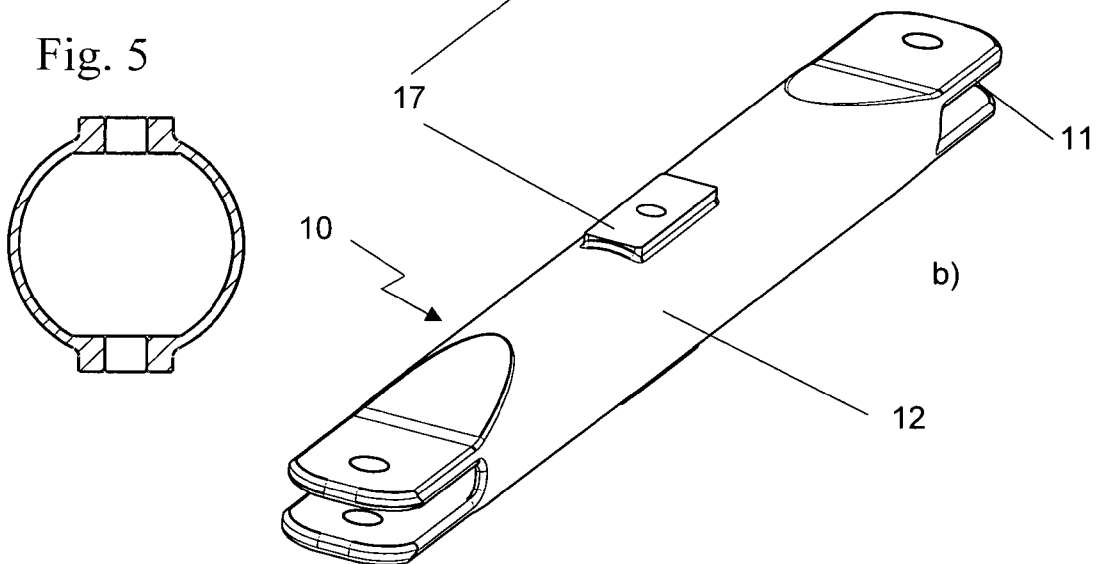


Fig. 6

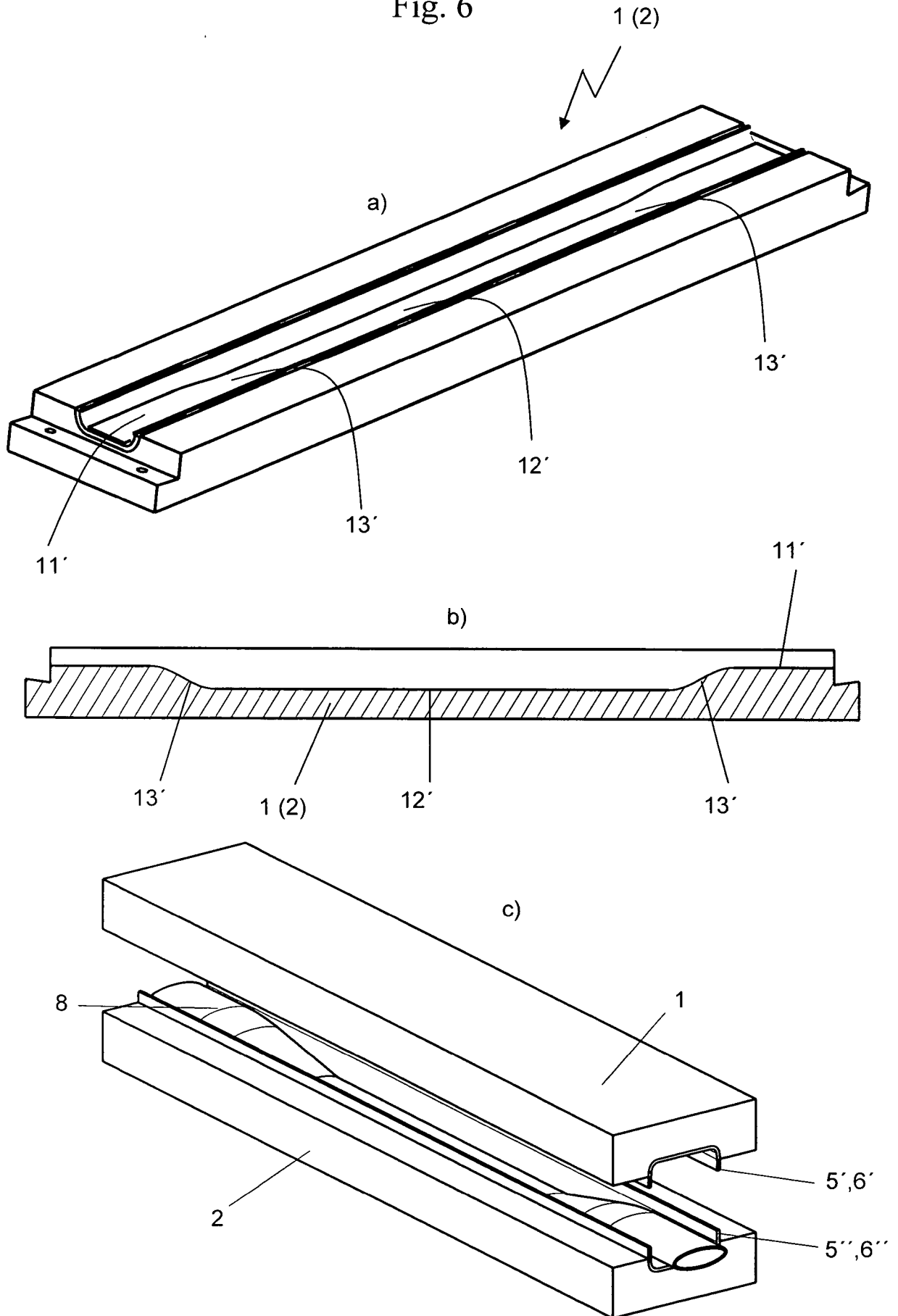


Fig. 7

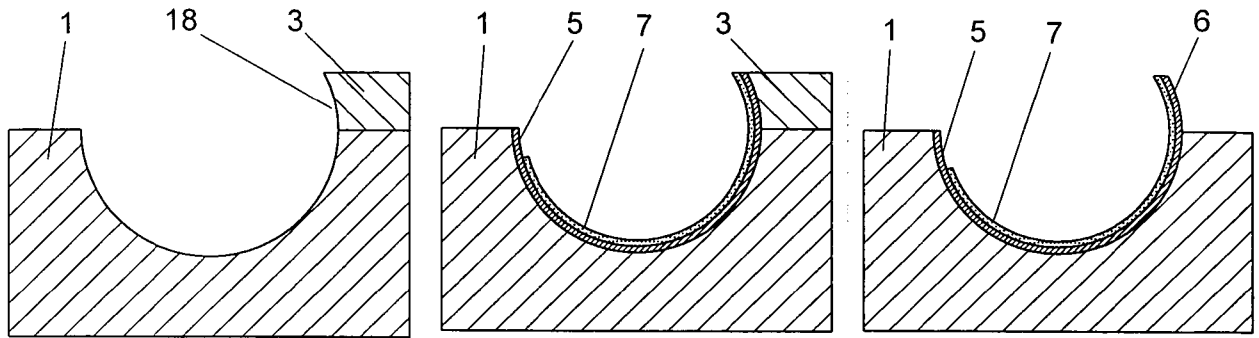


Fig. 8

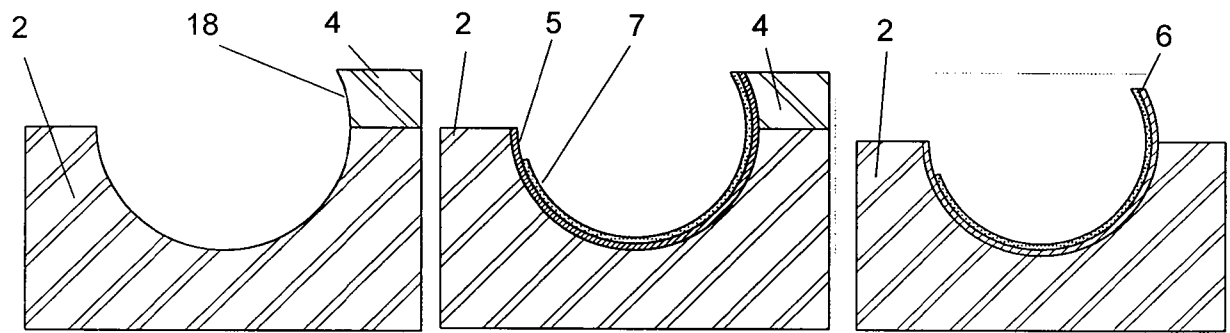


Fig. 9

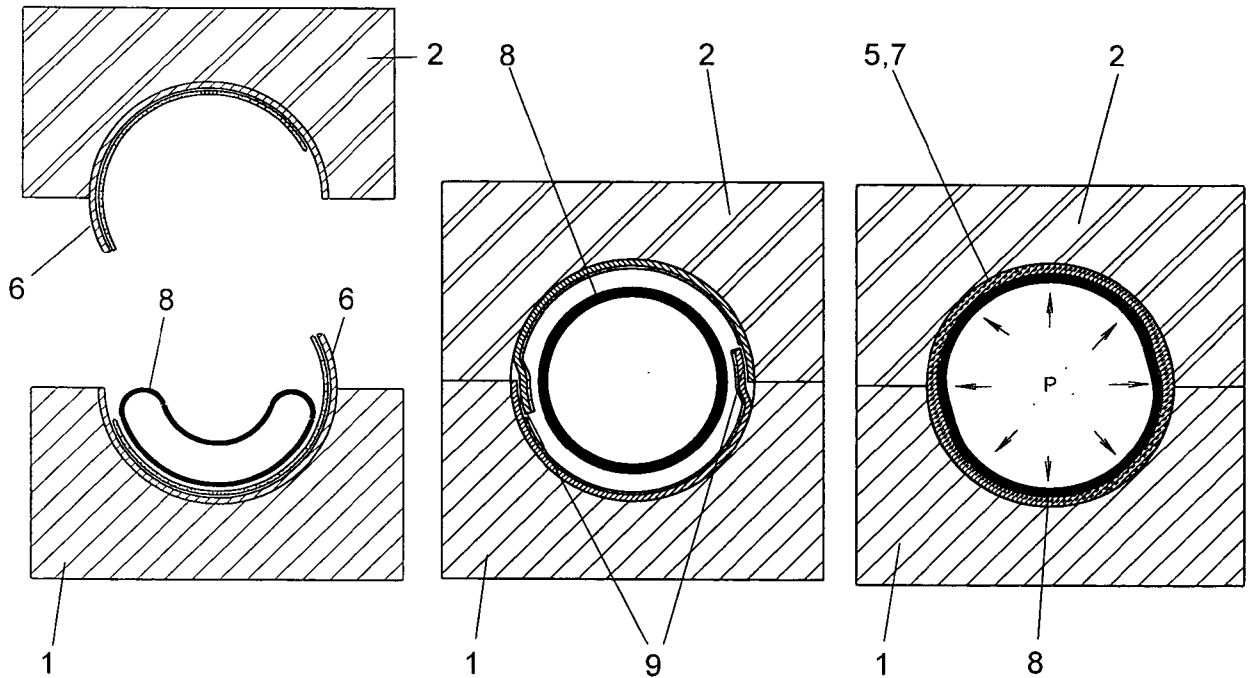


Fig. 10

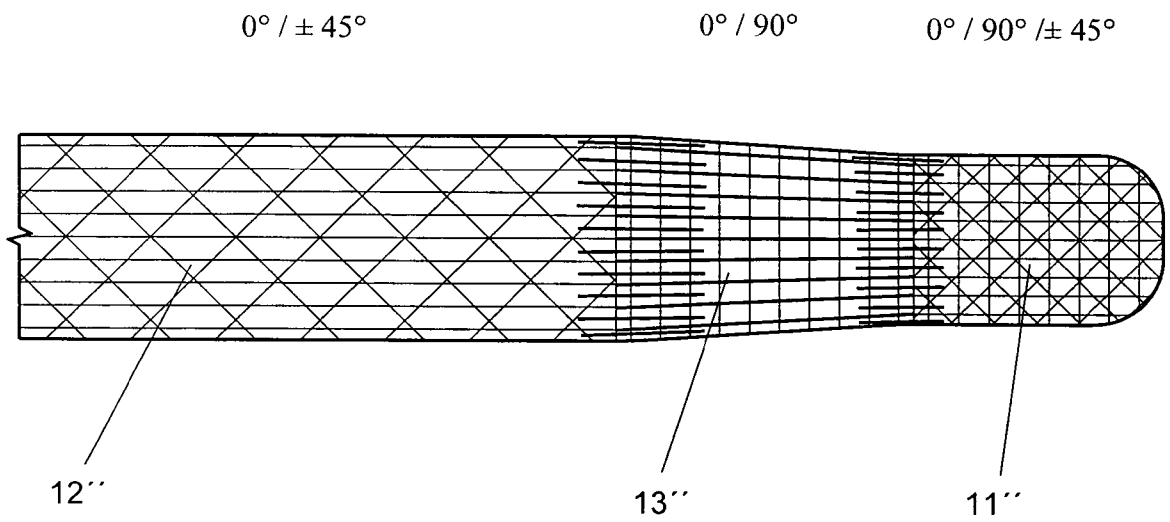


Fig. 11

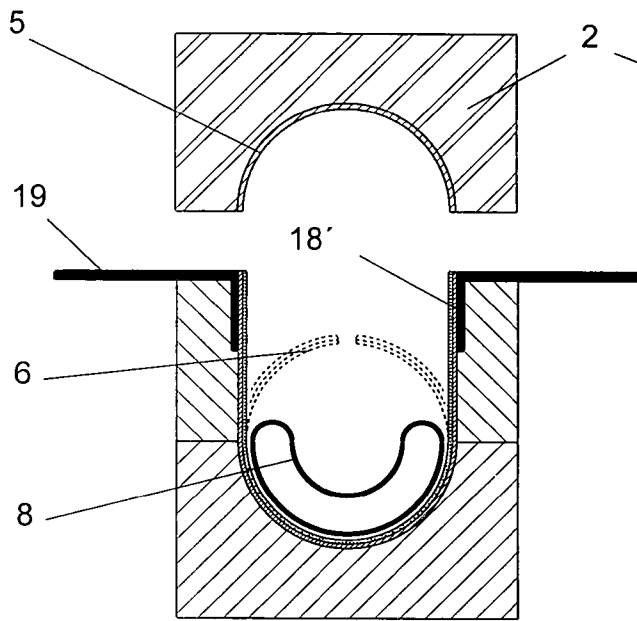


Fig. 12

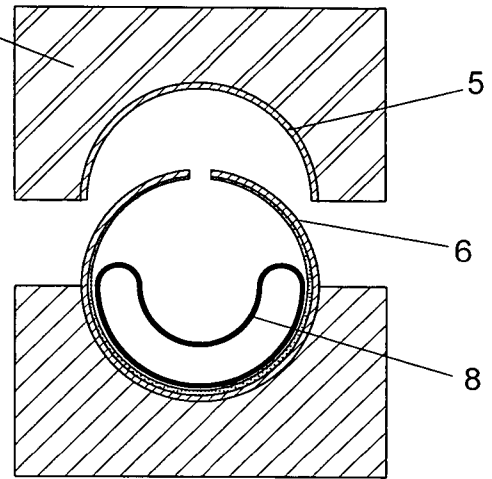


Fig. 13

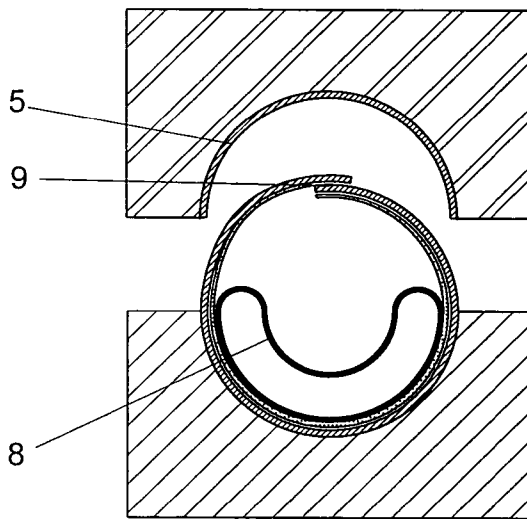


Fig. 14

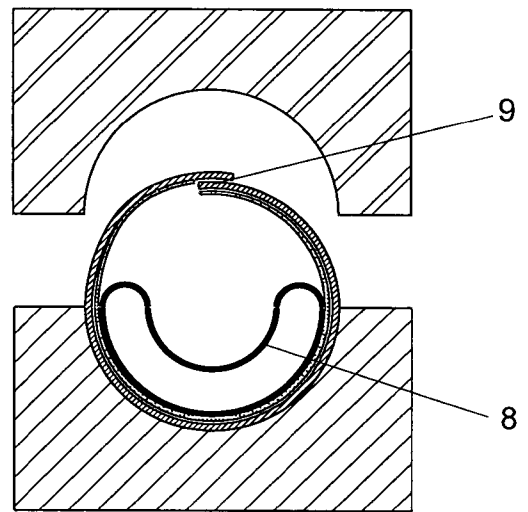


Fig. 15

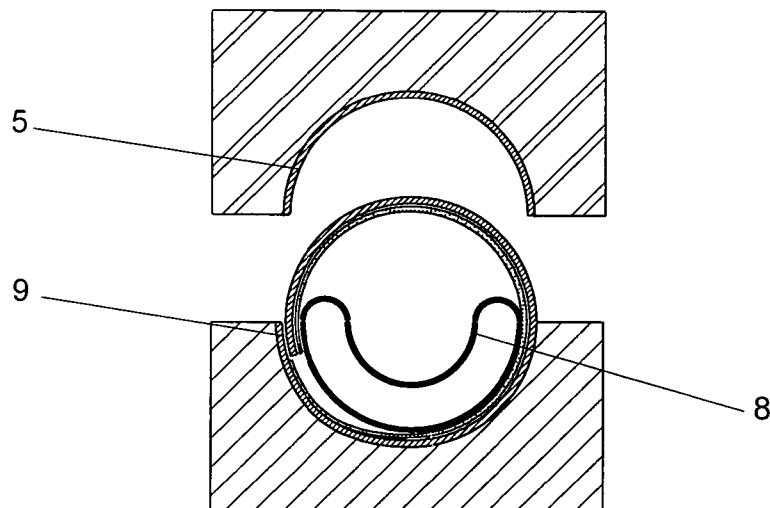


Fig. 16

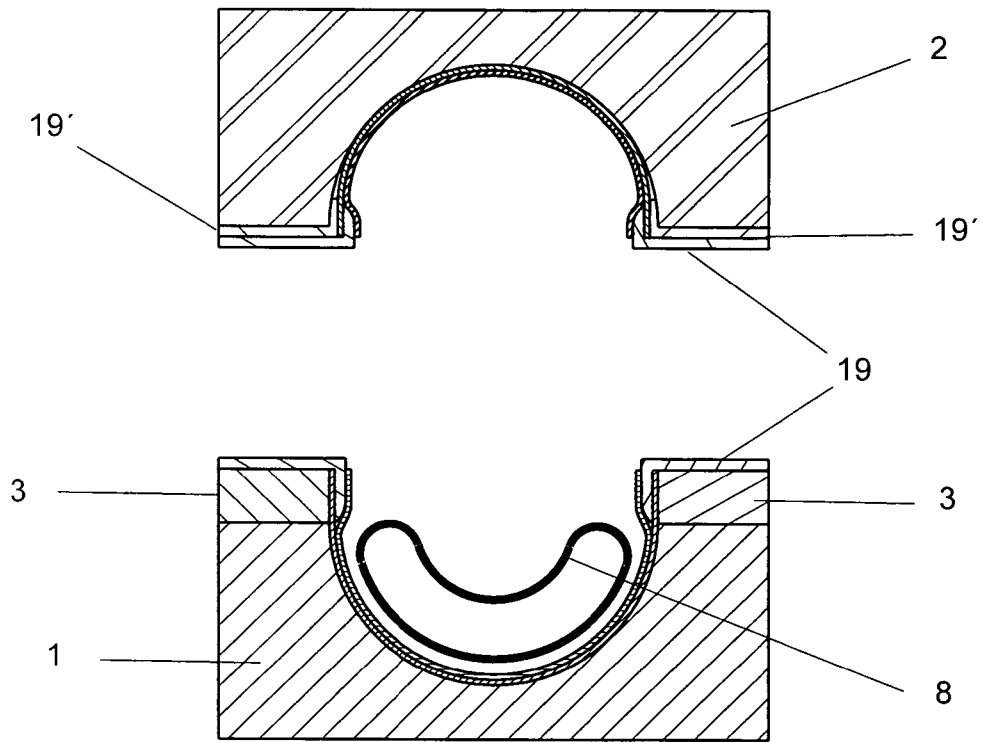


Fig. 17

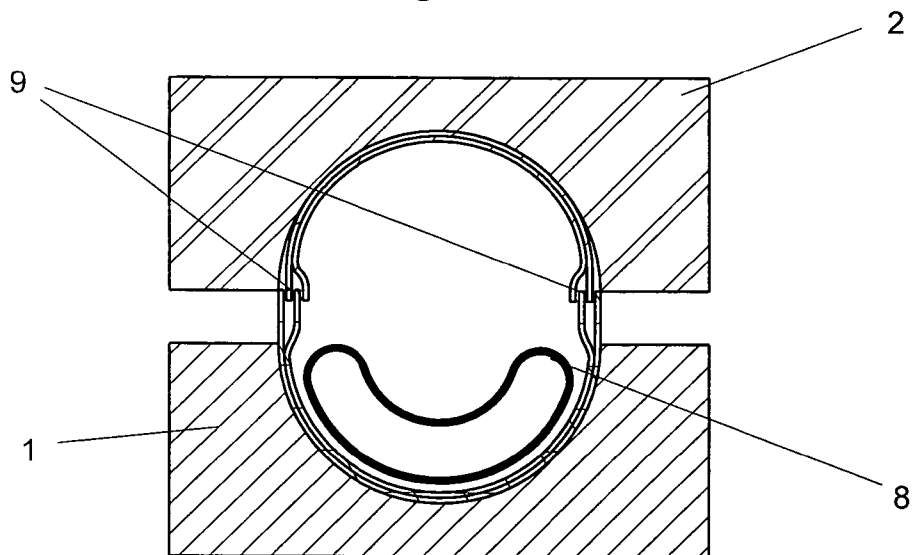


FIG. 18

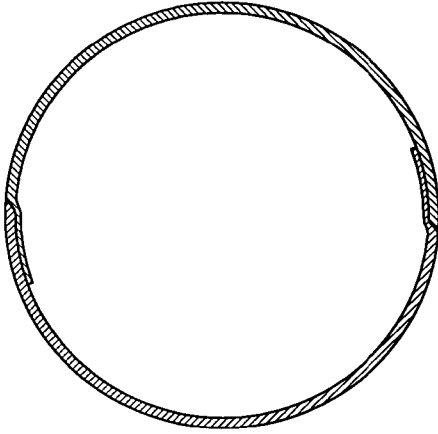


FIG. 19

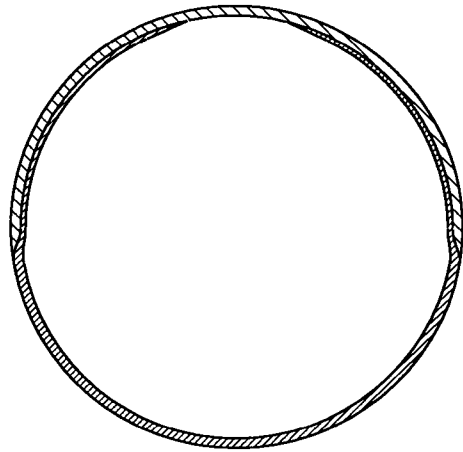


FIG. 20

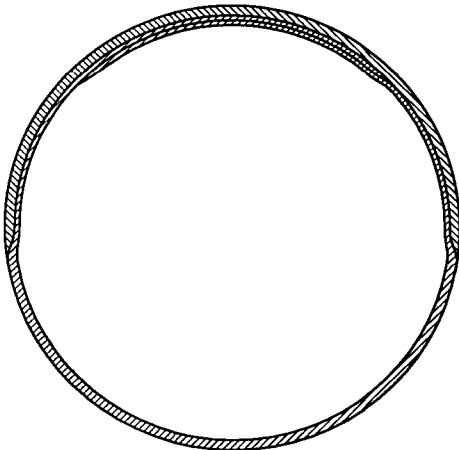


FIG. 21

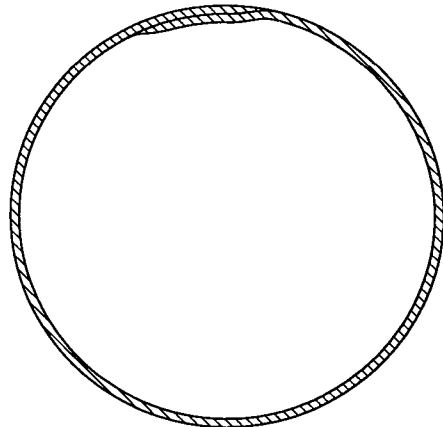


FIG. 22

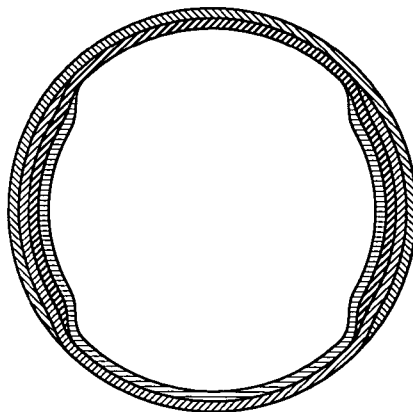


Fig. 23

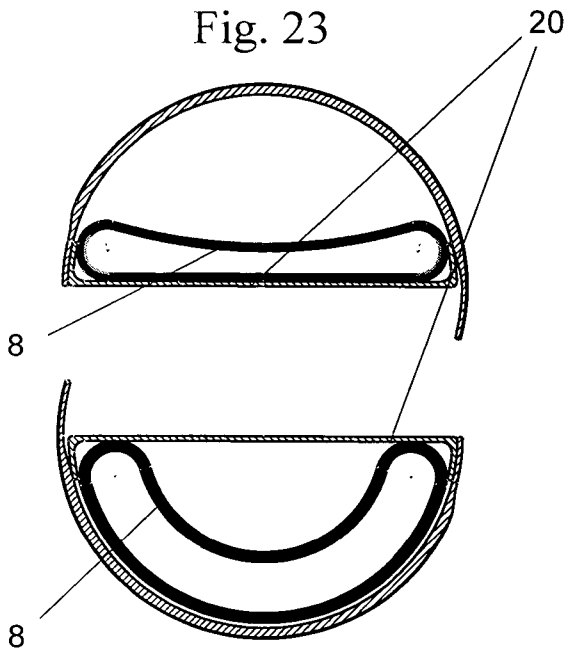


Fig. 24

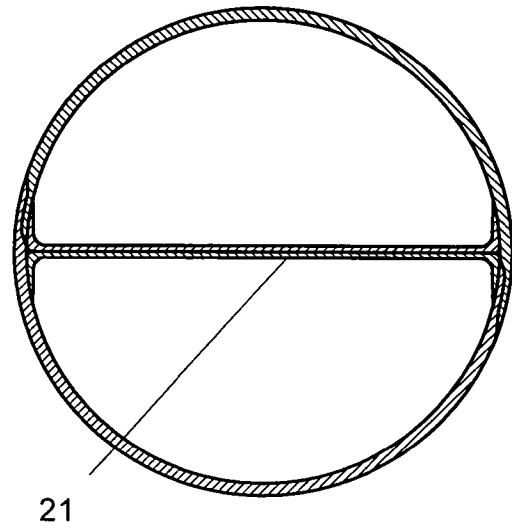


Fig. 25

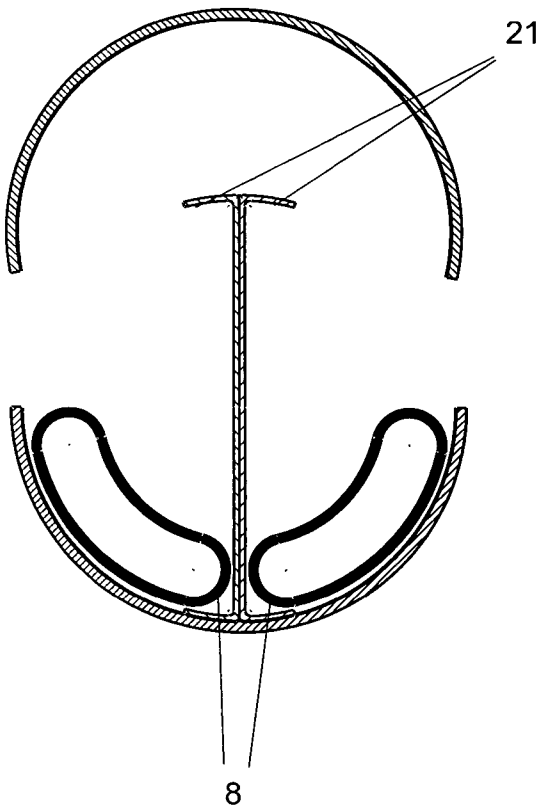


Fig. 26

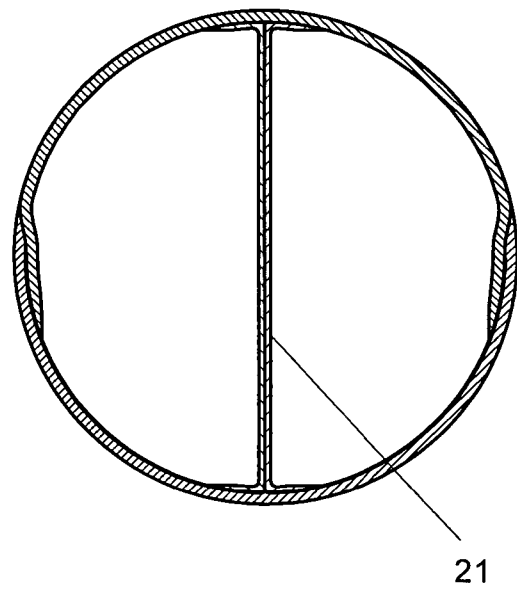


Fig. 27

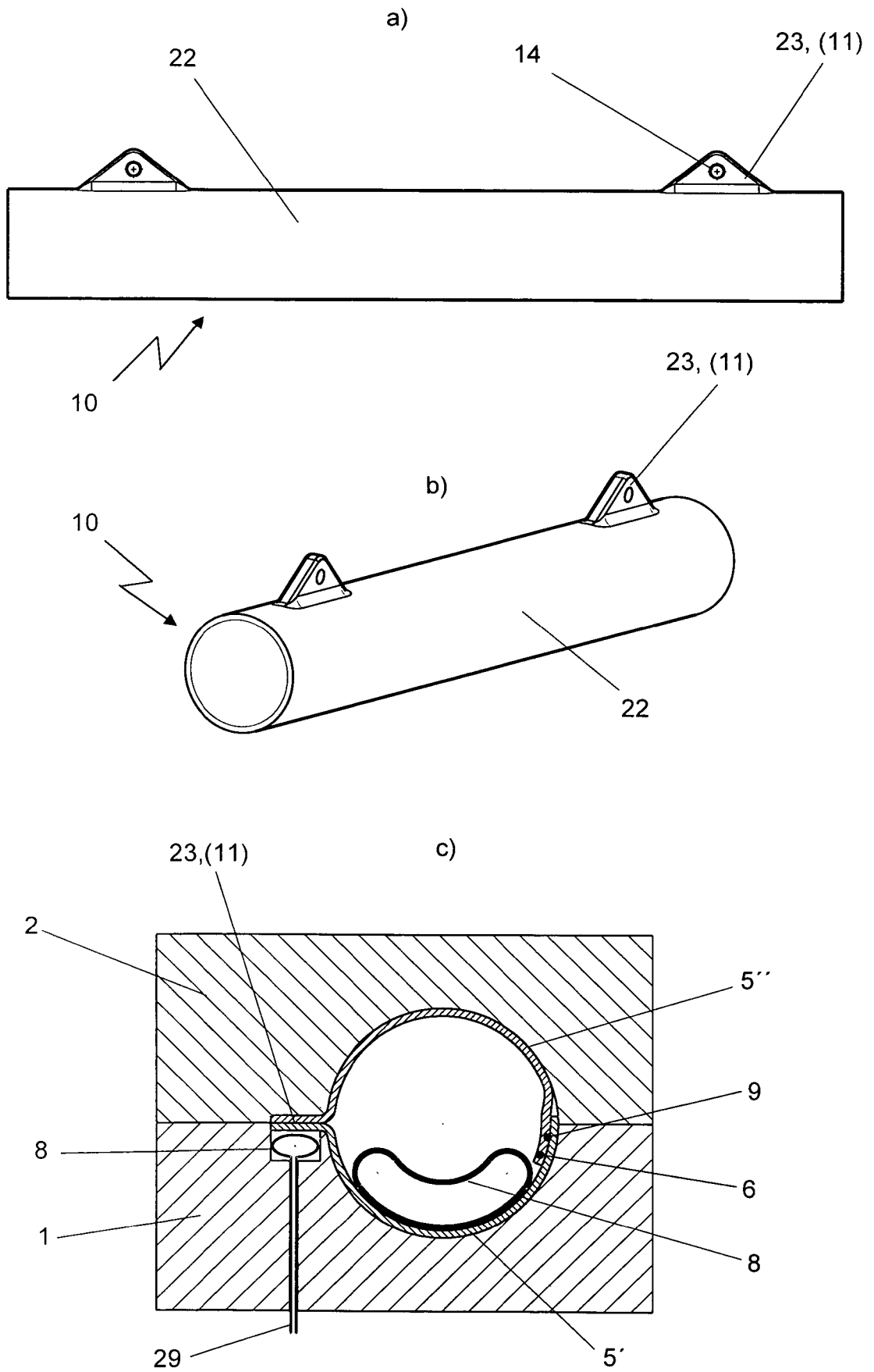


Fig. 28

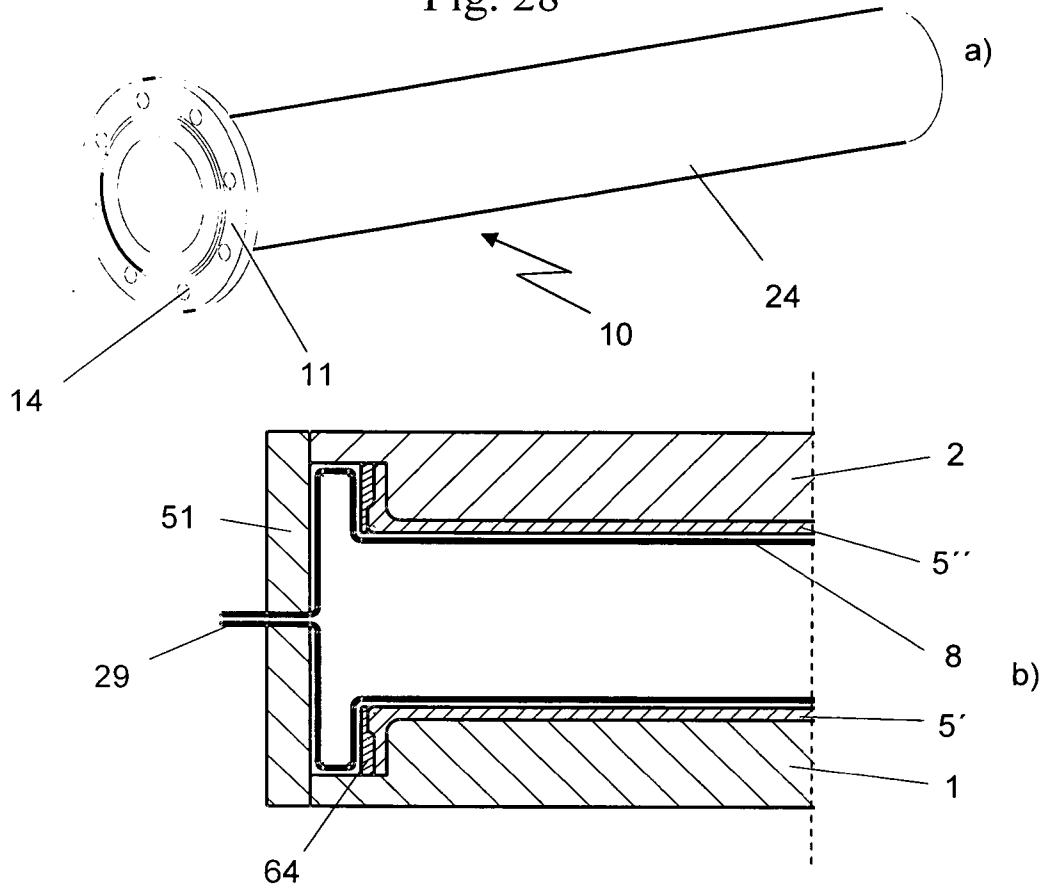


Fig. 29

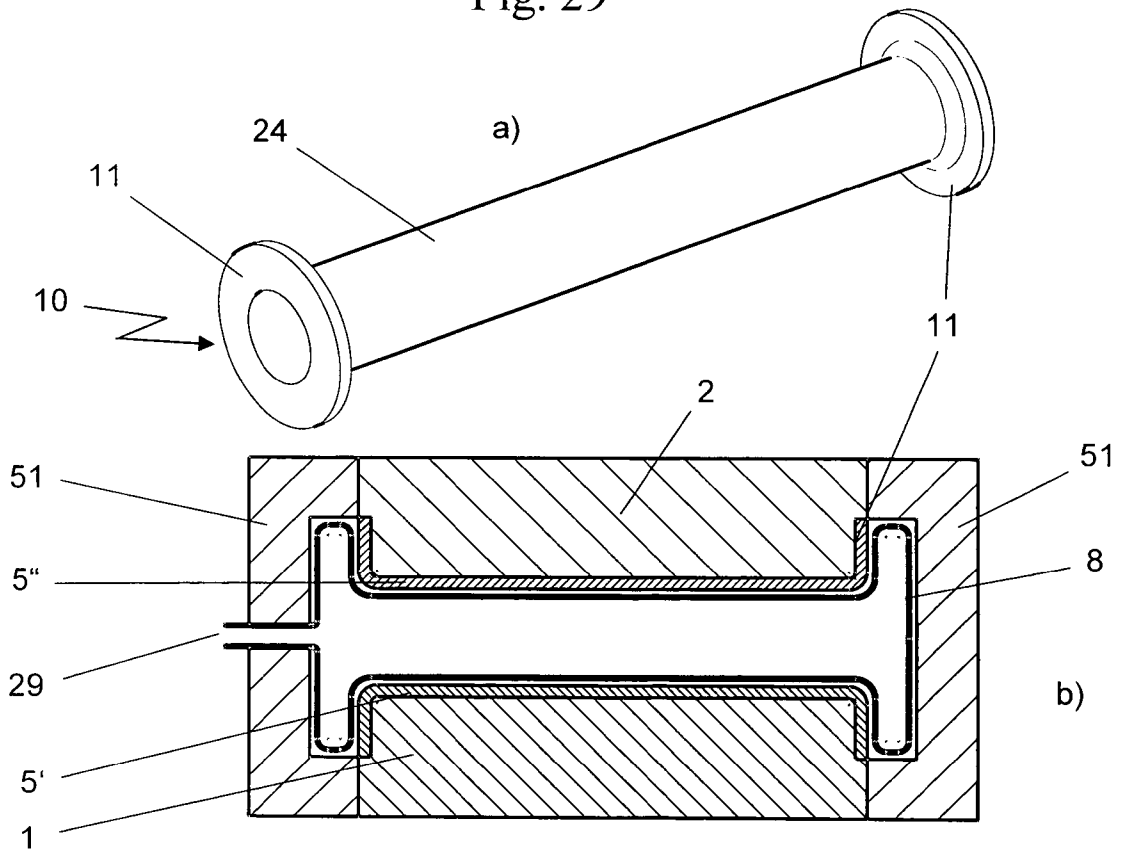


Fig. 30

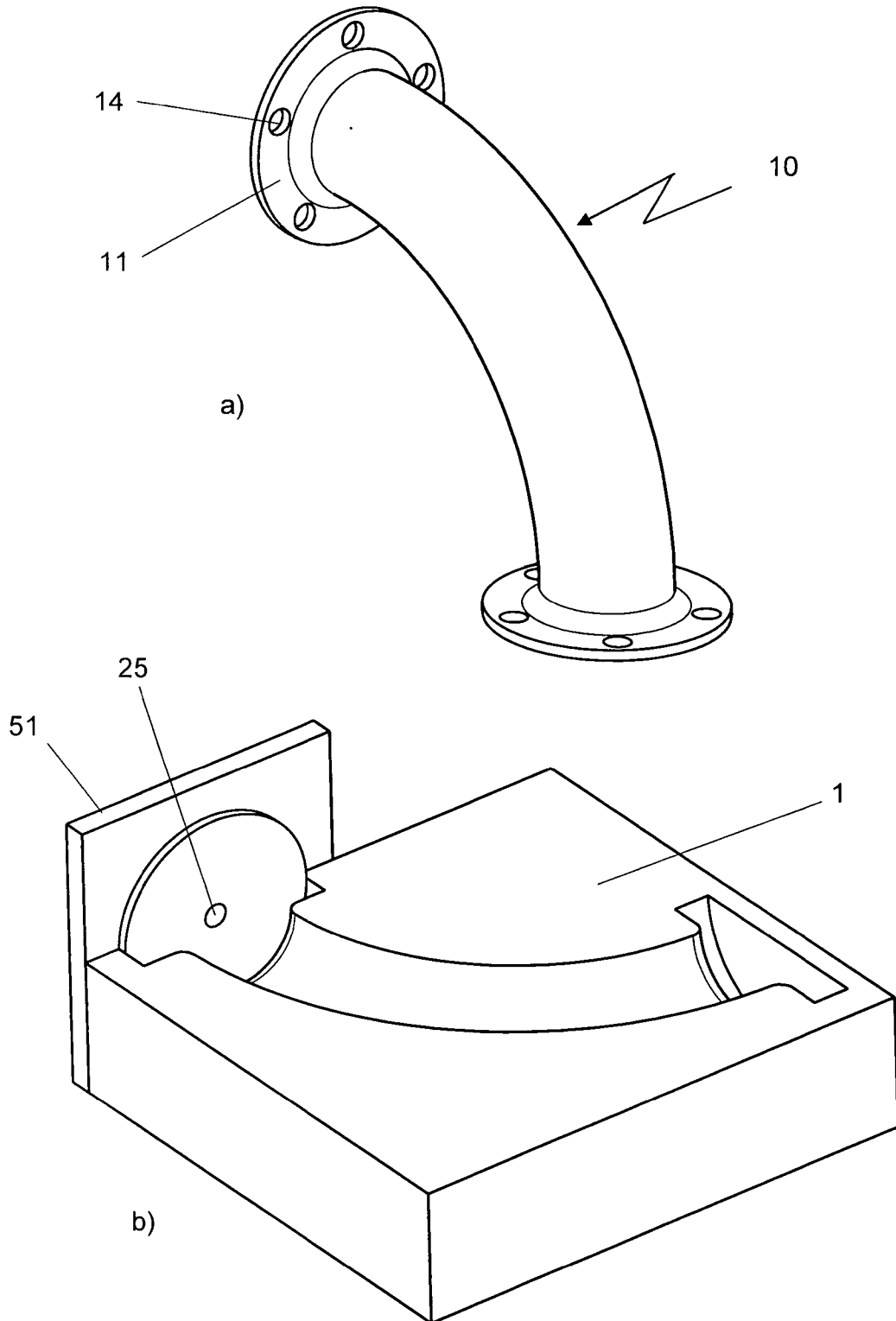


Fig. 31

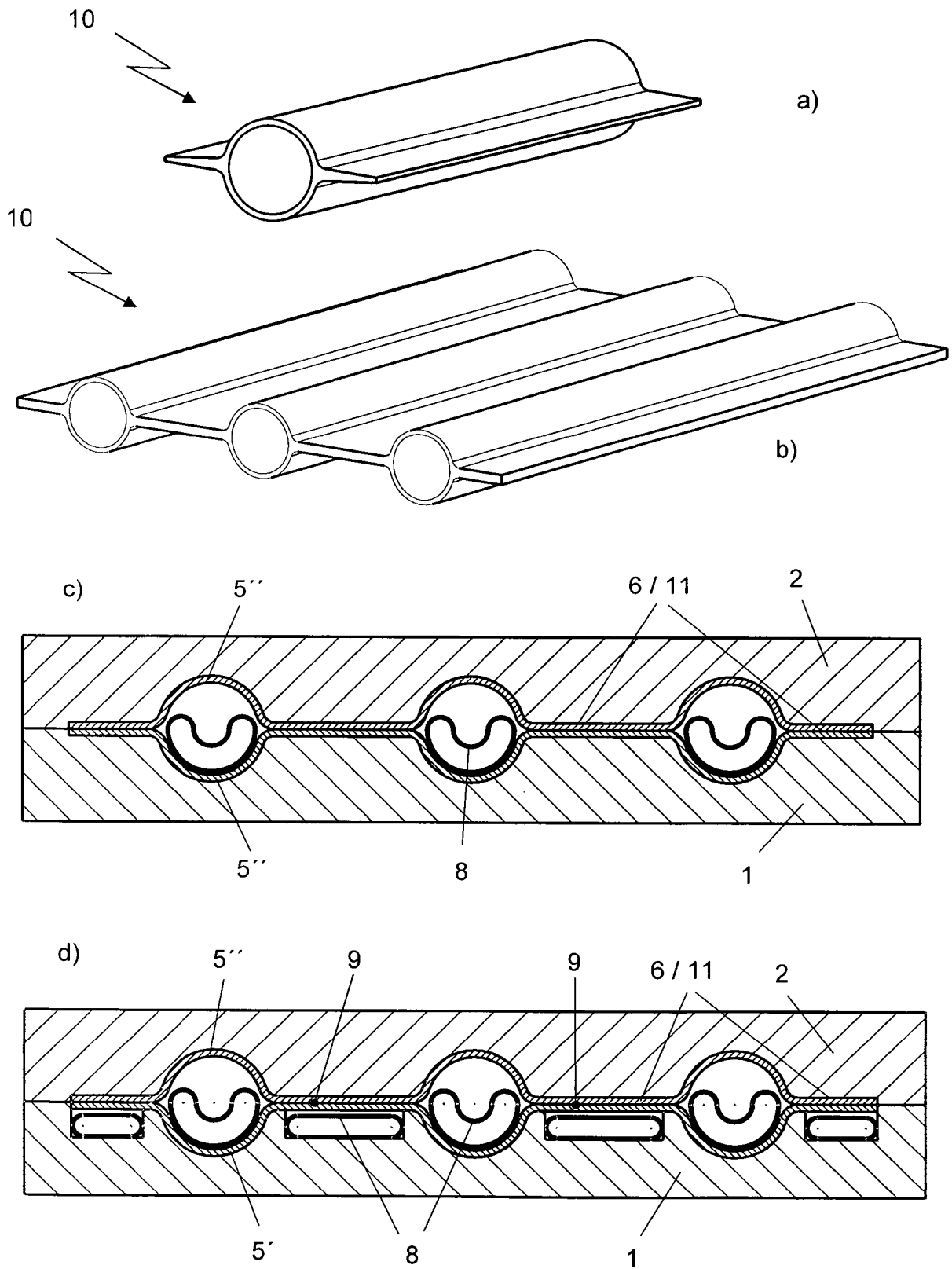


Fig. 32

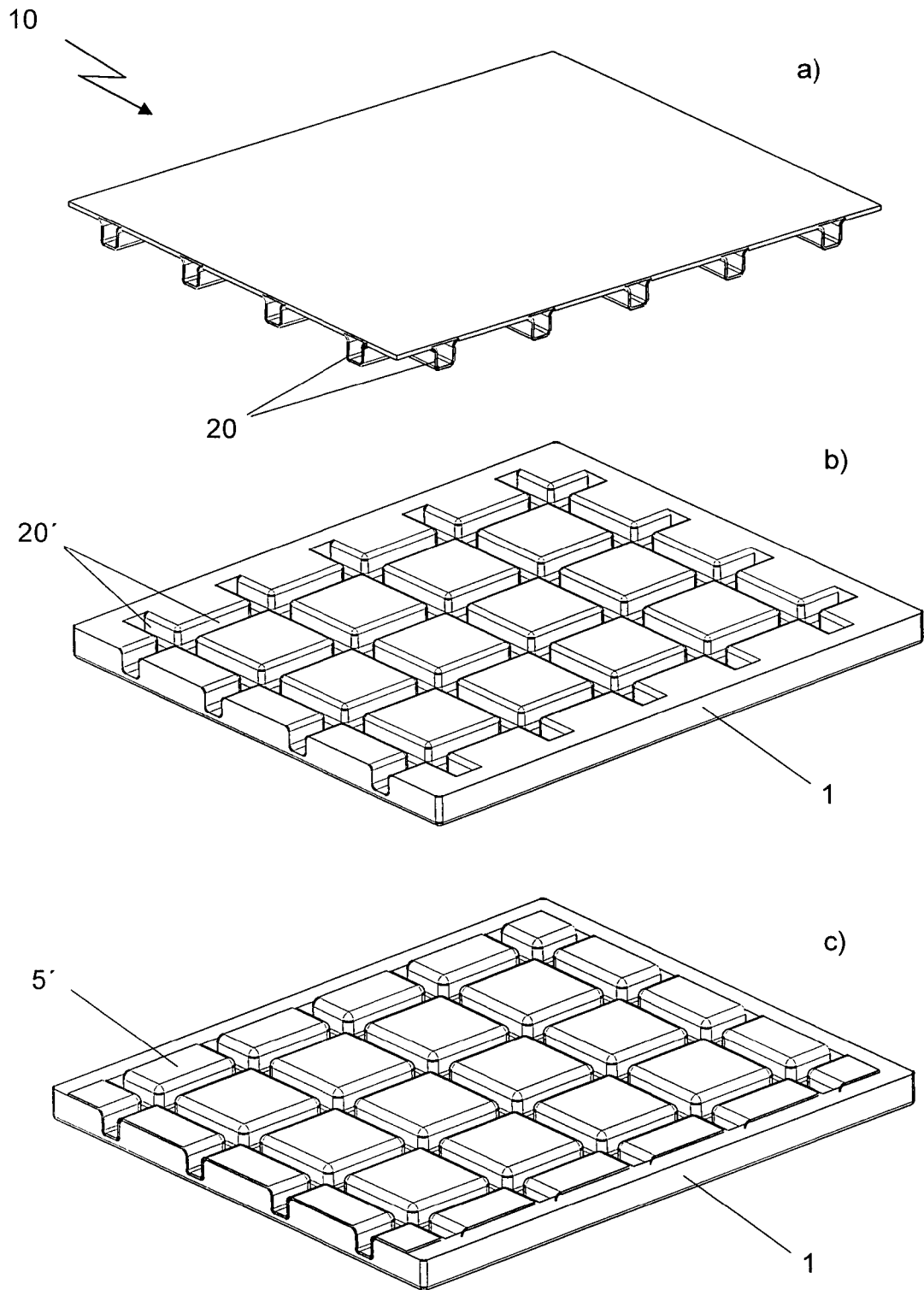


Fig. 32

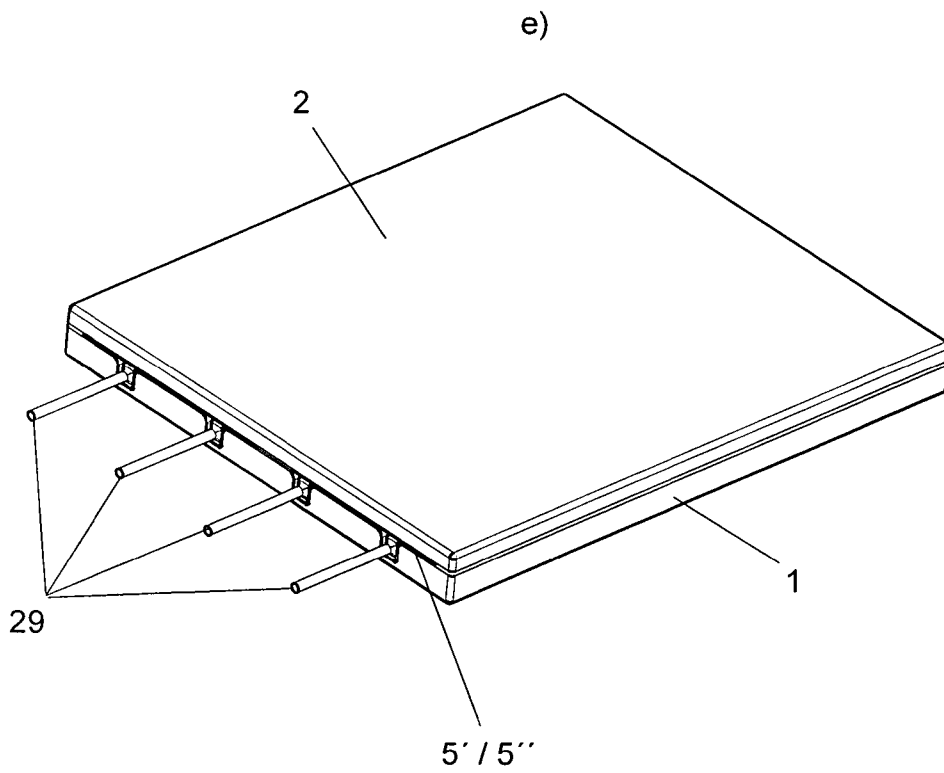
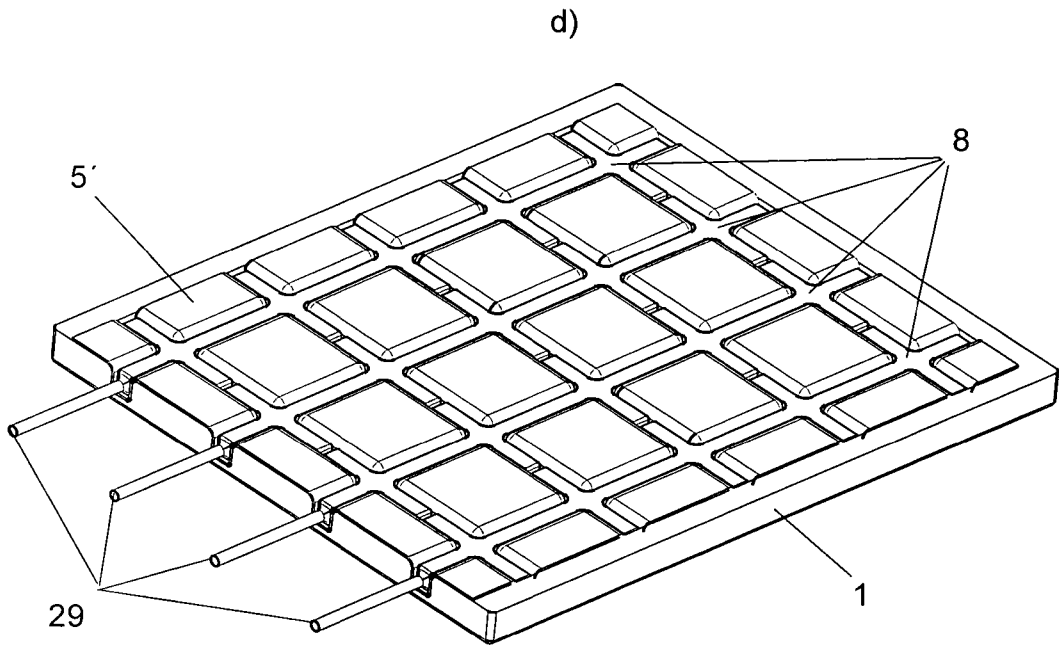


Fig. 33

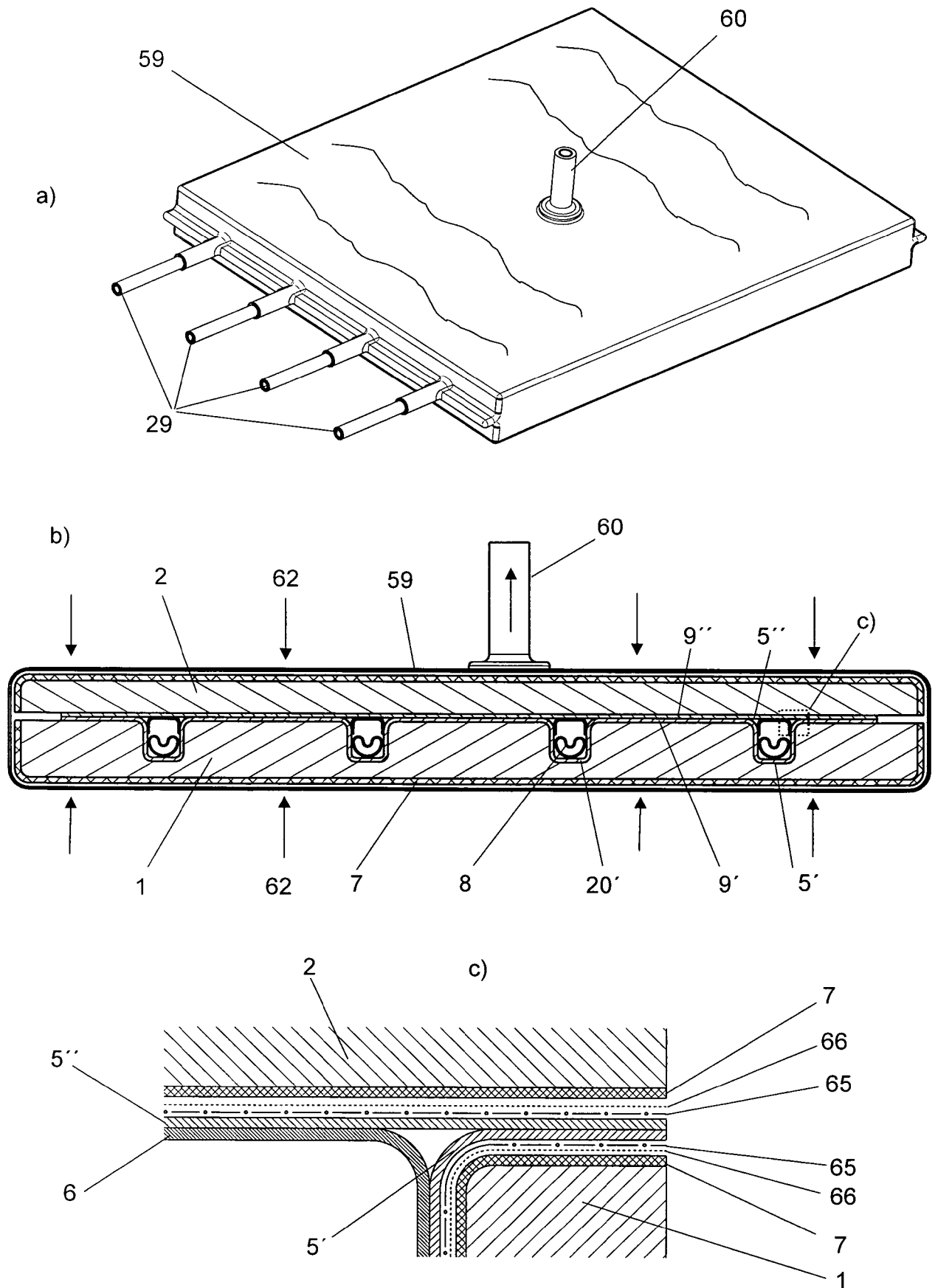


Fig. 33

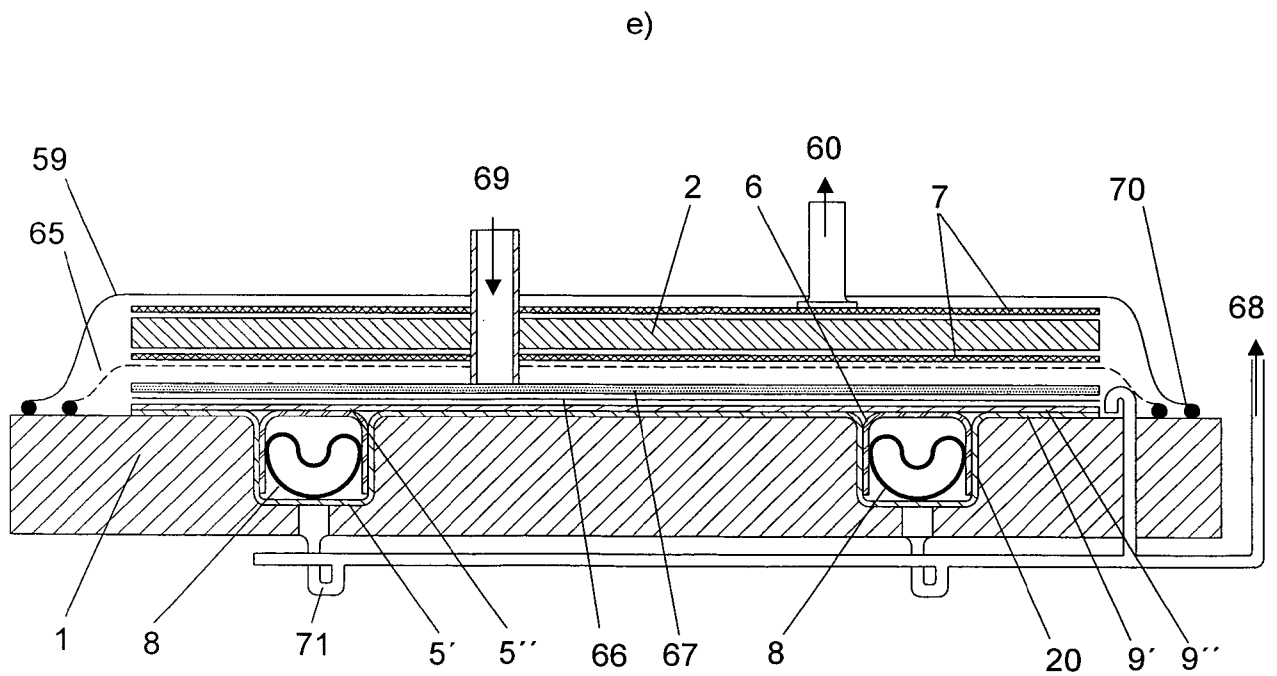
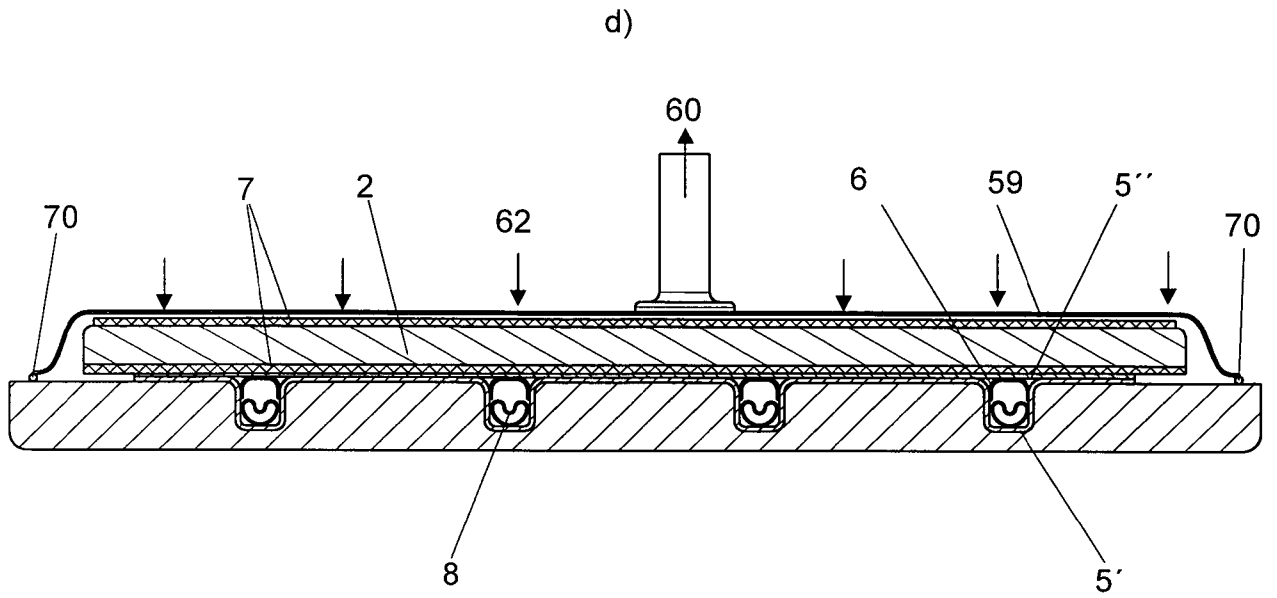


Fig. 33

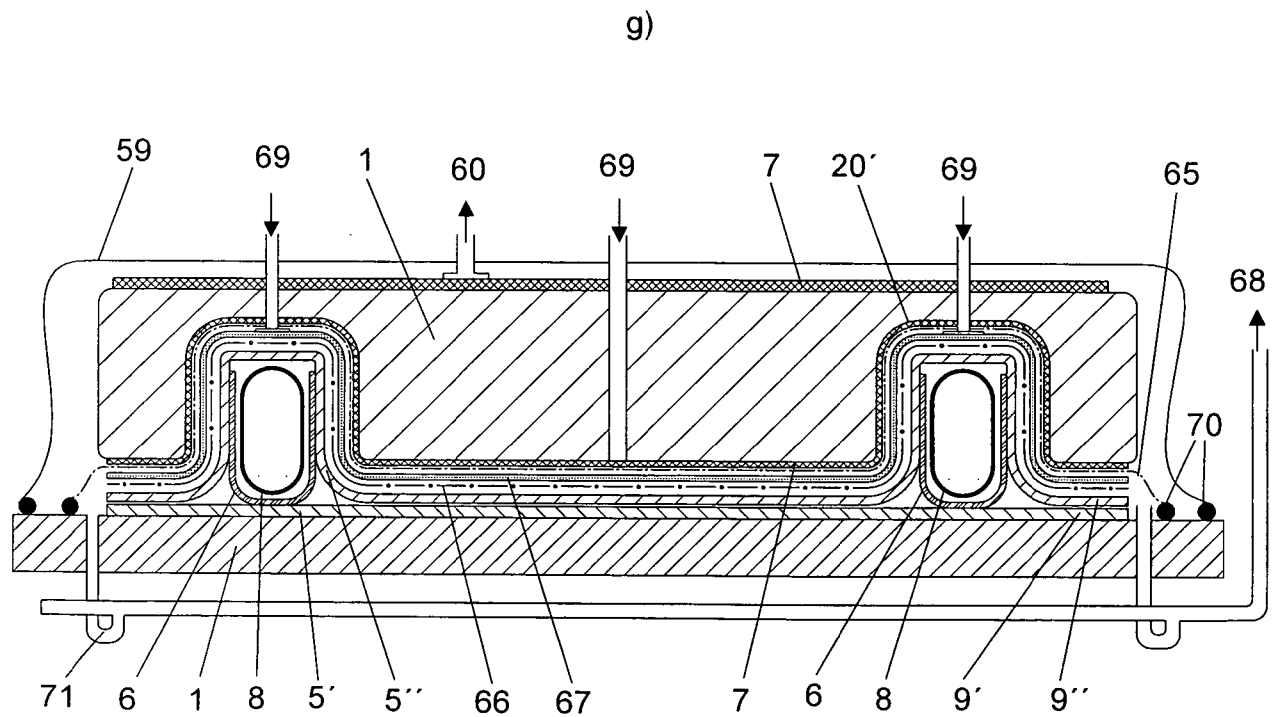
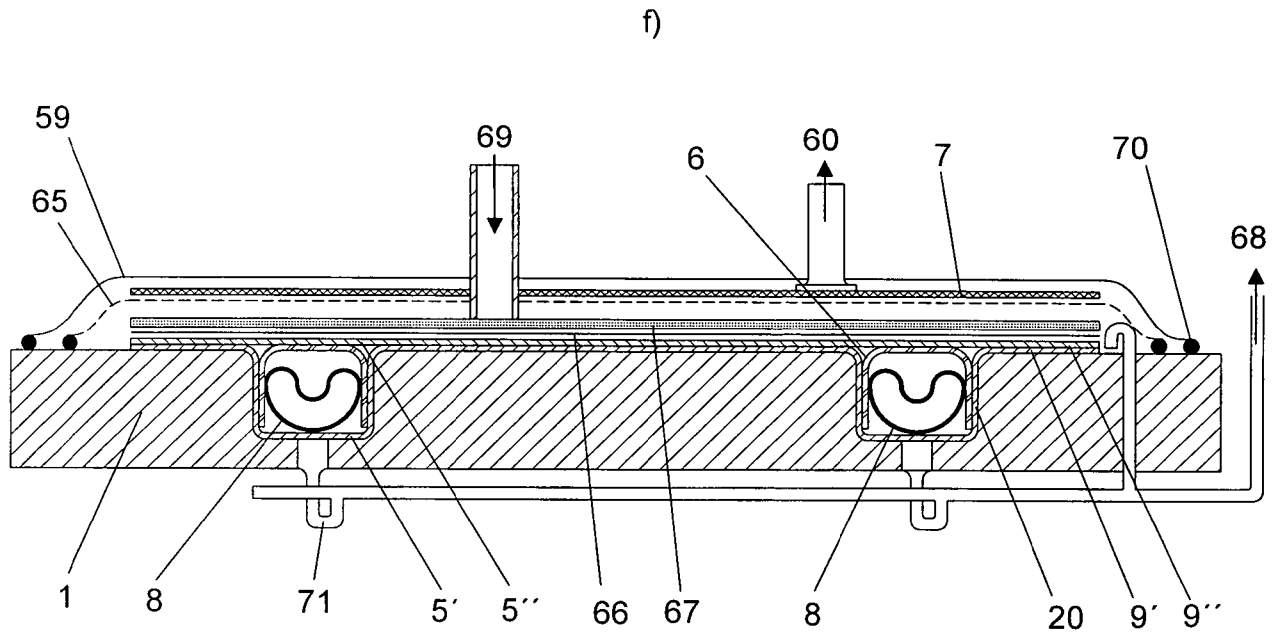


Fig. 34

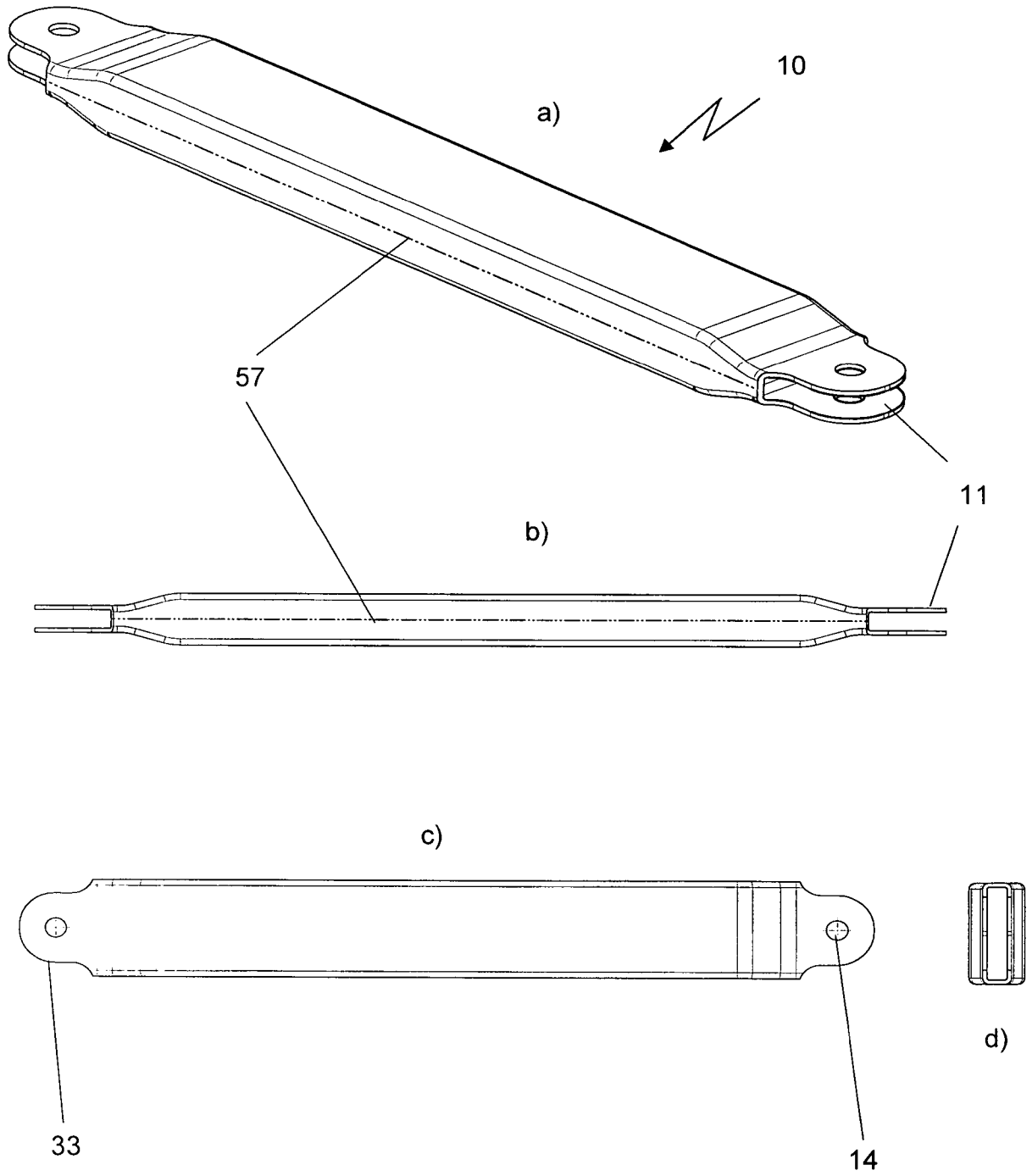


Fig. 35

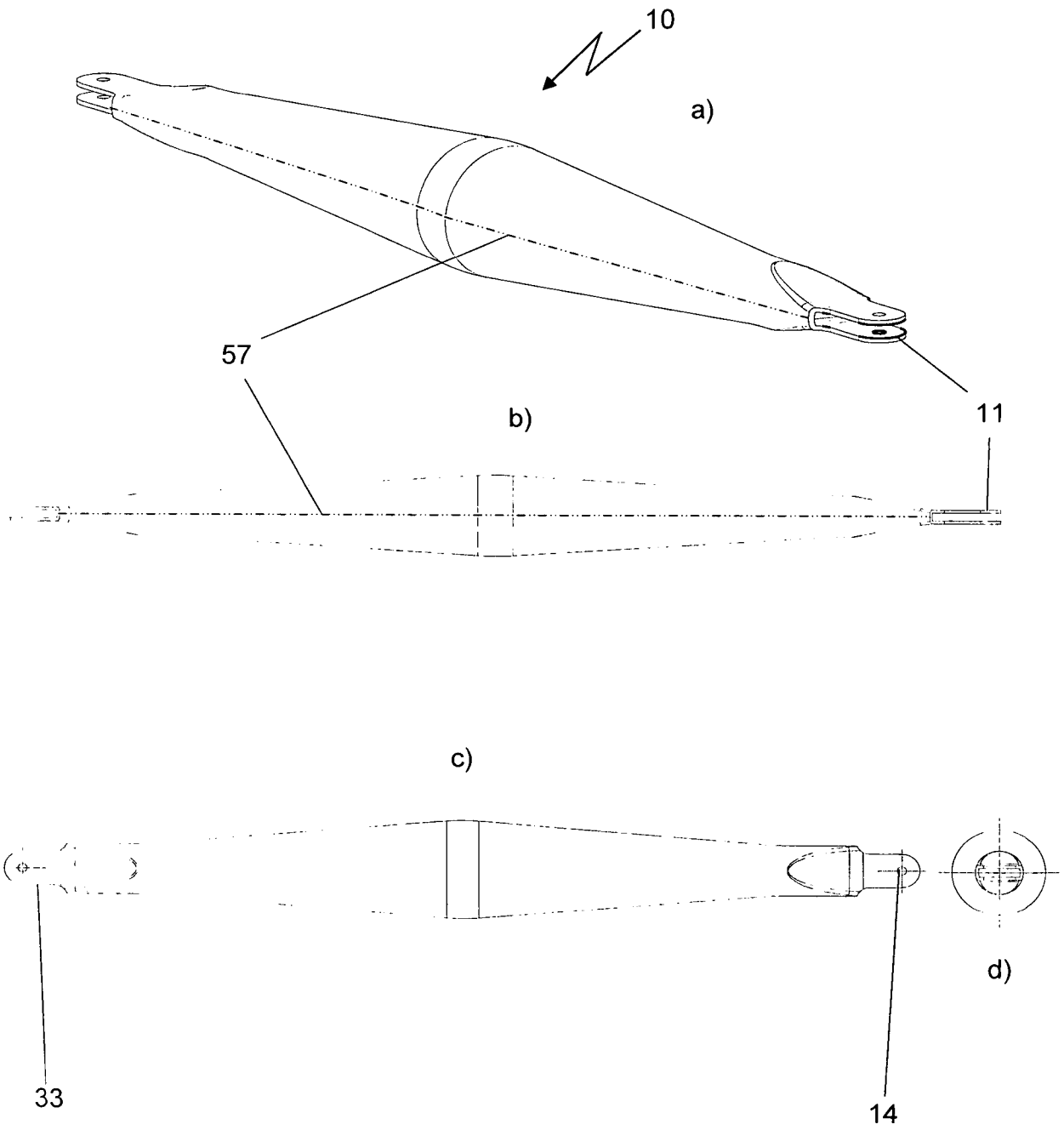


Fig. 36

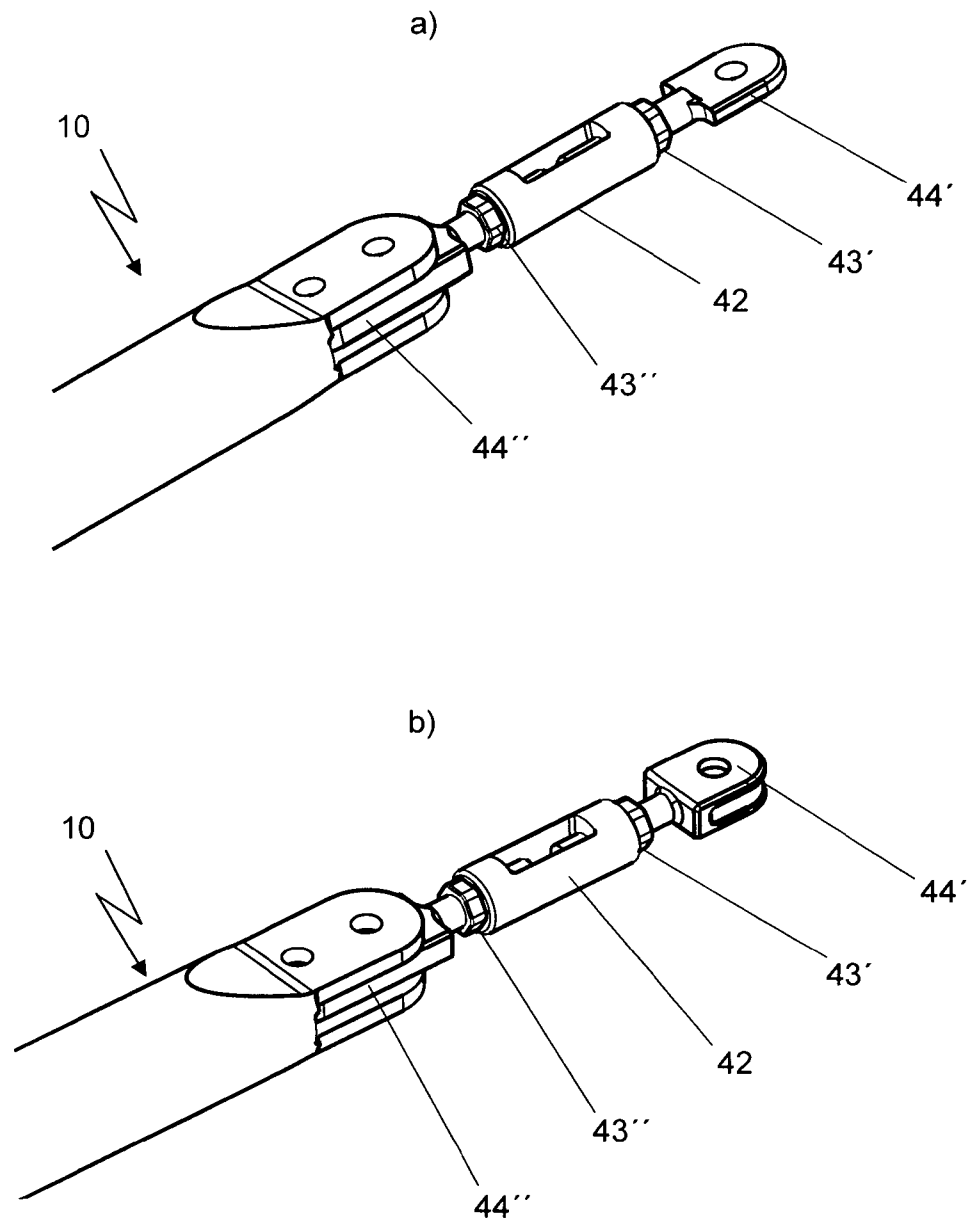


Fig. 37.1

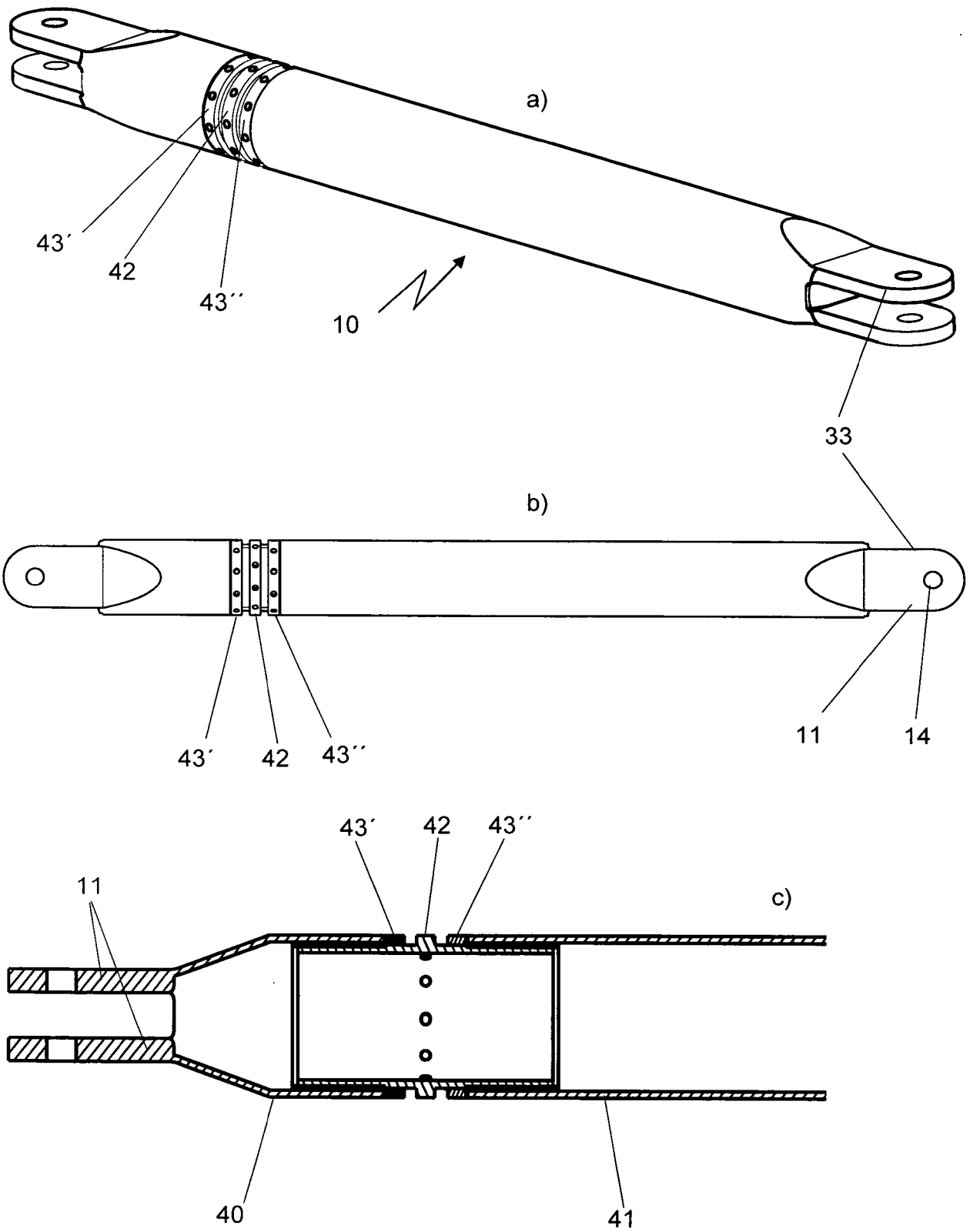


Fig. 37.2

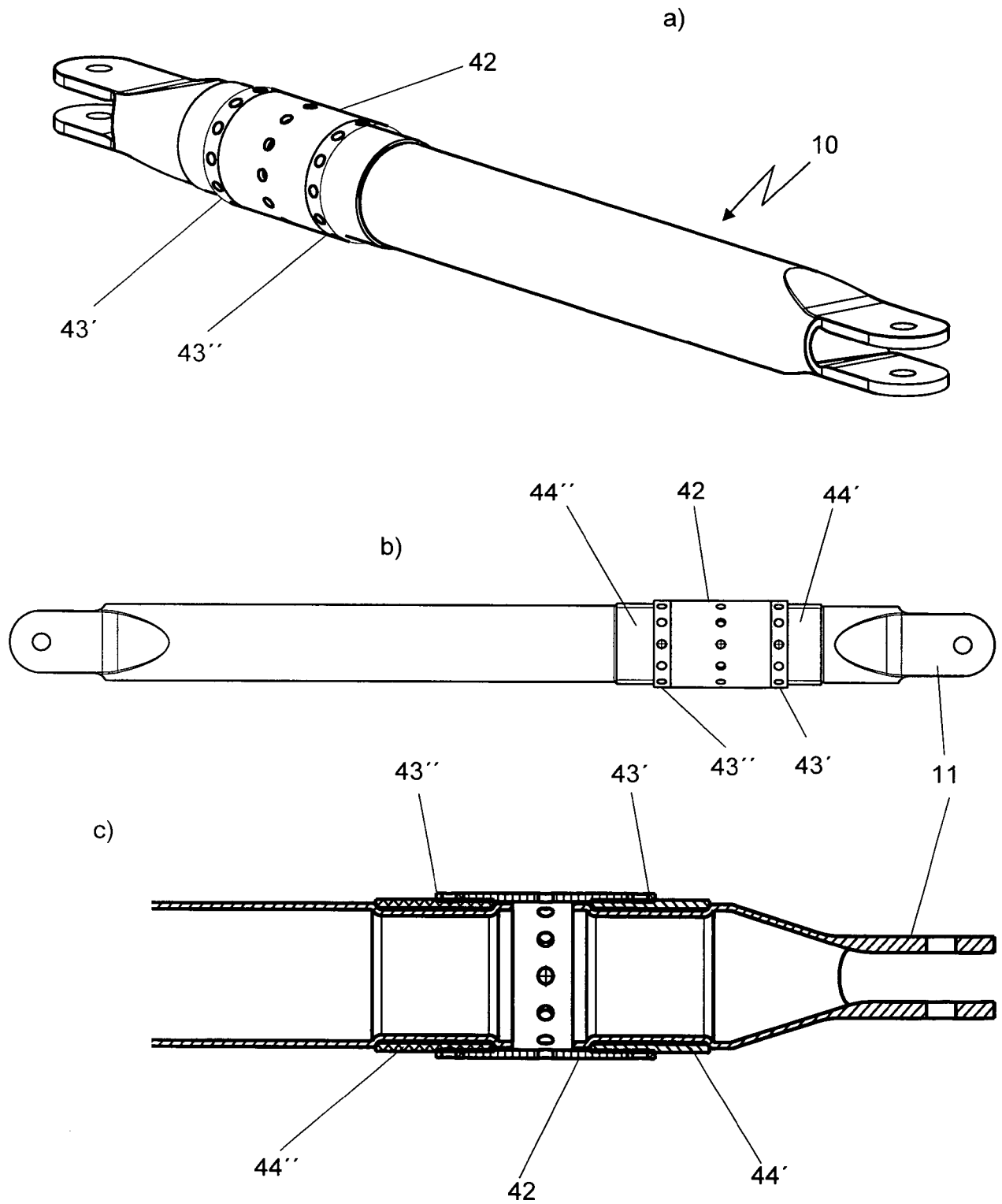


Fig.38

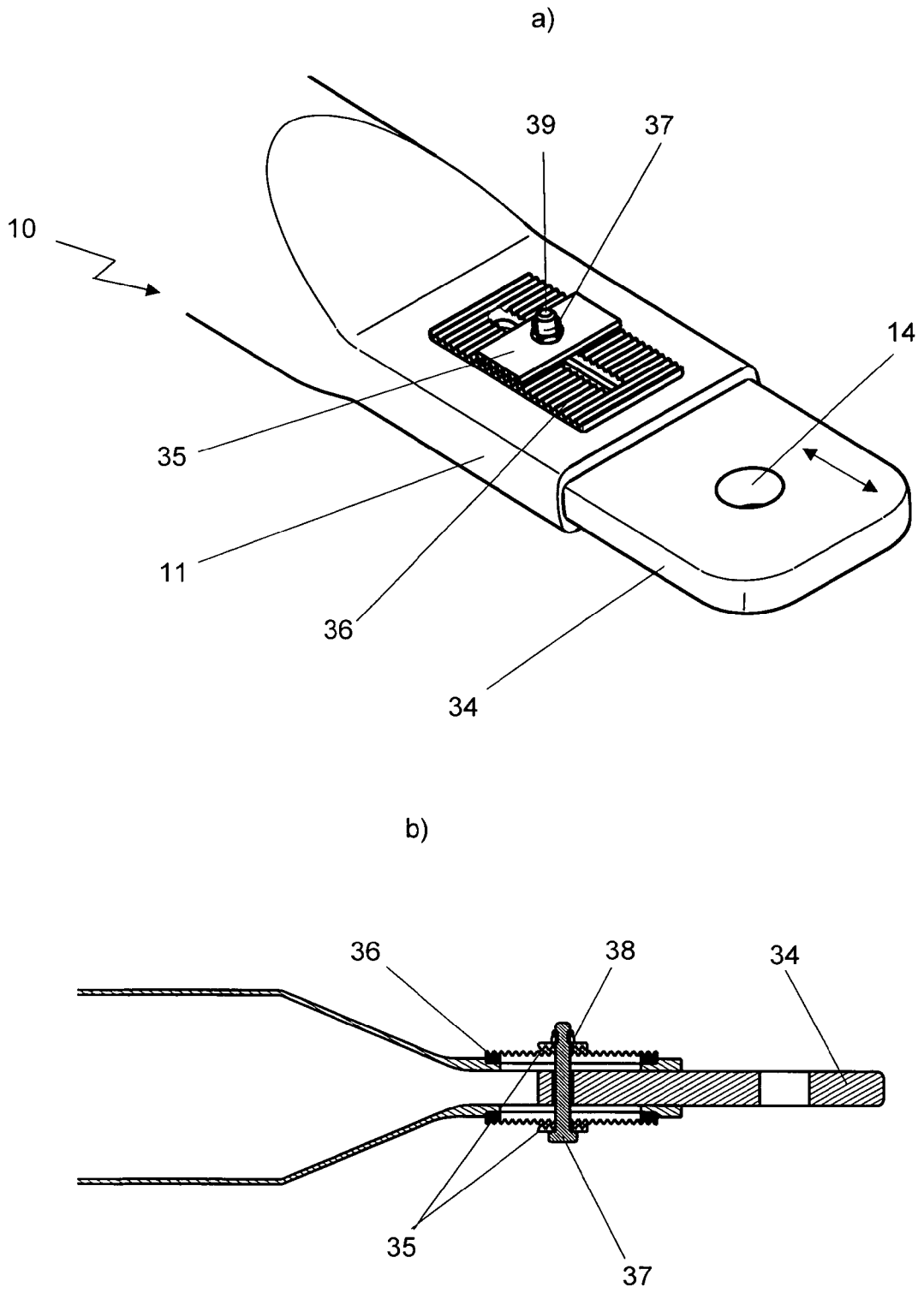


Fig. 39

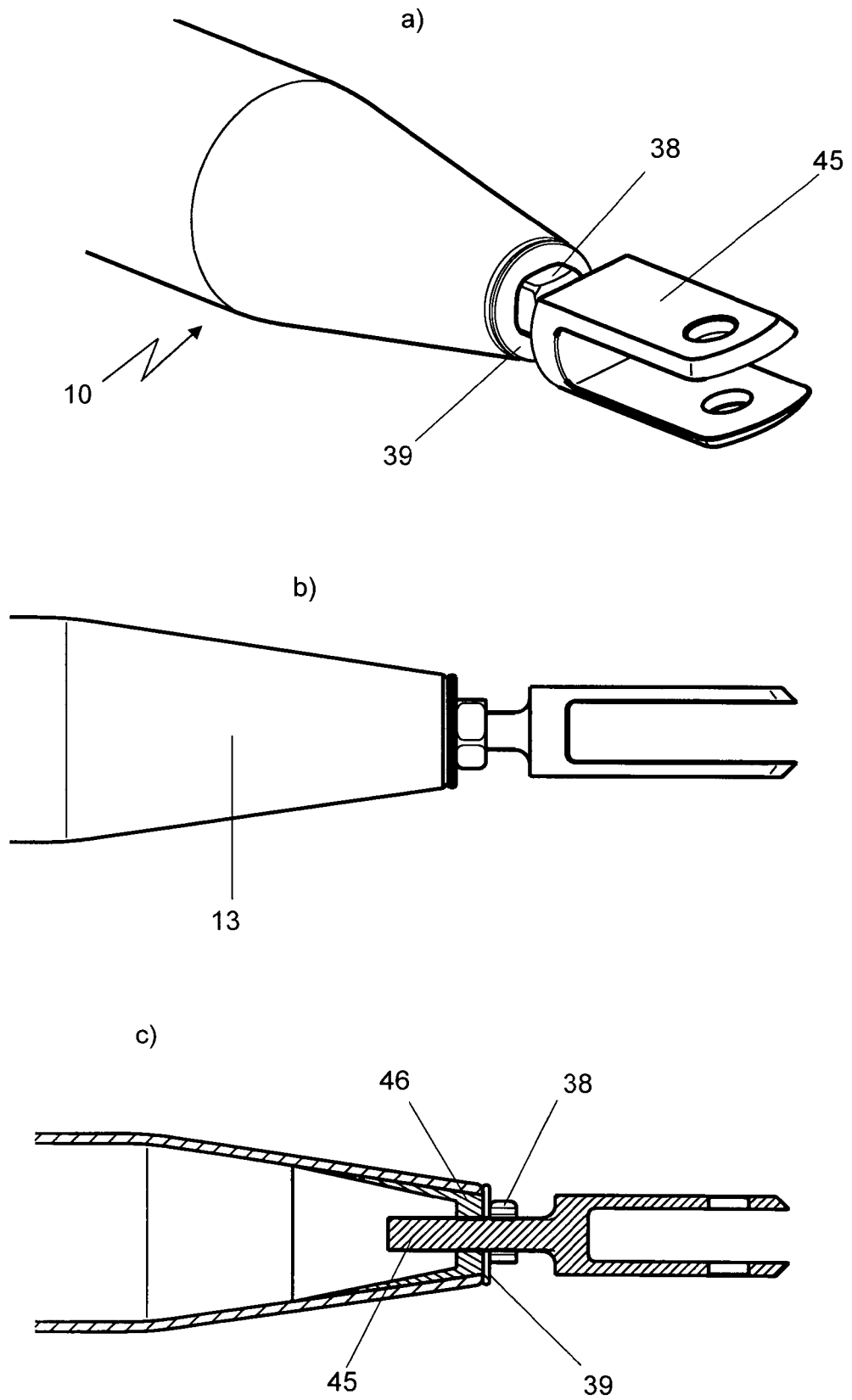


Fig. 40

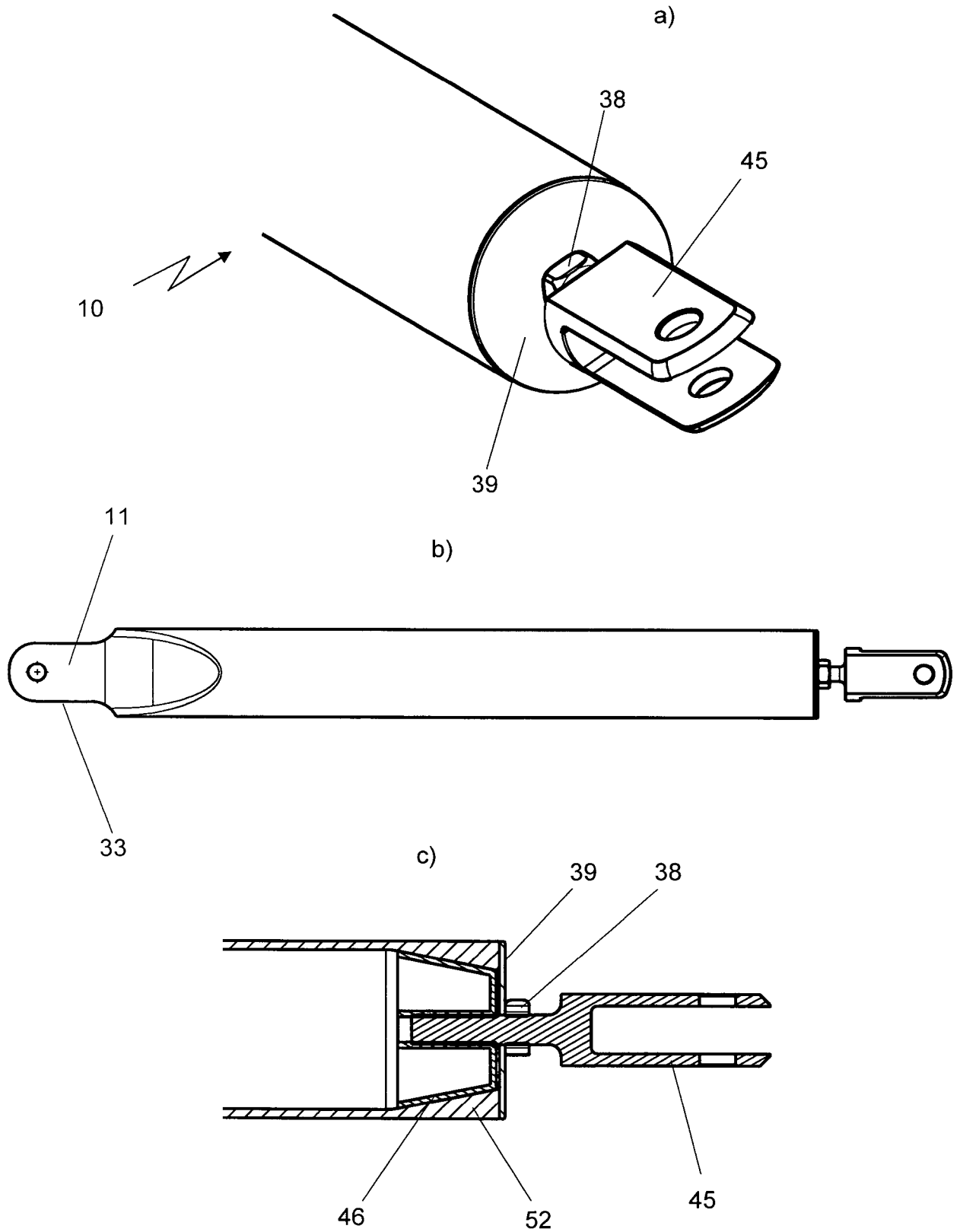


Fig. 41

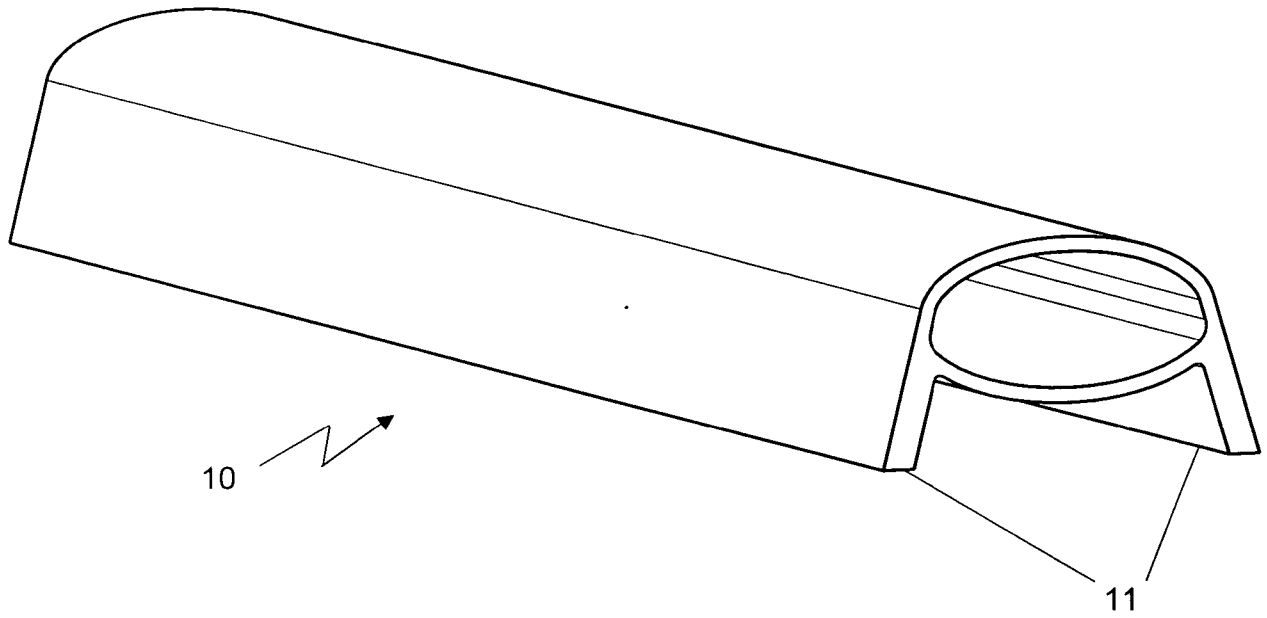


Fig. 42

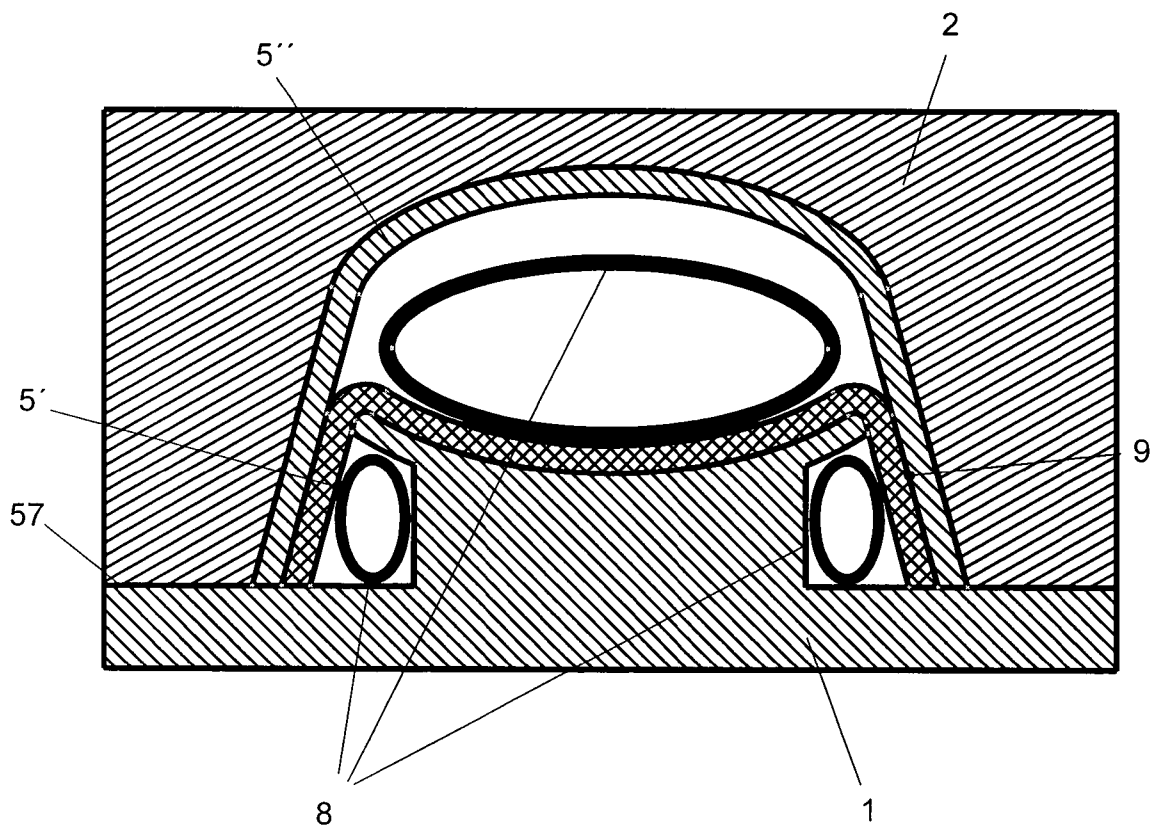


Fig. 45

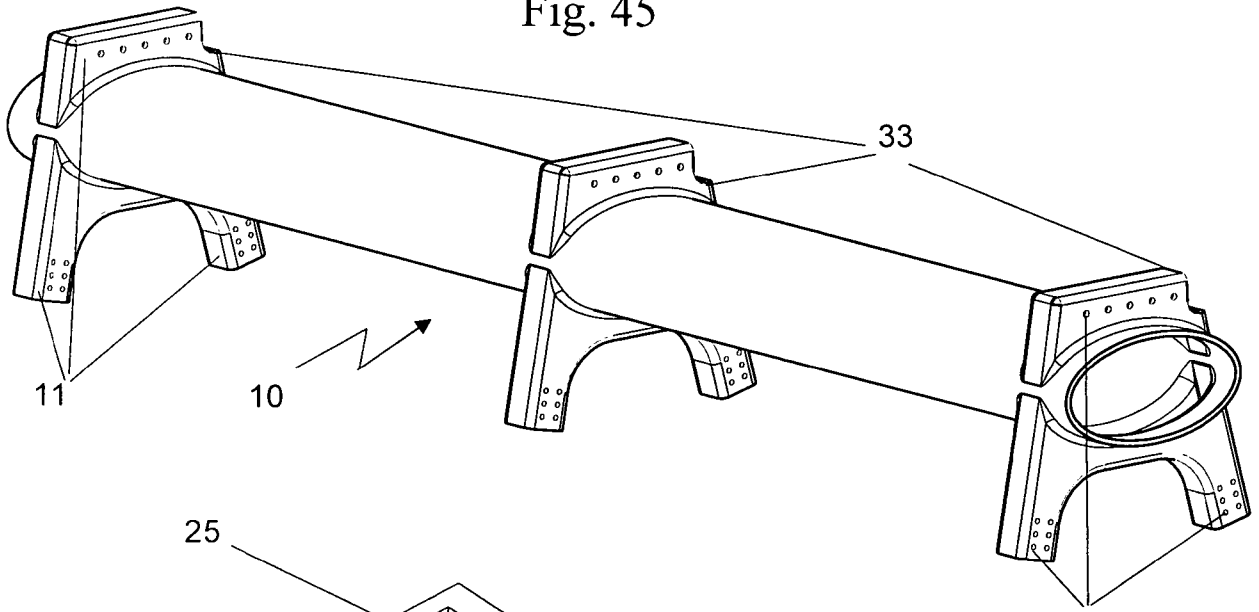


Fig. 46

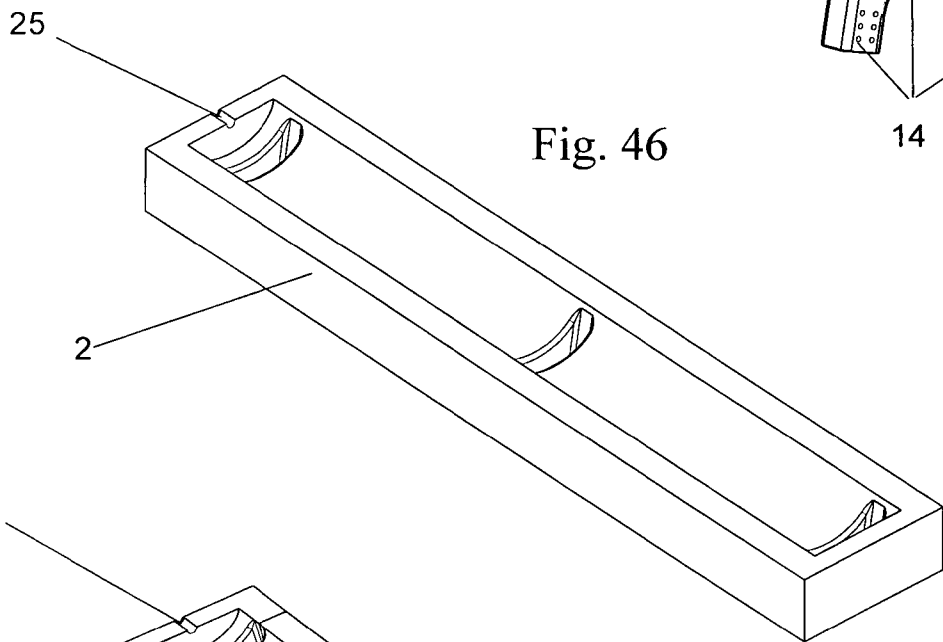


Fig. 47

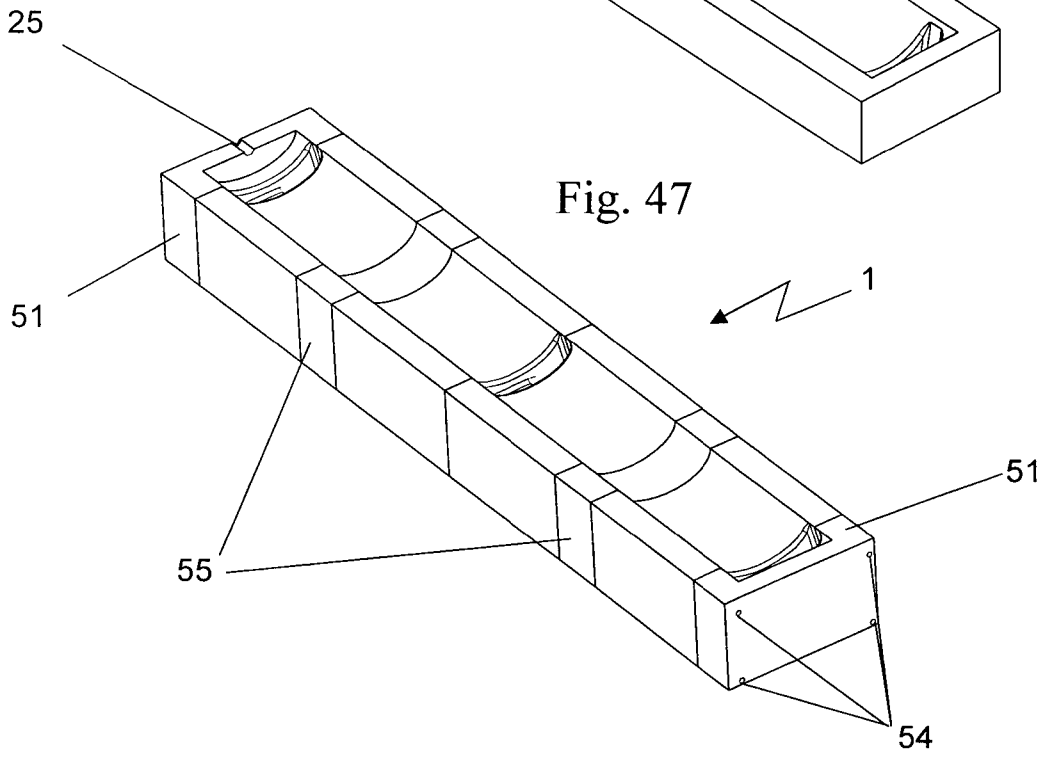


Fig. 48

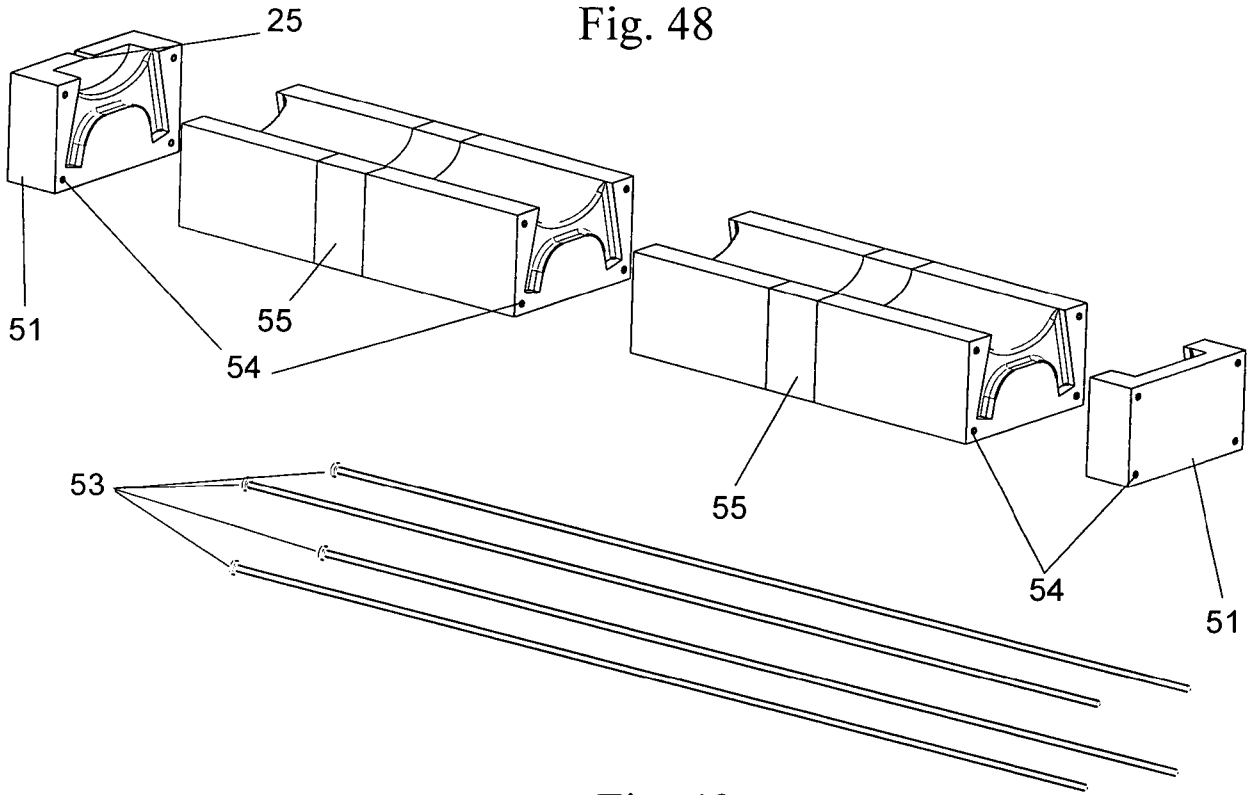


Fig. 49

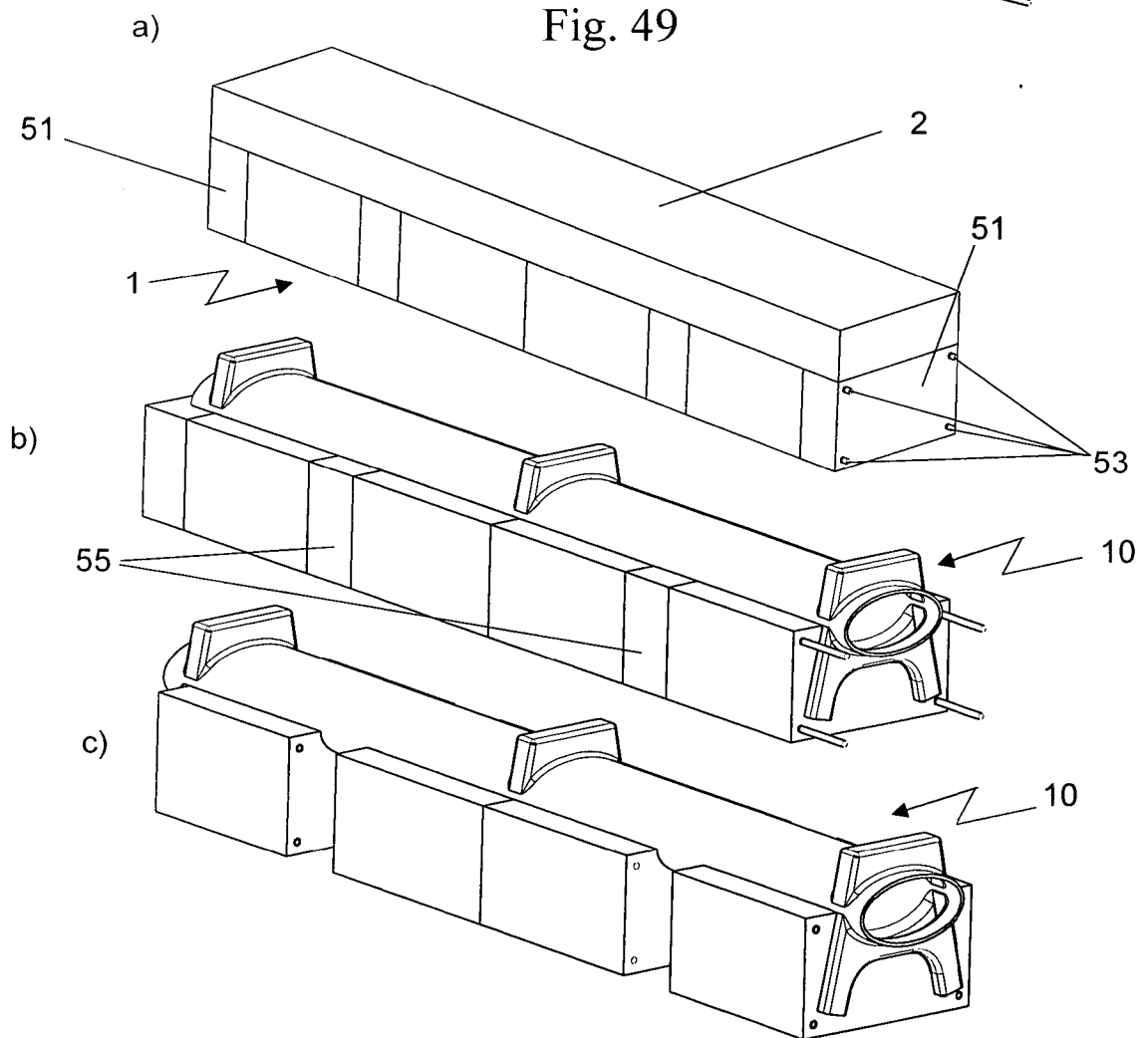


Fig. 50

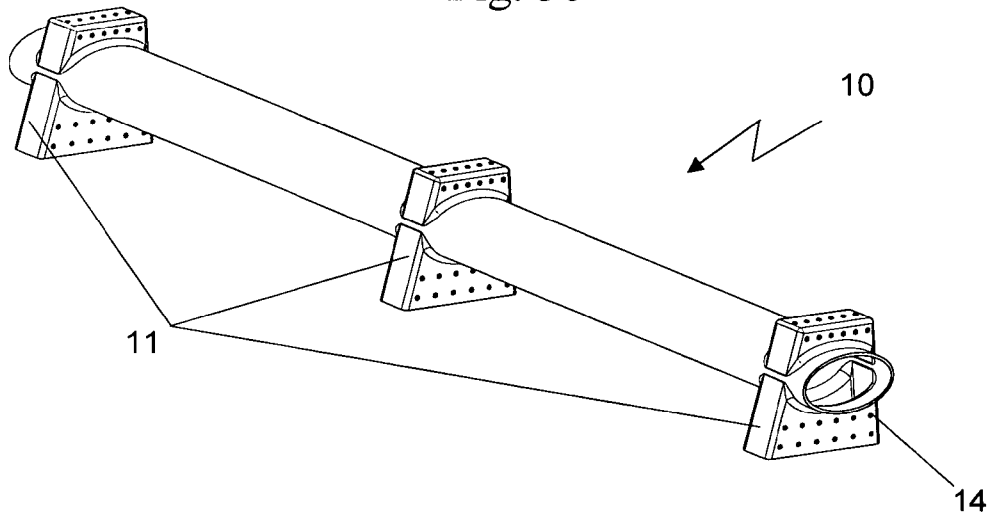


Fig. 51

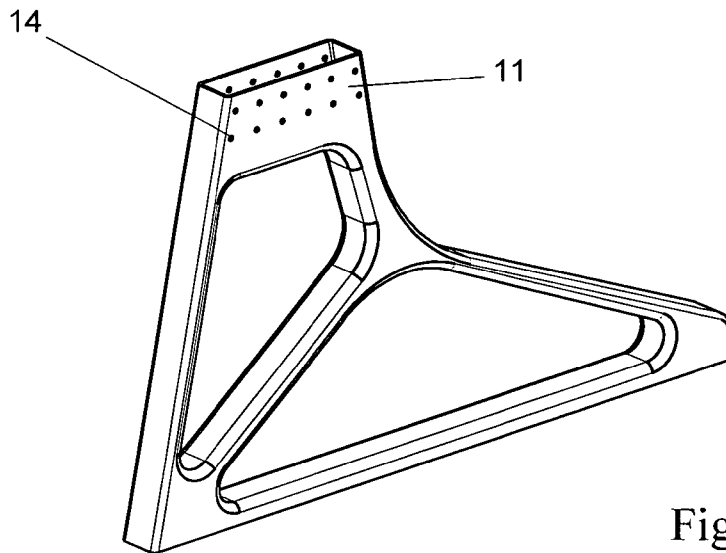


Fig. 52

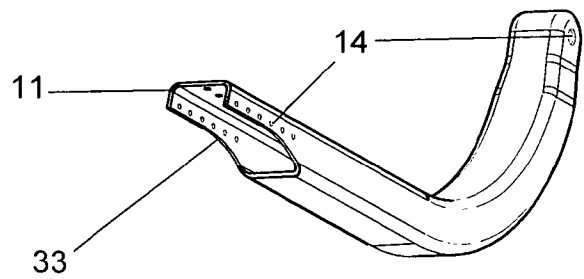


Fig. 53

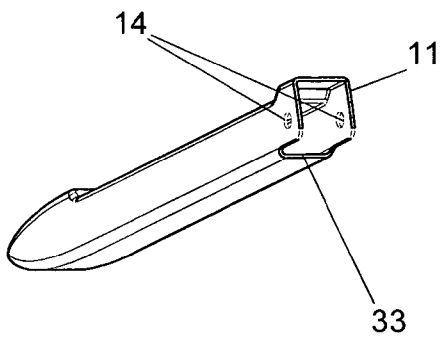


Fig. 54

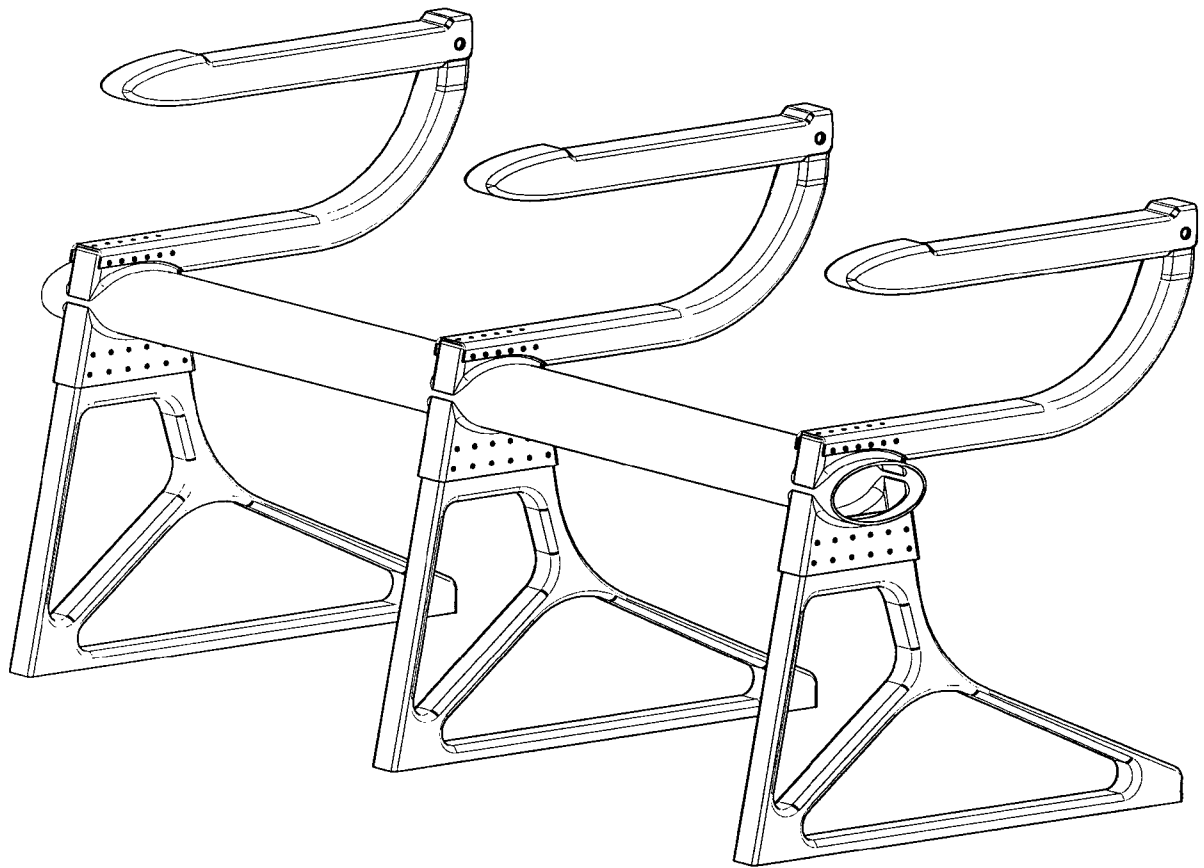


Fig. 55

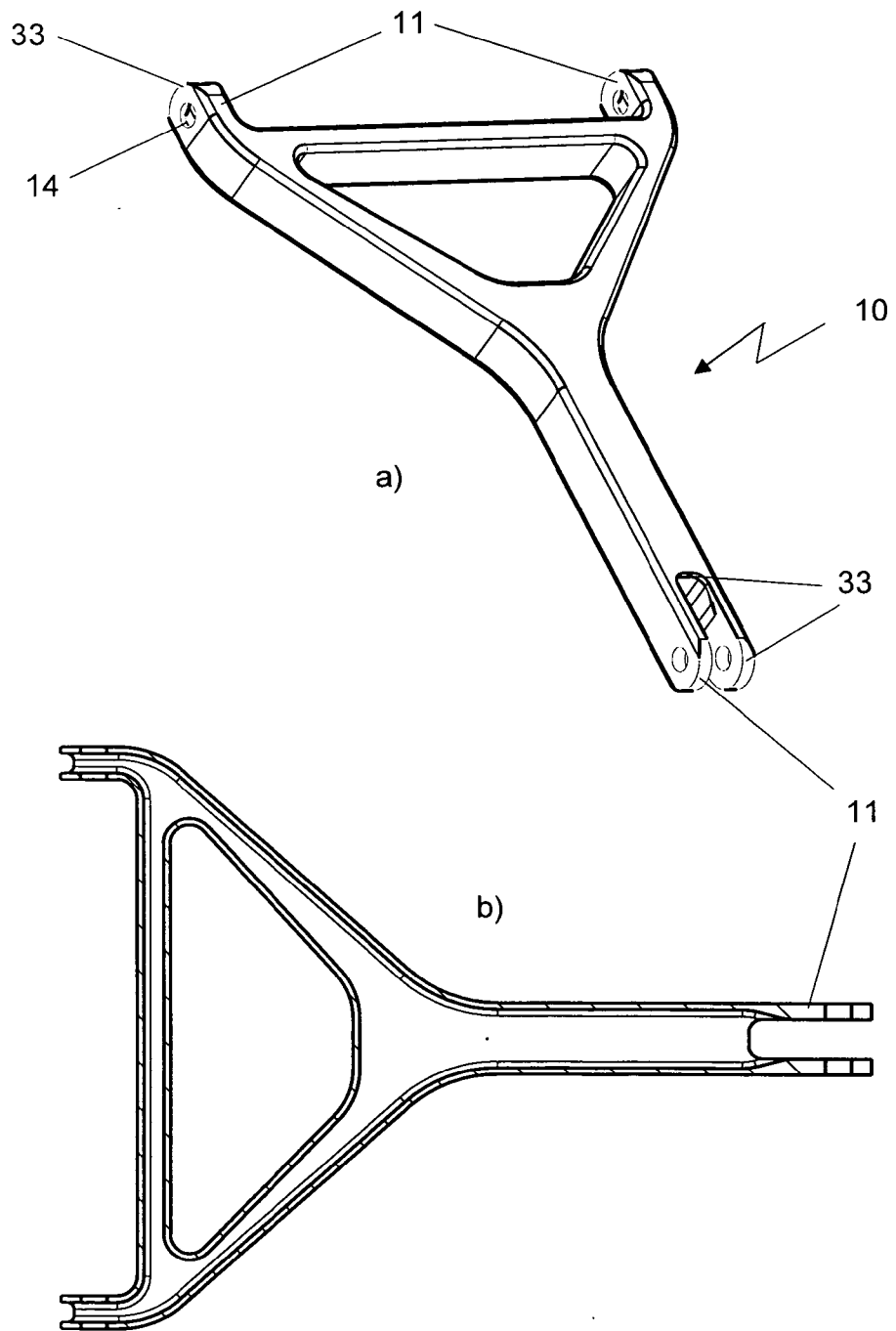


Fig. 56

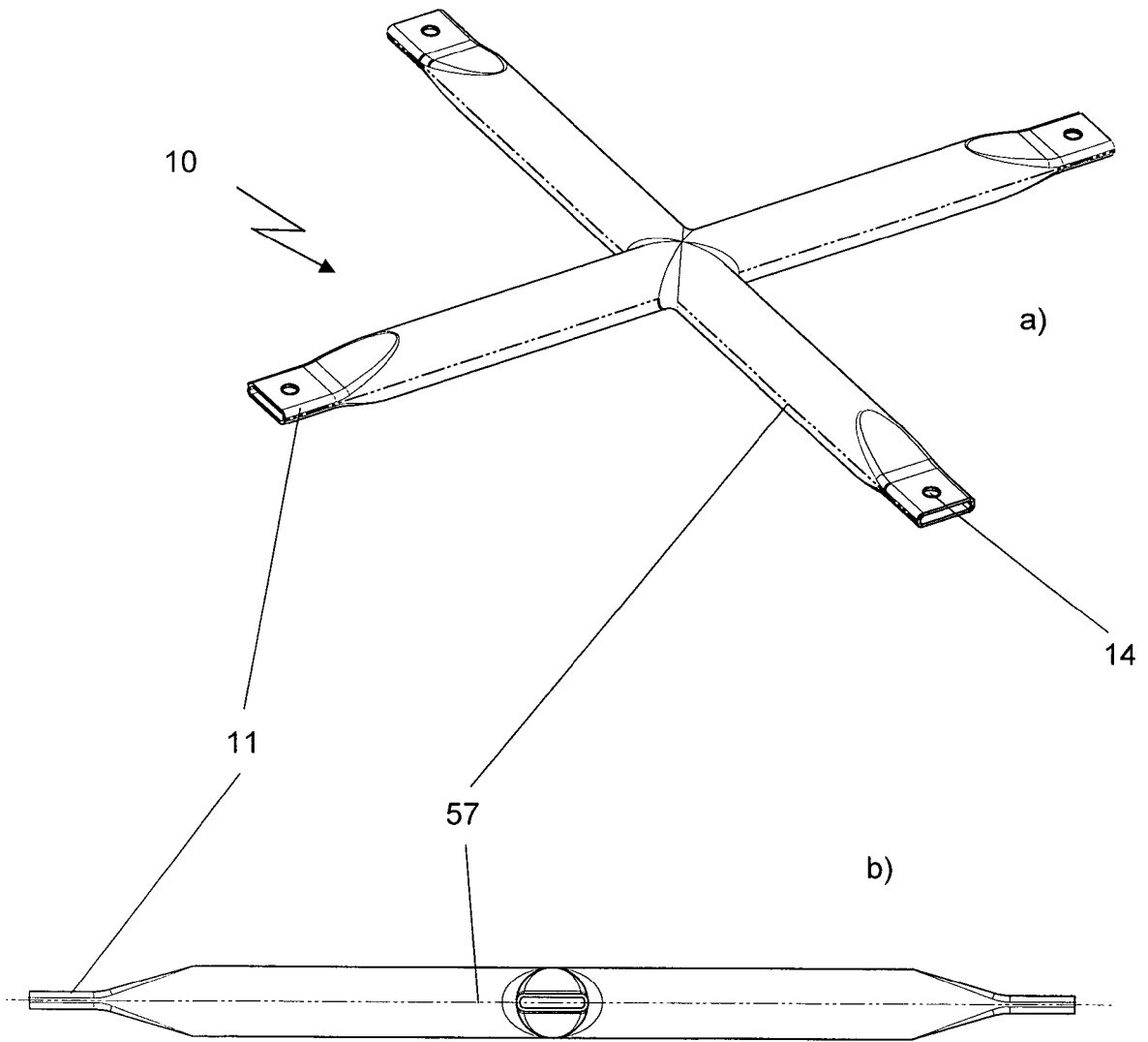


Fig. 57

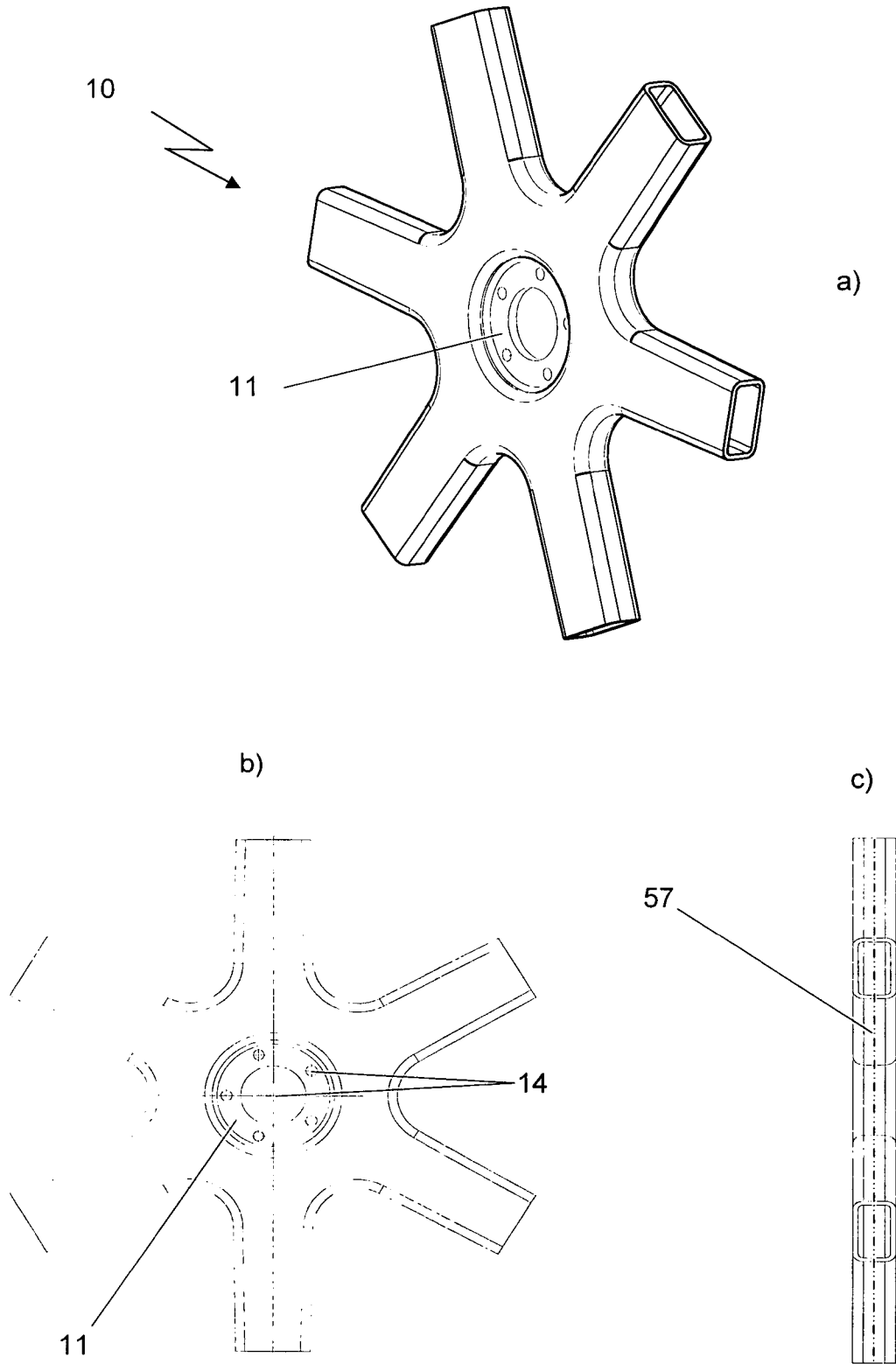


Fig. 58

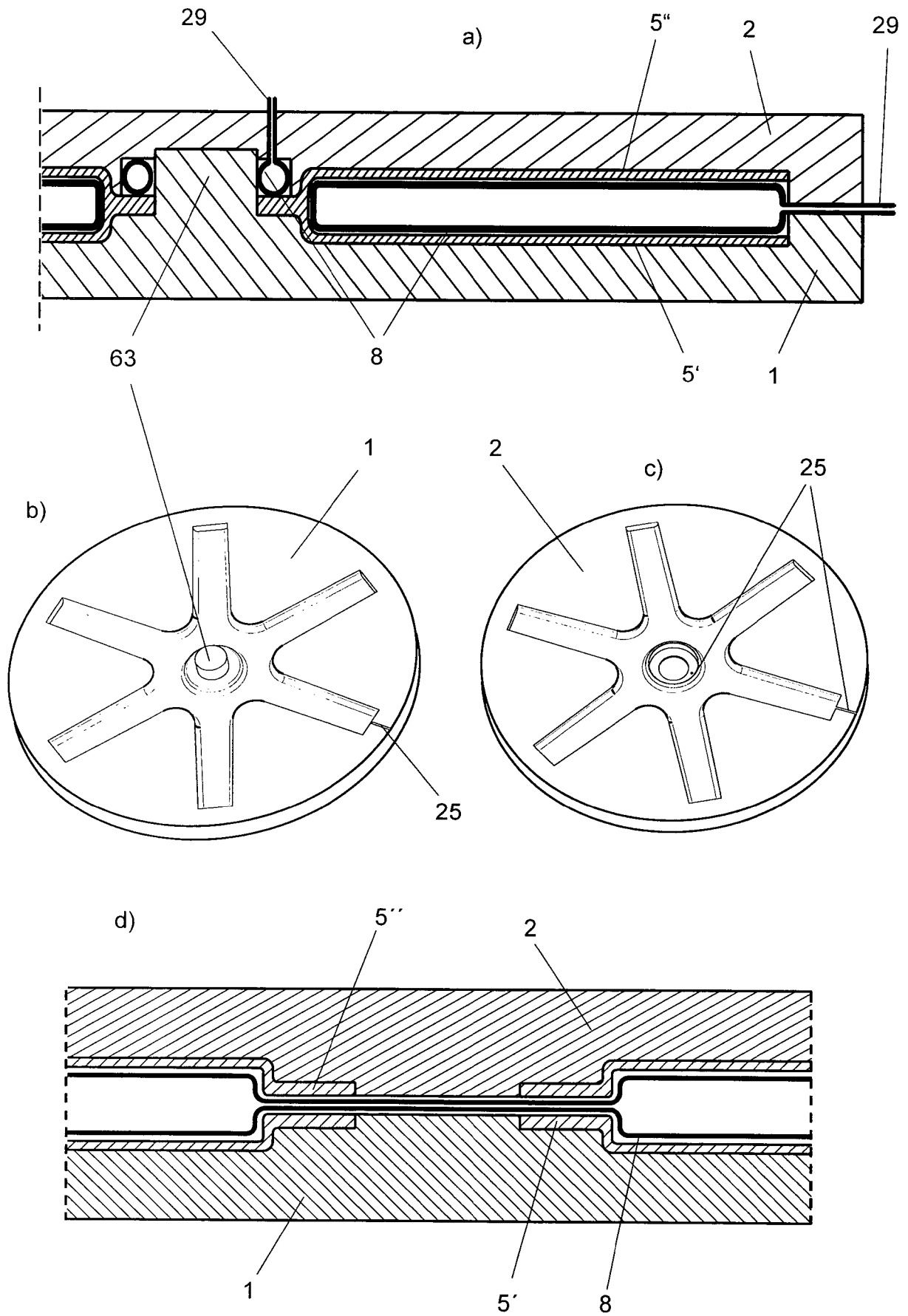


Fig. 59

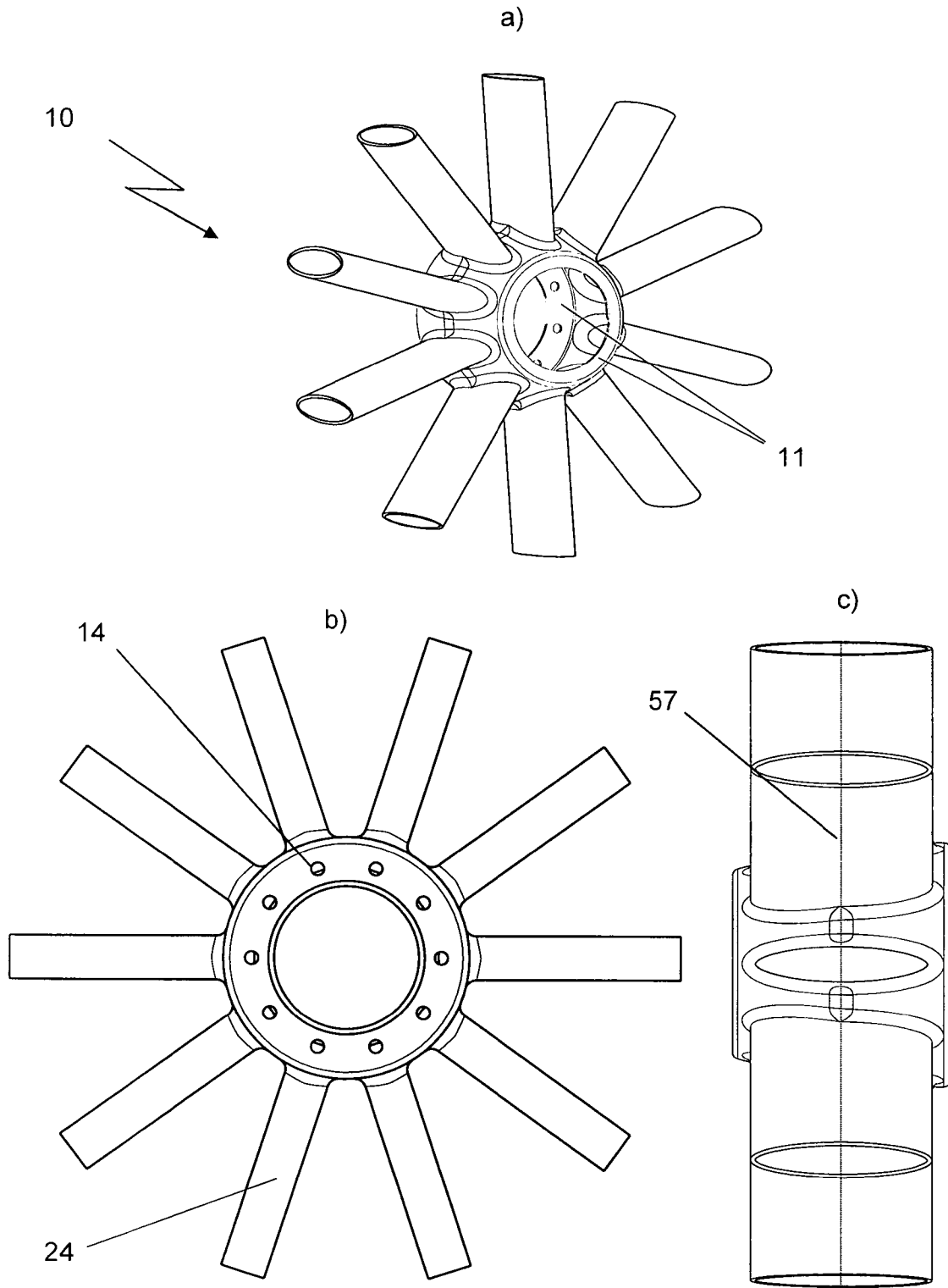


Fig. 60

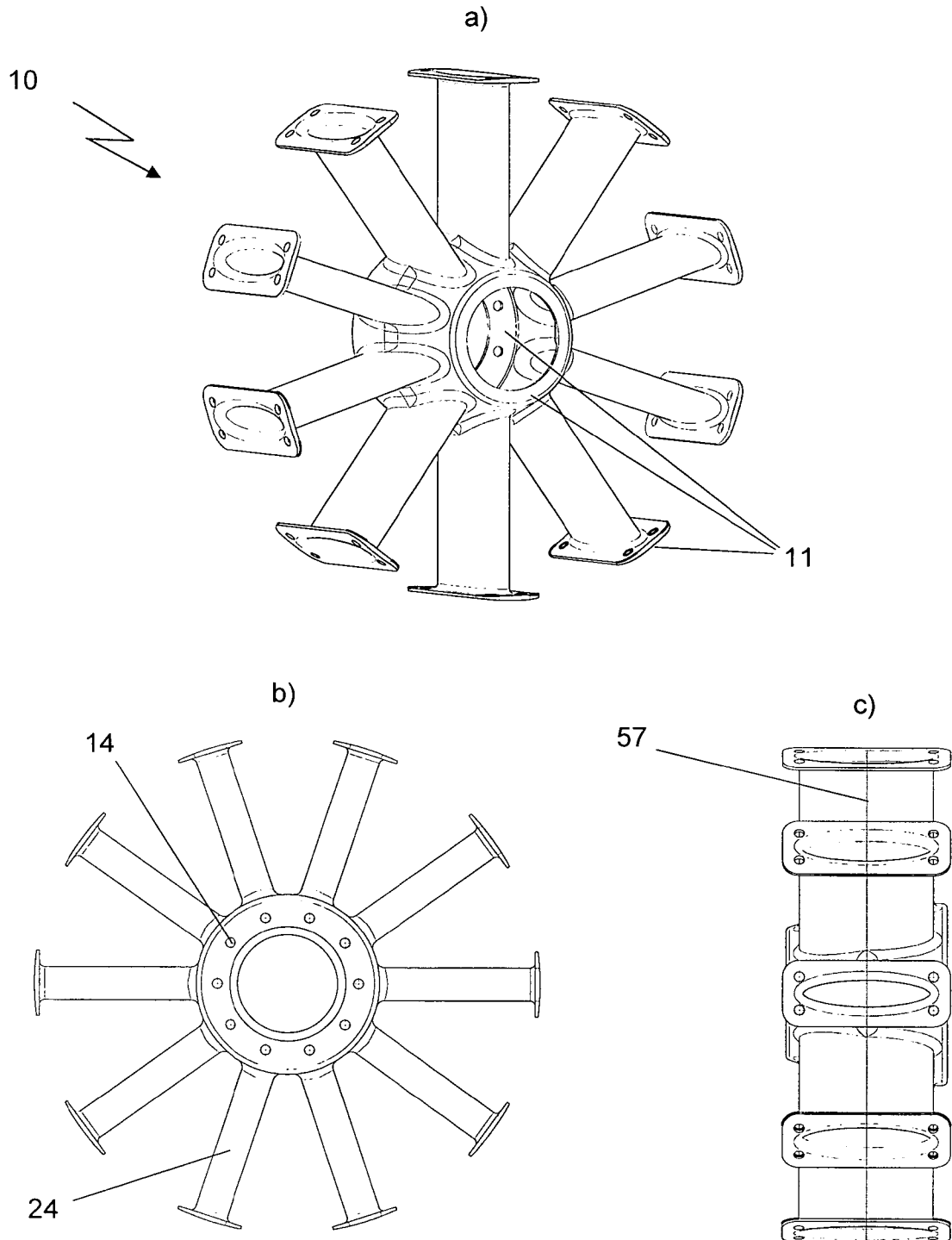


Fig. 61

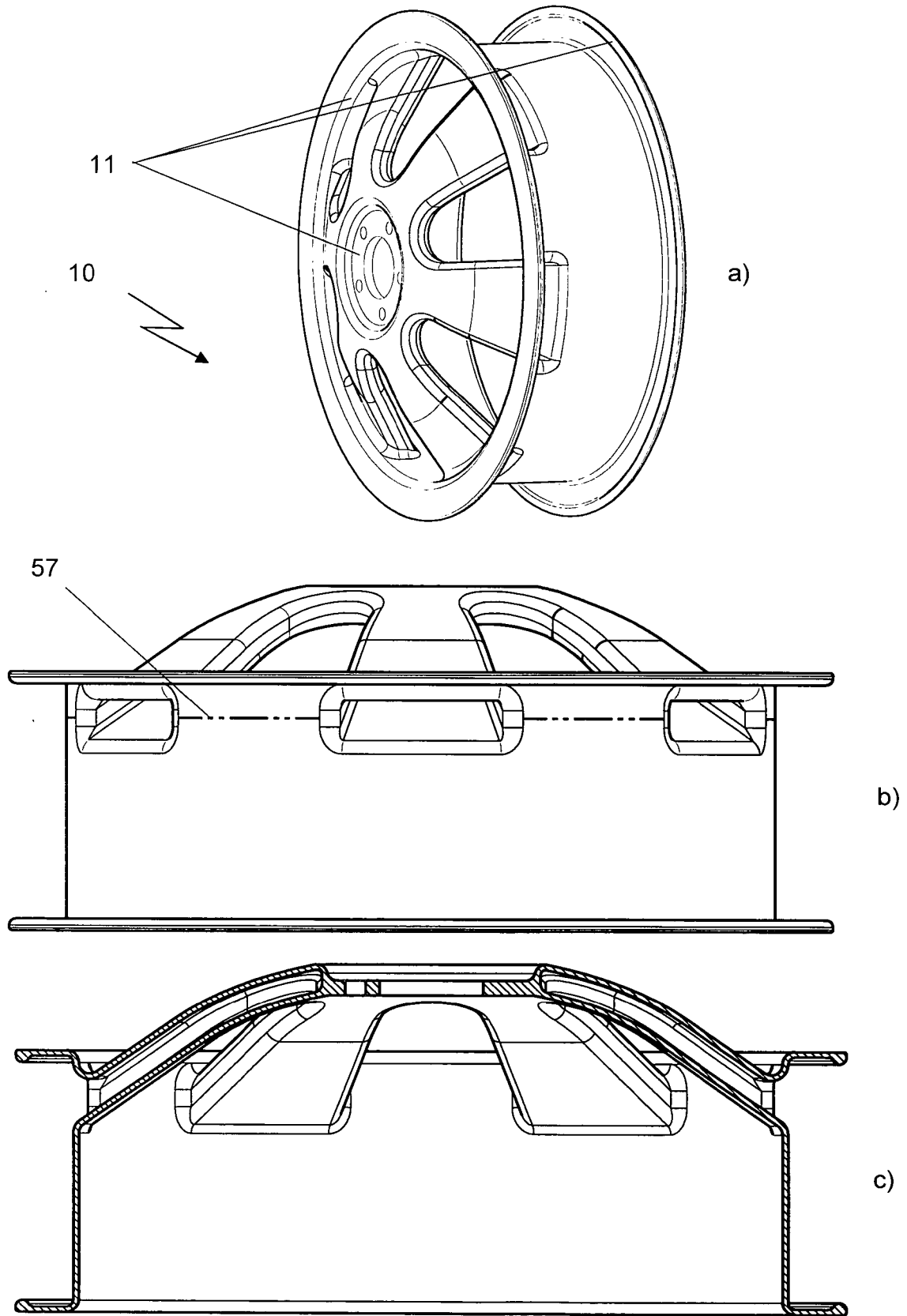


Fig. 62

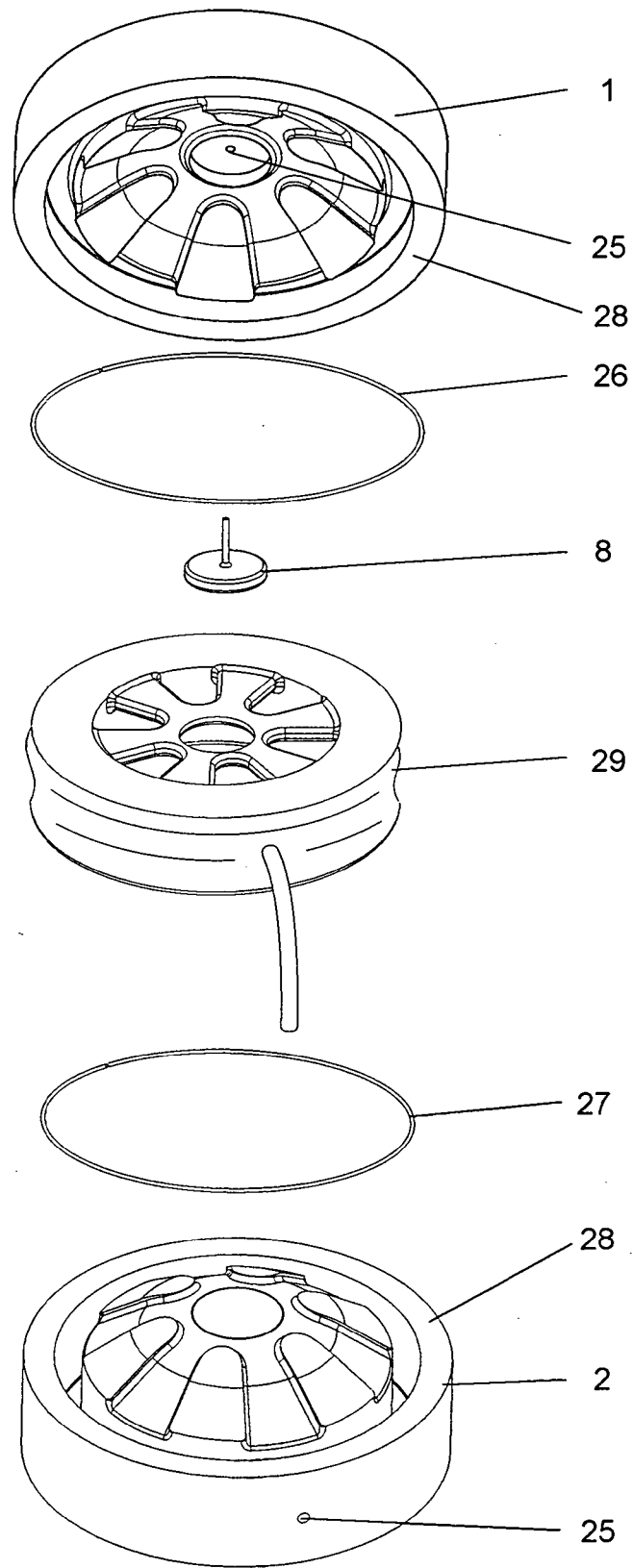


Fig. 63

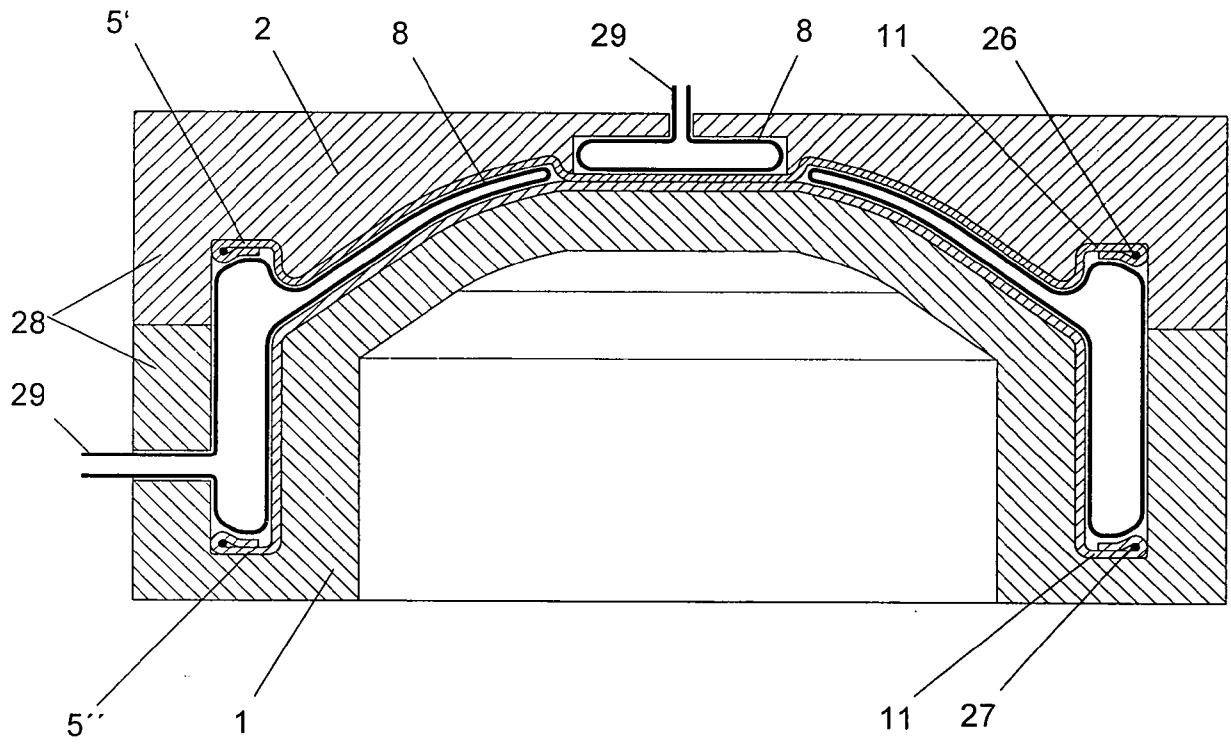


Fig. 64

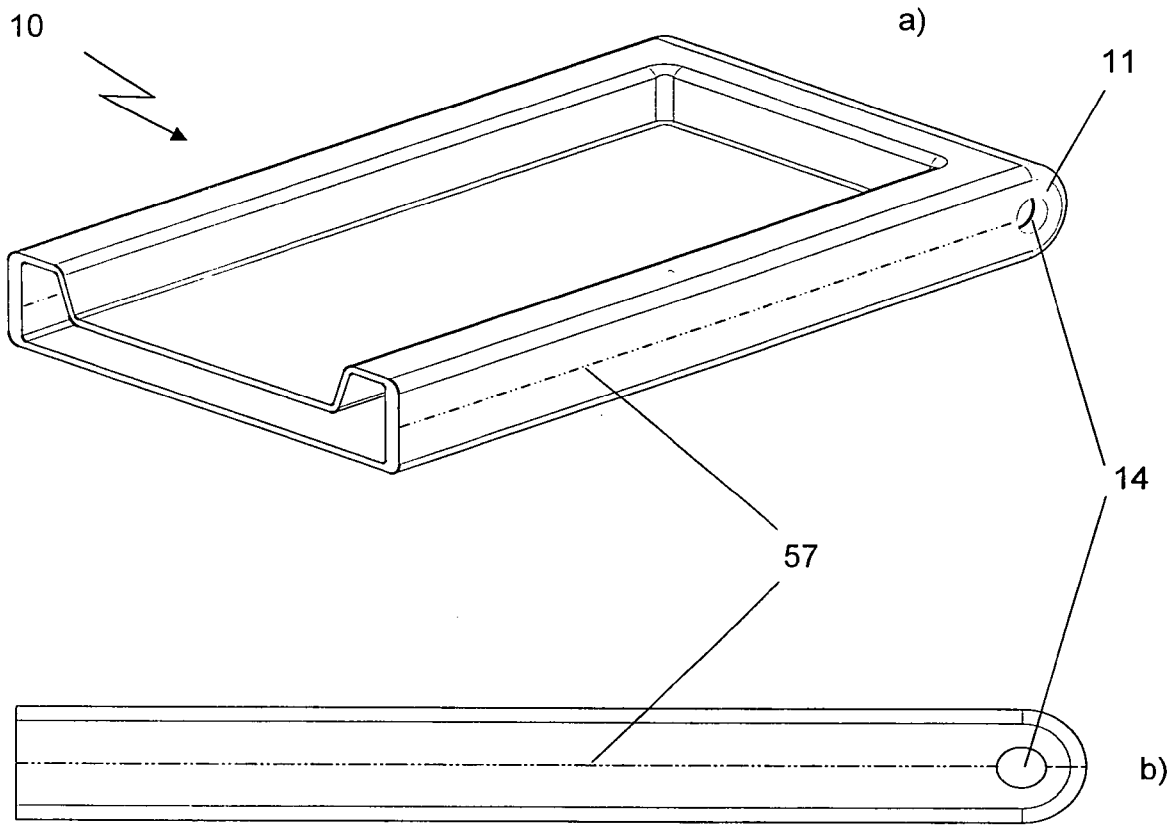


Fig. 65

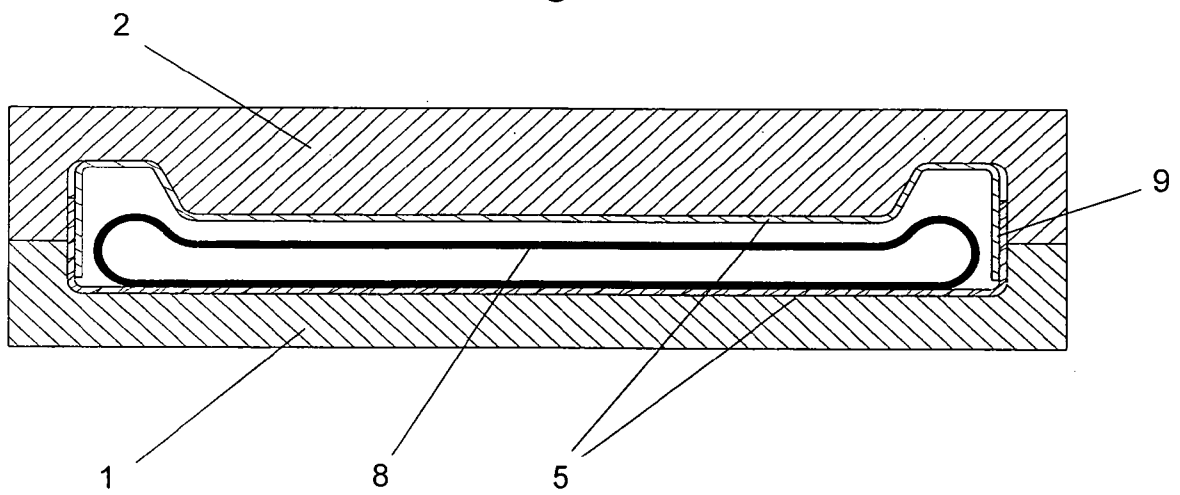


Fig. 66

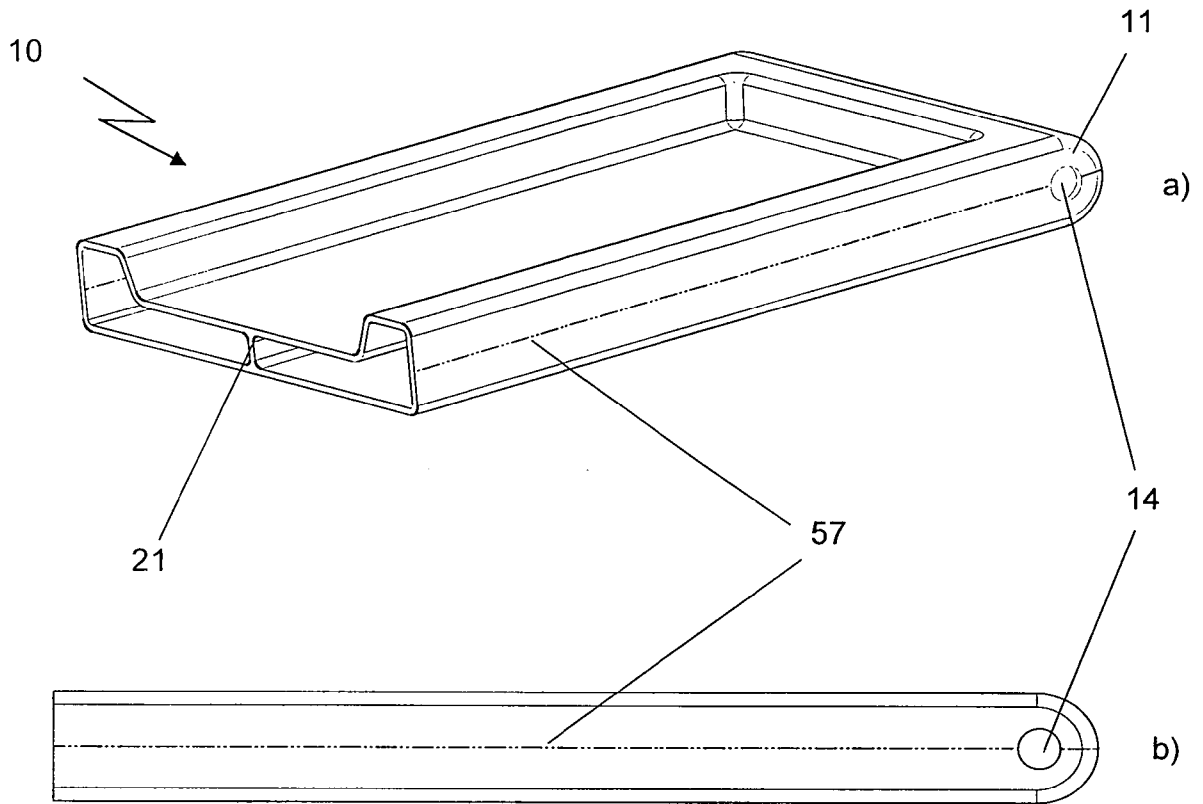


Fig. 67

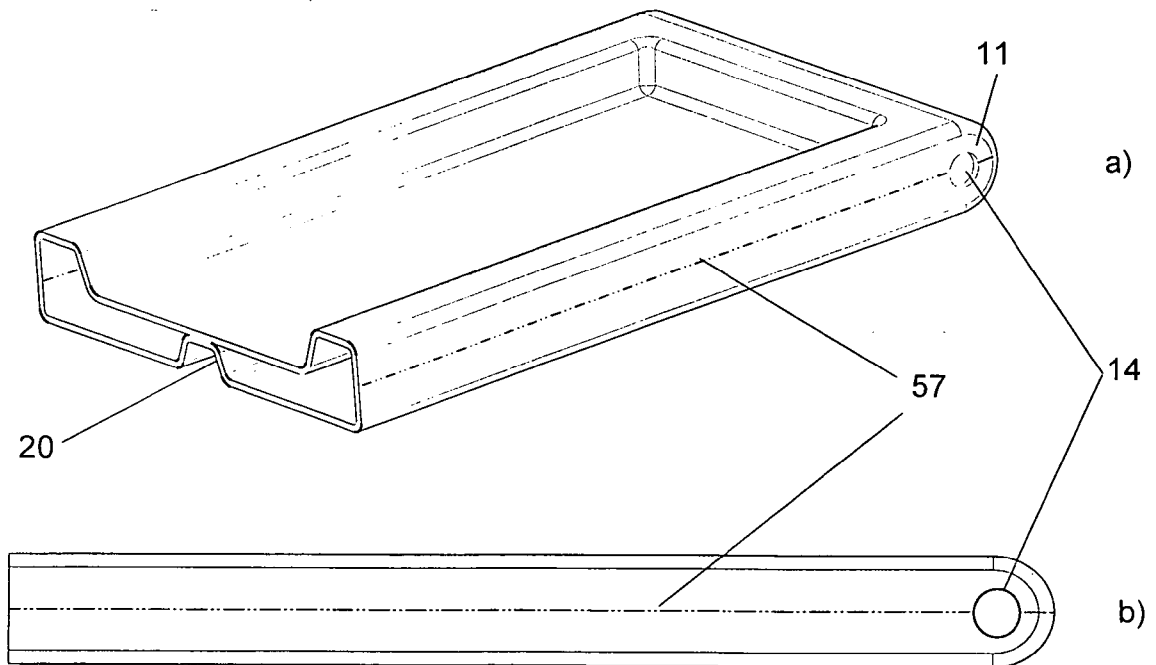


Fig. 68

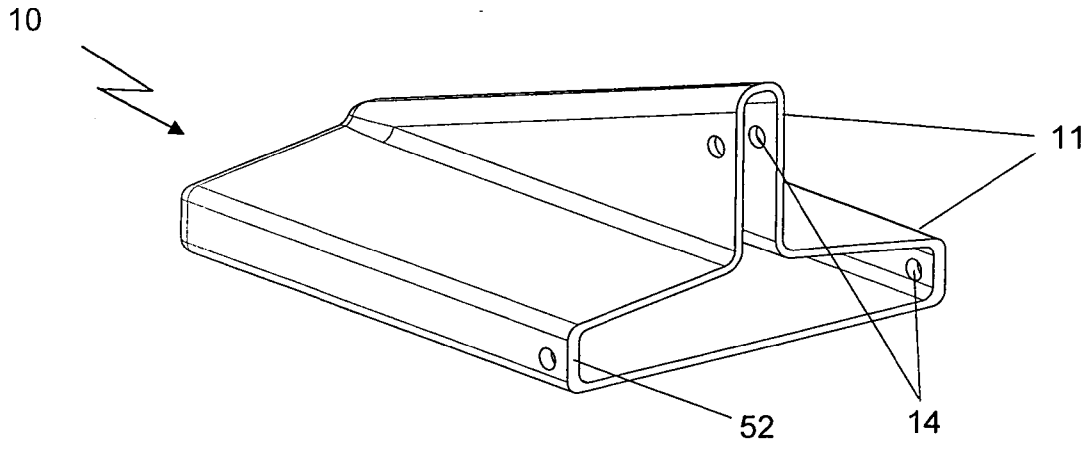


Fig. 69

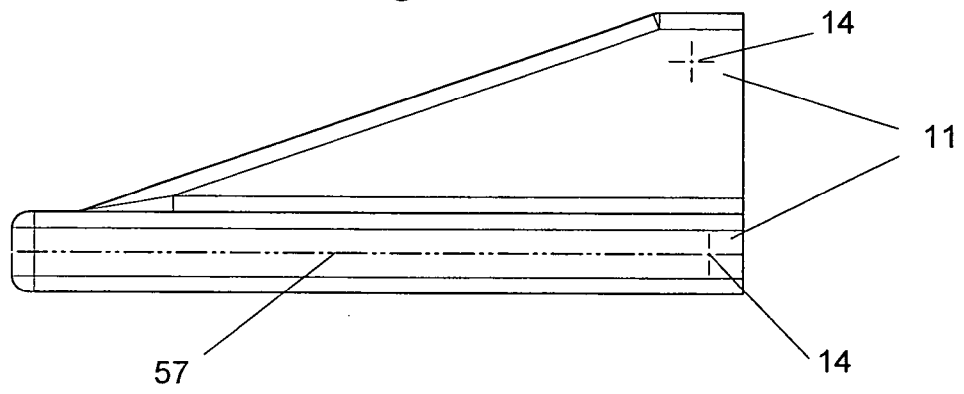


Fig. 70

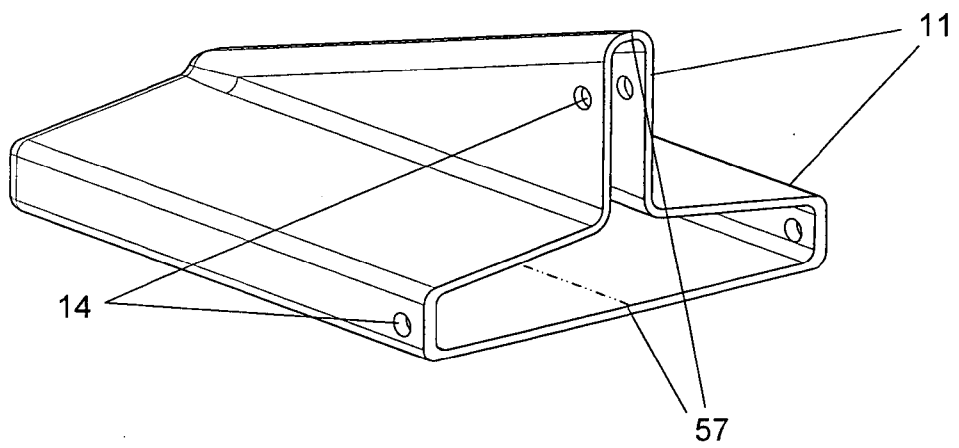


Fig. 71

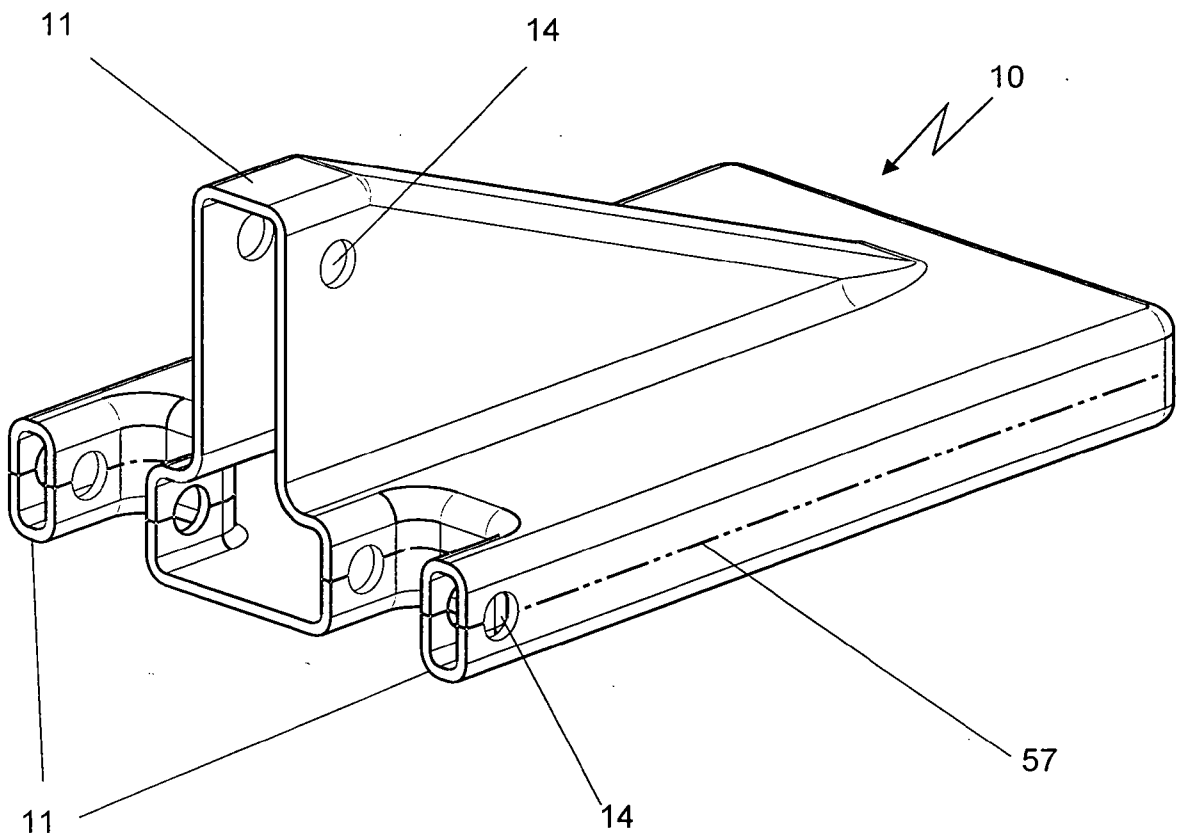
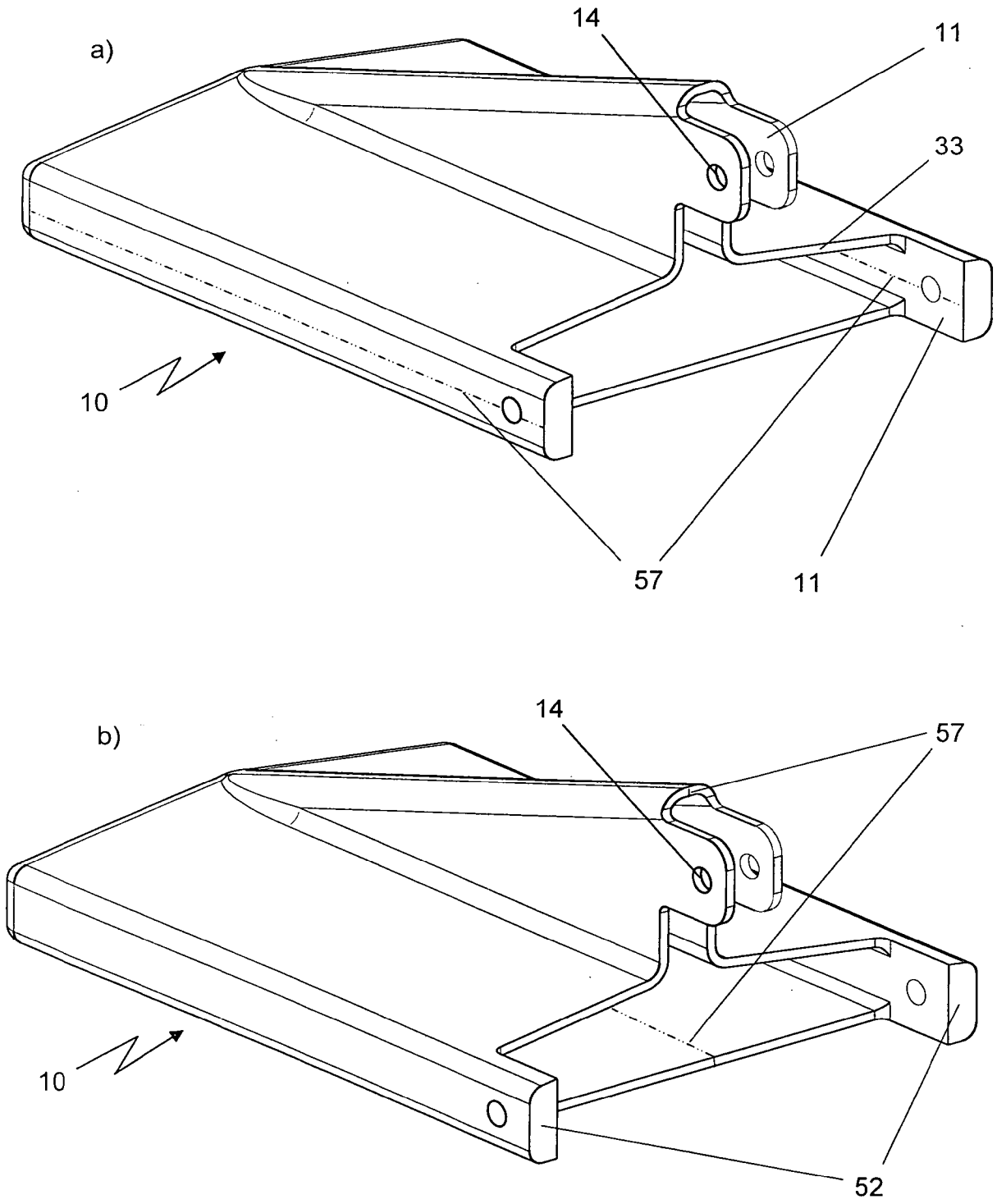


Fig. 72



47/61

Fig. 73

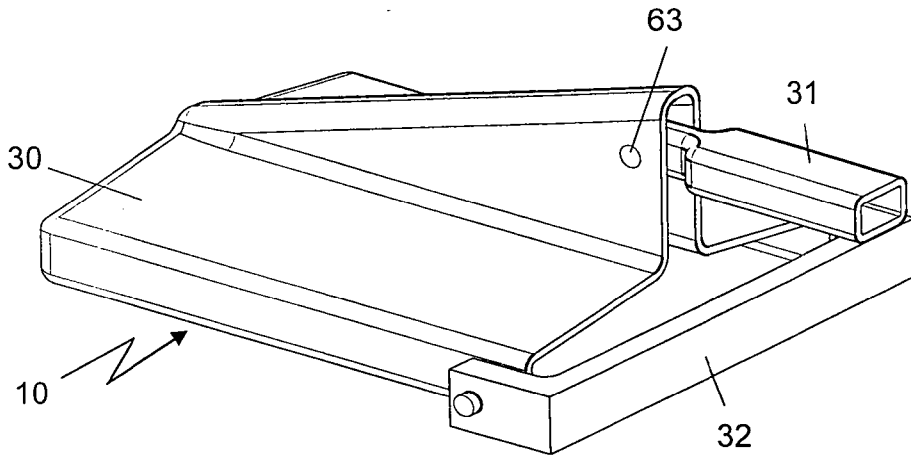


Fig. 74

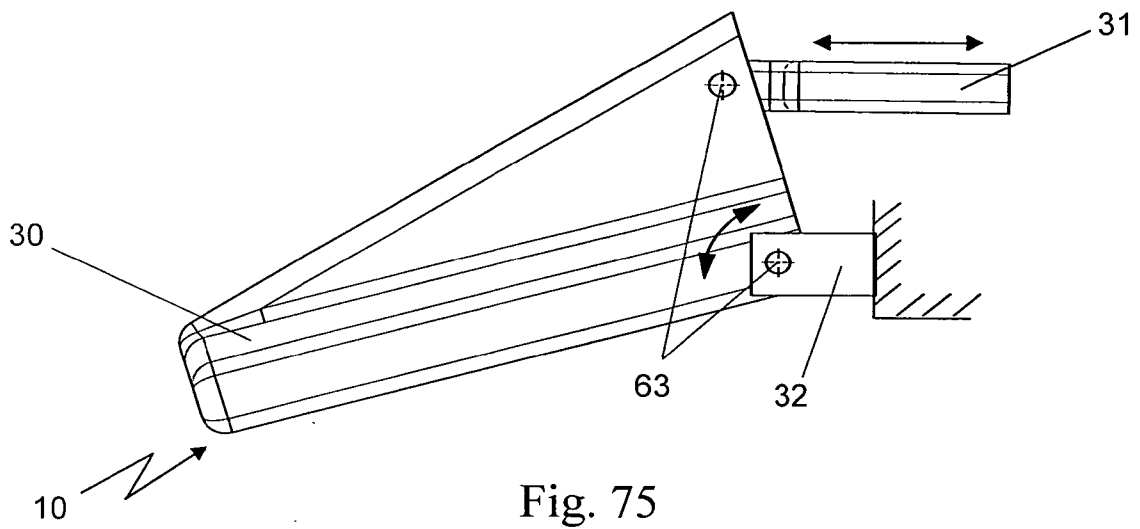


Fig. 75

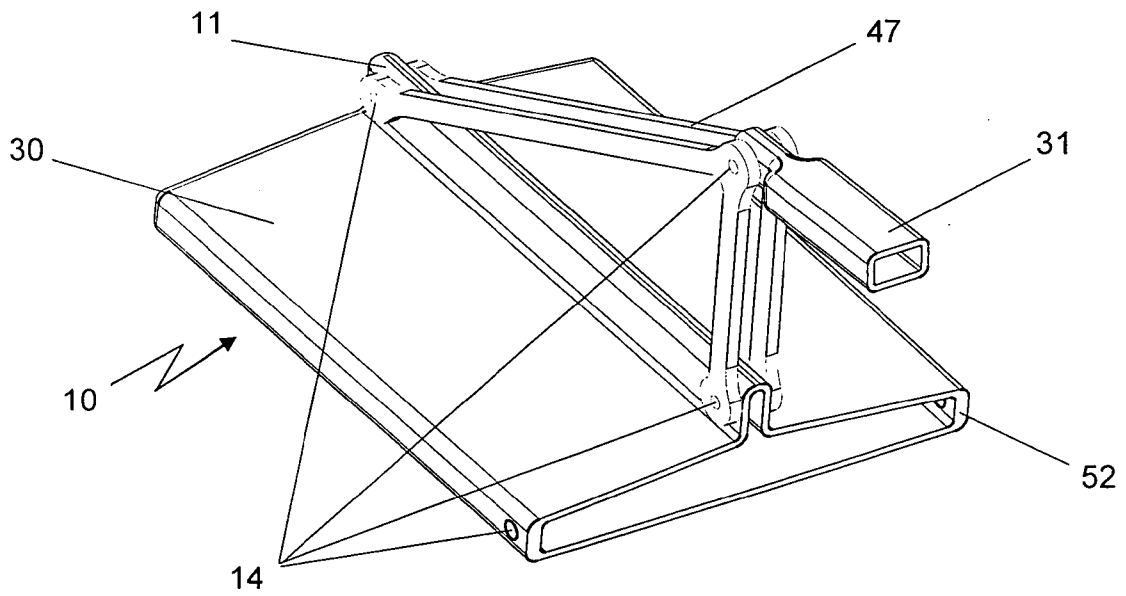


Fig. 76

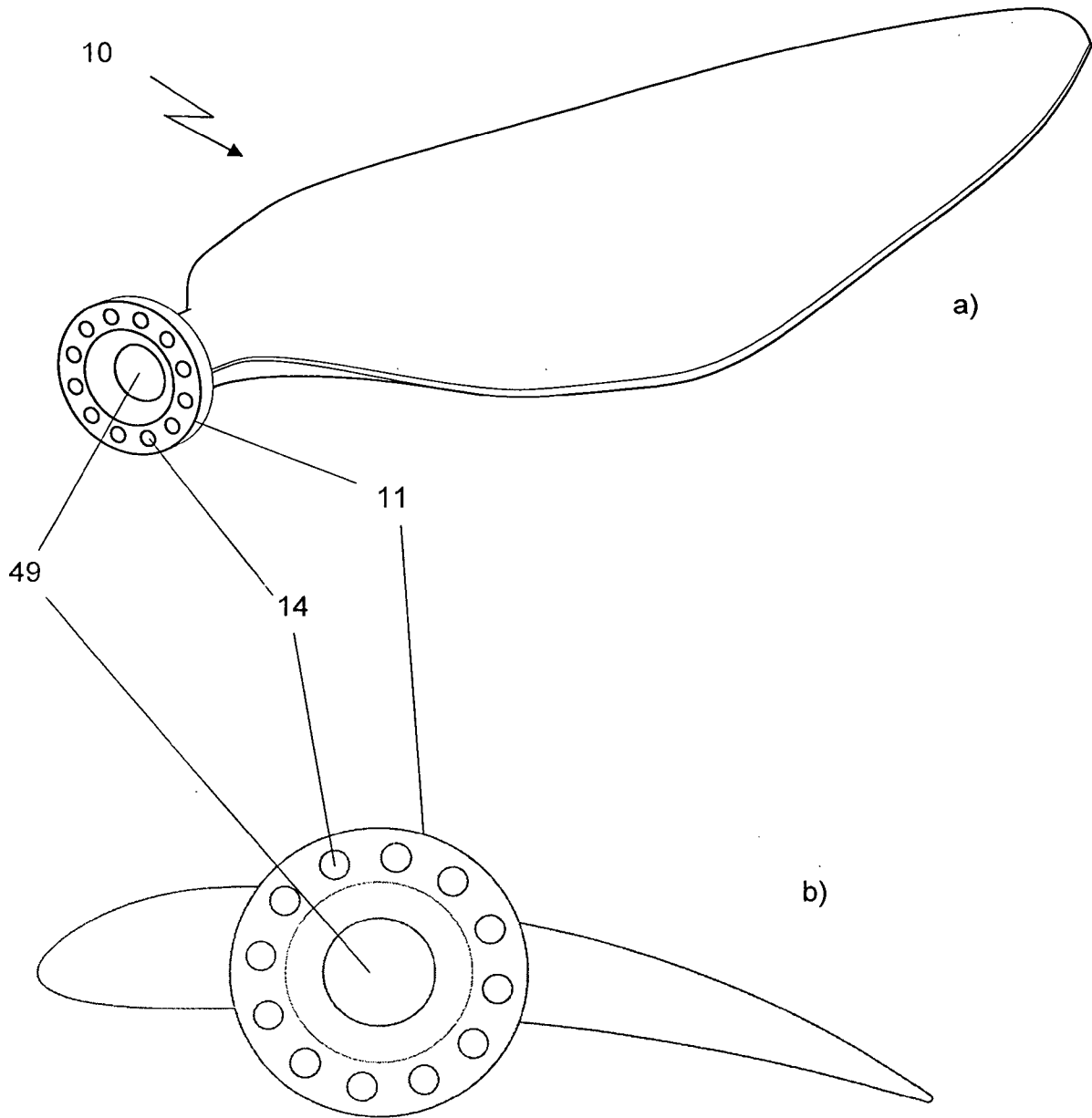


Fig. 77

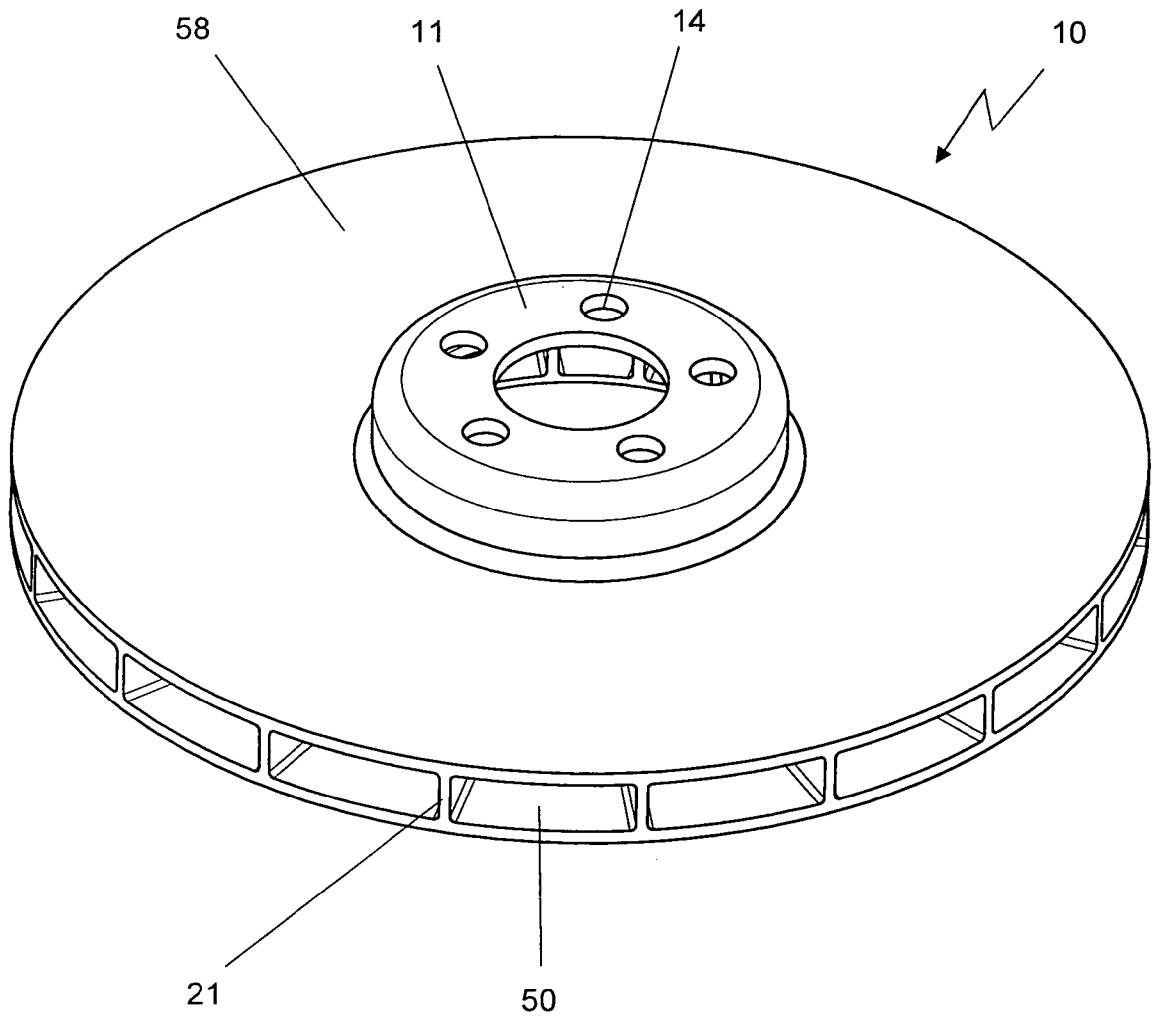
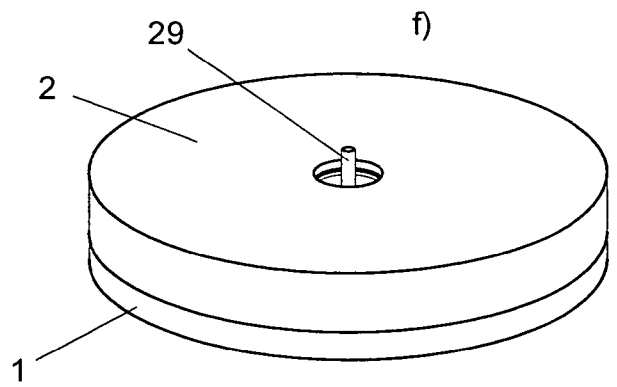
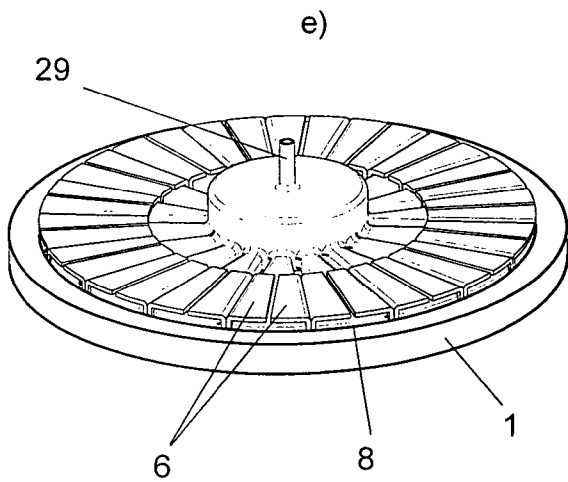
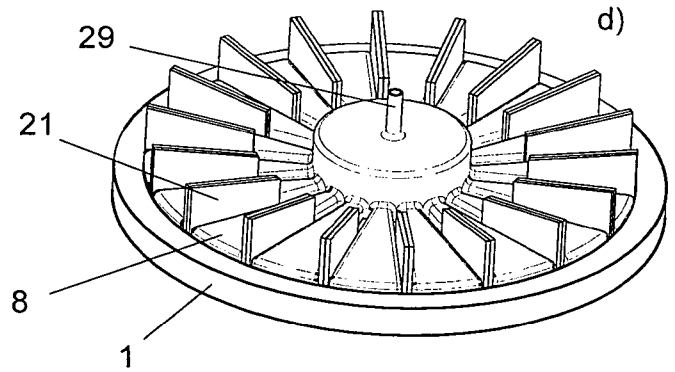
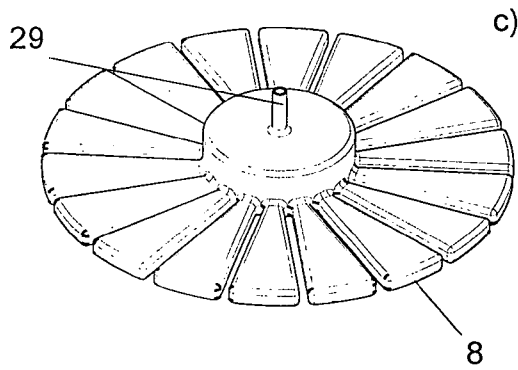
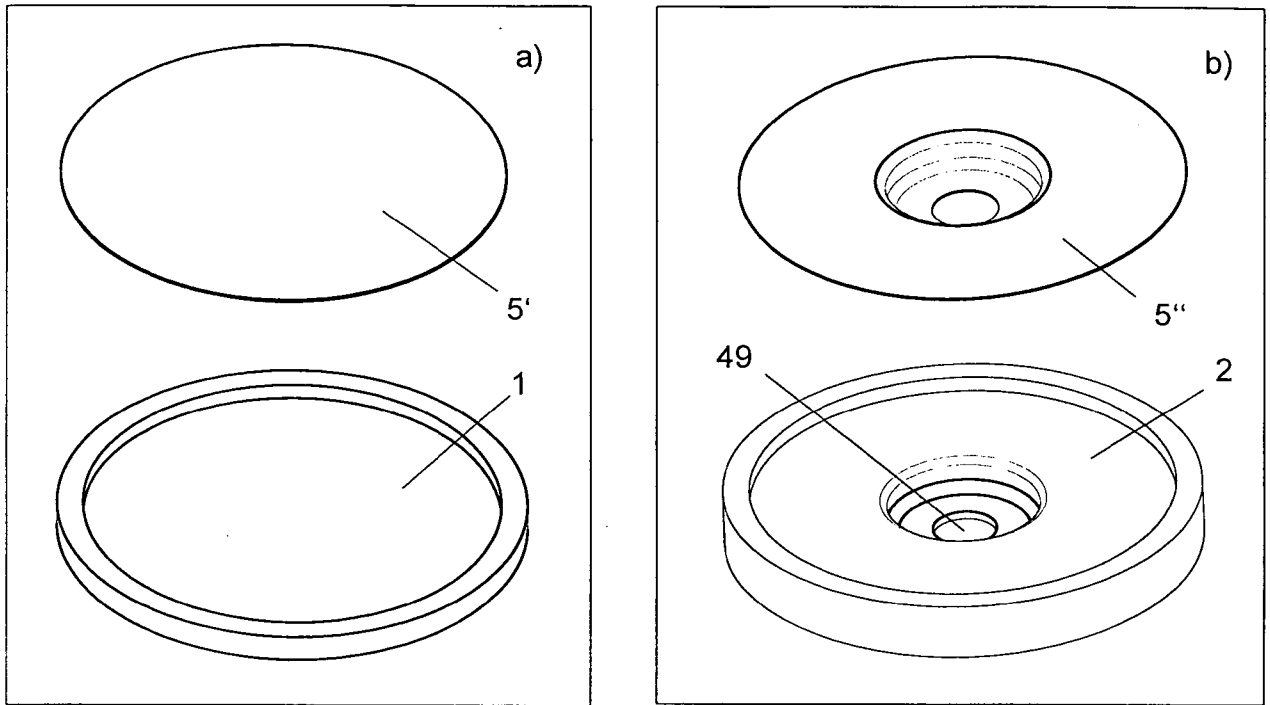


Fig. 78



51/61

Fig. 79

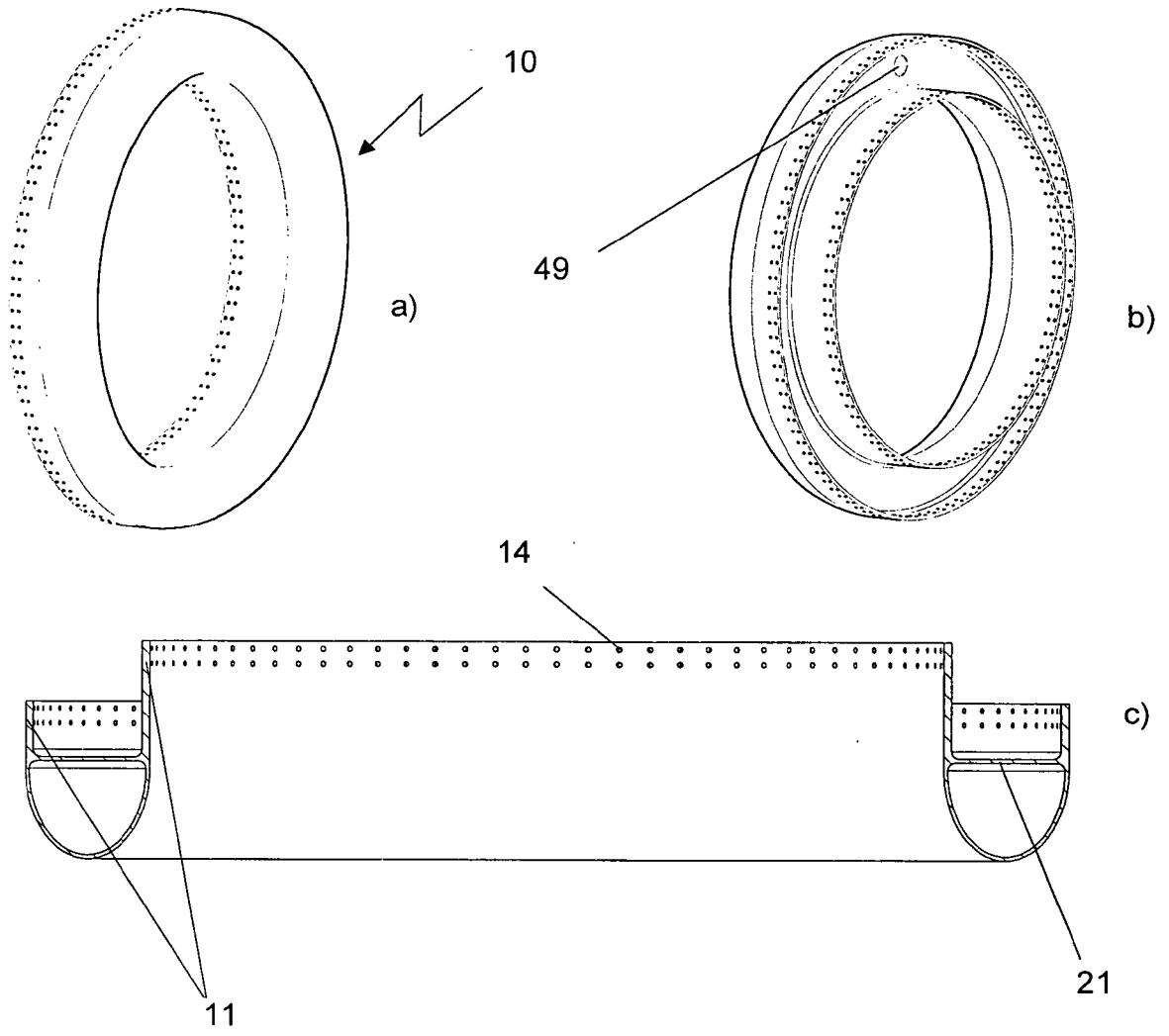
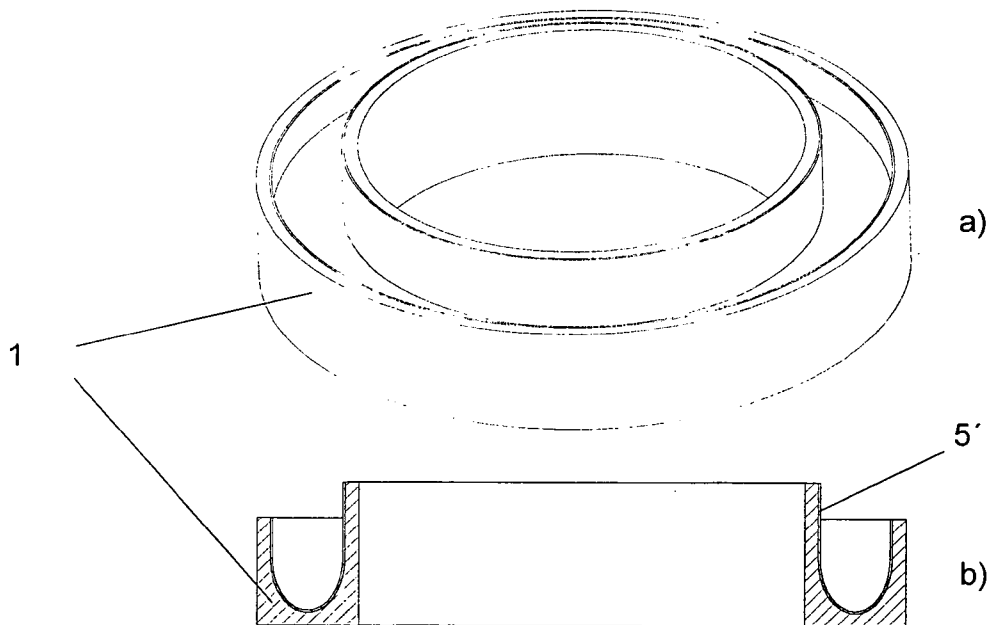


Fig. 80



52/61
Fig. 81

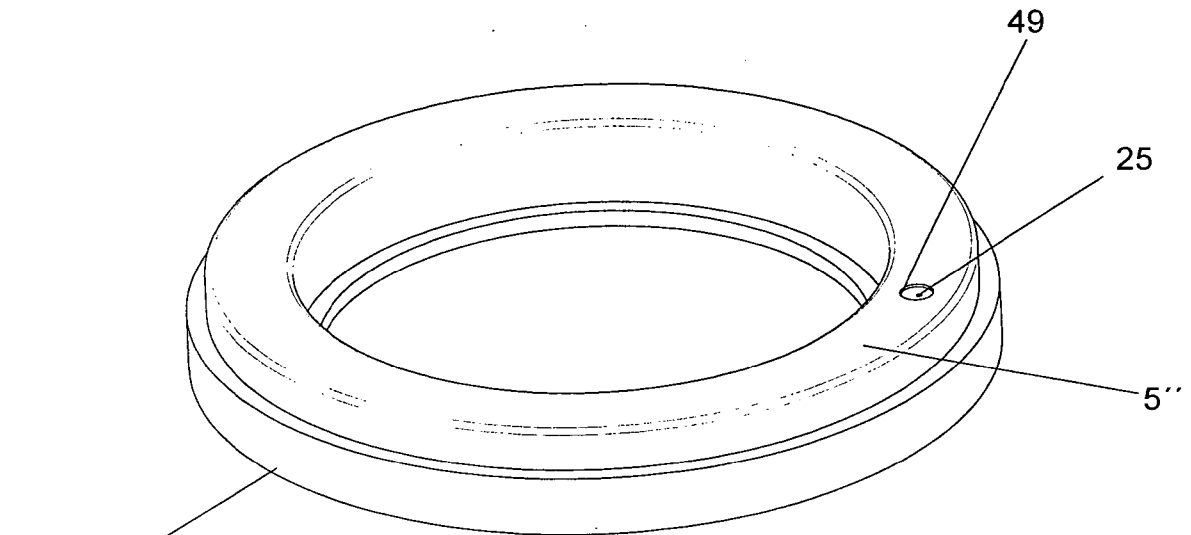


Fig. 82

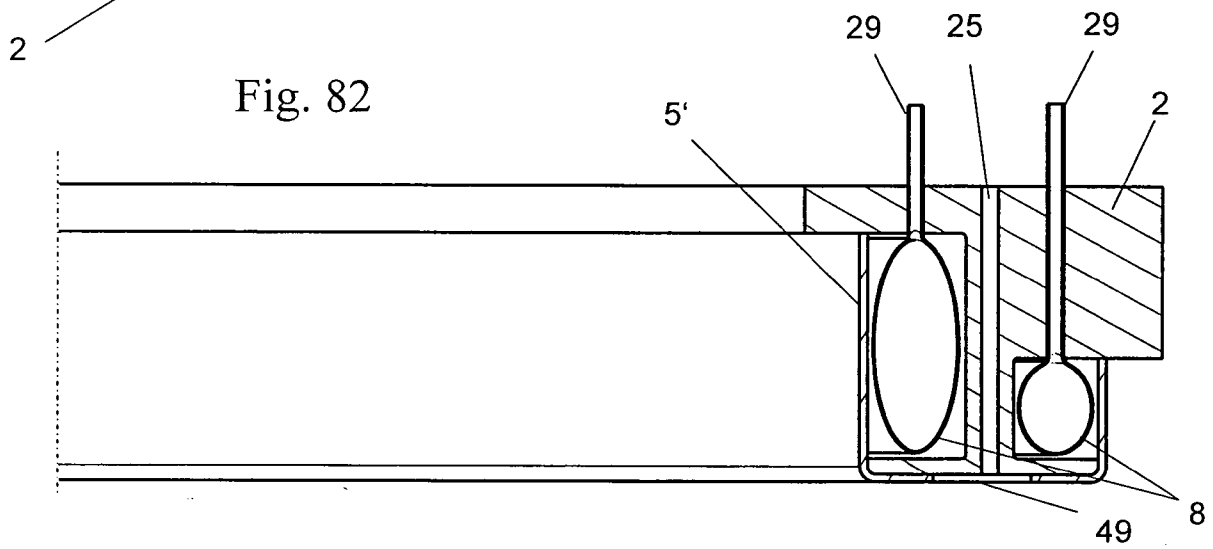


Fig. 83

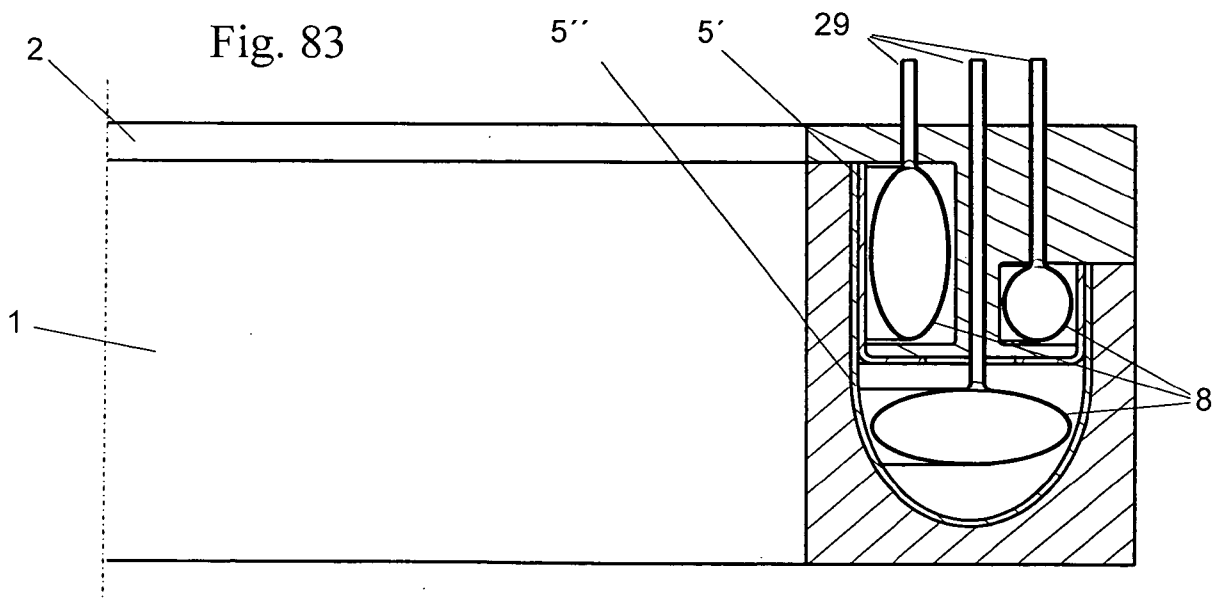


Fig. 84

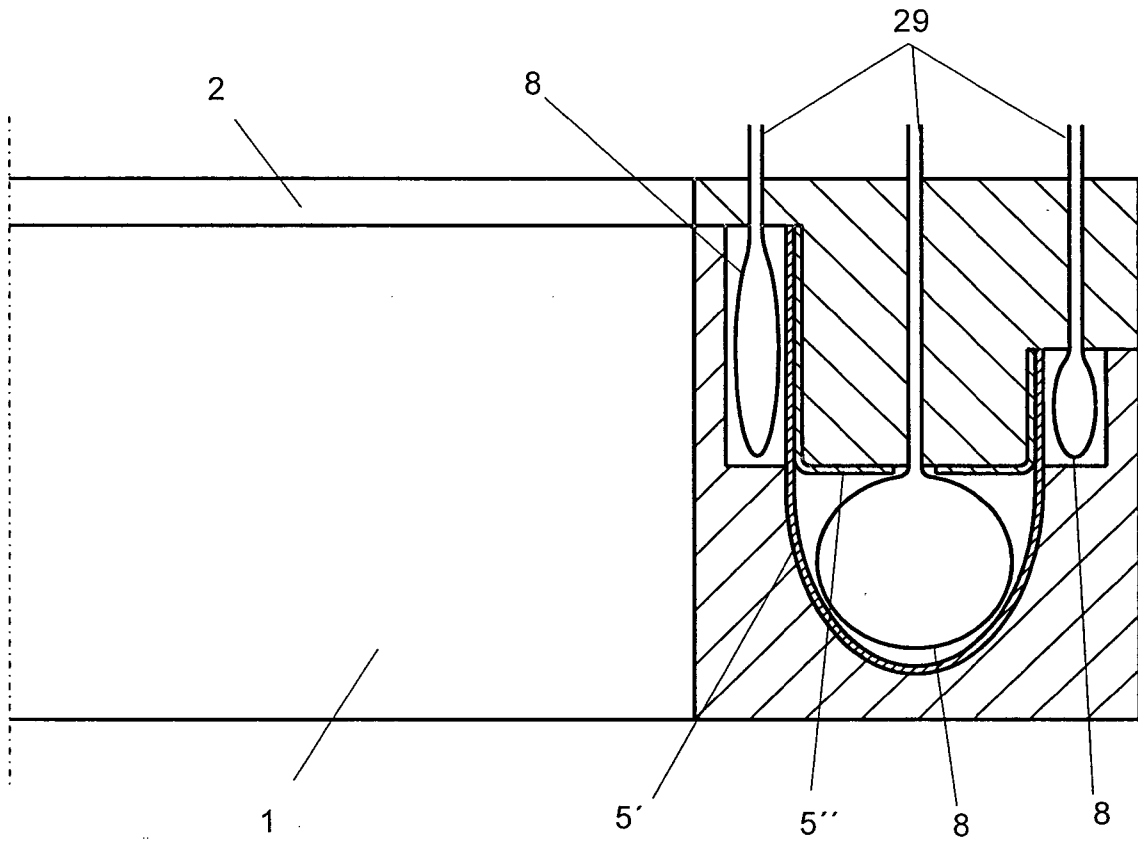


Fig. 85

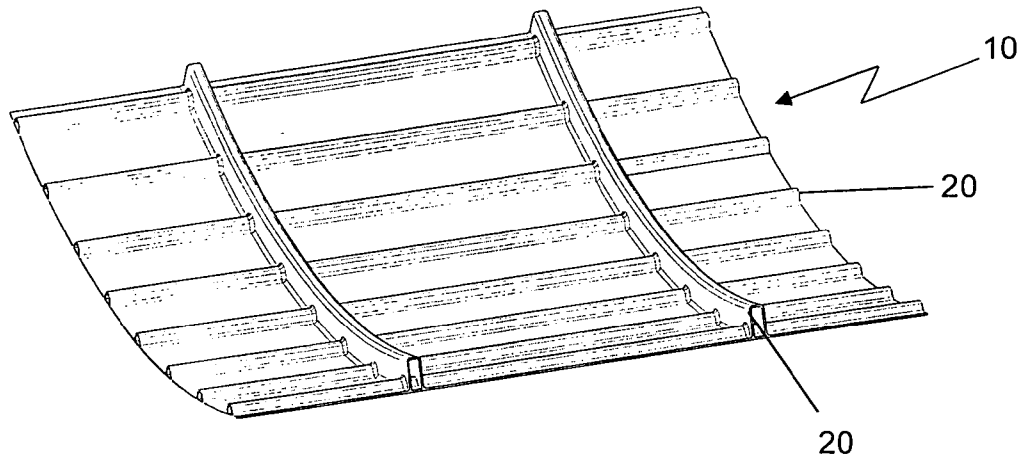


Fig. 86

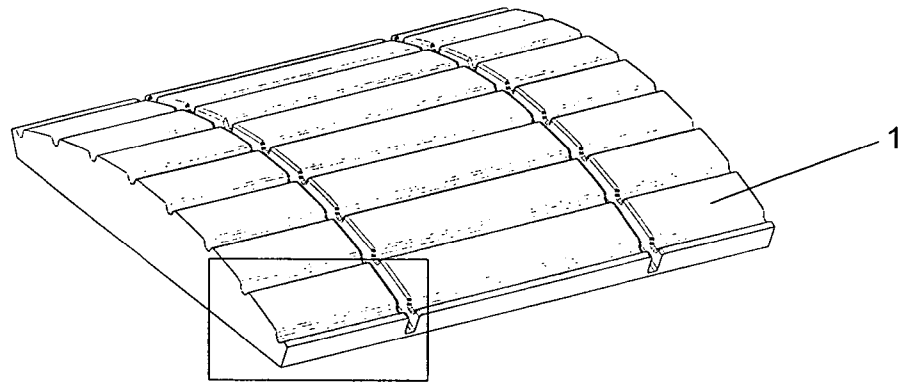


Fig. 87

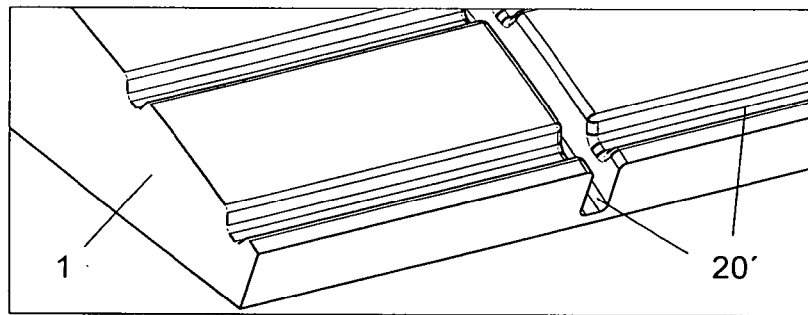


Fig. 88

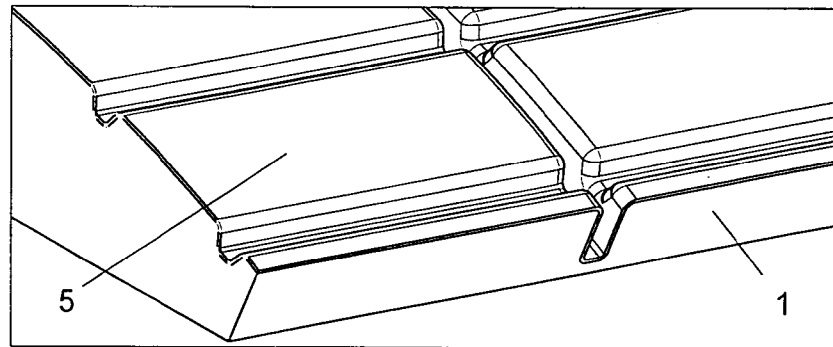


Fig. 89

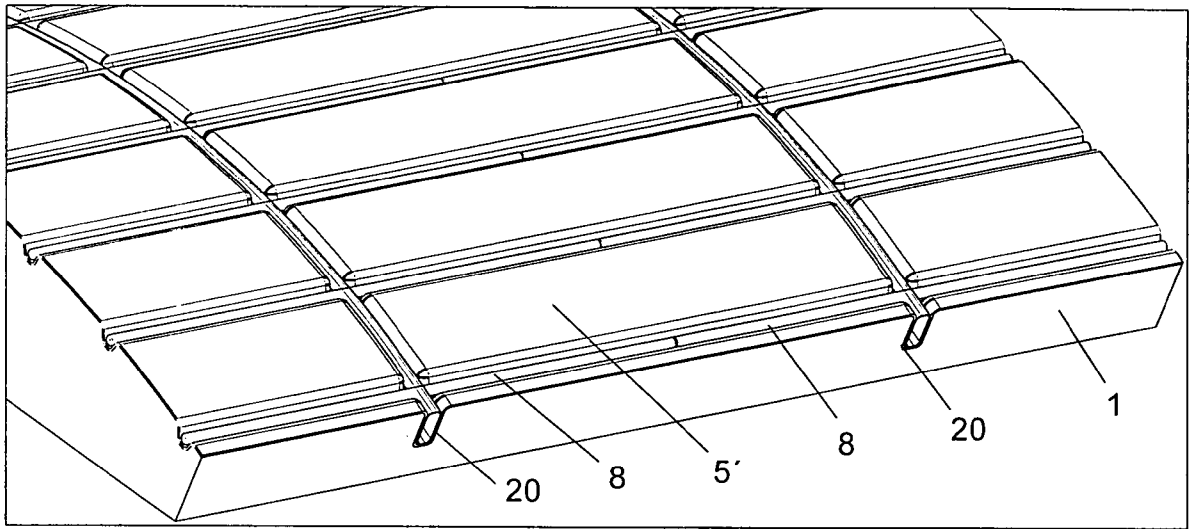


Fig. 90

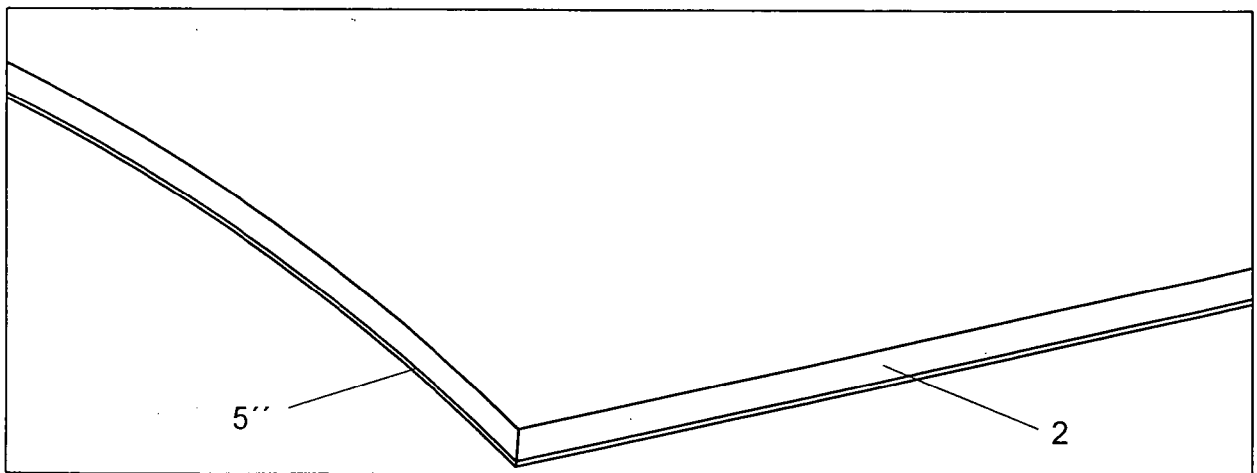


Fig. 91

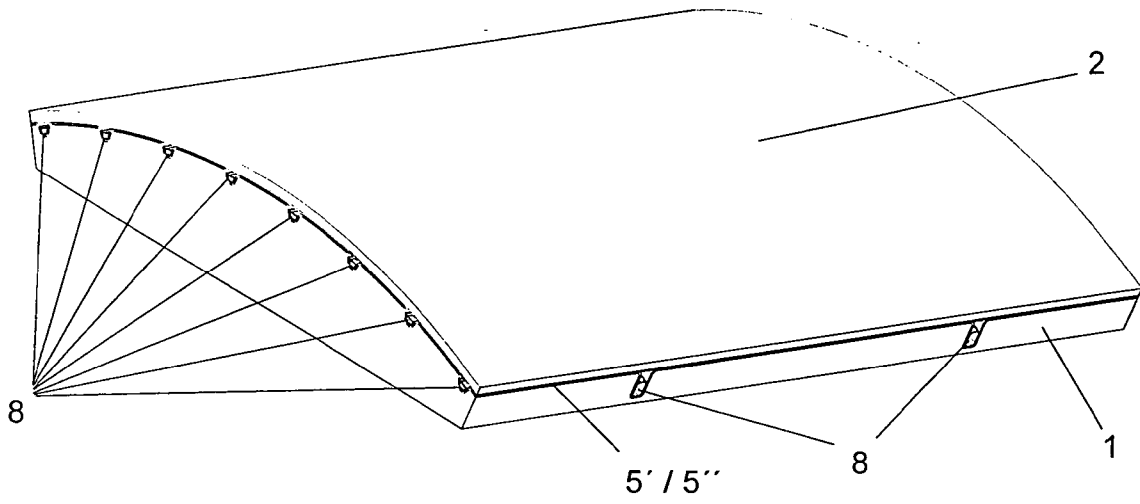


Fig. 92

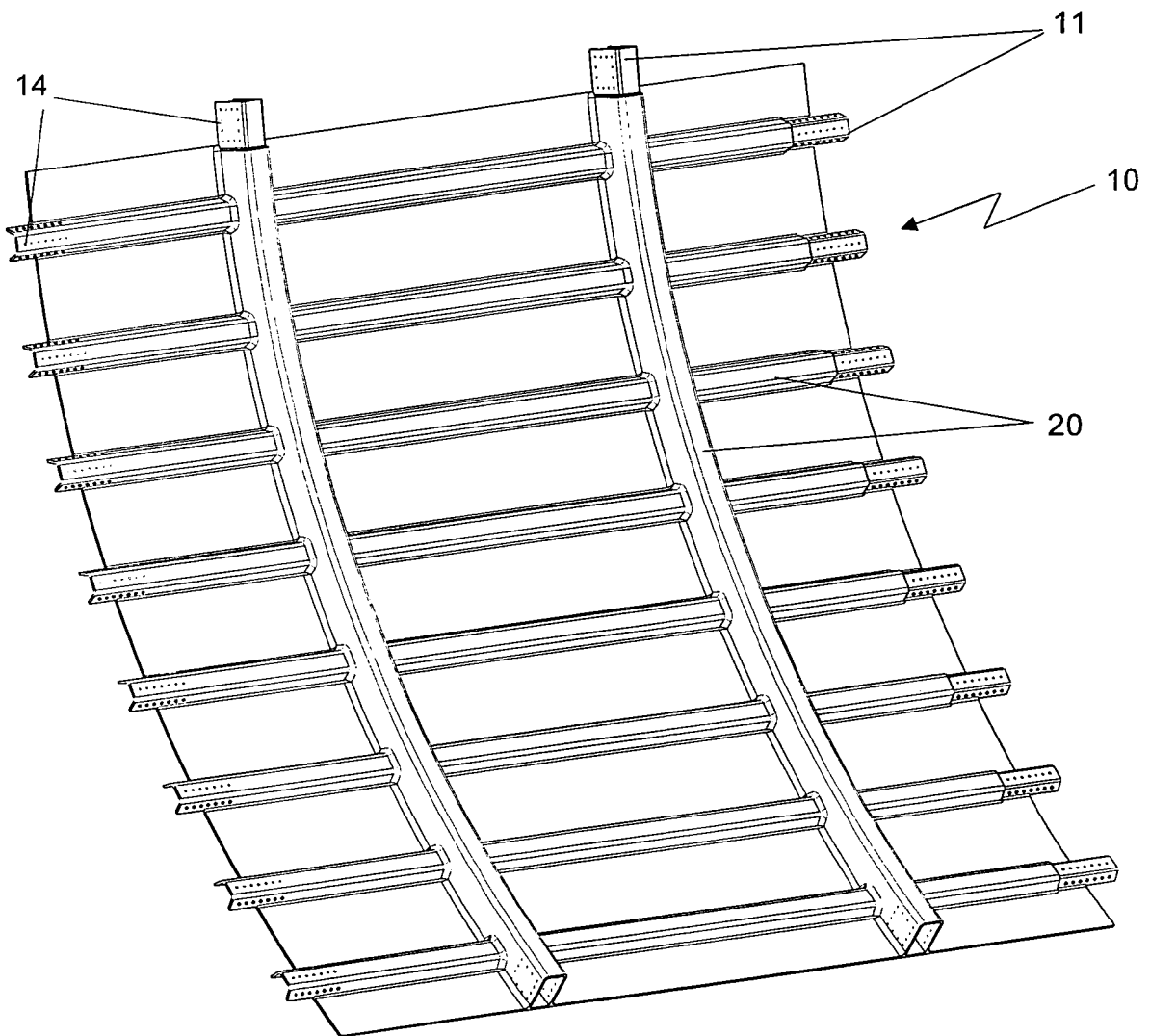


Fig. 93

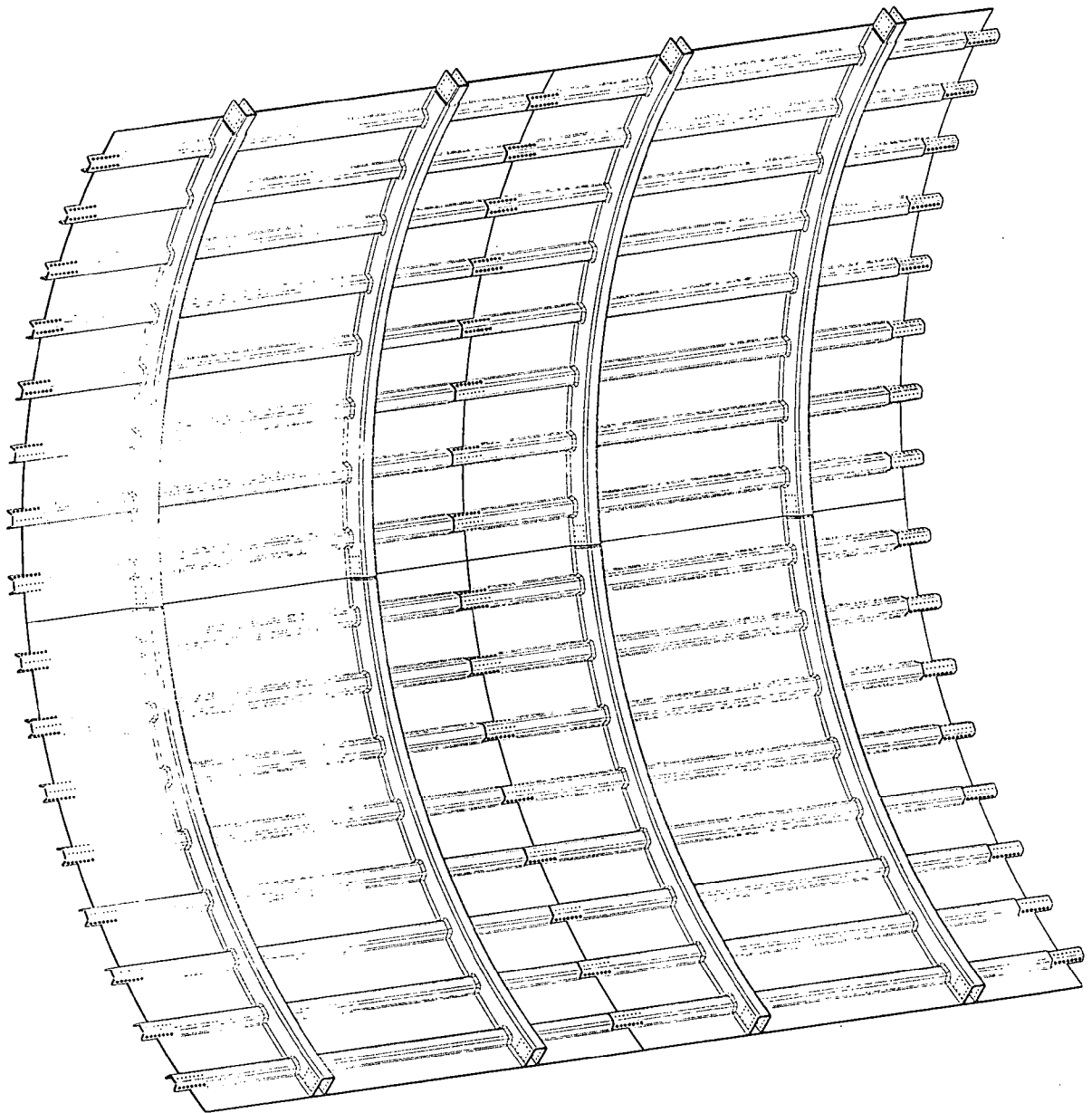


Fig. 94

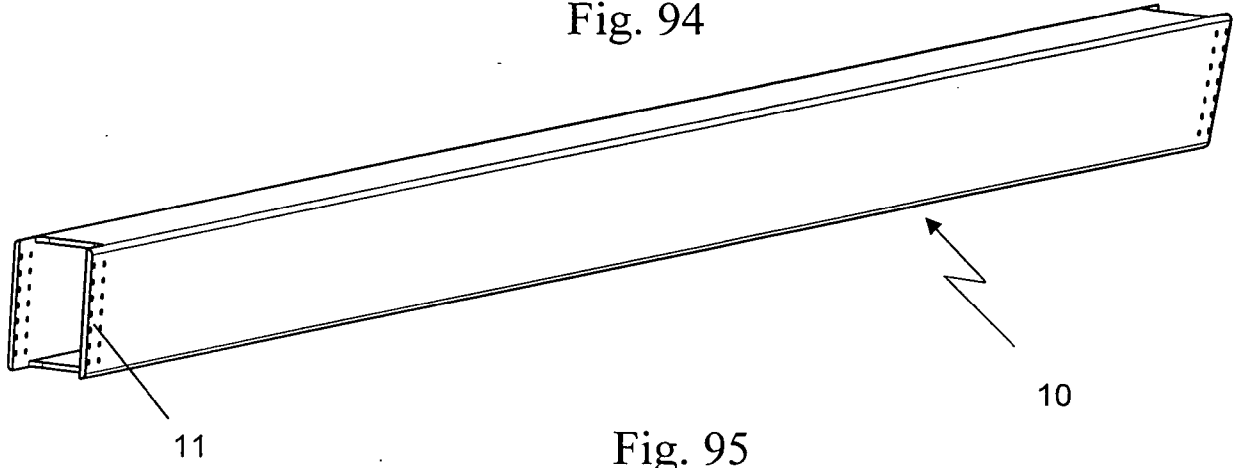


Fig. 95

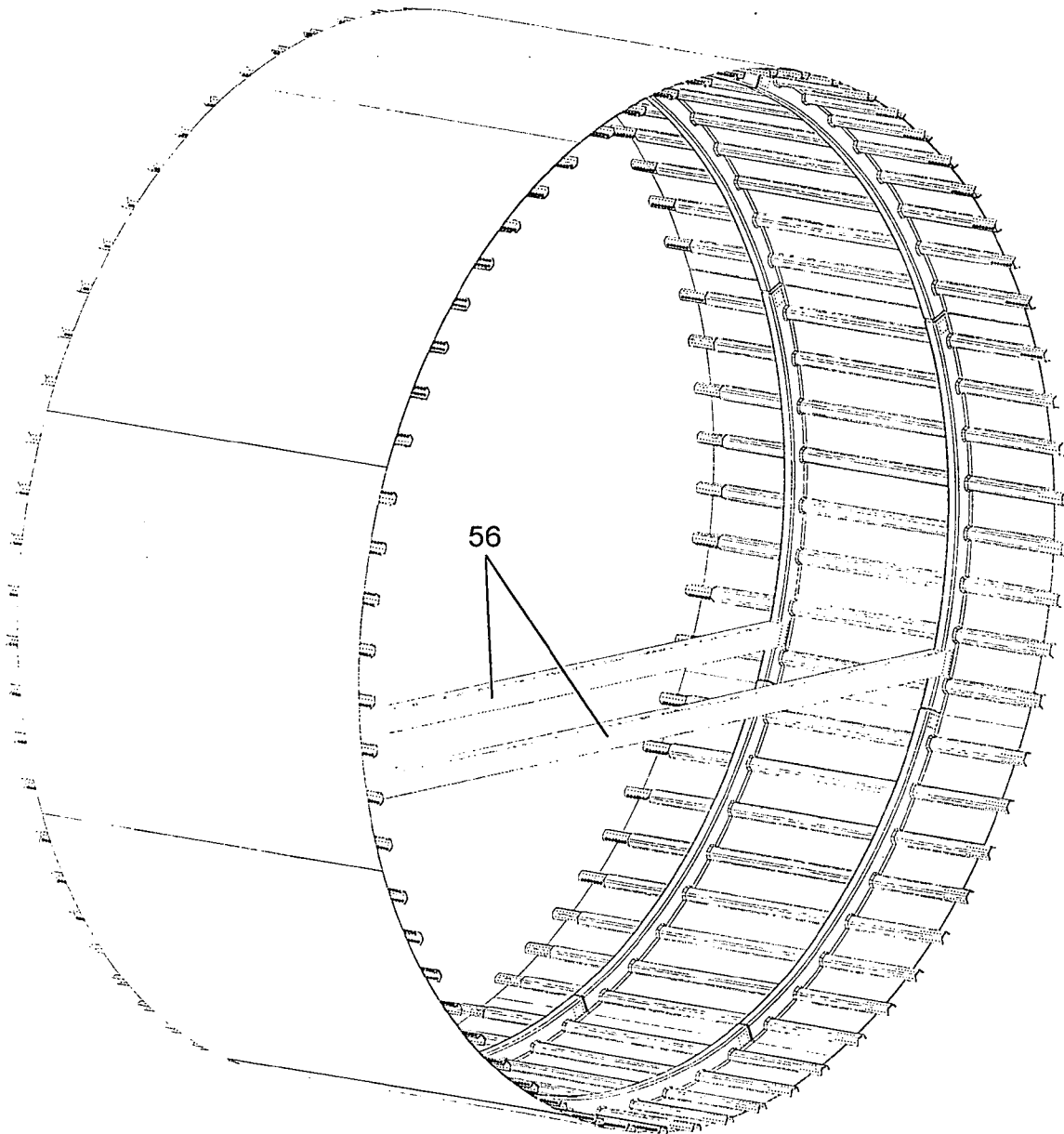


Fig. 96

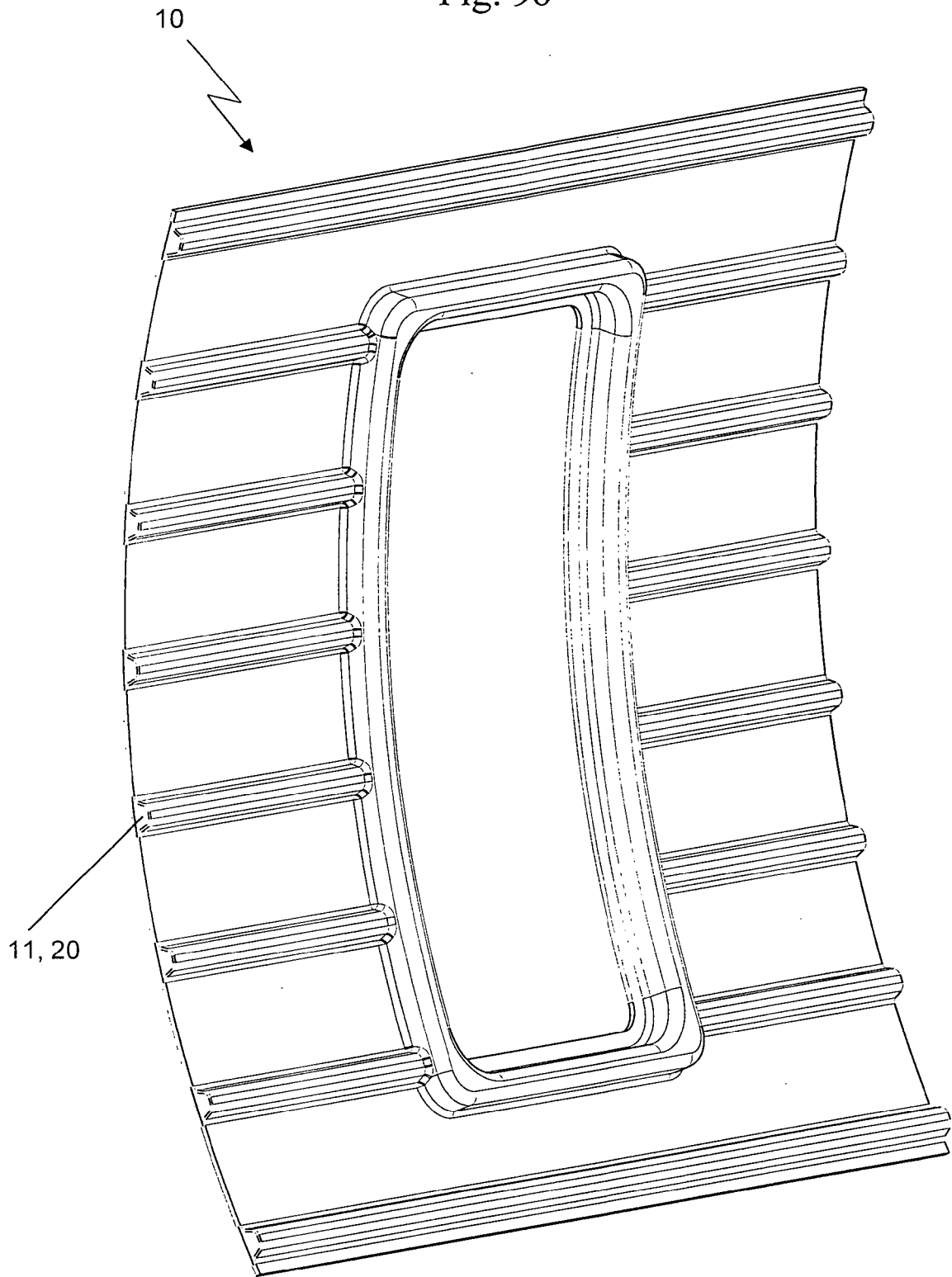


Fig. 97

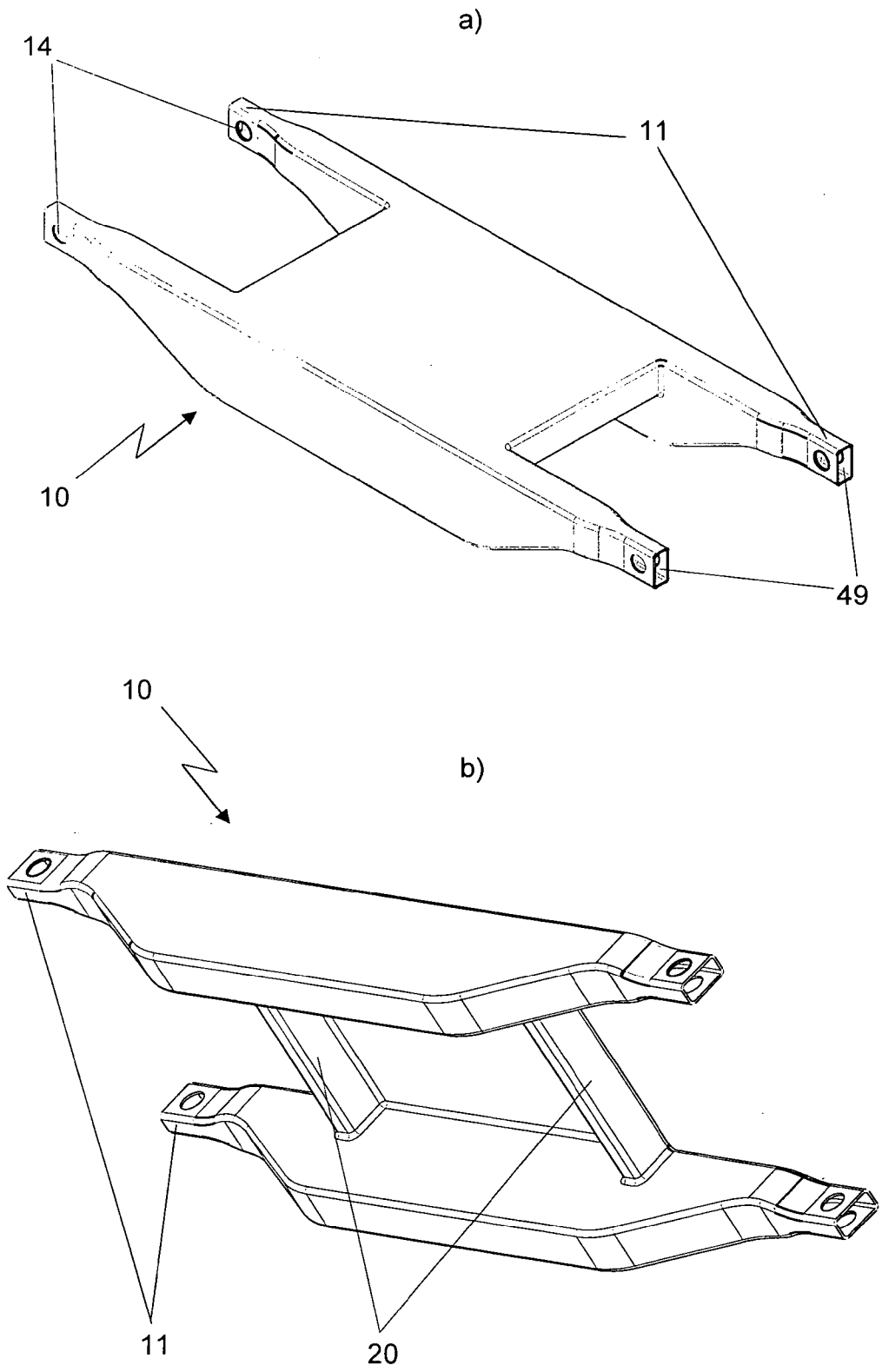


Fig. 98

