



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 01 731 T2** 2005.11.24

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 358 421 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **F16L 15/06**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 01 731.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR02/00420**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 701 403.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/065012**

(86) PCT-Anmeldetag: **04.02.2002**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **22.08.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.11.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **27.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.11.2005**

(30) Unionspriorität:

**0101793      09.02.2001      FR**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**Vallourec Mannesmann Oil & Gas France,  
Aulnoye-Aymeries, FR; Sumitomo Metal  
Industries, Ltd., Osaka, JP**

(72) Erfinder:

**NOEL, Thierry, F-59990 Sebourg, FR; ROUSSIE,  
Gabriel, F-59370 Mons en Baroeul, FR; VARENNE,  
Emmanuel, F-69400 Villefranche-sur-Saône, FR**

(74) Vertreter:

**BEETZ & PARTNER Patentanwälte, 80538  
München**

(54) Bezeichnung: **Gewinde-Rohrverbindung mit trapezförmigen Gewindegängen mit konvex gewölbter Gewindegangfläche**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft die Gewinde-Rohrverbindungen, die ein Außengewindeelement und ein Innengewindeelement mit trapezförmigen Gewindegängen aufweisen, die am Ende von zusammenzusetzenden Rohren angeordnet sind, wobei die Gewindeelemente sowohl an den Enden von Rohren großer Länge als auch von Rohren geringer Länge, wie zum Beispiel Muffen, angeordnet sein können.

**[0002]** Solche Gewinde-Rohrverbindungen werden insbesondere verwendet, um Säulen von Futterrohren oder von Steigrohren, oder Züge von Bohrstrangen für Kohlenwasserstoff-Bohrbrunnen oder für ähnliche Brunnen, wie zum Beispiel Bohrbrunnen für die Geothermie zu bilden.

**[0003]** Sie werden zum Beispiel in den Spezifikationen API 5B und 5CT des American Petroleum Institute (API) mit konischen Gewinden mit trapezförmigen Gewindegängen, "Buttress" genannt, definiert.

**[0004]** Die trapezförmigen Gewindegänge besitzen eine Eingriffsflanke auf der zum freien Ende des betrachteten Gewindeelements weisenden Seite der Gewindegänge, eine Trägerflanke auf der gegenüberliegenden Seite der Gewindegänge, einen Gewindegangsscheitel mit einer Breite ungleich Null und einen Gewindeganggrund mit einer Breite ebenfalls ungleich Null, wobei die Trägerflanken und die Eingriffsflanken im Wesentlichen senkrecht zur Achse des Gewindeelements ausgerichtet sind (Neigung von +3° für die Trägerflanken, von +10° für die Eingriffsflanken zum Beispiel im Fall des Gewindegangs API Buttress).

**[0005]** So werden die trapezförmigen Gewindegänge in der vorliegenden Beschreibung im Gegensatz zu anderen Arten von Gewindegängen definiert, die von den erwähnten API-Spezifikationen definiert werden, d. h. die dreieckigen oder dreieckigen abgerundeten ("runden") Gewindegänge, deren Trägerflanken und Eingriffsflanken stark zur Senkrechten zur Achse des Gewindeelements geneigt sind (zum Beispiel um 30°) und deren Gewindegangsscheitel und -gründe eine Breite von im Wesentlichen gleich Null haben. Sie haben im Vergleich mit den dreieckigen oder runden Gewindegängen wichtige Vorteile bezüglich der inakzeptablen Gefahr des Herausspringens ("jump out").

**[0006]** Die Gewinde-Rohrverbindungen mit trapezförmigen Gewindegängen gemäß AP waren Gegenstand vieler Entwicklungen, insbesondere, um ihre Festigkeit gegenüber sehr verschiedenartigen Beanspruchungen, die von den Betriebsbedingungen herühren (axialer Zug, axialer Druck, Biegung, Torsion, innerer oder äußerer Druck, ...), und ihre Dichtheit gegenüber den Fluiden zu verbessern, die innerhalb

oder außerhalb dieser Verbindungen unter solchen Beanspruchungen zirkulieren. Diese Verbesserungen sind zum Beispiel in den Druckschriften EP 488 912, EP 707 133, EP 454 147, WO 00/14441 beschrieben.

**[0007]** Andere Arten von Gewindeverbindungen mit trapezförmigen Gewindegängen, die zum Beispiel in den Patenten US 4 521 042 oder US 4 570 982 beschrieben und für die gleiche Nutzung bestimmt sind, verwenden zylindrische, insbesondere doppelstufige Gewinde.

**[0008]** Allgemein erscheinen die Flächen der trapezförmigen Gewindegänge der Gewindeverbindungen des Stands der Technik, d. h. die Gewindegangflanken sowie die Gewindegangsscheitel und Gewindeganggründe, im axialen Schnitt geradlinig, mit Ausnahme der Anschlüsse zwischen Flächen, Anschlüsse, die im Allgemeinen einen Anschlussradius oder eine Schräge aufweisen; daher werden solche Flächen in der vorliegenden Beschreibung geradlinige Flächen genannt.

**[0009]** Bei all diesen Arten von Gewinde-Rohrverbindungen wird am Ende des Zusammenschraubens der Gewindeelemente ein Kontakt mit Kontaktdruck zwischen mindestens einer Außengewindegangfläche und der entsprechenden Fläche des Innengewindegangs entwickelt. Je nach der Art des Gewindes kann dieser Kontaktdruck sich zwischen zugeordneten Gewindegangsscheiteln und -gründen, zwischen Trägerflanken, zwischen Eingriffsflanken oder zwischen mehreren dieser Flächen entwickeln.

**[0010]** Die Entwicklung eines Kontaktdrucks zwischen einander entsprechenden Flächen von trapezförmigen Gewindegängen (und ggf. zwischen anderen Oberflächen, wie zum Beispiel Dichtungsaufflächen und Queranschlagflächen, die entsprechend auf den Gewindeelementen angeordnet sind) entsteht aus der Notwendigkeit, die Gewindeverbindung mit einem beachtlichen Schraubmoment zu verschrauben.

**[0011]** Wenn die Gewindeverbindung mit einem gegebenen Schraubmoment zusammengesetzt wurde, stellt man bei den bekannten Gewindeverbindungen fest, dass es genügt, ein im Absolutwert kaum höheres Moment als das Schraubmoment anzulegen, um in Richtung dieses Moments die Gewindeverbindung zu überdrehen oder loszuschrauben.

**[0012]** Ein Überdrehen kann insbesondere beim drehenden Absenken einer Rohrsäule an den Grund von krummen oder sogar waagrechten Kohlenwasserstoff-Bohrbrunnen auftreten und eine Positionierabweichung der Einsteck- und Aufnahmeelemente zueinander verursachen, mit der schädlichen Konsequenz einer Gefahr eines Lecks der Gewindeverbin-

dungen.

**[0013]** Ein unbeabsichtigtes Losschrauben in einem Bohrbrunnen kann noch schlimmere Folgen haben.

**[0014]** Man hat mit der Erfindung also versucht, Gewinde-Rohrverbindungen mit trapezförmigen Gewindegängen herzustellen, die im verschraubten Zustand im Absolutwert wesentlich größere Momente erfordern als das so genannte Schraubmoment, um über ihre verschraubte Stellung hinauszugehen oder um ihre Verschraubung zu lösen, ohne dass die Gewinde-Rohrverbindungen für ein Festfressen anfällig wären.

**[0015]** Es wurde auch danach getrachtet, das Festfressen zu vermeiden, das von übermäßigen Kontaktdrücken zwischen einander entsprechenden Gewindegangflächen herrührt, insbesondere zwischen einander entsprechenden Gewindegangflanken.

**[0016]** Es wurde insbesondere danach getrachtet, das Festfressen im Fall von Gewinden mit gegenseitigem axialem Einspannen oder mit Keilgewindegängen zu vermeiden, wie sie zum Beispiel in den Patentanmeldungen WO 00/14441 bzw. WO 94/29627 beschrieben sind, wo ein Einspannkontakt sowohl zwischen Trägerflanken als auch Eingriffsflanken der Gewindegänge auftritt, wobei die zwischen in gegenseitigem Einspannkontakt stehenden Flanken entwickelten Kontaktdrücke bei der effektiven Geometrie der Außengewindegänge und Innengewindegänge und somit bei ihrer Paarung stark spürbar sind.

**[0017]** Daher müssen die Gewinde mit einer großen Präzision und somit zu hohen Kosten feinbearbeitet werden. Es wurde auch danach getrachtet, dass solche Gewinde-Rohrverbindungen mit Keilgewindegängen oder Gewindegängen mit gegenseitigem axialem Einspannen mit normalen Abmessungstoleranzen bearbeitet werden können, zum Beispiel in der Größenordnung von 0,01 mm.

**[0018]** Die erfindungsgemäße Gewinde-Rohrverbindung weist ein Außengewindeelement am Ende eines ersten Rohrs und ein Innengewindeelement am Ende eines zweiten Rohrs auf.

**[0019]** Das Außengewindeelement weist außen ein Außengewinde mit trapezförmigen Gewindegängen über im wesentlichen die ganze Länge des Gewindes, und das Innengewindeelement weist innen ein dem Außengewinde zugeordnetes Innengewinde, d. h. mit ihrem Verschrauben angepasster Form und Anordnung, auf. Das Außengewinde und das Innengewinde sind mit einem gegebenen Schraubmoment ineinander geschraubt, so dass mindestens eine Außengewindegangfläche mit der entsprechenden Fläche des Innengewindes unter Kontaktdruck steht.

**[0020]** Unter Gewinde wird ein Gewinde mit einem oder mehreren Gewindebereichen verstanden. Im letzteren Fall sind die Gewindegänge über im Wesentlichen die ganze Länge jedes der Gewindebereiche trapezförmig.

**[0021]** Mindestens eine unter Kontaktdruck stehende Gewindegangfläche eines Gewindes besitzt vor dem Schraubvorgang eine über die Breite der betroffenen Fläche durchgehend konvex gewölbte Form und steht mit der entsprechenden Fläche des zugeordneten Gewindes in Punktkontakt.

**[0022]** In der vorliegenden Beschreibung wird unter einer konvex gewölbten Fläche eine Gewindegangfläche verstanden, die im axialen Schnitt gekrümmt konvex erscheint. Weiter versteht man unter einer konkav gewölbten Fläche bzw. einer geradlinigen Fläche Flächen, die im axialen Schnitt als solche erscheinen (außer in Höhe der Anschlüsse an die benachbarten Flächen).

**[0023]** Der Begriff Flächen-"Breite" bezeichnet in der vorliegenden Beschreibung die Abmessung der Fläche im axialen Schnitt gesehen. Der Begriff Flächen-"Breite" bezeichnet folglich die hauptsächlich axiale Abmessung der Gewindegangsscheitel oder -gründe und die hauptsächlich radiale Abmessung der Gewindegangflanken.

**[0024]** Der Begriff "trapezförmiger Gewindegang" entspricht der oben angegebenen, allgemeinen Definition, selbst wenn bestimmte Flächen im Fall der vorliegenden Erfindung nicht geradlinig sind. Er deckt trapezförmige Gewindegänge mit Trägerflanken- und Eingriffsflankenwinkeln ab, die sowohl positiv als auch negativ oder Null sind (Flachgewindegänge, Hakengewindegänge, Halbschwalbenschwanzgewindegänge oder Schwalbenschwanzgewindegänge), wobei die Vorzeichenregelung in den weiter unten im Text erläuterten Ausführungsformen dargestellt ist.

**[0025]** Eine wie definiert konvex gewölbte Fläche erzeugt mit der entsprechenden Fläche des zugeordneten Gewindes einen Kontakt, der gemäß einem durch die Achse der Schraubmontage verlaufenden Schnitt punktförmig oder im Wesentlichen punktförmig erscheint, natürlich vorausgesetzt, dass die Krümmungsradien der entsprechenden Flächen angepasst sind.

**[0026]** Der aus dem punktförmigen Kontakt entstehende Kontaktdruck ist maximal in Höhe des Kontaktpunkts und nimmt auf jeder Seite dieses Punkts mehr oder weniger schnell ab, je nach den Abweichungen der Krümmungsradien der beiden in Kontakt stehenden Flächen und den Elastizitätseigenschaften der in Kontakt stehenden Materialien.

**[0027]** Die Krümmung der konvex gewölbten Fläche wird so gewählt, dass die erfindungsgemäße Gewindeverbindung, wenn sie mit dem gegebenen Schraubmoment verschraubt ist, im Vergleich mit einer konventionellen Gewindeverbindung, bei der alle Flächen der Außengewingdegänge und Innengewingdegänge geradlinig sind, einen wesentlich größeren Widerstand gegenüber dem Losschrauben und dem Überdrehen aufweist.

**[0028]** Man muss nämlich überraschenderweise ein im Absolutwert wesentlich höheres Moment als das Schraubmoment anlegen, im Mittel ein um mindestens 5% höheres Moment als das Schraubmoment, um in Richtung des angelegten Moments die erfindungsgemäße Gewindeverbindung zu überdrehen oder loszuschrauben, wenn diese mit dem spezifizierten Schraubmoment verschraubt wurde. Man würde eher das Gegenteil erwarten, d. h. einen größeren Widerstand gegen das Losschrauben/Überdrehen für die Gewindeverbindung mit geradlinigen Gewingdegangflächen, die a priori größere Reibungsflächen aufweist.

**[0029]** Unter Berücksichtigung der Lasten, denen die Gewingdegangflächen von Gewinde-Rohrverbindungen ausgesetzt sind, insbesondere im Fall von Gewinde-Rohrverbindungen, die für den Betrieb von Kohlenwasserstoff-Bohrbrunnen eingesetzt werden, die eine geringe Gewingdegangbreite und -höhe aufweisen, sah sich der Fachmann bisher außerdem nicht veranlasst, punktförmige und somit nicht zwischen entsprechenden unter Kontaktdruck stehenden Flächen von trapezförmigen Gewingdegängen verteilte Kontakte herzustellen.

**[0030]** Die Krümmung der konvex gewölbten Fläche ist auch an die Geometrie der entsprechenden in Kontakt stehenden Fläche angepasst, damit der maximale Druck nicht zu einer Plastifizierung des Materials der in punktförmigem Kontakt stehenden Flächen führt.

**[0031]** Hierzu weist die konvex gewölbte Fläche auf ihrer Breite, außer in Höhe der Anschlüsse an die benachbarten Flächen, vorteilhafterweise einen Krümmungsradius oder Krümmungsradien auf, die zwischen 2 und 60 mm, und vorzugsweise zwischen 3 und 20 mm liegen.

**[0032]** Die konvex gewölbte Fläche kann über die ganze oder einen Teil der Länge des betroffenen Gewindes ausgebildet sein, aber sie ist vorzugsweise über die ganze Länge des betroffenen Gewindes, und somit über die ganze Länge jedes der Gewindebereiche ausgebildet, wenn das Gewinde mehrere Gewindebereiche aufweist.

**[0033]** Vorzugsweise weist die konvex gewölbte Fläche, außer in Höhe der Anschlüsse an die be-

nachbarten Flächen, über die Breite der betroffenen Fläche eine gleichmäßige Krümmung auf.

**[0034]** Auch vorzugsweise besitzt die konvex gewölbte Fläche eine gleichmäßige Krümmung über die ganze Länge des Gewindes.

**[0035]** Auch vorzugsweise entspricht eine konvex gewölbte Fläche einer geradlinigen Fläche auf dem zugeordneten Gewinde.

**[0036]** Sehr vorzugsweise gibt es nur eine konvex gewölbte Fläche, die auf einem einzigen Gewinde, einem Außen- oder einem Innengewinde, angeordnet ist.

**[0037]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Außen- und Innengewinde der Gewindeverbindung konisch mit radial miteinander interferierenden Gewingdegängen, und die konvex gewölbte Fläche ist ein Gewingdegangsscheitel.

**[0038]** Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die konvex gewölbte Fläche eine Außen- oder Innengewingdegangflanke, und der eine oder der andere Gewingdegang, der Außen- oder der Innengewingdegang, besitzt ein Mittel, um die konvex gewölbte Flanke oder die dieser entsprechende Flanke auf dem zugeordneten Gewinde elastisch zu machen.

**[0039]** Vorzugsweise ist die konvex gewölbte Flanke eine Trägerflanke.

**[0040]** In einer Variante dieser zweiten Ausführungsform ist die konvex gewölbte Flanke eine Eingriffsflanke.

**[0041]** Die Biegung der so in der nachfolgenden Beschreibung als elastisch bezeichneten Flanke verstärkt sich mit dem Kontaktdruck während oder am Ende des Schraubvorgangs, und ermöglicht es insbesondere den Gewingdegängen, sich an die Maßabweichungen der Außen- und Innengewinde bezüglich der Nennmaße anzupassen, ohne einen übermäßigen Kontaktdruck zu erzeugen.

**[0042]** Vorzugsweise ist in dieser zweiten Ausführungsform der Erfindung das Mittel, um die konvex gewölbte Flanke oder die dieser entsprechende Flanke elastisch zu machen, eine Kehle, die am Gewingdegangsscheitel neben der elastischen Flanke angeordnet ist.

**[0043]** Die Biegung des Gewingdegangsbereichs zwischen Kehle und elastischer Flanke bei einem Kontakt unter Kontaktdruck bewirkt in einer Darstellung im axialen Schnitt eine Drehung der elastischen Flanke um ein Drehzentrum, das sich am Fuß der elastischen Flanke befindet.

**[0044]** Vorzugsweise ist die Tiefe der Kehle geringer als die oder gleich der Höhe des Gewindegangs, auf dem sie ausgebildet ist.

**[0045]** Auch vorzugsweise weist die Kehle an ihrer Mündung eine Breite auf, die geringer als oder gleich  $\frac{2}{3}$  der Breite des Gewindegangs ist, auf dem sie ausgebildet ist, wobei die Breite des Gewindegangs auf seiner halben Höhe gemessen wird.

**[0046]** Weiter vorzugsweise ist der Grund der Kehle gemäß einem Radius größer als oder gleich 0,2 mm abgerundet.

**[0047]** In dem Fall, in dem das Mittel zur Verringerung der Steifheit einer Gewindegangflanke eine Kehle ist, unterscheidet sich vorteilhafterweise der "konvex gewölbte Flankenwinkel" genannte Winkel zwischen der Tangente zur konvex gewölbten Flanke auf halber Höhe der konvex gewölbten Flanke und der Senkrechten zur Achse des Zusammenbaus vom "entsprechender Flankenwinkel" genannten Winkel zwischen der Tangente zur der konvex gewölbten Flanke entsprechenden Flanke, ebenfalls auf halber Höhe der entsprechenden Flanke, und der Senkrechten zur Achse des Zusammenbaus.

**[0048]** Ein solcher Unterschied zwischen diesen Winkeln führt zu einer Verschiebung des Kontaktpunkts zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke entlang dieser Flanken beim Biegen der elastischen Flanke am Ende des Schraubvorgangs oder in Abhängigkeit von den axialen Beanspruchungen im Betrieb.

**[0049]** Durch eine solche Verschiebung des Kontaktpunkts wird vermieden, dass immer der gleiche Punkt zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke beansprucht wird, was darauf abzielt, die Gefahren eines Festfressens dieser Flanken nach mehreren Fest- und Losschraubvorgängen zu reduzieren.

**[0050]** In diesem Fall sind sehr vorteilhafterweise die Werte des konvex gewölbten Flankenwinkels und des entsprechenden Flankenwinkels so, dass der erste Kontakt zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke auf der elastischen Flanke auf der Seite des Gewindegangsheitels stattfindet, wo die Kehle ausgebildet ist.

**[0051]** Weiter sehr vorteilhafterweise ist das Vorzeichen des algebraischen Werts der Verschiebung zwischen dem konvex gewölbten Flankenwinkel und dem entsprechenden Flankenwinkel so, dass der Kontaktpunkt zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke sich während des Schraubvorgangs zum Drehzentrum der elastischen Flanke verschiebt.

**[0052]** Weiter sehr vorteilhafterweise ist der Wert der Verschiebung zwischen dem konvex gewölbten Flankenwinkel und dem entsprechenden Flankenwinkel so, dass der endgültige Kontaktpunkt zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke sich außerhalb eines Viertels der Breite der konvex gewölbten Flanke befindet, die am Ende dieser Flanke auf der Seite des Gewindegangfußes angeordnet ist, wenn die Gewindeverbindung vollständig verschraubt ist.

**[0053]** Eine solche Anordnung ermöglicht es, übermäßige und schädliche Beanspruchungskonzentrationen in Höhe des Gewindegangfußes zu vermeiden.

**[0054]** Die Werte des konvex gewölbten Flankenwinkels und des entsprechenden Flankenwinkels, um solche technischen Wirkungen zu erhalten, können durch Rechnung oder Versuche bestimmt werden, wie man in den erläuterten Ausführungsformen sehen wird.

**[0055]** Vorzugsweise liegt der Absolutwert der Verschiebung zwischen dem konvex gewölbten Flankenwinkel und dem entsprechenden Flankenwinkel zwischen 1 und 5°.

**[0056]** Vorzugsweise weist bei der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung jedes Einsteckelement und jedes Aufnahmeelement mindestens eine Dichtungsauflagefläche auf, wobei jede Einsteck-Dichtungsauflagefläche radial mit einer entsprechenden Aufnahme-Dichtungsauflagefläche auf der Gewinde-Rohrverbindung im in Stellung verschraubten Zustand interferiert.

**[0057]** Vorzugsweise weist auch bei der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung jedes Einsteckelement und jedes Aufnahmeelement mindestens eine ringförmige Queranschlagfläche auf, wobei mindestens eine Einsteck-Anschlagfläche gegen eine entsprechende Aufnahme-Anschlagfläche auf der Rohr-Gewindeverbindung im in Stellung verschraubten Zustand anliegt.

**[0058]** Die nachfolgenden Figuren beschreiben schematisch verschiedene Ausführungs- und Nutzungsformen der erfindungsgemäßen Gewinde-Rohrverbindungen.

**[0059]** [Fig. 1](#) zeigt eine gemuffte Schraubmontage, die zwei Gewindeverbindungen mit konischen Gewinden und trapezförmigen Gewindegängen aufweist.

**[0060]** [Fig. 2](#) zeigt eine integrale Schraubmontage mit einer Gewindeverbindung mit zylindrischen halbgestuftten Gewinden und trapezförmigen Gewindegängen.

**[0061]** Fig. 3 zeigt einige trapezförmige Gewindegänge einer erfindungsgemäßen Gewindeverbindung von der Art der Fig. 1, bei der die Innengewindengangscheitel konvex gewölbt sind: Fig. 3A bezieht sich nur auf das Innengewinde, Fig. 3B bezieht sich nur auf das Außengewinde, und Fig. 3C bezieht sich auf die beendete Montage der Elemente der Fig. 3A und Fig. 3B.

**[0062]** Fig. 4 zeigt einige Gewindegänge einer anderen Gewindeverbindung gemäß der Erfindung, wobei die Gewindeverbindung von der Art der Fig. 1 ist, mit trapezförmigen Gewindegängen mit gegenseitigem axialem Einspannen, deren Außengewindengang-Eingriffsflanke konvex gewölbt ist.

**[0063]** Fig. 5 zeigt eine Variante der Gewindeverbindung der Fig. 4.

**[0064]** Fig. 6 zeigt einige Gewindegänge einer weiteren erfindungsgemäßen Gewindeverbindung von der Art der Fig. 2 mit trapezförmigen Keilgewindegängen mit variabler Breite, deren Außengewindengang-Trägerflanke konvex gewölbt ist.

**[0065]** Die Fig. 4 bis 6 weisen je 4 Unterfiguren auf, die mit den Indizes A bis D bezeichnet sind: Der Index A bezieht sich nur auf das Innengewinde, während der Index B sich nur auf das Außengewinde bezieht. Der Index C bezieht sich auf die Montage der Elemente der Indizes A und B während des Schraubvorgangs an dem Punkt, an dem die entsprechenden Flächen in Kontakt kommen. Der Index D bezieht sich auf die fertige Montage der Elemente der Indizes A und B.

**[0066]** Die Fig. 1 bis 6 sind nicht maßstabsgerecht, da die Eigenschaften der Gewindeverbindungen übertrieben wurden, um sie besser zu zeigen oder um ihren Betrieb besser verständlich zu machen.

**[0067]** Fig. 7 stellt die Verteilung der Kontaktdrücke zwischen dem Außengewindengangscheitel und dem Innengewindengangsgrund interferierender trapezförmiger Gewindegänge dar, wobei Fig. 7A sich auf den Kontakt zwischen geradlinigem Scheitel und Grund einer Gewindeverbindung des Stands der Technik und Fig. 7B sich auf den Kontakt zwischen geradlinigem Grund und konvex gewölbtem Scheitel der Gewindeverbindung der Fig. 3C bezieht.

**[0068]** Fig. 8 ist eine graphische Darstellung, die die Verschiebung des einspannenden Kontaktpunkts im Fall der Gewindegänge der Fig. 4 in Abhängigkeit vom Schraubvorgang für verschiedene Winkelkonfigurationen der Eingriffsflanken zeigt.

**[0069]** Fig. 9 ist eine graphische Darstellung, die die Drehung der elastischen Eingriffsflanke der Fig. 4 in Abhängigkeit vom Schraubvorgang für verschiedene

Winkelkonfigurationen der Eingriffsflanken zeigt.

**[0070]** Fig. 10 ist eine graphische Darstellung, die die Verschiebung des einspannenden Kontaktpunkts im Fall der Gewindegänge der Fig. 4 in Abhängigkeit vom Schraubvorgang für verschiedene Krümmungsradien der konvex gewölbten Fläche zeigt.

**[0071]** Fig. 11 stellt einige Gewindegänge einer anderen erfindungsgemäßen Gewindeverbindung von der Art der Fig. 1 mit konischen Gewinden mit interferierenden trapezförmigen Gewindegängen dar.

**[0072]** Fig. 1 stellt eine gemuffte Schraubmontage 200 zwischen zwei Rohren von großer Länge 101, 101' dar.

**[0073]** Unter einem Rohr großer Länge werden Rohre mit mehreren Meter Länge verstanden, zum Beispiel mit einer Länge von etwa 10 Meter.

**[0074]** Solche Rohre werden üblicherweise zusammengesetzt, um Säulen von Futterrohren oder Steigrohren für die Kohlenwasserstoff-Bohrbrunnen oder Züge von Bohrstangen für die gleichen Bohrbrunnen zu bilden.

**[0075]** Die Rohre können aus allen Arten von nicht legierten, leicht legierten oder stark legierten Stählen, sogar aus eisenhaltigen oder nicht eisenhaltigen Legierungen hergestellt werden, um sich an die verschiedenen Betriebsbedingungen anzupassen: mechanischer Beanspruchungspegel, korrodierende Eigenschaft des innerhalb oder außerhalb der Rohre fließenden Fluids.

**[0076]** Man kann auch Rohre aus wenig korrosionsfestem Stahl verwenden, die mit einer Verkleidung zum Beispiel aus Synthetikmaterial versehen sind, um jeden Kontakt zwischen dem Stahl und dem korrodierenden Fluid zu vermeiden.

**[0077]** Die Rohre 101, 101' sind an ihren Enden mit identischen Außengewindeelementen 1, 1' versehen und werden mit Hilfe einer Muffe 202 zusammengesetzt, die an jedem Ende mit einem Innengewindeelement 2, 2' versehen ist.

**[0078]** Die Außengewindeelemente 1, 1' werden in die Innengewindeelemente 2, 2' eingeschraubt, wodurch zwei symmetrische Gewindeverbindungen 100, 100' gebildet werden, die durch einen Ansatz 10 von einigen Zentimeter Länge vereint sind.

**[0079]** Der Ansatz 10 der Muffe weist einen Innendurchmesser auf, der im Wesentlichen gleich demjenigen der Rohre 101, 101' ist, so dass die Strömung des innen fließenden Fluids nicht gestört wird.

**[0080]** Da die Gewindeverbindungen 100, 100'

symmetrisch sind, wird nur der Betrieb einer dieser Verbindungen beschrieben.

**[0081]** Das Außengewindeelement **1** weist ein Außengewinde **3** mit auslaufenden trapezförmigen Gewindegängen vom so genannten "Buttress"-Typ gemäß der Spezifikation API 5B auf; dieses Außengewinde **3** ist konisch und auf der Außenseite des Einsteckelements angeordnet, und es ist vom freien Ende **7** des Elements durch eine gewindelose Lippe **11** getrennt. Das freie Ende **7** ist eine im Wesentlichen quer liegende ringförmige Anschlagfläche.

**[0082]** An das freie Ende **7** auf der Außenfläche der Lippe **11** anschließend befindet sich eine konische Dichtungsauflagefläche **5**, deren Konizität größer ist als diejenige des Außengewindes **3**.

**[0083]** Das Aufnahmeelement **2** weist denen des Einsteckelements **1** zugeordnete Mittel auf, d. h., dass sie ihnen formmäßig entsprechen und dazu bestimmt sind, aufgrund ihrer Anordnung mit den Einsteckmitteln zusammenzuwirken.

**[0084]** Das Aufnahmeelement **2** weist so innen ein konisches Innengewinde **4** und einen gewindelosen Bereich zwischen dem Gewinde und dem Ansatz **10** auf.

**[0085]** Dieser gewindelose Bereich weist insbesondere eine ringförmige Anschlagfläche **8** von im Wesentlichen quer liegender Ausrichtung auf, die am Ende des Ansatzes eine Schulter und auf die Schulter folgend eine konische Auflagefläche **6** bildet.

**[0086]** Nach dem vollständigen Einschrauben des Außengewindes in das Innengewinde liegen die Queranschlagsflächen **7** und **8** aufeinander auf, während die Auflageflächen **5**, **6** radial interferieren und daher unter Metall-Metall-Kontaktdruck stehen. Die Auflageflächen **5**, **6** bilden so Dichtungsauflageflächen, die die Gewindeverbindung sogar für hohe innere oder äußere Fluidrücke und für verschiedene Beanspruchungen (axialer Zug, axialer Druck, Biegung, Torsion, ...) dicht machen.

**[0087]** Man kann auch in die Gewinde einen Dichttring aus Synthetikmaterial, wie zum Beispiel einem Fluorpolymer, integrieren, um die Dichtheit herzustellen oder zu verstärken.

**[0088]** Ein anderes Beispiel einer Schraubmontage zwischen zwei Rohren von großer Länge ist in [Fig. 2](#) dargestellt, wobei diese Art von Montage **300** nur eine Gewindeverbindung verwendet, die als integrale Verbindung bezeichnet wird.

**[0089]** Das Rohr **301** ist an einem seiner Enden mit einem Außengewindeelement **1** versehen, während das zweite Rohr **302** mit einem Innengewindeele-

ment **2** am entsprechenden Ende versehen ist.

**[0090]** Das Außengewindeelement **1** weist ein Außengewinde auf, das im Fall der [Fig. 2](#) aus zwei zylindrischen Stufen oder Absätzen **303**, **303'** mit trapezförmigen Gewindegängen besteht, die von einer quer liegenden Ringfläche **307** einer einen Anschlag bildenden, zentralen Schulter getrennt werden, wobei der Absatz mit dem kleinsten Durchmesser **303'** sich auf der Seite des freien Endes **309'** des Elements befindet, wobei dieses freie Ende **309'** eine quer liegende Ringfläche ist.

**[0091]** Zwischen dem Gewindebereich **303'** und der Endfläche **309'** befindet sich außen eine konische Auflagefläche **311'**.

**[0092]** Auf der gegenüberliegenden Seite auf dem Einsteckelement wird der Gewindebereich **303** von einem gewindelosen Bereich verlängert, der eine konische Auflagefläche **311** und eine quer liegende Ringfläche **309** aufweist, die eine Schulter bildet.

**[0093]** Das Innengewindeelement **2** weist innen den Einsteckelementen zugeordnete Aufnahmeelemente auf.

**[0094]** So weist das Aufnahmeelement **2** ein Innengewinde auf, das aus zwei zylindrischen Absätzen **304**, **304'** besteht, die durch eine quer liegende Ringfläche **308** einer einen Anschlag bildenden zentralen Schulter getrennt sind, wobei der Absatz mit dem größeren Durchmesser **304** zum freien quer liegenden ringförmigen Ende **310** des Aufnahmeelements hin angeordnet ist.

**[0095]** Das Aufnahmeelement weist außerdem zwei konische Auflageflächen **312**, **312'**, die den Einsteckauflageflächen **311** **311'** entsprechen, und eine quer liegende Ringfläche **310'** auf, die am dem freien Ende **310** gegenüberliegenden Ende des Elements eine Schulter bildet.

**[0096]** Im verschraubten Zustand sind die Außengewindebereiche **303**, **303'** in die Innengewindebereiche **304**, **304'** geschraubt, und die Anschlagflächen der zentralen Schultern **307**, **308** liegen aufeinander auf. Die quer liegenden Endflächen **309**, **309'** befinden sich praktisch in Kontakt mit denjenigen der Schultern **310** bzw. **310'** und bilden Hilfsanschlüge für den zentralen Hauptanschlag **307**, **308**.

**[0097]** Die Außenauflageflächen **311**, **311'** interferieren radial mit den Innenauflageflächen **312** bzw. **312'**, indem sie hohe Metall-Metall-Kontaktdrucke entwickeln, die in der Lage sind, die Dichtheit der Verbindung gegenüber äußeren oder inneren Fluiden zu gewährleisten.

**[0098]** In nicht dargestellten Varianten kann die ge-

muffte Schraubmontage zylindrische Gewinde und die integrale Schraubmontage konische Gewinde aufweisen.

**[0099]** Die Gewinde können auch je zwei konische Gewindebereiche mit gleicher oder unterschiedlicher Konizität oder vom zylindrisch-konischen Typ aufweisen, wobei die Gewindebereiche des gleichen Gewindes gestuft oder nicht gestuft sein können.

**[0100]** In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) wurden die Gewinde durch die Mantellinien oder die Hüllkurven des Gewindegangsscheitels und des Gewindeganggrunds schematisch dargestellt.

**[0101]** Die folgenden Figuren ermöglichen es, die Gewindegänge von Gewindeverbindungen gemäß mehrerer Varianten der Erfindung zu beschreiben.

**[0102]** [Fig. 3](#) bezieht sich auf konische Gewinde mit radial interferierenden trapezförmigen Gewindegängen und mit konvex gewölbten Gewindegangsscheiteln einer Gewindeverbindung **100** der [Fig. 1](#).

**[0103]** [Fig. 3B](#) stellt die Außengewindegänge **21** dieser Art von Gewindeverbindung dar, die im axialen Schnitt eine klassische Trapezform haben und eine Trägerflanke **23**, eine Eingriffsflanke **25**, einen Gewindegangsscheitel **29** und einen Gewindeganggrund **27** aufweisen. Ihre Höhe beträgt  $h_1$ , und ihre Breite auf halber Höhe beträgt 2,5 mm (Gewinde vom Typ 5 Gewindegänge pro Zoll).

**[0104]** Die Gewindegangsscheitel und Gewindeganggründe sind auf konischen Flächen gleicher Konizität angeordnet, die durch den Halbscheitelwinkel  $\gamma$  zwischen dem "ursprünglichen" Konus, der durch seine Mantellinie **37** symbolisch dargestellt ist, und der Richtung der Achse der Montage definiert wird.

**[0105]** Die Gewindegangsscheitel **29** und die Gewindeganggründe **27** sind geradlinig, außer in Höhe der Anschlüsse an die Flanken; diese Anschlüsse weisen in an sich bekannter Weise einen Radius in der Größenordnung eines Bruchteils eines Millimeters auf, um die Beanspruchungskonzentrationen der Gewindeganggründe und die Zerbrechlichkeit der Kanten zu begrenzen; die Gewindegangsscheitel **29** und die Gewindeganggründe **27** sind auf konischen Flächen mit einem Halbscheitelwinkel  $\gamma$  angeordnet.

**[0106]** Die Trägerflanken **23** und die Eingriffsflanken **25** sind ebenfalls geradlinig und bilden je einen Winkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  mit der Senkrechten zur Achse der Montage.

**[0107]** Im vorliegenden Fall ist  $\alpha$  leicht negativ (die Flanke **23** steht leicht über den Gewindeganggrund **21** vor), während der Winkel  $\beta$  positiv und stärker geneigt ist.

**[0108]** Daraus folgt, dass die Flanken miteinander einen Winkel  $\delta$  bilden, derart, dass die trapezförmigen Gewindegänge **21** an ihrem Scheitel **29** weniger breit sind als an ihrer Basis.

**[0109]** Die Innengewindegänge **22** sind in [Fig. 3A](#) dargestellt.

**[0110]** Ihre Form ist im Wesentlichen trapezförmig und an das Verschrauben mit den Außengewindegängen **21** angepasst. Ihre Höhe  $h_2$  ist geringfügig größer als die Höhe  $h_1$  der Außengewindegänge **21**, und ihre Breite auf halber Höhe beträgt 2,5 mm (Gewinde vom Typ 5 Gewindegänge pro Zoll).

**[0111]** Die Innengewindegangsscheitel **128** und Innengewindeganggründe **30** tangieren oder befinden sich auf konischen Flächen mit einem Halbscheitelwinkel  $\gamma$  gleich demjenigen bezüglich der Innengewindegänge.

**[0112]** Die Innengewindeganggründe **30** sind geradlinig, außer in Höhe der Anschlüsse an die Flanken, die wie die Außengewindegänge einen Anschlussradius aufweisen.

**[0113]** Die Gewindegangsscheitel **128** sind durchgehend über ihre ganze Breite konvex gewölbt, d. h., dass sie keine Unterbrechung in ihrer Breite aufweisen.

**[0114]** Sie besitzen einen Radius  $R_3$  gleich 5 mm (außer in Höhe der Anschlüsse an die Flanken, die einen kleineren Anschlussradius aufweisen, der an die Anschlussradien der Außengewindegänge angepasst ist).

**[0115]** Die Trägerflanken **24** und Eingriffsflanken **26** bilden je die gleichen Winkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  mit der Senkrechten zur Achse der Montage wie die entsprechenden Flanken **23**, **25** des Außengewindes.

**[0116]** Wenn man das Außengewinde **3** in das Innengewinde **4** schraubt, entsteht zu einem gegebenen Zeitpunkt ein Kontakt zwischen dem konvex gewölbten Innengewindegangsscheitel **128** und dem Außengewindeganggrund **27**, da man vom geometrischen Standpunkt ( $h_2 > h_1$ ) dafür gesorgt hat, dass zwischen dem Außengewindegangsscheitel **29** und dem Innengewindeganggrund **30**, die beide geradlinig sind, ein Spiel bleibt: Siehe [Fig. 3C](#).

**[0117]** Unter Berücksichtigung des Vorhandenseins der Anschläge **7**, **8** (siehe [Fig. 1](#)), die aufeinander aufliegen, wenn die Gewindeverbindung verschraubt ist, sind die Einsteck- und Aufnahmeelemente unter axialem Zug, was dazu führt, dass die Trägerflanken **23**, **24** unter Kontaktdruck stehen. Dagegen gibt es ein Spiel zwischen den Außengewindegang-Eingriffsflanken und den Innengewindegang-Eingriffs-

flanken **25**, **26**.

**[0118]** Der interferierend genannte Kontakt zwischen dem konvex gewölbten Innengewindegangsscheitel **128** und dem Außengewindeganggrund **27** entsteht punktförmig in O, das sich im Wesentlichen in der Mitte des gewölbten Scheitels **128** und des geradlinigen Grunds **27** befindet.

**[0119]** Die Krümmung des konvex gewölbten Innengewindegangsscheitels **128** ermöglicht es, den Widerstand der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung gegen das Losschrauben oder das Überdrehen zu erhöhen.

**[0120]** **Fig. 7A** zeigt schematisch die Verteilung der Kontaktdrücke auf einer Gewindeverbindung des Stands der Technik zwischen einem geradlinigen Innengewindegangsscheitel **28** und einem ebenfalls geradlinigen entsprechenden Außengewindeganggrund **27**.

**[0121]** Die Pfeile  $P_c$  zeigen das Ausmaß des lokalen Kontaktdrucks an jedem Punkt des verteilten Kontakts; man stellt fest, dass die Kontaktdruckwerte  $P_c$  an jedem Ende R, S, T, U der Kontaktsegmente höher sind.

**[0122]** Daraus folgt, dass das zum Schmieren der Gewinde und zur Verhinderung des Festfressens aufgetragene Fett dazu neigt, im Inneren des Kontaktsegments eingeschlossen zu werden.

**[0123]** Wenn der Schraubvorgang mit einem gegebenen Schraubmoment  $T_f$  beendet ist, genügt es bei einer solchen Gewindeverbindung des Stands der Technik, ein Schraubmoment  $T_s$  auszuüben, das kaum größer ist als  $T_f$ , um die Verschraubung aufgrund des in den Kontaktsegmenten eingeschlossenen Schmiermittels wieder aufzunehmen. Dies äußert sich in einer relativen Verschiebung der Einsteck- und Aufnahmeelemente zueinander und in einer unpassenden Positionierung der Dichtmittel.

**[0124]** Die neueren Techniken des Bohrens von schräg abgelenkten oder sogar waagrecht Brunnen erfordern es insbesondere, die Rohre und die sie verbindenden Gewindeverbindungen während ihres Einfahrens in den Bohrbrunnen zu drehen und so die Gewindeverbindungen einem starken Torsionsmoment auszusetzen. Es ist unbedingt notwendig, dass eine solche Drehung im Betrieb nicht zu Lecks führt.

**[0125]** Um eine Gewindeverbindung loszuschrauben, muss man in gleicher Weise ein Schraubmoment  $T_b$  in Gegenrichtung zu  $T_f$  ausüben, aber dieses Moment ist bei einer Gewindeverbindung gemäß dem Stand der Technik im Absolutwert gleich dem Schraubmoment  $T_f$ .

**[0126]** **Fig. 7B** zeigt, dass eine geringe Krümmung der Innengewindegangsscheitel **128** es ermöglicht, die mittlere Kontaktdrucklücke und somit das Einschließen des Schmiermittels zwischen den interferierenden Innengewindegangsscheiteln **128** und Außengewindeganggründen **27** zu unterdrücken, indem im Gegensatz eine mittlere Kontaktdruckspitze erzeugt wird.

**[0127]** Es muss dann ein Schraubmoment  $T$  ausgeübt werden, das im Absolutwert wesentlich größer als  $T_f$  ist, um die Gewindeverbindung zu überdrehen oder loszuschrauben.

**[0128]** Es wurden so Versuche des Verschraubens-Losschraubens an Gewindeverbindungen des Typs VAM TOP® (gemäß dem Katalog VAM® Nr. 940, ausgegeben im Juli 1994 von Vallourec Oil & Gas) durchgeführt, die gemäß **Fig. 3** verändert wurden und die folgenden Eigenschaften aufwiesen:

- Rohre aus gering legiertem Stahl, behandelt für einen Grad API L80 (Elastizitätsgrenze höher als oder gleich 552 MPa)
- Außendurchmesser der Rohre: 171,8 mm (7")
- Dicke der Rohre: 10,36 mm (29 lb/ft)
- Gewinde mit 5 Gewindegängen pro Zoll
- Konizität Gewinde = 6,25% ( $\gamma = 1,79^\circ$ ).

**[0129]** Es wurden die Werte des Losschraubmoments  $T_b$  für eine Verschraubung mit einem Moment  $T_f$  für vier verschiedene Gewindeverbindungen und vier Schraubmomentgrade gemessen.

**[0130]** In den elf durchgeführten Verschraub-Losschraubversuchen variiert die relative Abweichung zwischen  $T_f$  und  $T_b$  im Absolutwert zwischen 3% und 14%, und sie beträgt im Mittel 7,5%.

**[0131]** Die Wahl eines zu geringen Krümmungsradius R3 führt zu einer zu starken mittleren Kontaktdruckspitze und folglich zu einer Gefahr des Plastifizierens des Materials und/oder des Festfressens der Gewindegänge nach mehreren Benutzungen der Gewindeverbindungen; er führt auch zu einer Verringerung der Breite der Trägerflanken **23**, **24** und folglich der maximal akzeptablen axialen Zuglast: Ein Krümmungsradius R3 von mehr als oder 2 mm ist völlig angepasst.

**[0132]** Die Wahl eines zu großen Krümmungsradius R3 erlaubt es nicht mehr, die beabsichtigte Wirkung zu erhalten und führt zu der Gefahr des Einschließens von Schmiermittel: Ein Krümmungsradius R3 von weniger als oder gleich 60 mm und vorzugsweise gleich 20 mm ist angemessen.

**[0133]** Man könnte die vorteilhafte Eigenschaft des Widerstands gegen ein Losschrauben oder Überdrehen der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung noch dadurch verbessern, dass außerdem eine Au-

ßengewinde-Trägerflanke oder eine Innengewinde-Trägerflanke leicht konvex gewölbt hergestellt wird, um jedes Einschließen von Fett zwischen den Trägerflanken zu vermeiden.

**[0134]** Fig. 4 bezieht sich auf konische Gewinde mit trapezförmigen Gewindegängen mit gegenseitiger axialer Einspannung einer Gewindeverbindung **100** der [Fig. 1](#).

**[0135]** Unter trapezförmigen Gewindegängen mit gegenseitiger axialer Einspannung versteht man Gewindegänge, wie sie in der Druckschrift WO 00/14441 beschrieben sind, bei denen die Breite der Gewindegänge auf halber Höhe größer ist als die Breite ebenfalls auf halber Höhe der Zwischenräume zwischen entsprechenden Gewindegängen des zugeordneten Gewindes, was zu einer gegenseitigen axialen Einspannung der beiden Gewindegangflanken eines Gewindes durch diejenigen des zugeordneten Gewindes führt und umgekehrt.

**[0136]** [Fig. 4B](#) stellt einige Außengewindegänge **21** dar, die im axialen Schnitt im Wesentlichen Trapezform haben und eine Trägerflanke **23**, eine Eingriffsflanke **125**, einen Gewindegangsscheitel **29** und einen Gewindeganggrund **27** aufweisen.

**[0137]** Die Gewindegangsscheitel und Gewindeganggründe sind geradlinig (außer in Höhe der Anschlüsse an die Flanken, die einen Radius in der Größenordnung des Bruchteils eines Millimeters aufweisen, um die Beanspruchungskonzentrationen der Gewindeganggründe und die Zerbrechlichkeit der Kanten zu begrenzen) und sind auf konischen Flächen der gleichen Konizität angeordnet, die durch den Halbscheitelwinkel  $\gamma$  zwischen dem "ursprünglichen" Konus, der durch seine Mantellinie **37** symbolisch dargestellt ist, und der Richtung der Achse der Montage definiert ist.

**[0138]** Die Gewindegänge weisen über ihre ganze Länge eine schraubenförmige Kehle **31** auf, deren Profil eine Achse im Wesentlichen senkrecht zu derjenigen der Montage aufweist, die am Gewindegangsscheitel in etwa auf halber Breite mündet.

**[0139]** Die Kehle **31** hat ein V-förmiges Profil mit abgerundetem Grund, wobei der Winkel zwischen den Schenkeln des V in der Größenordnung von  $35^\circ$  liegt und der Radius am Grund der Kehle **61** 0,4 mm beträgt.

**[0140]** Ihre Breite an der Mündung liegt in der Größenordnung von 35% der Breite des Gewindegangsscheitels **29**, und ihre Tiefe liegt in der Größenordnung von 60% der Höhe des Gewindegangs **21**.

**[0141]** Die Trägerflanke **23** ist geradlinig (außer in Höhe der Anschlüsse an die Gewindegangsscheitel

und Gewindeganggründe, wie weiter oben angegeben) und steht sehr leicht über den Gewindeganggrund vor, wobei der Winkel  $\alpha$  dieser Trägerflanke bezüglich der Senkrechten zur Achse der Montage daher sehr geringfügig negativ ist, gleich  $-3^\circ$ .

**[0142]** Die Eingriffsflanke **125**, die dem Gewindegangsscheitel **29** benachbart ist, ist über ihre ganze Breite MP konvex gewölbt; sie weist einen gleichmäßigen Krümmungsradius R1 von mehreren Millimetern außer in Höhe der Anschlüsse an die Gewindegangsscheitel und Gewindeganggründe auf, wo der Krümmungsradius geringer ist, in der Größenordnung eines Bruchteils eines Millimeters.

**[0143]** Die Tangente **39** zur Eingriffsflanke in halber Höhe des Gewindegangs bildet einen Winkel A mit der Senkrechten zur Achse der Montage.

**[0144]** Die Gewindegangbreite in halber Höhe des Gewindegangs ist I1, während I3 den Zwischenraum zwischen Gewindegängen auf halber Höhe darstellt, wobei die Summe (I1 + I3) gleich der Gewindegangsteigung ist.

**[0145]** [Fig. 4A](#) stellt einige trapezförmige Innengewindegänge **22** dar, deren Form an diejenige der Außengewindegänge **21** angepasst ist.

**[0146]** Die Innengewindegänge **22** weisen vier geradlinige Flächen (außer in Höhe der Anschlüsse an die Gewindegangsscheitel und Gewindeganggründe, die in an sich bekannter Weise einen Radius in der Größenordnung eines Bruchteils eines Millimeters aufweisen, um die Beanspruchungskonzentrationen der Gewindeganggründe und die Zerbrechlichkeit der Kanten zu begrenzen) auf, d. h.:

- eine Trägerflanke **24**, die über den Gewindeganggrund **30** vorsteht und um einen Winkel  $\alpha$  bezüglich der Senkrechten zur Achse der Montage geneigt ist, wobei dieser Winkel  $\alpha$  gleich dem Winkel der Außengewindegang-Trägerflanke ist,
- eine Eingriffsflanke **26**, die um einen Winkel B bezüglich der Senkrechten zur Achse der Montage geneigt ist, wobei der Winkel B geringfügig größer ist als der Winkel A der [Fig. 4B](#),
- einen Gewindegangsscheitel **28**, der auf einer konischen Fläche mit einem Halbscheitelwinkel  $\gamma$  gleich demjenigen der konischen Fläche bezüglich des Außengewindes angeordnet ist,
- einen Gewindeganggrund **30**, ebenfalls auf einer konischen Fläche mit einem Halbscheitelwinkel  $\gamma$  angeordnet.

**[0147]** Die Winkel  $\gamma$  und B sind unterschiedlich, ihr Unterschied  $\delta$  ist so, dass die Gewindegänge **22** an ihrem Scheitel **28** weniger breit sind als an ihrer Basis.

**[0148]** I2 stellt die Breite des Innengewindegangs

auf halber Höhe dar, während I4 den Zwischenraum zwischen den Zähnen des Innengewindegangs auf halber Höhe darstellt; die Summe ( $I2 + I4$ ) stellt die Steigung des Innengewindegangs dar, die gleich der Steigung des Außengewindegangs ist.

**[0149]** In der Konfiguration der Gewindeverbindung der **Fig. 4** ist I1 größer als I4 und I2 ist größer als I3, was zur Folge hat, dass beim Schraubvorgang die beiden Außenflanken **23**, **125** in einem gegebenen Zeitpunkt unter Berücksichtigung der Konizität der Gewinde mit den beiden Innenflanken **24**, **26** in Kontakt kommen; bei Fortsetzung des Schraubvorgangs werden die Gewindegänge **21**, **22** einer axialen Einspannung ausgesetzt, daher die Bezeichnung Gewindegänge mit axialer Einspannung, die dieser Art Gewindegang verliehen wird.

**[0150]** **Fig. 4C** stellt die Position des Außengewindegangs **21** und des Innengewindegangs **22** zum Zeitpunkt des ersten Kontakts während des Schraubvorgangs dar.

**[0151]** Die geradlinigen Trägerflanken **23**, **24** mit dem Winkel  $\alpha$  haben einen über ihre ganze gemeinsame Breite verteilten Kontakt.

**[0152]** Die Gewindegangsscheitel **29**, **28** sind noch von den entsprechenden Gewindeganggründen **30**, **27** entfernt.

**[0153]** Die Eingriffsflanken **125**, **26** sind im Punkt O in Kontakt, der sich auf dem Bogen MP näher bei M als bei P auf der Außengewindegangflanke **125** und ebenfalls näher bei Q als bei N auf der Innengewindegangflanke **26** befindet. Der Kontakt findet also auf der Seite des Außengewindegangsscheitels statt, auf der sich die Kehle **31** befindet.

**[0154]** Der zu M hin verschobene Kontakt kommt daher, dass der Winkel A der Tangente **39** zur konvex gewölbten Flanke **125** auf halber Gewindeganghöhe kleiner ist als der konstante Winkel B der geradlinigen Innengewindegangflanke **26**, wobei der Punkt O dem Punkt entspricht, in dem die Tangente zur konvex gewölbten Flanke **125** einen Winkel gleich B bezüglich der Senkrechten zur Achse der Verbindung bildet.

**[0155]** Wenn man den Schraubvorgang über die in **Fig. 4C** gezeigte Stellung hinweg fortsetzt, haben aufgrund der konischen Gewinde die Außengewindegänge die Tendenz, keilförmig in die Vertiefungen zwischen den Innengewindegängen einzudringen, und umgekehrt haben die Innengewindegänge die Tendenz, keilförmig in die Vertiefungen zwischen den Außengewindegängen einzudringen, wodurch ein einspannender Kontaktdruck zwischen den entsprechenden Flanken entsteht. Dieser Kontaktdruck steigt, wenn man den Schraubvorgang fortsetzt, aufgrund der Trapezform der Gewindegänge und der

Konizität der Gewinde.

**[0156]** In Abwesenheit einer Kehle auf klassischen trapezförmigen Außen- und Innengewindegängen bilden, unter Berücksichtigung der Herstellung der Gewindegänge aus einem Material mit hohem Elastizitätsmodul von der Art Stahl, die beiden Flanken sehr schnell einen äußerst steifen Anschlag, und man kann den Schraubvorgang dann nicht mehr fortsetzen.

**[0157]** Das wäre kein schwerwiegender Nachteil, wenn die Geometrie der Gewindegänge perfekt reproduzierbar wäre, was nicht der Fall ist.

**[0158]** Normale Bearbeitungstoleranzen von  $\pm 0,01$  mm bei den Breiten der Außengewindegänge und der Innengewindegänge können eine Abweichung von 0,02 mm bei der axialen Einspannung oder Klemmung gleich ( $I1 - I4$ ) oder ( $I2 - I3$ ) bewirken.

**[0159]** Diese Abweichung äußert sich aufgrund der Konizität der Gewinde durch inakzeptable Positionsabweichungen zwischen Außen- und Innengewindeelement, und sie führt insbesondere zu Abweichungen der radialen Interferenz in Höhe der Dichtungsauflageflächen **5**, **6**, also zu inakzeptablen Risiken von Lecks im Betrieb.

**[0160]** Die Kehle **31**, die am Gewindegangsscheitel **29** neben der konvex gewölbten Eingriffsflanke **125** mündet, ermöglicht es den beiden Bereichen **33**, **35** des Außengewindegangs **21**, sich unter dem einspannenden Kontaktdruck durch Biegung zu verformen, der aus dem Fortsetzen des Schraubvorgangs über den ersten Kontakt hinaus entsteht: Die Kehle **31** ermöglicht es also, die Struktur des Außengewindegangs **21** geschmeidiger zu machen und die Steifheit der Eingriffsflanke **125** zu verringern.

**[0161]** Die Verformung der beiden Bereiche **33**, **35** des Außengewindegangs ist proportional zum Kontaktdruck, da man das Material des Außengewindegangs **21** im elastischen Bereich arbeiten lässt, während der massive Innengewindegang **22** in erster Näherung als steif angesehen werden kann, und die Steifheit der vom Gewindegangsbereich **35** zwischen der Kehle **31** und der elastischen Eingriffsflanke gebildeten Feder durch die Geometrie dieses Gewindegangsbereichs **35** und durch die Elastizität des ihn bildenden Materials, zum Beispiel Stahl, bestimmt wird.

**[0162]** Die Krümmung der konvex gekrümmten Außengewindegangflanke **125** ermöglicht es, die Kehle optimal arbeiten zu lassen: In Abwesenheit einer solchen Krümmung, d. h., wenn die Außengewindegang-Eingriffsflanke geradlinig wäre, mit einem Winkel gleich B, gäbe es eine Annäherung durch Translationsbewegung der Bereiche **33**, **35** des Außengewindegangszahns, was zu einer starken Verringerung

des Radius R2 am Kehlegrund und zu einer Gefahr des Abscherens der Wurzel der Gewindegangsbereiche **33**, **35** führen würde.

[0163] Die Krümmung der konvex gewölbten Außengewindegang-Eingriffsflanke **125** ermöglicht dagegen die progressive Drehung der konvex gewölbten Eingriffsflanke **125**, die so während des Fortgangs des Schraubvorgangs flexibel gemacht wurde, sowie eine Verteilung der Kontaktdrücke gemäß der Hertz-Theorie.

[0164] Das Drehzentrum der flexiblen Eingriffsflanke **125** befindet sich im Wesentlichen in P am Fuß der flexiblen Eingriffsflanke **125**.

[0165] [Fig. 4D](#) stellt die Positionierung der Gewindegänge am Ende des Schraubvorgangs dar.

[0166] Der Bereich **35** des Gewindegangs zwischen Kehle **31** und flexibler Eingriffsflanke **125** hat sich um einen bestimmten Winkel gedreht, um die Anpassung des Platzbedarfs zwischen den Flanken der Außengewindegänge und der Innengewindegänge zu erlauben.

[0167] Der ursprüngliche Kontaktpunkt O hat sich zu O' in Richtung des Punkts P entlang des Bogens MP verschoben.

[0168] Eine solche Verschiebung OO' ist vorteilhaft, da sie es erlaubt, nicht immer den gleichen Punkt der Eingriffsflanken während des Schraubvorgangs arbeiten zu lassen und so die Gefahren des Festfressens zu begrenzen.

[0169] Man sieht also, dass es vorteilhaft ist, den ersten Kontakt in O auf der halben Breite des Bogens MP entgegengesetzt zu P, und wenn möglich nahe dem P entgegengesetzt liegenden Ende M, herzustellen, d. h. auf der Seite des Gewindegangscheitels **29**, wo die Kehle **31** ausgebildet ist.

[0170] Die Wahl des Krümmungsradius R1 der konvex gewölbten Flanke **125** definiert die Verschiebung OO' für die gegebenen Winkel A und B.

[0171] Die folgenden graphischen Darstellungen [Fig. 8](#) bis [Fig. 10](#) resultieren aus Studien über Gewindeverbindungen vom Typ VAM TOP® (gemäß dem Katalog VAM® Nr. 940 ausgegeben im Juli 1994 von Vallourec Oil & Gas), verändert gemäß [Fig. 4](#) und mit den folgenden Eigenschaften:

- Rohre aus wenig legiertem Stahl, behandelt für einen Grad API L80 (Elastizitätsgrenze größer als oder gleich 552 MPa);
- Außendurchmesser der Rohre: 177,8 mm (7");
- Dicke der Rohre: 10,36 mm (29 lb/ft);
- Gewinde mit einer Steigung von 6 mm und einer Konizität = 6,25% ( $\gamma = 1,79^\circ$ );

- Gewindeganghöhe 1,8 mm; Gewindegangbreite 3,5 mm;
- $\alpha = -3^\circ$ ; B (Winkel der Innengewindegang-Eingriffsflanke) =  $13^\circ$ ;  $\delta = 10^\circ$ ;
- A (Winkel der Außengewindegang-Eingriffsflanke auf halber Höhe) variabel zwischen  $9^\circ$  und  $14^\circ$ ;
- Radius R1 der konvex gewölbten Außengewindegang-Eingriffsflanke variabel zwischen 5 und 20 mm;
- Klemmung (oder axiale gegenseitige Einspannung FA) variabel zwischen 0 und 0,14 mm (0,04 mm angestrebt);
- Kehlentiefe: 1 mm; Kehlenbreite an ihrer Mündung = 1,4 mm;
- Radius R2 am Kehlegrund = 0,4 mm;
- Mitte des Kehlegrundes 2,3 mm vom der Trägerflanke entfernt.

[0172] Die graphische Darstellung der [Fig. 8](#) zeigt die Verschiebung DC des Kontaktpunkts O entlang des Bogens MP der flexiblen Flanke **125** der [Fig. 4](#) in Abhängigkeit von der Klemmung FA auf der Eingriffsflanke für verschiedene Werte des Winkels A zwischen  $9^\circ$  und  $14^\circ$ .

[0173] Man stellt in [Fig. 8](#) fest, dass je größer der Winkel A, desto schneller ist die Verschiebung DC der Flanke **125**.

[0174] Wenn der Winkel A kleiner ist als der Winkel B, überprüft man, ob der ursprüngliche Kontaktpunkt O sich auf der halben Breite des Bogens MP auf der dem Drehzentrum P entgegengesetzten Seite befindet.

[0175] Der Winkel A kann nicht kleiner als  $9^\circ$  sein, da der Punkt O sich sonst außerhalb des Bogens MP jenseits von M befinden könnte.

[0176] Werte von A größer als  $12^\circ$  sind auch nicht wünschenswert, da der Endkontaktpunkt O' sich dann für bestimmte schlecht gepaarte Außengewinde-Innengewinde-Elementepaare jenseits von P befinden könnte.

[0177] Ein Betrieb mit einem Kontaktpunkt O' nahe P scheint außerdem auch nicht optimal zu sein, da er zu Beanspruchungskonzentrationen am Fuß des Gewindegangs führt, wie im Fall eines Kontakts zwischen zwei geradlinigen Flanken.

[0178] Ein Wert des Winkels A von  $10^\circ$  scheint für den vorliegenden Fall völlig geeignet, wobei der Endkontaktpunkt O' zu einer Beanspruchungsspitze führt, die sich im schlechtesten Fall kaum jenseits der halben Breite der Flanke auf der Seite von P befindet.

[0179] [Fig. 9](#) zeigt an den gleichen Gewindeverbindungen die Entwicklung des Drehwinkels RFE der elastischen Flanke **125** in Abhängigkeit von der

Klemmung FA.

**[0180]** Auch hier ist die Drehung der Flanke **125** umso schneller, je größer der Winkel A ist.

**[0181]** Es ist vorteilhaft, einen Winkel A relativ klein ( $10^\circ$ ) zu wählen, um das Ausmaß der Drehung mit dem Klemmen zu begrenzen.

**[0182]** Auf diese Weise verändert sich der Kontaktdruck wenig in Abhängigkeit von der tatsächlich erhaltenen Klemmung.

**[0183]** Die graphische Darstellung der [Fig. 10](#) zeigt für die gleiche Art von Gewindeverbindung für verschiedene Krümmungsradien R1 der Flanke **125** den Einfluss der Klemmung FA auf die Verschiebung DC des Kontaktpunkts, wobei der Winkel A konstant und gleich  $10^\circ$  gehalten wird.

**[0184]** Für einen Krümmungsradius R1 von 20 mm findet der ursprüngliche Kontakt in M statt, und der Kontaktpunkt verschiebt sich im Laufe des Klemmens schnell entlang des Bogens MP.

**[0185]** Je kleiner der Krümmungsradius R1, desto mehr verschiebt sich der ursprüngliche Kontaktpunkt O nach P, und desto stärker verringert sich die Verschiebegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Klemmung.

**[0186]** Ein Radius R, der zu weit unter 5 mm liegt, scheint schädlich, wenn man einen ursprünglichen Kontaktpunkt O auf der halben Breite des Bogens MP entgegengesetzt zu P beibehalten will.

**[0187]** Man kann so in geeigneter Weise einen Krümmungsradius R1 der konvex gewölbten Flanke **125** zwischen 3 und 30 mm wählen.

**[0188]** Man erhält die gleiche Wirkung der Erhöhung des Widerstands der Gewindeverbindung gegen ein Losschrauben oder Überdrehen im Fall der Gewindegänge der [Fig. 4](#) wie im Fall der Gewindeverbindungen mit konvex gewölbten Gewindegangsscheiteln gemäß [Fig. 3](#), aber die Erhöhung dieses Widerstands ist im Fall der Gewindegänge mit gegenseitiger axialer Einspannung mit konvex gewölbter Eingriffsflanke wesentlich größer als im Fall der Gewindegänge der [Fig. 3](#), wenn auch der Mechanismus der Erhöhung dieses Widerstands gleich dem in [Fig. 7](#) dargestellten ist.

**[0189]** Der sehr stark verbesserte Widerstand gegen das Losschrauben wurde durch Versuche des Festschraubens-Losschraubens festgestellt, die an zwei Gewindeverbindungen durchgeführt wurden, die gleich denen für die Versuche der [Fig. 8](#) bis [Fig. 10](#) sind, aber unterschiedliche geometrische Eigenschaften im Vergleich mit denen der [Fig. 4](#) auf-

weisen: Das Außengewindeelement ist konventionell mit einem Außengewindegang mit geradlinigen Flächen, während das Innengewindeelement einen Innengewindegang aufweist, der eine konvex gewölbte Eingriffsflanke und eine am Innengewindegangsscheitel mündende Kehle aufweist.

**[0190]** Für einen Winkel zwischen der Tangente zur konvex gewölbten Innengewinde-Eingriffsflanke und der Senkrechten zur Achse der Verbindung (gesehen auf halber Höhe des Gewindegangs) gleich  $11^\circ$ , einen Radius R1 der konvex gewölbten Innengewindegang-Eingriffsflanke gleich 10 mm und eine Klemmung gleich 0,02 mm ist das Losschraubmoment  $T_0$  für eine der Gewindeverbindungen auf 130% und für die andere Gewindeverbindung auf 123% des Schraubmoments  $T_f$  angestiegen.

**[0191]** [Fig. 5](#) ist eine Variante der [Fig. 4](#). In dieser [Fig. 5](#) besitzt der Außengewindegang **21** auch eine konvex gewölbte Eingriffsflanke **125** mit einem Winkel A auf halber Flankenbreite, aber er hat keine Kehle.

**[0192]** Dagegen ist eine Kehle **32** auf dem Innengewindegang **22** angeordnet und ermöglicht die Biegung der geradlinigen Innengewindegang-Eingriffsflanke **26**, die der konvex gewölbten Eingriffsflanke **125** im Zustand des gegenseitigen Einspannkontakts während des Schraubvorgangs entspricht.

**[0193]** In der Konfiguration der [Fig. 5](#) ist der Winkel A größer als der Winkel B. Eine solche Konfiguration erlaubt, wie man in den [Fig. 5C](#) und [Fig. 5D](#) sieht, einen ersten Kontakt in O auf der halben Breite der flexiblen Eingriffsflanke **26** auf der Seite des Innengewindegangsscheitels **28**, wo die Kehle **32** eingearbeitet ist. Diese Konfiguration ermöglicht auch die Verschiebung OO' des Kontaktpunkts zum Drehzentrum Q.

**[0194]** Der Betrieb der Gewindeverbindung der [Fig. 5](#) ist ansonsten gleich demjenigen, der für die [Fig. 4](#) beschrieben wurde.

**[0195]** [Fig. 6](#) zeigt bei der Gewindeverbindung **300** der [Fig. 2](#) die Anwendung eines Gewindegangs mit Kehle und konvex gewölbter Eingriffsflanke auf ein zylindrisches Gewinde mit trapezförmigen, so genannten Keilgewindegängen oder mit variabler Breite, wobei solche Gewinde mit Keilgewindegängen insbesondere aus dem Patent US Re 30647 bekannt sind.

**[0196]** Das Außengewinde **303'** der [Fig. 6B](#) weist Gewindegänge von der Art Trapez in Schwalbenschwanzform und mit variabler Breite auf.

**[0197]** Die trapezförmigen Außengewindegänge **321** weisen auf:

- einen geradlinigen Gewindegangsscheitel **329** parallel zur Achse der Gewindeverbindung;
- einen ebenfalls geradlinigen Gewindeganggrund **327** parallel zur Achse der Gewindeverbindung;
- eine geradlinige Eingriffsflanke **325**, die über den Gewindeganggrund **327** vorsteht, wobei der Winkel  $p$  zwischen der Eingriffsflanke und der Senkrechten zur Achse der Verbindung daher negativ gezählt wird;
- eine konvex gewölbte Trägerflanke **323** mit einem Radius  $R_1$  (außerhalb der Anschlüsse an die Gewindegangsscheitel und Gewindeganggründe).

**[0198]** Die Flanke **323** ist derart, dass die Tangente **339** auf halber Höhe des Gewindegangs einen Winkel  $A$  mit der Senkrechten zur Achse der Montage bildet.

**[0199]** Die Winkel  $\beta$  und  $A$  sind so, dass die Gewindegänge an ihrem Scheitel **329** größer sind als an ihrer Basis (schwalbenschwanzförmige Gewindegänge).

**[0200]** Diese Gewindegänge werden mit konstanter Steigung und variabler Breite genannt, da die Breite des Gewindegangs zunimmt (und folglich der Zwischenraum zwischen Gewindegangszähnen abnimmt), wenn man sich vom freien Ende des Gewindeelements entfernt: Man hat so I3.1 größer als I3.2 in [Fig. 7B](#).

**[0201]** Das entsprechende Innengewinde **304'** ist in [Fig. 6A](#) dargestellt.

**[0202]** Die Innengewindegänge **322** sind vom bekannten Typ in Schwalbenschwanzform mit variabler Breite und an die Außengewindegänge **321** angepasst.

**[0203]** Die Gewindegangsscheitel **328** und Gewindeganggründe **330** sind geradlinig und parallel zur Achse der Montage.

**[0204]** Die Trägerflanken **324** und Eingriffsflanken **326** sind ebenfalls geradlinig: sie stehen beide über die Gewindeganggründe **330** vor, so dass ihre Winkel  $B$  bzw.  $\beta$  bezüglich der Senkrechten zur Achse der Verbindung negativ gezählt werden.

**[0205]** Die Breite der Gewindegänge  $I_2$  auf halber Höhe nimmt nach und nach ab, während man sich dem freien Ende des Elements nähert, so dass  $I_2.1$  größer ist als  $I_2.2$  in [Fig. 6a](#).

**[0206]** Die Innengewindegänge **322** weisen außerdem auf ihrer ganzen Länge eine schraubenförmige Kehle **332** auf, deren Profil eine Achse im Wesentlichen senkrecht zur Achse der Montage aufweist und die am Gewindegangsscheitel **328** mündet.

**[0207]** Diese Kehle hat das Profil eines V mit abgerundetem Grund und einem Radius  $R_2$  gleich 0,4 mm.

**[0208]** Wenn man die Gewinde **303'**, **304'** ineinander schraubt, beginnt man damit, Gewindegänge geringer Breite Vertiefungen großer Breite zuzuordnen, aber im Laufe des Schraubvorgangs nimmt dieses Spiel ab, bis es sich in einem in [Fig. 6C](#) dargestellten Zeitpunkt annulliert: Die Außengewindegang- und Innengewindegang-Trägerflanken **323**, **324** sind in punktförmigem Kontakt in  $O$ , und die Außengewindegang- und Innengewindegang-Eingriffsflanken **325**, **326** sind in verteiltem Kontakt.

**[0209]** Wie im Fall der [Fig. 5](#) befindet sich der Punkt  $O$  auf dem Segment  $NQ$  auf der Seite des Gewindegangsscheitels **328**, wo die Kehle **332** ausgebildet ist.

**[0210]** Dies kommt wie vorher daher, dass der Winkel  $A$  im Absolutwert kleiner ist als der Winkel  $B$ .

**[0211]** Wenn man den Schraubvorgang über den einfachen Kontakt zwischen Flanken hinaus fortsetzt, haben immer breitere Gewindegänge die Tendenz, sich in immer engere Vertiefungen einzufügen: Es gibt dann eine progressives gegenseitiges axiales keilförmiges Einspannen der Flanken, daher die Bezeichnung "Keil" dieser Art von Gewinde; wie in den Fällen der [Fig. 4](#) oder [5](#) kann man den Schraubvorgang nur fortsetzen, indem man es den Flanken erlaubt, sich elastisch zu verformen.

**[0212]** Die Funktion der Kehle **332**, die vorteilhafterweise durch die konvex gewölbte Form der Trägerflanke **323** unterstützt wird, ist es, eine solche elastische Verformung der Flanken zu ermöglichen.

**[0213]** Die Funktionen der Kehle **332** und der konvex gewölbten Flanke **323** sind gleich denen der Kehlen **31**, **32** und der konvex gewölbten Flanke **125** der [Fig. 4](#) und [5](#), wobei die elastische Flanke **324** geradlinig ist, wie im Fall der [Fig. 5](#).

**[0214]** Man kann in geeigneter Weise den Krümmungsradius  $R_1$  der Außengewindegang-Trägerflanke **323** so wählen, dass der Widerstand der Gewindeverbindung gegen das Losschrauben oder Überdrehen durch einen Mechanismus gleich dem der [Fig. 7](#) erhöht wird.

**[0215]** Es ist anzumerken, dass die Gewindeverbindungen der [Fig. 4](#) bis [6](#) auch an konische Gewinde mit Keilgewindegängen mit variabler Breite von der Art angepasst werden können, die in der Druckschrift WO 94/29627 offenbart sind. Eine solche Anpassung ist unter Berücksichtigung der obigen Angaben für den Fachmann einfach.

**[0216]** Indem man im Bereich der vorliegenden Er-

findung bleibt, kann man so eine Gewinde-Rohrverbindung mit gegenseitiger axialer Einspannung gemäß **Fig. 4** herstellen, die am Ende des Schraubvorgangs eine radiale Interferenz zwischen den Scheiteln eines der Gewindegänge, dem Außen- oder Innengewindegang, und dem zugeordneten Gewindeganggrund aufweist.

**[0217]** Indem man im Bereich der vorliegenden Erfindung bleibt, kann man auch eine Gewinde-Rohrverbindung mit interferierenden konischen Gewinden herstellen, deren Außengewindegang-Trägerflanken oder Innengewindegang-Trägerflanken konvex gewölbt sind, und deren Außengewindegänge oder Innengewindegänge eine Kehle aufweisen, die am Gewindegangscheitel mündet, um die Kontaktveränderungen zwischen Trägerflanken aufgrund unterschiedlicher Zug-, Druck- oder Biegebeanspruchungen im Betrieb aufzufangen.

**[0218]** Solche Kontaktvariationen können tatsächlich bei massiven Gewindegängen (= ohne Kehle) mit geradlinigen Trägerflanken die Entwicklung von Ermüdungsrissen ("pitting") auf diesen Trägerflanken hervorrufen.

**[0219]** Die verschiedenen beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können sowohl bei integralen Gewindemontagen als auch bei gemufften Gewindemontagen angewendet werden.

**[0220]** Man kann zum Beispiel eine Gewindeverbindung wie in den **Fig. 11** herstellen, deren trapezförmige Innengewindegänge (**Fig. 11A**) Flächen aufweisen, die alle geradlinig sind, während die entsprechenden Außengewindegänge (**Fig. 11B**) ebenfalls allgemein trapezförmig sind, aber mit einer konvex gewölbten Trägerflanke **123** wie in **Fig. 6B**.

**[0221]** Die Höhe  $h_1$  der Außengewindegänge ist etwas kleiner als die Höhe  $h_2$  der Innengewindegänge, und die Breite der Außengewindegänge oder der Innengewindegänge ist geringfügig kleiner als die der Zwischenräume zwischen einander entsprechenden Gewindegängen, wie in den **Fig. 3A**, **Fig. 3B**, so dass nach dem Schraubvorgang (**Fig. 11C**) die Innengewindegangscheitel **28** radial mit den Außengewindeganggründen **27** interferieren, während es ein radiales Spiel zwischen den Außengewindegangscheiteln **29** und den Innengewindeganggründen **30** gibt. Außerdem liegen die Außengewinde-Trägerflanken **123** und die Innengewinde-Trägerflanken **24** aufeinander auf, während es ein axiales Spiel zwischen den Außengewindegang-Eingriffsflanken **25** und den Innengewindegang-Eingriffsflanken **28** gibt.

**[0222]** Die Innengewindegänge **22** sind massiv, während die Außengewindegänge **21** eine Kehle **31** gleich der der **Fig. 4** aufweisen, die es ermöglicht, die Kontaktdruckänderungen im Betrieb aufzufangen.

**[0223]** Die Krümmung der Außengewinde-Trägerflanke **123** ermöglicht abgesehen von den Einwirkungen auf den Widerstand gegen ein Überdrehen und Losschrauben sehr vorteilhafterweise die Beherrschung der Breite des Kontakts und die Lokalisierung des Kontakts zwischen Trägerflanken **123**, **24**, wie oben angegeben, wenn die konvex gewölbte Fläche eine Eingriffsflanke ist (siehe **Fig. 4** und **5**).

**[0224]** Ähnliche Wirkungen könnten erhalten werden, wenn eine Innengewinde-Trägerflanke konvex gewölbt hergestellt wird, während die Außengewinde-Trägerflanke geradlinig ist.

**[0225]** Ähnliche Wirkungen könnten auch bei Gewindeverbindungen mit konischen Gewinden und so genannten "rugged thread"-Gewindegängen erhalten werden, wie sie in den Druckschriften EP 454 147 oder JP 08 281 061 beschrieben sind, bei denen die Außengewindegang- und Innengewindegang-Trägerflanken in Auflage sind, während die Außengewindegang- und Innengewindegang-Eingriffsflanken am Ende des Schraubvorgangs in Kontakt sind, wobei die Gewindegänge mindestens eines Gewindes eine Trägerflanke oder eine Eingriffsflanke oder die Trägerflanken und Eingriffsflanken mit konvex gewölbter Form aufweisen.

## Patentansprüche

1. Gewinde-Rohrverbindung (**100**, **300**), die ein Außengewindeelement (**1**) am Ende eines ersten Rohrs (**101**, **301**) und ein Innengewindeelement (**2**) am Ende eines zweiten Rohrs (**202**, **302**) aufweist, wobei das Außengewindeelement außen ein Außengewinde (**103**, **303**) mit trapezförmigen Gewindegängen über im Wesentlichen die ganze Länge des Außengewindes und das Innengewindeelement innen ein dem Außengewinde entsprechendes Innengewinde (**104**, **304**) mit trapezförmigen Gewindegängen über im Wesentlichen die ganze Länge des Innengewindes aufweist, wobei das Außengewinde und das Innengewinde mit einem gegebenen Schraubmoment ( $T_f$ ) ineinander geschraubt sind, so dass mindestens eine Außengewindefläche (**21**, **321**) unter Druckkontakt mit der entsprechenden Fläche des Innengewindes (**22**, **322**) in Kontakt steht, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine unter Kontakt stehende Gewindegangfläche (**125**, **128**, **325**) vor dem Schraubvorgang eine über die Breite der betroffenen Fläche durchgehende konvex gewölbte Form aufweist und mit der entsprechenden Fläche (**26**, **27**, **326**) des zugeordneten Elements in Punktkontakt steht, wobei die konvex gewölbte Fläche auf ihrer Breite mit Ausnahme in Höhe der Anschlüsse an die benachbarten Flächen einen Krümmungsradius oder Krümmungsradien ( $R_1$ ,  $R_3$ ) aufweist, die zwischen 2 und 60 mm liegen.

2. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass die konvex gewölbte Fläche über die ganze Länge des betroffenen Gewindes ausgebildet ist.

3. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die konvex gewölbte Fläche, mit Ausnahme in Höhe der Verbindungen mit den benachbarten Flächen, über ihre Breite und über die ganze Länge des Gewindes, auf der sie ausgebildet ist, eine gleichmäßige Krümmung aufweist.

4. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine konvex gewölbte Fläche (**125**, **128**, **325**) eines Gewindes (**21**, **321**) einer geradlinigen Fläche (**26**, **27**, **326**) auf dem zugeordneten Gewinde (**22**, **322**) entspricht.

5. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass sie nur eine konvex gewölbte Fläche aufweist, die nur auf einem der beiden Gewinde angeordnet ist.

6. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Außengewinde und das Innengewinde konisch sind, mit radial miteinander interferierenden Gewindegängen, und dass die konvex gewölbte Fläche ein Gewindegangsscheitel (**128**) ist.

7. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die konvex gewölbte Fläche eine Gewindegangflanke (**125**, **323**) ist, und dass der eine oder der andere Gewindegang, der Außen- (**21**) oder Innengewindegang (**22**, **322**), ein Mittel (**31**, **32**, **332**) aufweist, um die konvex gewölbte Flanke (**125**) oder die dieser entsprechende Flanke (**26**, **324**) auf dem zugeordneten Gewinde elastisch zu machen.

8. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel, um die konvex gewölbte Flanke oder die dieser entsprechende Flanke elastisch zu machen, eine Kehle (**31**, **32**, **332**) ist, die am Gewindegangsscheitel (**29**, **28**, **328**) neben der elastischen Flanke angeordnet ist.

9. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Tiefe der Kehle geringer als oder gleich der Höhe des Gewindegangs ist, auf dem sie ausgebildet ist.

10. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kehle an ihrer Mündung eine Breite aufweist, die geringer als oder gleich  $\frac{2}{3}$  der Breite des Gewindegangs ist, auf dem sie ausgebildet ist, gemessen auf halber Höhe des Gewindegangs.

11. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Grund der Kehle gemäß einem Radius ( $R_2$ ) größer als oder gleich 0,2 mm abgerundet ist.

12. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der "konvex gewölbte Flankenwinkel" genannte Winkel (A) zwischen der Tangente (**39**, **339**) zur konvex gewölbten Flanke auf halber Höhe der konvex gewölbten Flanke und der Senkrechten zur Achse des Zusammenbaus sich vom "entsprechender Flankenwinkel" genannten Winkel (B) zwischen der Tangente (**26**, **326**) zur der konvex gewölbten Flanke entsprechenden Flanke, ebenfalls auf halber Höhe der entsprechenden Flanke, und der Senkrechten zur Achse des Zusammenbaus unterscheidet.

13. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte des konvex gewölbten Flankenwinkels (A) und des entsprechenden Flankenwinkels (B) so sind, dass der erste Kontakt (O) beim Schraubvorgang zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke auf der elastischen Flanke auf der Seite des Gewindegangsscheitels (**29**, **28**, **328**) stattfindet, wo die Kehle ausgebildet ist.

14. Gewinde-Rohrverbindung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorzeichen des algebraischen Werts der Verschiebung zwischen dem konvex gewölbten Flankenwinkel (A) und dem entsprechenden Flankenwinkel (B) so ist, dass der Kontaktpunkt zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke sich während des Schraubvorgangs zum Drehzentrum der elastischen Flanke verschiebt.

15. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert der Verschiebung zwischen dem konvex gewölbten Flankenwinkel (A) und dem entsprechenden Flankenwinkel (B) so ist, dass der endgültige Kontaktpunkt (O') zwischen der konvex gewölbten Flanke und der entsprechenden Flanke sich außerhalb eines Viertels der Breite der elastischen Flanke befindet, die am Ende dieser Flanke auf der Seite des Gewindegangs angeordnet ist.

16. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Absolutwert der Verschiebung zwischen dem konvex gewölbten Flankenwinkel (A) und dem entsprechenden Flankenwinkel (B) zwischen  $1^\circ$  und  $5^\circ$  liegt.

17. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die konvex gewölbte Flanke eine Trägerflanke (**323**) ist.

18. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, die konvex gewölbte Flanke eine Eingriffsflanke (**125**) ist.

19. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 7 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewindeverbindung von der Art ist, die zu denjenigen mit radial interferierenden Gewindegängen, mit "rugged threads" genannten Gewindegängen, mit axial reibenden Gewindegängen, mit Keilgewindegängen mit variabler Breite gehört.

20. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 7 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Einsteckelement und jedes Aufnahmeelement mindestens eine Dichtungsauflagefläche aufweist, wobei jede Einsteck-Dichtungsauflagefläche (**5, 305**) radial mit einer entsprechenden Aufnahme-Dichtungsauflagefläche (**6, 306**) auf der Gewinde-Rohrverbindung im in Stellung verschraubten Zustand interferiert.

21. Gewinde-Rohrverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Einsteckelement und jedes Aufnahmeelement mindestens eine ringförmige Queranschlagfläche aufweist, wobei mindestens eine Einsteck-Anschlagfläche (**7, 30**) gegen eine entsprechende Aufnahme-Anschlagfläche (**8, 308**) auf der Rohr-Gewindeverbindung im in Stellung verschraubten Zustand anliegt.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

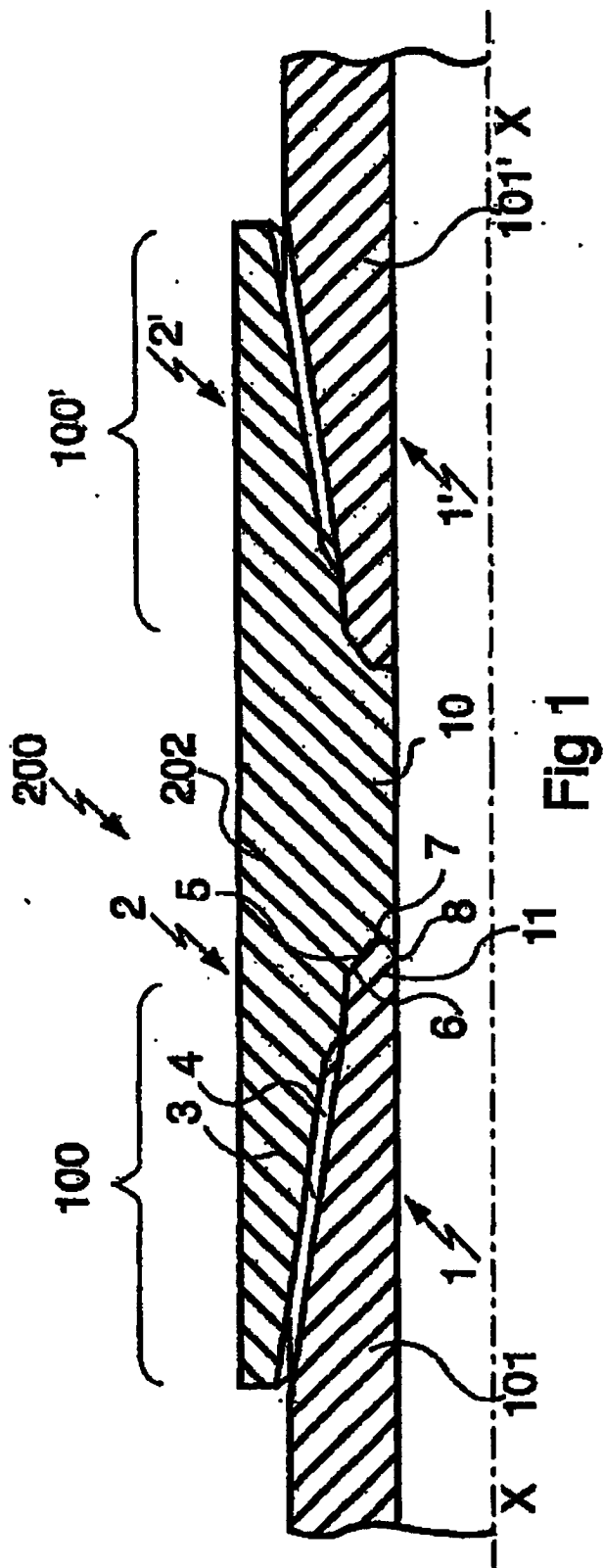


Fig 1

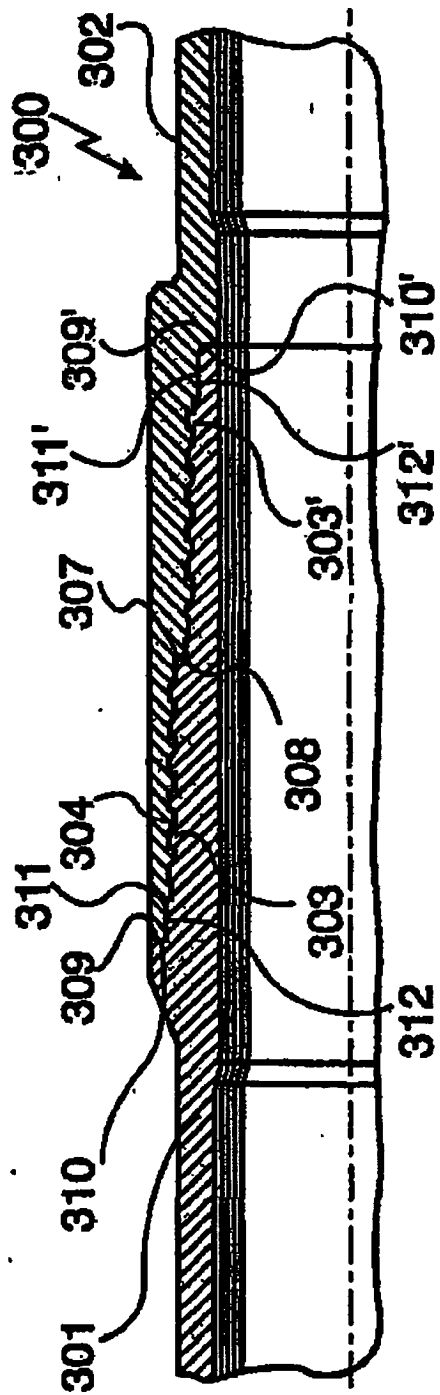


Fig 2

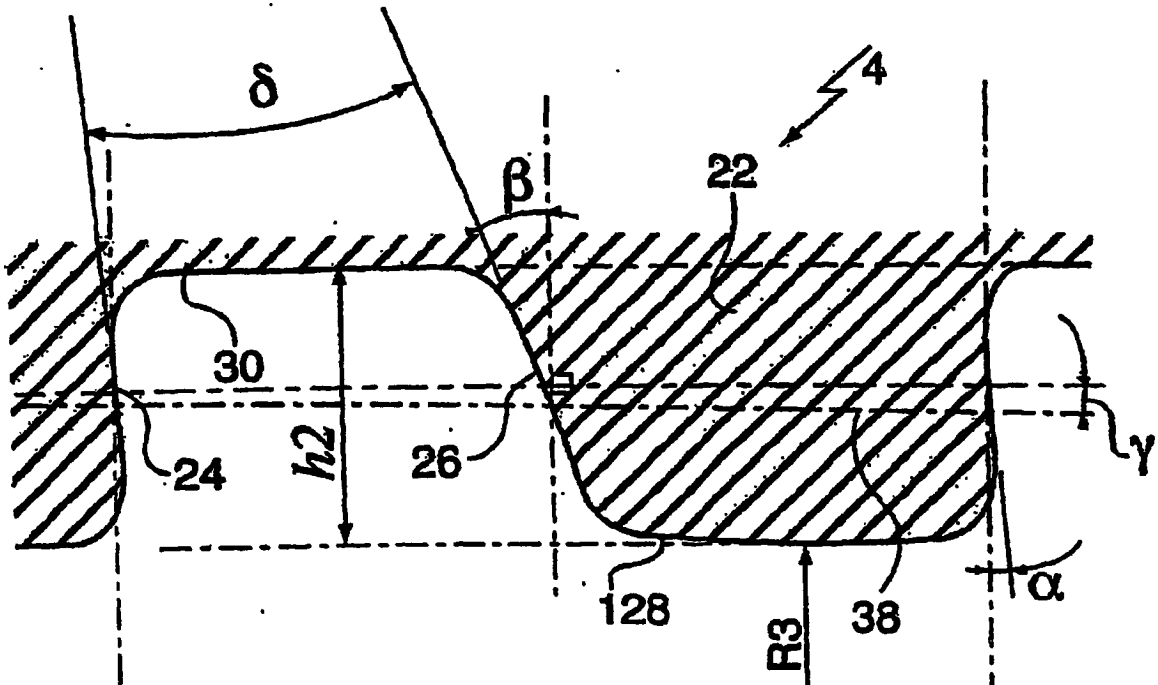


Fig 3A

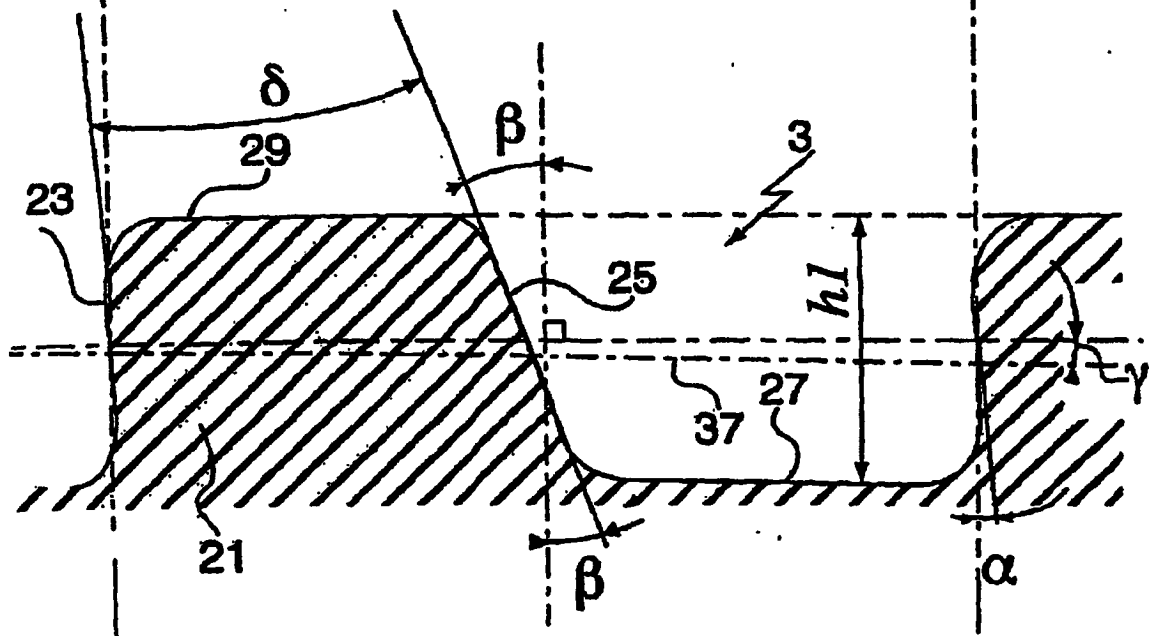


Fig 3B

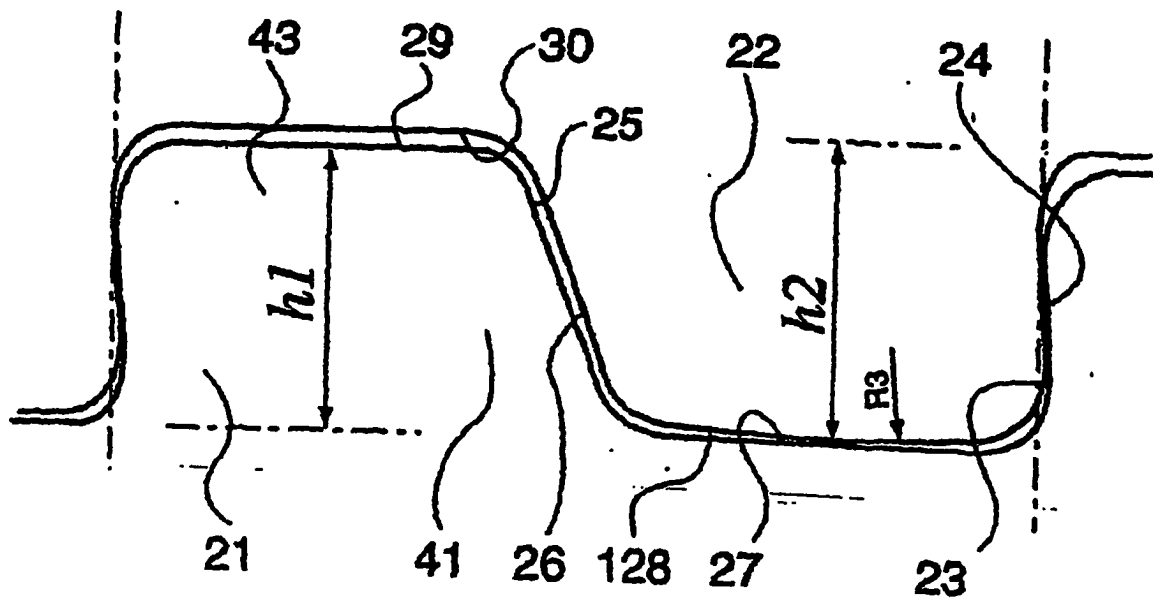


Fig 3C

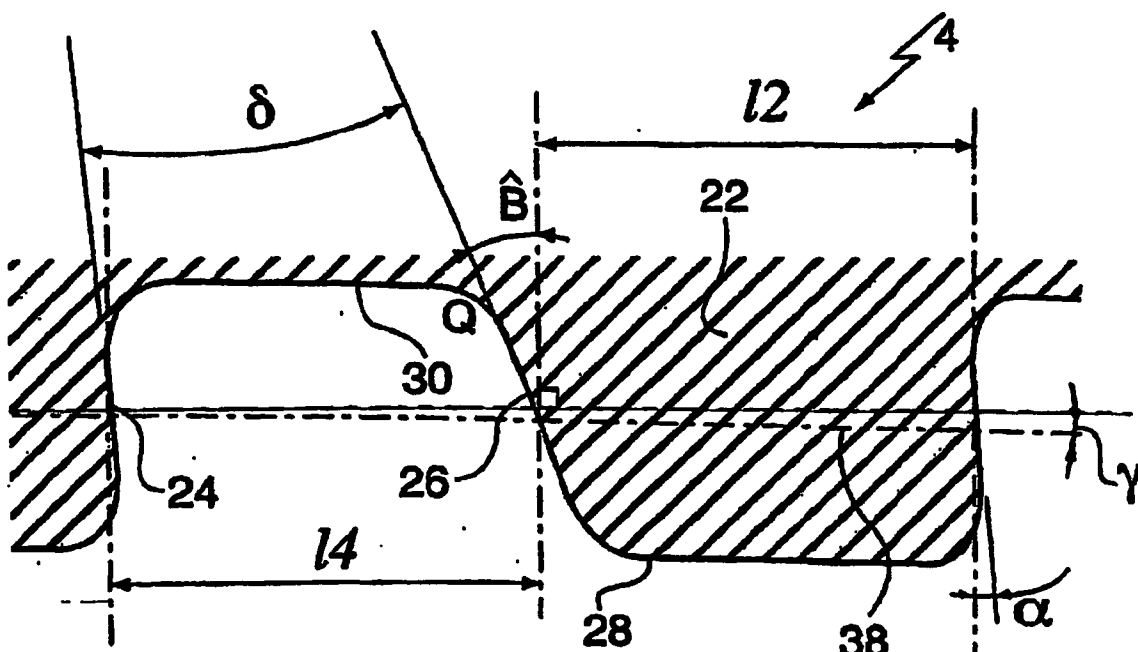


Fig 4A

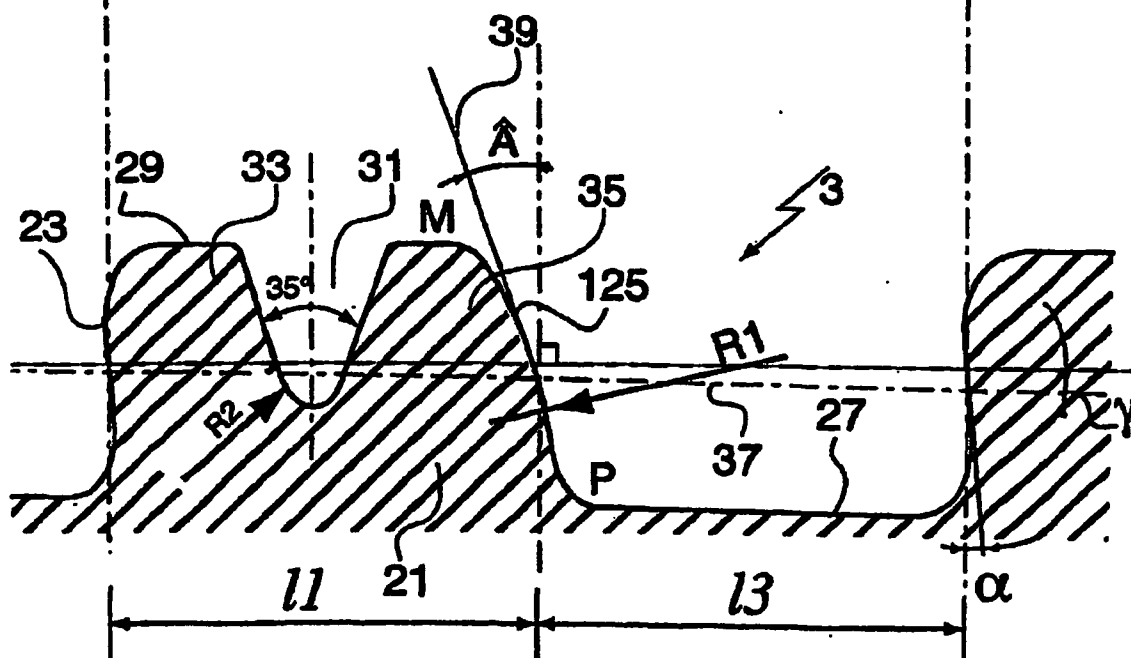


Fig 4B

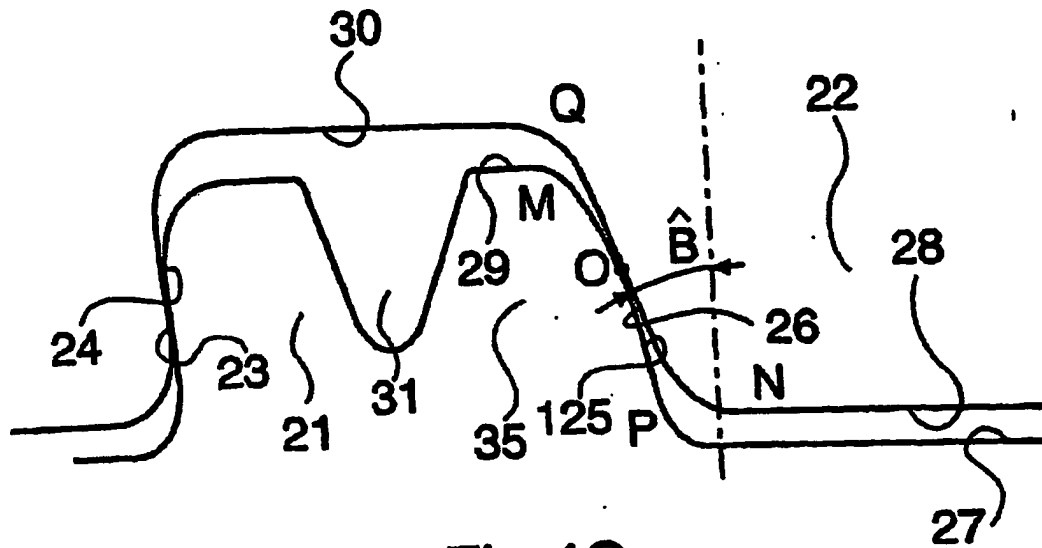


Fig 4C

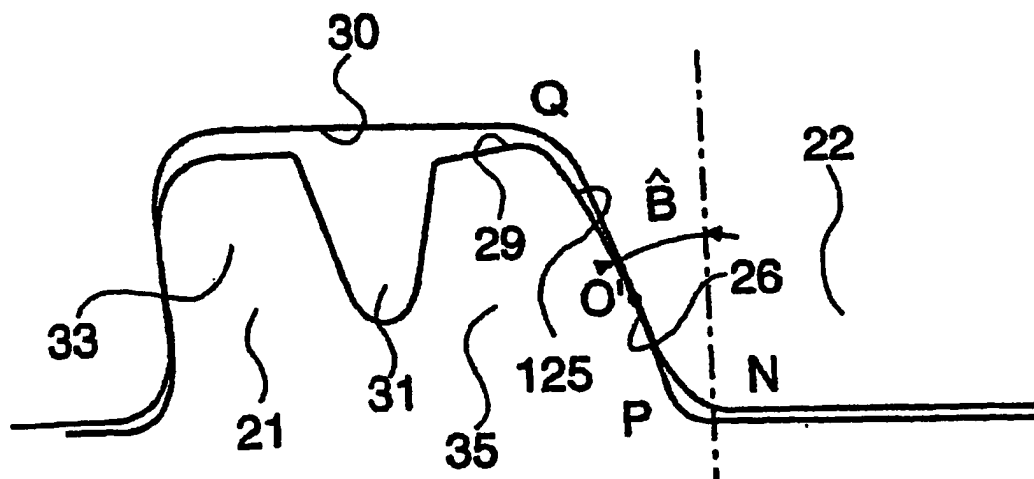


Fig 4D

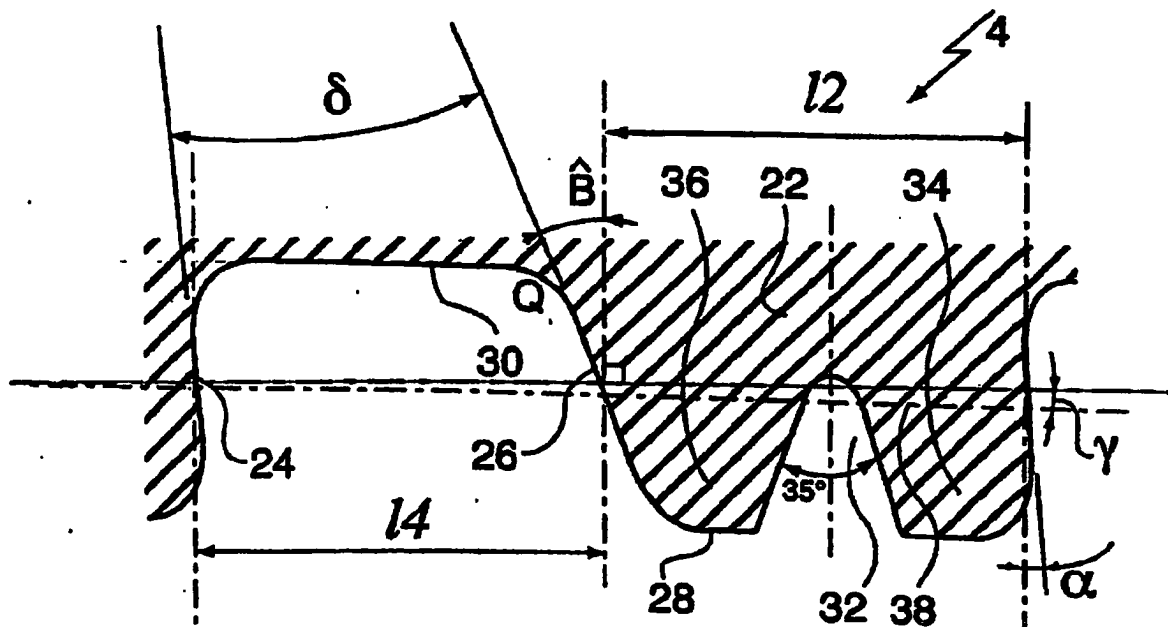


Fig 5A

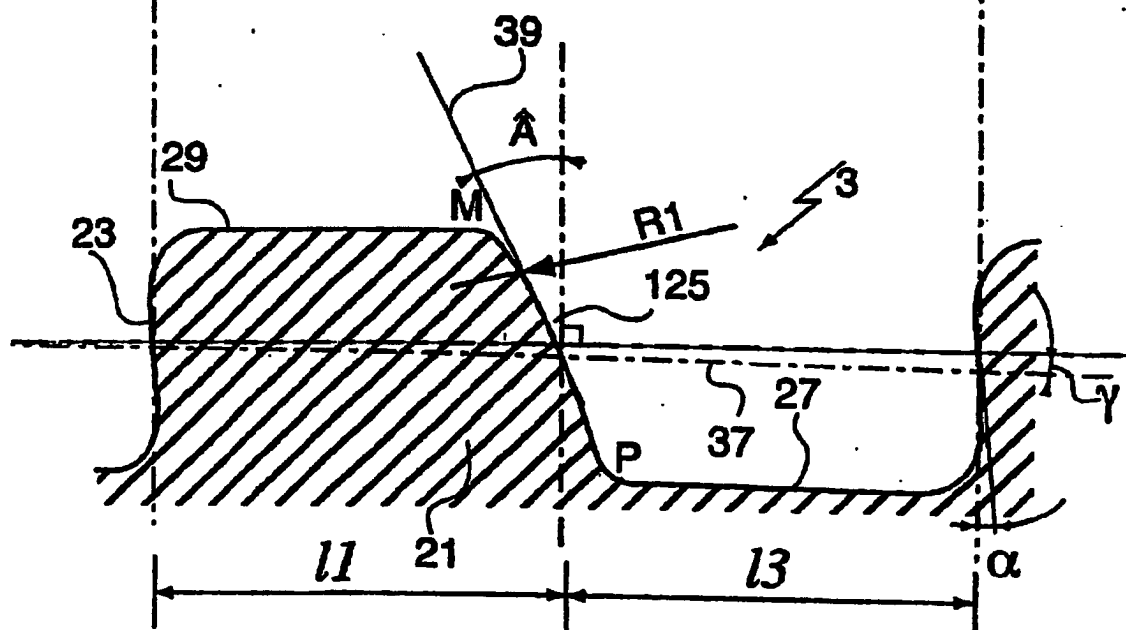


Fig 5B

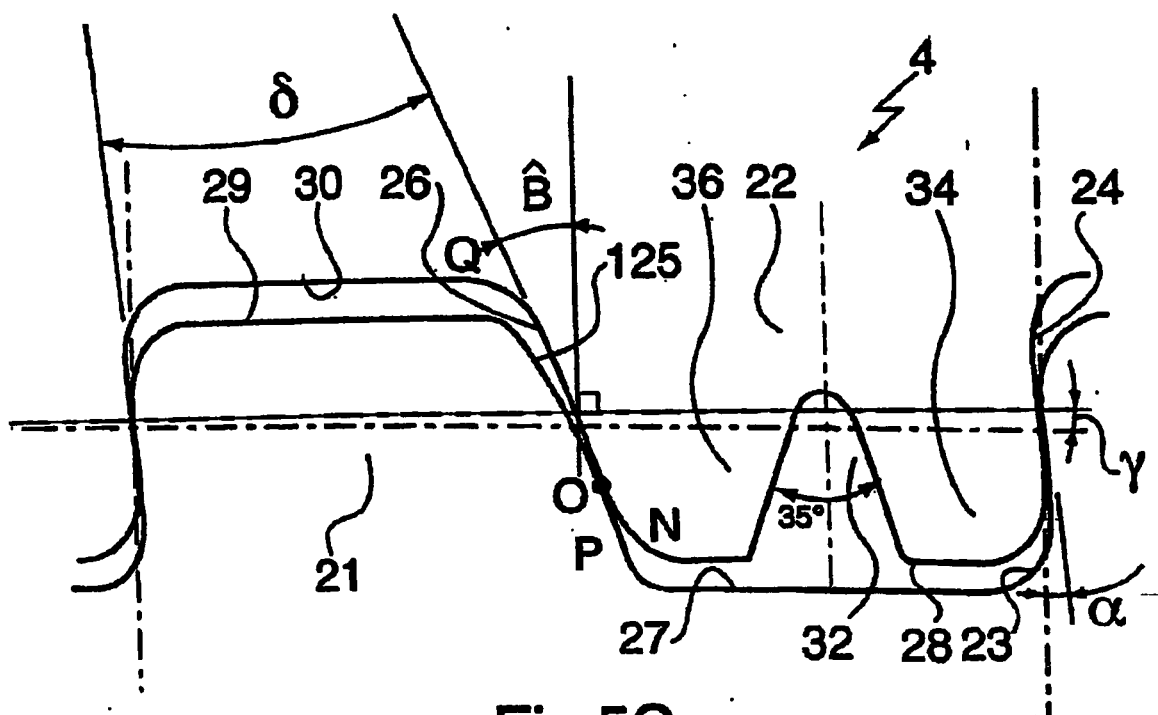


Fig 5C

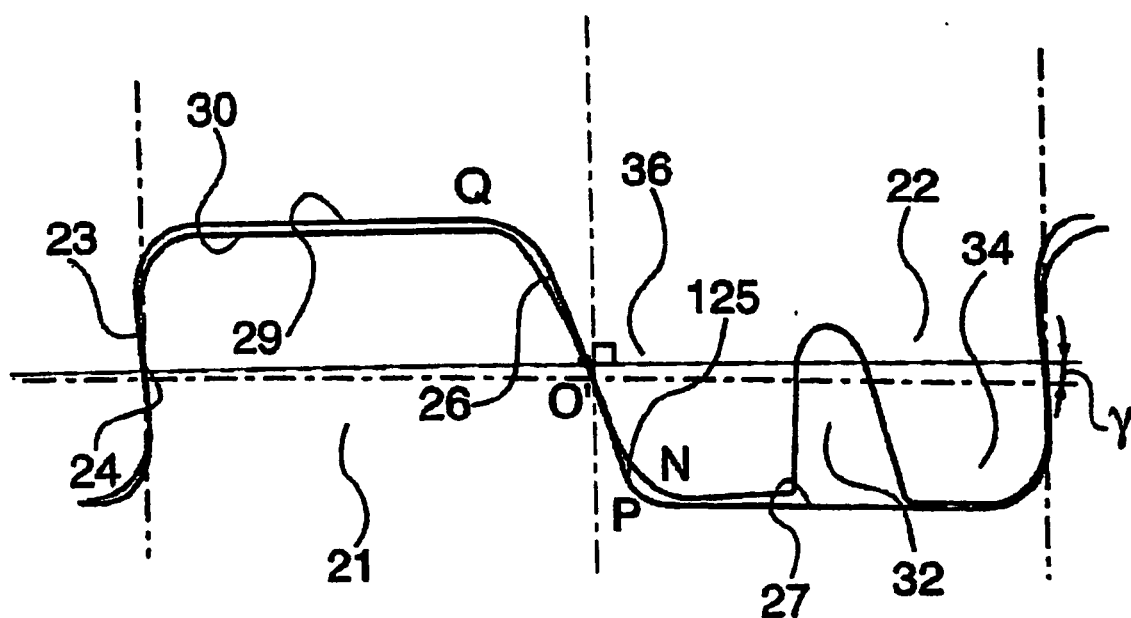


Fig 5D

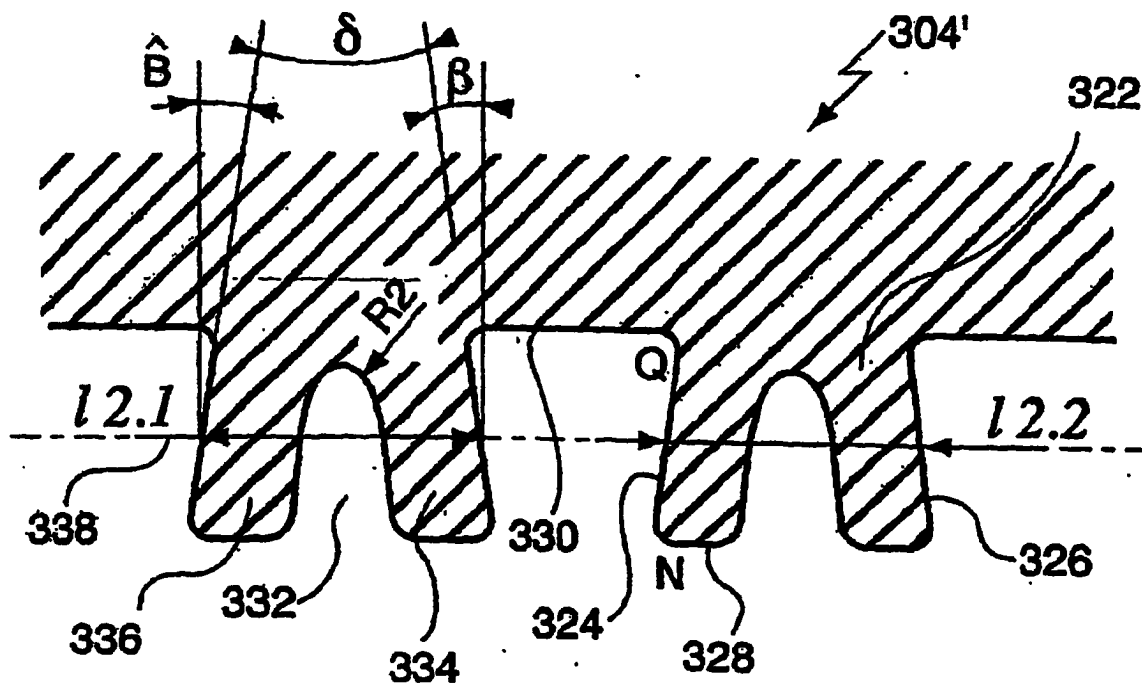


Fig 6A

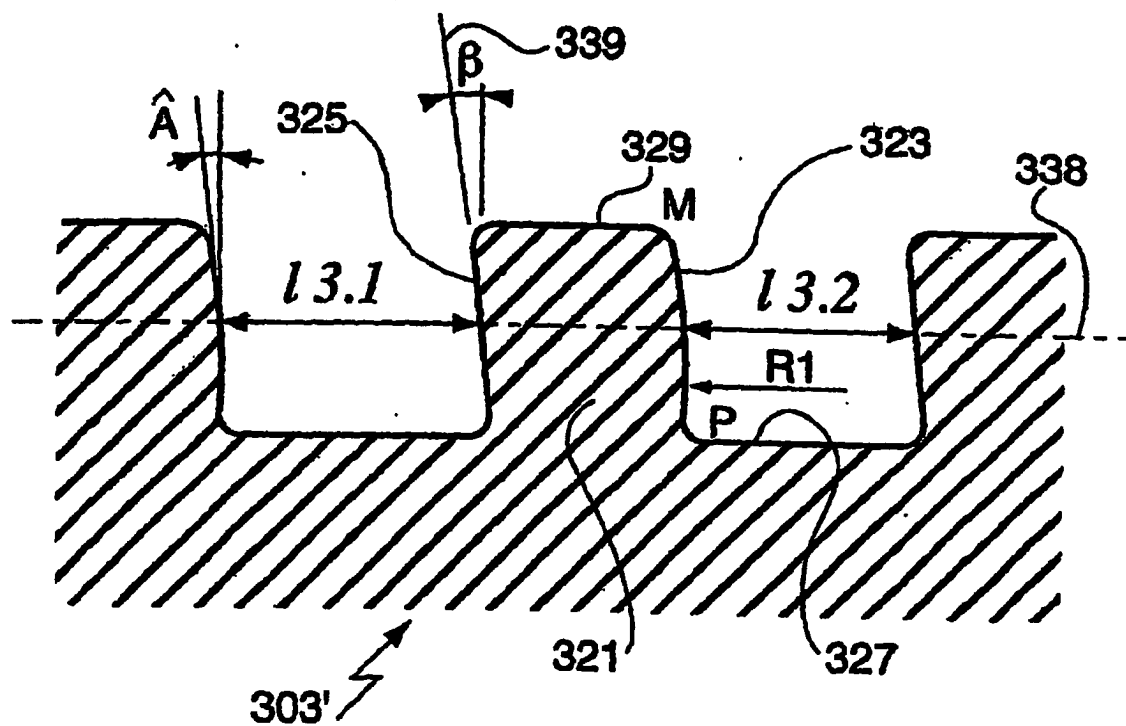


Fig 6B

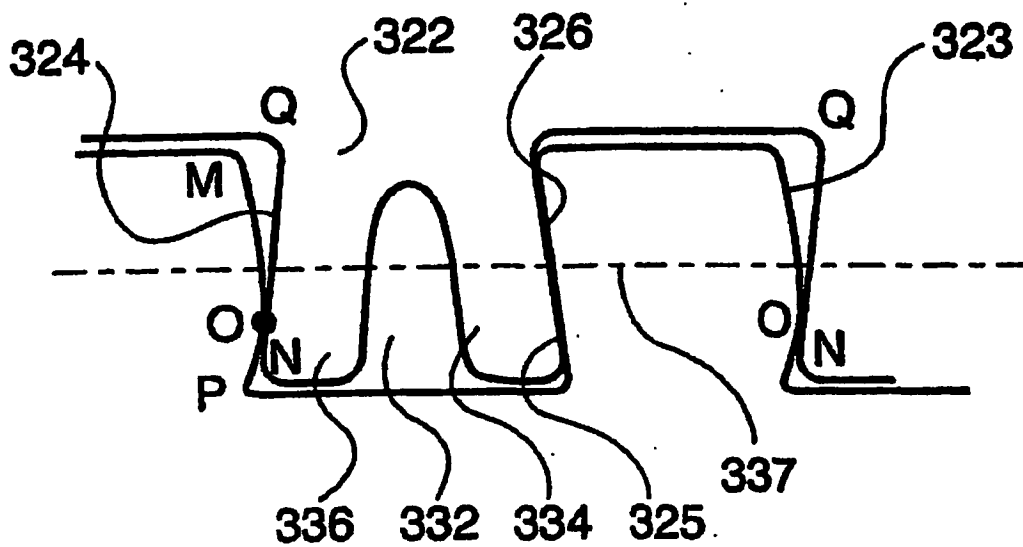


Fig 6C

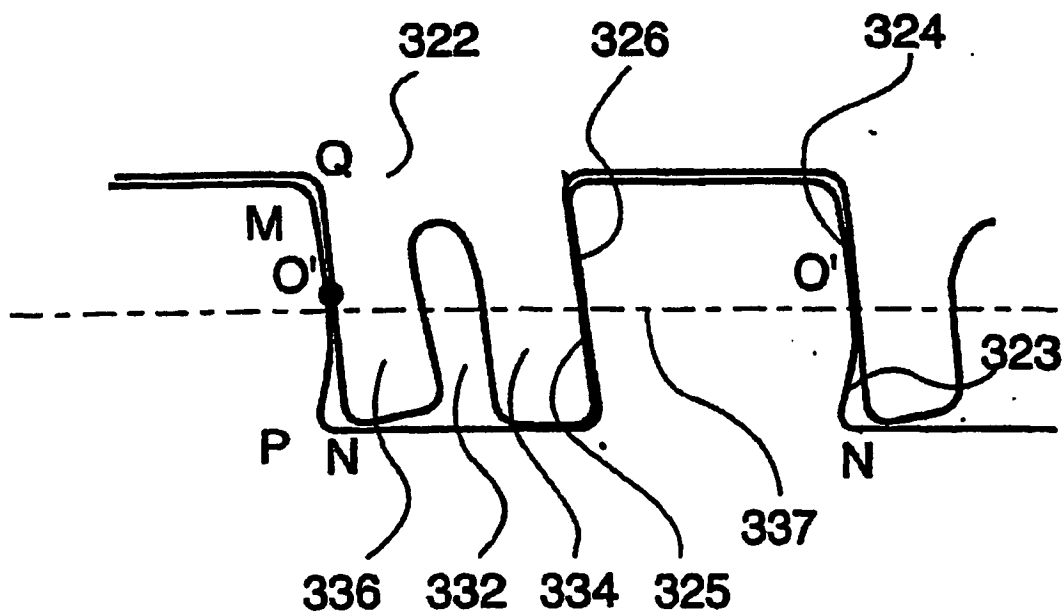


Fig 6D

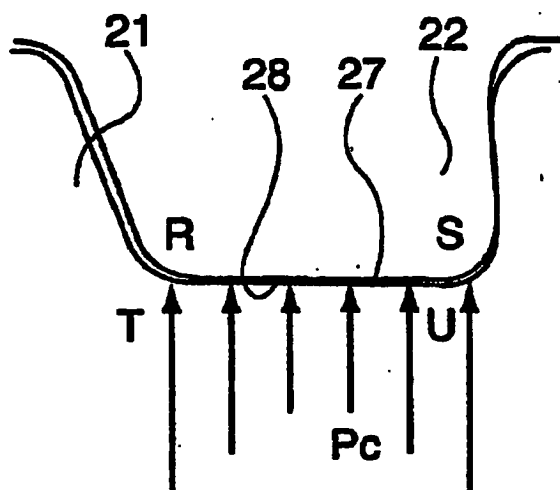


Fig 7A

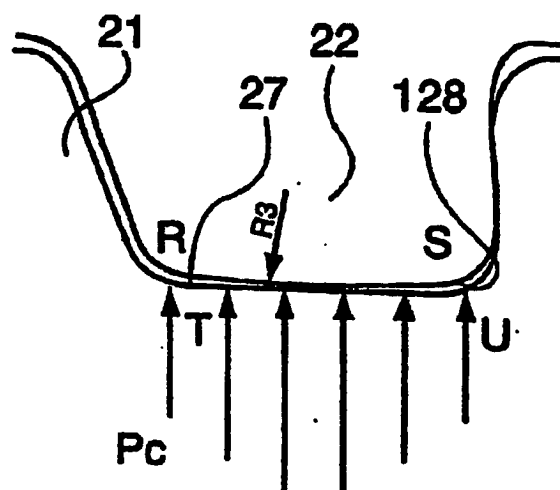


Fig 7B

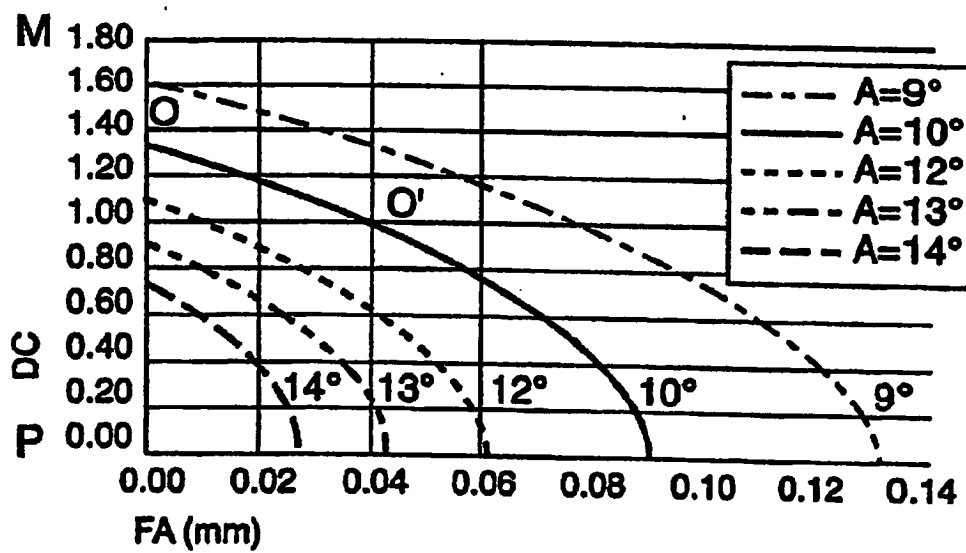


Fig 8

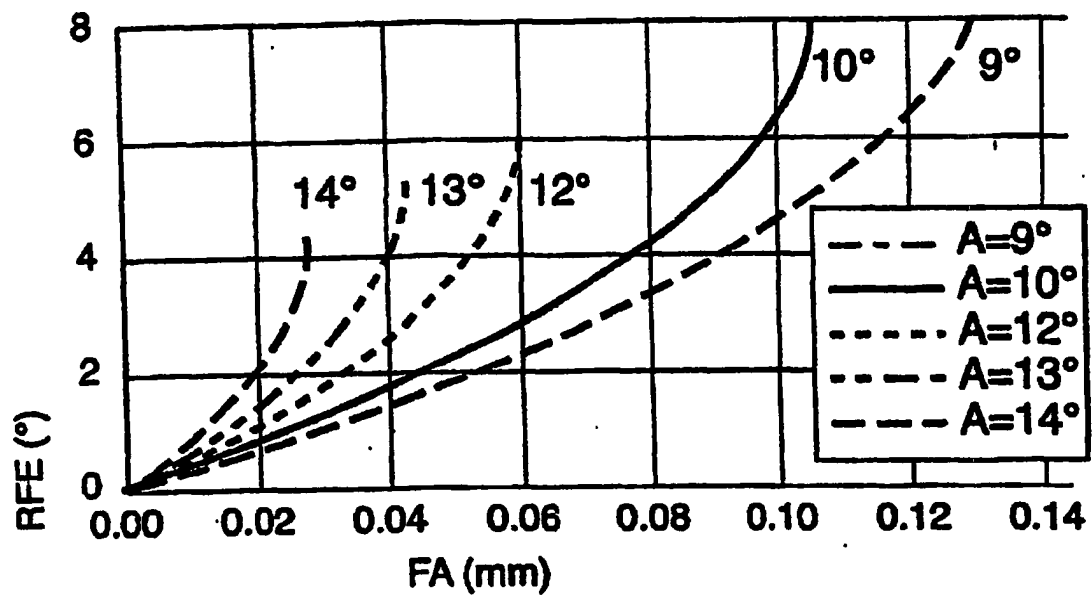


Fig 9

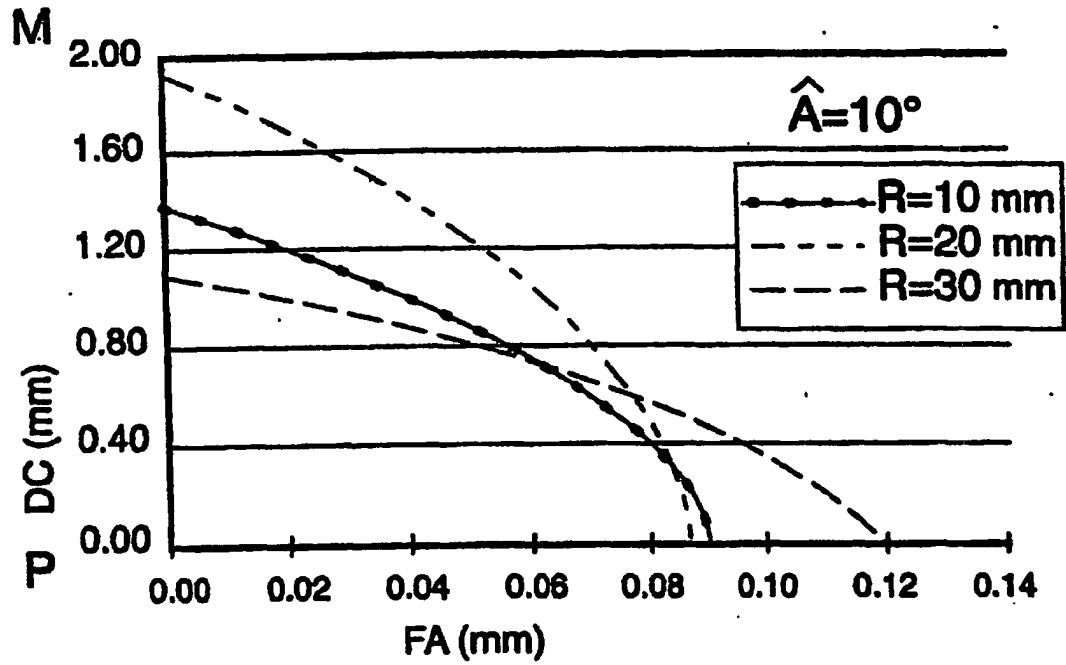


Fig 10

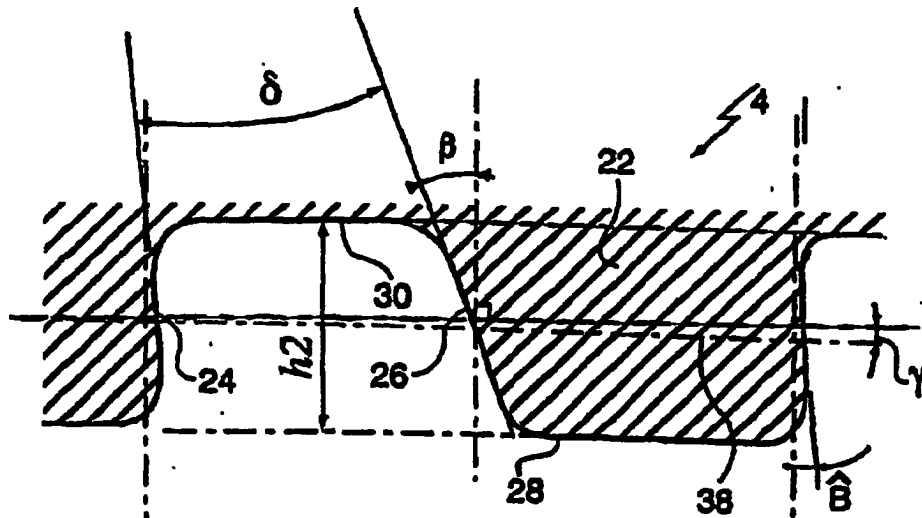


Fig 11A

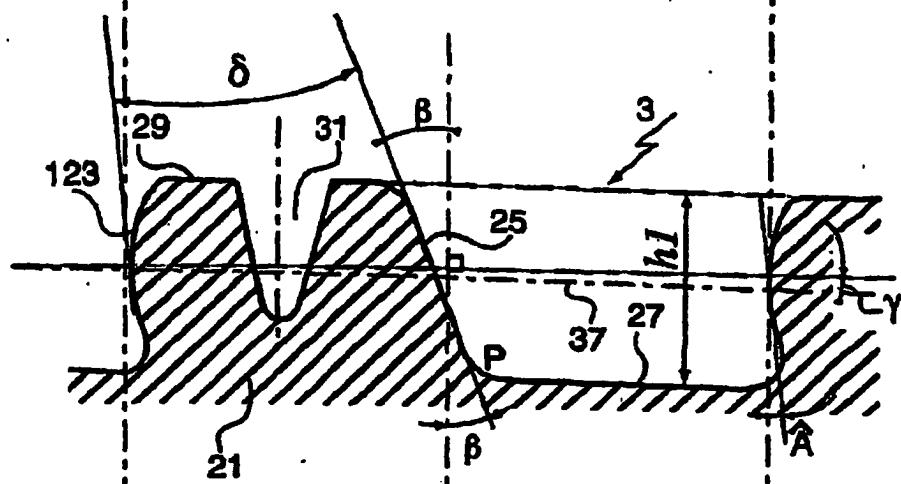


Fig 11B

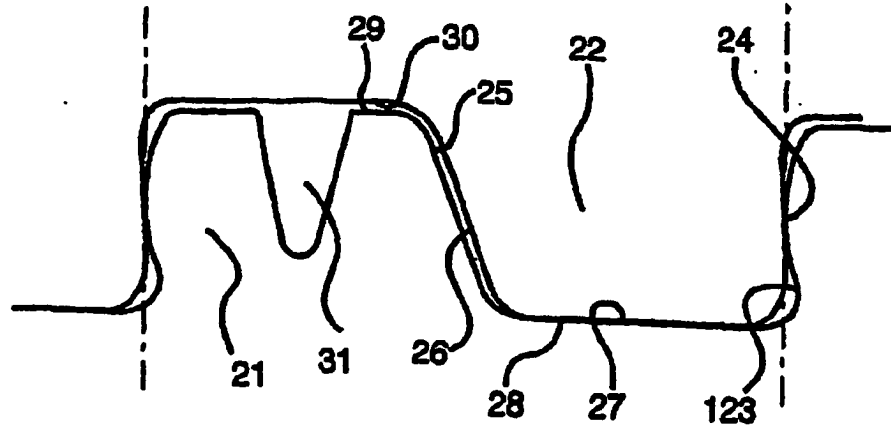


Fig 11C