

(12) **Übersetzung der neuen europäischen  
Patentschrift**

(97) Veröffentlichungsnummer: EP 1461560

(96) Anmeldenummer: 2002804243  
(96) Anmeldetag: 03.12.2002  
(45) Ausgabetag:

(51) Int. Cl.: **F16L 15/00** (2006.01)  
**F16L 15/06** (2006.01)

(30) Priorität:  
07.12.2001 FR 0115870 beansprucht.

(97) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
29.09.2004 Patentblatt 04/40

(97) Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung:  
02.09.2009 Patentblatt 09/36

(97) Hinweis auf Einspruchsentscheidung:

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR IE IT NL PT SE TR

(56) Entgegenhaltungen:  
Die Entgegenhaltungen entnehmen Sie bitte der  
entsprechenden europäischen Druckschrift.

(73) Patentinhaber:  
VALLOUREC OIL AND GAS FRANCE  
59620 AULNOYE-AYMERIES (FR)  
Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation  
Tokyo 100-8071 (JP)

(72) Erfinder:  
DUTILLEUL, PIERRE  
F-59144 JEANLAIN (FR)  
ROUSSIE, GABRIEL  
F-59370 MONS EN BAROEUL (FR)  
VERGER, ERIC  
F-59144 GOMMEGNIES (FR)

(74) Vertreter:  
KLIMENT & HENHAPEL PATENTANWÄLTE OG  
WIEN

(54) **RÖHRENFÖRMIGE QUALITÄTSGEWINDEVERBINDUNG MIT MINDESTENS EINEM GEWINDEELEMENT MIT  
ENDLIPPE**

Die Erfindung betrifft die so genannten hochwertigen Rohrgewindeverbindungen (oder "Premium"-Rohrgewindeverbindungen) mit mindestens einem Satz von Metall-Metall-Dichtungsauflagern und Schraubanschlügen an den Außen- und Innengewindeelementen, die die Gewindeverbindung bilden, wobei die Gewindeelemente am Ende eines rohrförmigen Bauteils des Typs Rohr mit großer Länge oder kurzes Rohr (Muffe) hergestellt sind.

Es sind zahlreiche Typen von Rohrgewindeverbindungen bekannt, die insbesondere verwendet werden, um Futterrohr- oder Steigrohrkolonnen oder Bohrgestänge für Kohlenwasserstoffbohrlöcher oder für ähnliche Bohrlöcher, wie beispielsweise Bohrlöcher für Erdwärme, zu bilden.

Es sind auch Rohrgewindeverbindungen an "Riser" genannten Steigrohren bekannt, die die Bohrlöcher am Boden der Ozeane mit den Gewinnungsplattformen im Meer, die "Offshore" genannt werden, verbinden sollen.

Derartige Rohrgewindeverbindungen sind verschiedenen globalen Belastungen (axialer Zug oder Druck, innerer oder äußerer Fluiddruck, Biegung, Torsion) unterworfen, die eventuell kombiniert sind (beispielsweise axialer Zug + innerer Druck) und eine eventuell schwankende Intensität aufweisen.

Die hochwertigen Rohrgewindeverbindungen müssen trotz derartiger eventuell kombinierter Belastungen und trotz rauer Verwendungsbedingungen auf der Baustelle nicht nur dem Bruch standhalten, sondern insbesondere gasdicht bleiben.

Die Art der Belastungen kann sich eventuell während der Absenkung der Rohre in die Bohrlöcher oder des Abbaus ändern, wobei sich die Zugbelastungen beispielsweise augenblicklich in Druckbelastungen wandeln können.

Die Gewindeverbindungen müssen auch mehrere Male ohne Verschlechterung ihrer Leistungen, insbesondere durch Festfressen, verschraubt und losgeschraubt werden können.

Nach dem Losschrauben können die rohrförmigen Bauteile in anderen Bohrlöchern unter anderen Betriebsbedingungen wieder verwendet werden.

Die Patente FR 1489013 und EP 488912 beschreiben Beispiele von derartigen hochwertigen Rohrgewindeverbindungen insbesondere für das so genannte gemuffte Zusammenfügen von 2 Rohren mit großer Länge mittels einer Gewindemuffe.

Das Patent US 5 687 999 und US 4 494 777 beschreiben andere Beispiele einer so genannten integralen hochwertigen Rohrgewindeverbindung direkt zwischen 2 Rohren mit großer Länge.

Die Rohrgewindeverbindungen gemäß den Patenten FR 1489013, EP 488912 und US 4494777 weisen eine axiale Anschlagstirnfläche am freien Ende von mindestens einem der Gewindeelemente, im Allgemeinen dem Außenelement, und ein Dichtungsauflager an einer Umfangsfläche eines Gewindeelements unmittelbar benachbart zur Stirnfläche desselben Gewindeelements auf.

Der Abschnitt des Gewindeelements zwischen dem ersten Gewindegang des Gewindes und der axialen Anschlagstirnfläche am freien Ende wird im Allgemeinen mit dem Namen Lippe bezeichnet.

Bei zahlreichen hochwertigen Gewindeverbindungen und insbesondere für die zuletzt zitierten 3 Patente liegt das Außendichtungsauflager am Ende der Außenlippe, die gemäß den Gewindeverbindungen mehr oder weniger lang ist.

Wenn eine hochwertige Rohrgewindeverbindung in die Montageposition geschraubt ist, stehen die axialen Anschläge unter Kontaktdruck, um eine Reaktion gleich einem gegebenen Schraubmoment  $T_m$  zu erzeugen.

Die entsprechenden Außen- und Innendichtungsaufleger weisen folglich eine radiale Interferenz auf, die einen Kontaktdruck erzeugt, und die so genannten "Träger"-Gewindeflanken, die sich am Gewindegang auf der Seite entgegengesetzt zum freien Ende des Gewindeelements befinden, stehen unter Kontaktdruck in Kontakt, was somit die Lippe unter axialen Druck setzt.

Die interferierenden Dichtungsaufleger können im Verlauf der Verschraubung Festfressprobleme hervorrufen, wenn ihre Geometrie ungeeignet ist. Sie können auch Leckrisiken im Betrieb bergen, wenn der Kontaktdruck und insbesondere der integrierte Kontaktdruck auf der aktiven Breite der Dichtungsaufleger unzureichend ist.

Um das Leckrisiko zu vermeiden, ist es erforderlich, dass der integrierte Kontaktdruck größer bleibt als ein bestimmter in N/mm ausgedrückter Wert; dieser integrierte Kontaktdruck ist für eine gegebene Geometrie eine Funktion der relativen Positionierung der Elemente am Ende der Verschraubung und der Belastungen im Betrieb.

Es ist besonders schwierig, eine Rohrgewindeverbindung zu erhalten, die in zum Rohr äquivalenter Weise den verschiedenen Belastungen im Betrieb standhält und die gegen die Gase unter diesen Belastungen dicht bleibt, wobei der Spannungszustand nach dem Verschrauben durch das Aufbringen von äußeren Belastungen im Betrieb, beispielsweise axialer Zug oder Druck, Biegung, innerer oder äußerer Druck, modifiziert wird.

Das Patent US 4 611 838 beschreibt eine hochwertige Gewindeverbindung, deren Dichtungseigenschaften sich aus Folgendem ergeben:

a) einer speziellen Form des freien Endes einer Außenlippe mit einem axialen Vorsprung auf einem Bruchteil der radialen Dicke der Lippe, die mit einer entsprechenden Form eines Absatzes am Innengewindeelement zusammenwirkt, um das freie Ende der Außenlippe in der montierten Position der Gewindeverbindung zu unterstützen, wobei die Stirnfläche des Endes des axialen Vorsprungs eine distale axiale

Anschlagfläche mit einer entsprechenden Fläche des Innenelements bildet;

b) einer gewölbten konvexen Form eines Dichtungsaufagers, das an der Außenumfangsfläche einer Außenlippe angeordnet ist, sich ohne Unterbrechung bis zur distalen axialen Anschlagfläche erstreckt und mit einem kegeligen Dichtungsaufleger an der Innenfläche einer Innenaufnahme zusammenwirkt.

Auf Grund der Formen der Dichtungsaufleger erfolgt der Kontakt zwischen diesen in einem Abstand von der distalen axialen Anschlagfläche.

Die Unterstützung des freien Endes der Außenlippe durch die Form des Innenabsatzes ermöglicht es, den Kontaktdruck zwischen den Dichtungsauflegern und folglich die Dichtungseigenschaften der Verbindung zu steigern.

Der axiale Vorsprung am freien Außenende führt zu einer geringen radialen Dicke der distalen axialen Anschlagfläche.

Es ist auch zu bemerken, dass die gewölbte Form ohne Unterbrechung des Dichtungsauflegers dieses gegen die Transporte auf der Baustelle und den Eingriff der Elemente besonders verletzlich macht.

Es wurde angestrebt, eine hochwertige Rohrgewindeverbindung mit einem axialen Anschlag zu erhalten, der sich am freien Ende der Lippe mindestens eines Gewindeelements befindet, die eine maximale Leckbeständigkeit aufweist, wenn die Gewindeverbindung erhöhten inneren oder äußeren Drücken unterworfen wird, und die diese Leckbeständigkeit beibehält, wenn die Gewindeverbindung einer erhöhten äußeren Zugkraft unterworfen wird, wobei die Zugkraft letztlich die entsprechenden Oberflächen der Anschläge und vor allem der Auflager axial trennt.

Die Zugkraft kann von axialen Zugbelastungen oder Biegebelastungen stammen. Die Begriffe "Zugkraft" oder "Zuglast" fassen in der

Fortsetzung des vorliegenden Dokuments die Gesamtheit der äußeren Belastungen zusammen, die alles oder einen Teil der Rohrgewindeverbindung derartigen Kräften oder Lasten unterwerfen.

Eine derartige Gewindeverbindung kann durch die Veränderung des Kontaktdruckintegrals zwischen Dichtungsauflagern auf ihrer Breite (oder des integrierten Kontaktdrucks) in Abhängigkeit von der Zuglast, die in % der entsprechenden Last bei der Streckgrenze der Rohre der Kolonne ausgedrückt wird, charakterisiert werden.

Es wurde auch angestrebt, die Festfressrisiken beim Verschrauben der Rohrgewindeverbindung zu minimieren.

Außerdem wurde angestrebt, dass die Erfindung vorteilhafterweise für eine Gewindeverbindung mit mindestens 2 axialen Anschlägen gilt, von welchen einer ein äußerer Anschlag und einer ein innerer Anschlag ist.

Es wurde noch angestrebt, dass die Gewindeverbindung leicht auf der Baustelle verschraubt werden kann.

Es wurde noch angestrebt, dass die Leistungen der theoretischen Dichtheit der Gewindeverbindung auf Grund der schwierigen Einsatzbedingungen auf der Baustelle nicht signifikant verringert werden können.

Diese Aufgaben werden mit einer Gewindeverbindung nach Anspruch 1 gelöst.

Die erfindungsgemäße Gewindeverbindung umfasst zuallererst in bekannter Weise ein Außengewindeelement am Ende eines ersten rohrförmigen Bauteils und ein Innengewindeelement am Ende eines zweiten rohrförmigen Bauteils.

Das Außengewindeelement umfasst ein Außengewinde, mindestens ein Außendichtungsauflager an seiner Außenumfangsfläche und mindestens eine axiale Außenanschlagfläche.

Das Innengewindeelement umfasst in entsprechender Weise ein Innengewinde, mindestens ein Innendichtungsauflager an seiner Innenumfangsfläche und mindestens eine axiale Innenanschlagfläche.

Das Außengewinde wird in das Innengewinde geschraubt, bis mindestens eine axiale Außenanschlagfläche im Anschlag durch Bilden einer Reaktion auf das Schraubmoment mit der entsprechenden axialen Innenanschlagfläche zusammenwirkt, wobei jedes Außendichtungsauflager dann mit dem entsprechenden Innendichtungsauflager interferiert.

An mindestens einem Gewindeelement ist eine Anschlagfläche in Anschlagreaktion unter der Anschlagfläche oder den Anschlagflächen an der Stirnfläche des freien Endes des Gewindeelements hergestellt und wird distale axiale Anschlagfläche genannt.

Eine Lippe trennt die distale axiale Anschlagfläche des Gewindes am betrachteten Gewindeelement, wobei ein "Dichtungsauflager auf Lippe" genanntes Dichtungsauflager an dieser Lippe in einem gegebenen axialen Abstand vom Ende des Gewindes angeordnet ist.

Die Lippe wird folglich axialen Druckkräften unterworfen, die sich aus dem Anlegen in Anschlagreaktion der distalen axialen Anschlagfläche an die entsprechende axiale Anschlagfläche ergeben.

Gemäß einem zur Erfindung gehörenden Merkmal umfasst die Lippe einen "Ansatz" genannten Abschnitt zwischen dem Dichtungsauflager auf Lippe und der distalen axialen Anschlagfläche am freien Ende der Lippe.

Dieser Ansatz ermöglicht es, der Lippe sowohl eine große radiale Steifigkeit als auch eine geringe axiale Steifigkeit zu verleihen.

Aus den Patenten US 4 624 488 und US 4 795 200 sind Gewindeverbindungen bekannt, die einen Ansatz zwischen einem Dichtungsauf-

lager und einer Stirnfläche des freien Endes eines Gewindeelements besitzen.

Aber in keinem dieser 2 Patente ist die Stirnfläche des freien Endes eine Anschlagfläche in Anschlagreaktion auf das Schraubmoment und der Ansatz übt nicht dieselbe Gesamtheit von Funktionalitäten aus.

Der Ansatz gemäß Fugerson (US 4624488) ermöglicht es, das Auflager vor Markierungen zu schützen, die sich aus Schlägen bei Manipulationen auf der Baustelle ergeben, und die mechanische Beständigkeit der Gewindeverbindung gegen Bruch durch axialen Zug zu erhöhen.

Die im Dokument US4624488 beschriebene Verbindung umfasst allerdings keine "distale axiale Anschlagfläche" genannte Oberfläche, die an der Stirnfläche des freien Endes des Gewindeelements hergestellt ist und auf im Wesentlichen ihrer ganzen Oberfläche mit einer axialen Anschlagfläche am zugeordneten Element zusammenwirkt.

Das Patent US 4 624 488 beschreibt folglich eine hochwertige Rohrgewindeverbindung mit einem Außengewindeelement am Ende eines ersten rohrförmigen Bauteils und einem Innengewindeelement am Ende eines zweiten rohrförmigen Bauteils, wobei das Außengewindeelement ein Außengewinde, mindestens ein Außendichtungsauflager auf seiner Außenumfangsfläche und mindestens eine axiale Außenanschlagfläche umfasst, das Innengewindeelement in entsprechender Weise ein Innengewinde, mindestens ein Innendichtungsauflager auf seiner Innenumfangsfläche und mindestens eine axiale Innenanschlagfläche umfasst, wobei das Außengewinde in das Innengewinde geschraubt wird, bis mindestens eine axiale Außenanschlagfläche in Anschlagreaktion auf das Schraubmoment mit der entsprechenden axialen Innenanschlagfläche zusammenwirkt, jedes Außendichtungsauflager folglich radial mit einem entsprechenden Innendichtungsauflager interferiert, eine Lippe das freie Ende von jedem Gewindeelement vom Gewinde trennt, wobei ein "Dichtungsauflager auf Lippe" genanntes Dichtungsauflager an der Lippe in einem gegebenen

Abstand vom Ende des Gewindes angeordnet ist, wobei die Lippe einen "Ansatz" genannten Abschnitt zwischen dem freien Ende der Lippe und dem Dichtungsaufleger auf Lippe umfasst, wobei die Umfangsfläche des Ansatzes vom Dichtungsaufleger auf Lippe verschieden ist, wobei die Neigung des Dichtungsauflegers auf Lippe in Bezug auf die Achse der Verbindung größer als jene des Gewindes ist.

Der Ansatz gemäß Tung (US4795200) ermöglicht es außerdem, die radiale Steifigkeit der Lippe an einer Gewindeverbindung ohne distale axiale Anschlagfläche zu erhöhen und dadurch den Kontaktdruck auf der Höhe der Dichtungsaufleger an dieser Gewindeverbindung zu erhöhen. Die im Dokument US47952000 beschriebene Verbindung umfasst jedoch keine "distale axiale Anschlagfläche" genannte Oberfläche, die auf der Stirnfläche des freien Endes des Gewindeelements hergestellt ist und auf im Wesentlichen ihrer ganzen Oberfläche mit einer axialen Anschlagfläche am zugeordneten Element zusammenwirkt.

Somit sind die in den zwei vorangehenden Dokumenten (US4624488 und US4795200) beschriebenen Verbindungen von der in unserer Erfindung beschriebenen Verbindung sehr verschieden, da sie nicht ihren Ansatz mit einer distalen Anschlagfläche (die außerdem fehlt) zusammenwirken lassen.

Ein weiteres Dokument (CN2366656Y) beschreibt auch eine Gewindeverbindung, die einen Ansatz zwischen einem Dichtungsaufleger und einer Stirnfläche eines Gewindeelements besitzt, das mit einer axialen Anschlagfläche zusammenwirkt, die am zugeordneten Element ausgebildet ist. Sie umfasst jedoch kein Dichtungsaufleger mit Neigung in Bezug auf die Achse der Verbindung, die größer ist als jene des Gewindes. Außerdem ist der Ansatz nicht mit der Dichtungsfläche mittels einer konkaven Torusfläche verbunden. Der Effekt dieser Unterschiede besteht darin, dass die im Dokument CN2366656Y beschriebene Verbindung umso mehr zum Festfressen neigt und ein steiferes Verhalten bei einer axialen Belastung zulässt als die Verbindung gemäß unserer Erfindung.

Die Erfinder haben zuallererst festgestellt, dass der Ansatz gemäß der vorliegenden Erfindung auch die radiale Steifigkeit der Lippe an einer Rohrgewindeverbindung mit einer distalen axialen Anschlagfläche erhöht und dass diese Erhöhung der Steifigkeit sich bei der hochwertigen Rohrgewindeverbindung in einer Erhöhung der axialen Breite des effektiven Kontakts des Dichtungsaufagers auf Lippe und des integrierten Kontaktdrucks auf dieser distalen axialen Anschlagbreite äußert.

Eine derartige Erhöhung ist in Bezug auf die Lehre des Tung-Patents nicht offensichtlich, da der axiale Druck der Lippe letztlich im Allgemeinen die Lippe "zu einer Banane" formt und die effektive Breite des Kontakts der Dichtungsaufleger und den integrierten Kontaktdruck verringern hätte können.

Die Erfinder haben auch festgestellt, dass in nicht offensichtlicher Weise die Erhöhung der radialen Steifigkeit auf Grund des Ansatzes sich auch an der hochwertigen Rohrgewindeverbindung gemäß der Erfindung in einer Erhöhung der radialen Breite des effektiven Kontakts der distalen axialen Anschlagfläche sowie des integrierten Kontaktdrucks auf der radialen Breite dieser distalen axialen Anschlagfläche äußert.

Ein derartiger Effekt konnte aus dem Tung-Patent nicht bekannt sein oder abgeleitet werden, das keine derartigen distalen axialen Anschlagflächen betrachtet.

Die Erfinder haben noch einen anderen nicht offensichtlichen Effekt des Ansatzes an der erfindungsgemäßen Rohrgewindeverbindung festgestellt.

Der Ansatz verringert die axiale Steifigkeit der Lippe und erhöht folglich bei konstanter axialer Druckspannung die elastische Verformung der Lippe.

Diese erhöhte elastische Verformung ermöglicht, wenn eine Zuglast auf die Gewindeverbindung ausgeübt wird, das Ablösen des An-

schlags und vor allem den kritischen Wert des integrierten Kontaktdrucks auf der Breite des Dichtungsaufagers auf Lippe zu relativ erhöhten Werten der Zuglast zu verlagern.

Auch dort konnte ein derartiger Effekt in offensichtlicher Weise nicht aus dem Tung-Patent bekannt sein oder abgeleitet werden, das nicht die Rohrgewindeverbindungen betrachtet, die mit einer distalen Dichtungsanschlagfläche versehen sind, und das nicht die Leckrisiken unter Zugbelastungen betrachtet.

Andere günstige und vorteilhafte Effekte des Ansatzes an einer hochwertigen Rohrgewindeverbindung gemäß der Erfindung können von den nachstehend dargelegten speziellen Ausführungsformen der Erfindung abgeleitet werden.

Auf der Seite des Dichtungsaufagers auf Lippe kann der Ansatz von einer beliebigen Umfangsfläche umrandet sein, aber eine im Wesentlichen zylindrische Umfangsfläche ist bevorzugt, um die radiale Dicke der distalen axialen Anschlagfläche zu maximieren.

Vorzugsweise liegt die axiale Länge des Ansatzes zwischen 8 und 75 % der Gesamtlänge der Lippe und insbesondere zwischen 20 und 60 % hiervon.

Vorzugsweise ist das Verhältnis der axialen Länge des Ansatzes zur radialen Dicke der distalen axialen Anschlagfläche geringer als 3.

Vorteilhafterweise ist jedes Dichtungsaufager auf Lippe eine Oberfläche, die aus der Gruppe der kegeligen, torischen Oberflächen oder der komplexen Oberflächen mit einer Kombination von kegeligen Oberflächen, zylindrischen Oberflächen und/oder einer oder mehreren torischen Oberflächen ausgewählt ist.

Sehr vorteilhaft ist ein oder mindestens ein Dichtungsaufager auf Lippe eine komplexe Oberfläche mit zwei einander tangierenden Oberflächenabschnitten, nämlich einem kegeligen Abschnitt, der auf der Seite der distalen axialen Anschlagfläche liegt, und einem tori-

schen Abschnitt mit großem Radius, der beispielsweise größer als 20 mm ist, der auf der Seite des Gewindes liegt, wobei das entsprechende Dichtungsauflager am anderen Gewindeelement eine kegelige Oberfläche mit einer Konizität ist, die im Wesentlichen zu jener des kegeligen Abschnitts des Dichtungsaufagers auf Lippe identisch ist, und mit einer axialen Breite, die an die axiale Gesamtbreite des Dichtungsaufagers auf Lippe angepasst ist.

Eine derartige komplexe Oberflächenkonfiguration ermöglicht es unabhängig davon, ob ein Ansatz vorhanden ist oder nicht, den integrierten Kontaktdruck auf der Breite des Dichtungsaufagers auf Lippe zu erhöhen.

Sehr bevorzugt besitzt jedes Dichtungsauflager auf Lippe eine mittlere Neigung von mindestens  $10^\circ$  in Bezug auf die Achse der Gewindeverbindung.

Sehr bevorzugt besitzt das Dichtungsauflager auf Lippe eine axiale Breite von weniger als oder gleich 10 mm und vorzugsweise weniger als oder gleich 5 mm.

Vorzugsweise ist die distale axiale Anschlagfläche eine ebene Oberfläche lotrecht zur Achse der Gewindeverbindung oder eine kegelige Oberfläche koaxial zur Gewindeverbindung mit einem halben Scheitelwinkel zwischen  $70^\circ$  und  $90^\circ$ , was in diesem letzteren Fall letztlich den Kontakt zwischen dem Dichtungsauflager auf Lippe und dem entsprechenden Dichtungsauflager fördert.

Die nachstehenden Figuren stellen bestimmte Ausführungsformen der Erfindung dar, die ausführlich beschrieben werden.

Fig. 1 stellt in einem axialen Halbschnitt eine gemuffte Rohrgewindedemontage des Standes der Technik dar.

Fig. 2 stellt in einem axialen Halbschnitt eine gemuffte Rohrgewindedemontage gemäß der Erfindung dar.

Fig. 3 stellt in einem axialen Halbschnitt eine integrale Rohrgewindemontage für ein Unterwassersteigrohr gemäß der Erfindung dar.

Fig. 4 stellt in einem axialen Halbschnitt eine integrale Rohrgewindemontage gemäß der Erfindung dar, die "flush" genannt wird, d. h. dass sie keine Störung des Außen- oder Innendurchmessers auf der Höhe der Rohrgewindeverbindung aufweist.

Fig. 5 stellt eine Vergrößerung des freien Endes des Außengewindeelements von Fig. 2 dar.

Fig. 6 stellt das freie Ende von Fig. 5 nach dem Zusammenfügen mit den entsprechenden Innenabschnitten dar.

Fig. 7 stellt eine Vergrößerung des freien Endes des Außengewindeelements von Fig. 3 dar.

Fig. 8 stellt schematisch das freie Ende des Außengewindeelements von Fig. 1 dar (Stand der Technik).

Fig. 9 bis 11 stellen schematisch und vergleichsweise zu Fig. 8 drei Varianten dieses freien Endes gemäß dem Stand der Technik dar.

Fig. 12 stellt eine Graphik der Kontaktbreite und des integrierten Kontaktdrucks auf dieser Breite auf der Höhe der distalen axialen Anschlagfläche und des Dichtungsaufagers auf Lippe in Abhängigkeit von der axialen Zuglast, die auf die Rohrgewindeverbindung von Fig. 1 ausgeübt wird, dar (Stand der Technik).

Fig. 13 stellt dieselbe Graphik für die erfindungsgemäße Rohrgewindeverbindung von Fig. 2 dar.

Fig. 14 stellt schematisch einige mit einigen Innengewindegängen zusammengefügte Außengewindegänge an der Rohrgewindeverbindung von Fig. 2 dar.

Fig. 15, 16 und 17 stellen schematisch Anordnungen der Gewindeelemente beim Eingriff dieser Elemente vor dem Verschrauben im Fall einer entweder radialen Fehlausrichtung (Fig. 15, 16) oder Winkelfehlausrichtung (Fig. 17) dar.

Fig. 1 stellt eine gemuffte Gewindemontage 200 des Standes der Technik zwischen zwei Rohren 101, 101', die rohrförmige Bauteile mit großer Länge sind, durch eine Muffe 202, die ein rohrförmiges Bauteil mit geringer Länge ist, dar.

Unter einem Rohr oder einem rohrförmigen Bauteil mit großer Länge werden Rohre mit mehreren Metern Länge, beispielsweise ungefähr 10 m Länge, verstanden.

Montagen 200 werden derzeit verwendet, um Futterrohr- oder Steigrohrkolonnen für Kohlenwasserstoffbohrlöcher, Unterwassersteigrohre (Riser) oder Bohrgestänge für eben diese Bohrlöcher zu bilden.

Die Rohre können aus allen Arten von unlegierten, gering legierten oder stark legierten Stählen, sogar aus Eisen- oder Nicht-Eisen-Legierungen, die thermisch behandelt sind oder kaltgehärtet sind, in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen, wie beispielsweise: Niveau der mechanischen Belastung, korrosiver Charakter des Fluids innerhalb oder außerhalb der Rohre, hergestellt werden.

Es können auch wenig korrosionsbeständige Stahlrohre verwendet werden, die mit einem Überzug beispielsweise aus einem synthetischen Material versehen sind, das jeglichen Kontakt zwischen dem Stahl und dem korrosiven Fluid verhindert.

Die Rohre 101, 101' sind an ihren Enden mit identischen Außengewindeelementen 1, 1' versehen und werden durch eine Muffe 202 zusammengefügt, die an jedem Ende mit einem Innengewindeelement 2, 2' versehen ist.

Die Außengewindeelemente 1, 1' werden jeweils durch Schrauben in die Innengewindeelemente 2, 2' montiert, indem zwei symmetrische

Gewindeverbindungen 100, 100' gebildet werden, die durch einen Steg 10 mit einigen Zentimetern Länge vereinigt sind.

Der Steg 10 der Muffe besitzt einen Innendurchmesser, der zu jenem am Ende der Rohre 101, 101' im Wesentlichen identisch ist, so dass die Strömung des Fluids, das innen strömt, nicht gestört wird.

Da die Rohrgewindeverbindungen 100, 100' symmetrisch sind, wird nur die Funktion einer einzigen dieser Verbindungen, beispielsweise der Rohrgewindeverbindung 100, beschrieben.

Das Außengewindeelement 1 umfasst ein Außengewinde 3 mit trapezförmigen Gewindegängen der "buttress" genannten Art gemäß der Spezifikation API 5B (API = American Petroleum Institute); dieses Außengewinde 3 ist kegelig und auf der Außenseite des Außenelements angeordnet und es ist vom freien Ende 7 des Elements durch eine nicht mit Gewinde versehene Lippe 11 getrennt. Das freie Ende 7 bildet eine distale axiale Anschlagfläche genannte ringförmige axiale Anschlagfläche, die im Wesentlichen quer angeordnet ist.

An das freie Ende 7 auf der Außenfläche der Lippe 11 angrenzend befindet sich eine kegelige Oberfläche 5, die ein Außendichtungsauflager auf Lippe bildet; ihre Konizität ist größer als jene des Außengewindes 3.

Das Innenelement 2 umfasst jenen des Außenelements 1 zugeordnete Mittel, d. h., dass sie in der Form entsprechen und angeordnet sind, um durch ihre Anordnung am Innengewindeelement mit den Außenmitteln des Außengewindeelements zusammenzuwirken.

Das Innenelement 2 umfasst somit innen ein kegeliges Innengewinde 4 und einen nicht mit Gewinde versehenen Abschnitt zwischen dem Gewinde und dem Steg 10.

Dieser nicht mit Gewinde versehene Abschnitt umfasst insbesondere eine ringförmige axiale Anschlagfläche 8 mit einer im Wesentlichen quer liegenden Orientierung, die einen Absatz am Ende des Steges

bildet, und eine kegelige Oberfläche 6, die ein Innendichtungsaufleger bildet, unmittelbar benachbart zum Absatz auf der Seite des Gewindes 4.

Nach dem vollständigen Schrauben des Außengewindes in das Innengewinde liegen die Anschlagflächen 7 und 8 aneinander an, während die Auflagerflächen 5, 6 radial interferieren und deshalb unter einem Metall-Metall-Kontaktdruck stehen. Die Oberflächen 5, 6 bilden somit Metall-Metall-Dichtungsaufleger, die darauf abzielen, die Gewindeverbindung selbst für erhöhte innere oder äußere Fluiddrücke, gasförmige Fluide und für verschiedene Belastungen (axialer Zug, axialer Druck, Biegung, Torsion...), die einfach oder kombiniert, statisch oder schwankend sind, dicht zu machen.

Derartige Gewindeverbindungen werden in Anbetracht ihrer Leistungen in Bezug auf die Standard-Rohrgewindeverbindungen wie jene, die durch die Spezifikation API 5CT definiert sind, hochwertig (oder "Premium") genannt.

Rohrgewindeverbindungen wie 100 in Fig. 1 müssen dennoch widersprüchlichen geometrischen Erfordernissen trotzen, die in den schematischen Fig. 8 bis 10 veranschaulicht sind.

Die Länge und die Dicke der Lippe auf der Höhe des Dichtungsauflegers auf Lippe müssen ausreichen, um eine gegebene radiale Steifigkeit der Lippe zu erhalten, die sich wie eine Feder verhält (siehe Fig. 8); der Kontaktdruck für eine gegebene radiale Interferenz variiert somit mit der radialen Steifigkeit der Lippe 11.

Wenn jedoch die Gewindeverbindung dem Druck eines inneren oder äußeren Fluids unterworfen wird, gibt die Lippe nach, was eine Verziehung der Winkel der Dichtungsaufleger 5 und 6 und deshalb eine Verringerung der effektiven Kontaktbreite und des integrierten Kontaktdrucks induziert. Die Biegung der Lippe auf Grund des Fluiddrucks ist umso größer, wenn der Lippenabschnitt 35 zwischen dem Anfang des Gewindes 3 und dem Dichtungsaufleger auf Lippe 5 lang ist.

Wenn aus Gründen, die später dargelegt werden, gewollt ist, die Länge  $l_{t1}$  bis auf eine Länge  $l_{t2}$  (Fig. 10) zu erhöhen, indem die Auflagerlänge erhöht wird ( $l_{s3} > l_{s1}$ ), was es vermeidet, die Länge des Abschnitts 35 der Lippe 11 zu erhöhen, wird die radiale Dicke  $e_2$  der distalen axialen Anschlagfläche 7 unzureichend, um einen ausreichenden Wert des Schraubmoments sicherzustellen, um das unerwartete Losschrauben der Rohrgewindeverbindung zu verhindern.

Um diesen Nachteil zu beseitigen, kann das Ende der Lippe vor der maschinellen Bearbeitung des Auflagers 5 kegelig gemacht werden, so dass ihre Innenumfangsfläche zu ihrem Ende hin einen geringeren Durchmesser (Fig. 11) besitzt; eine derartige Kegeligmachung benötigt allerdings einen zusätzlichen Fertigungsverfahren.

Um den in Bezug auf Fig. 10 angegebenen Nachteil zu beseitigen, kann auch die Konizität des Dichtungsaufagers auf Lippe 5 verringert werden (Winkel B < Winkel A = siehe Fig. 9), aber eine derartige Konfiguration führt zu einer starken Reibung der Dichtungsauflager 5, 6 am Ende der Verschraubung ab dem Moment, in dem sie interferieren; daraus ergeben sich hohe Festfressrisiken, insbesondere für bestimmte Arten von Materialien (Stähle mit hohem Gehalt an Cr, Legierungen aus Ni...).

Fig. 2 stellt eine erfindungsgemäße Rohrgewindeverbindung dar, die direkt von jener von Fig. 1 abgeleitet ist, insbesondere durch Modifikation der Struktur der Lippe 11, die einen Ansatz 13 umfasst, wobei die Struktur des Innengewindeelements folglich durch Zurücksetzen der axialen Innenanschlagfläche zum Zentrum der Muffe 202 angepasst ist; die axiale Länge des Steges 10 von Fig. 2 ist deshalb kürzer als in Fig. 1.

Fig. 5 zeigt im Detail die Struktur der Außenlippe 11 der Gewindeverbindung von Fig. 2.

Gemäß Fig. 5 umfasst die Außenlippe 11 mit einer Gesamtlänge  $l_t$  ein Dichtungsauflager auf Lippe 5 mit einer axialen Gesamtbreite  $l_s$ , das

von der distalen axialen Anschlagfläche 7 durch einen Ansatz 13 mit der axialen Länge  $l_a$  getrennt ist.

Die distale axiale Anschlagfläche 7 ist eine konkave kegelige Oberfläche, die zur Gewindeverbindung koaxial ist und einen halben Scheitelwinkel von  $75^\circ$  (Winkel von  $15^\circ$  in Bezug auf die Normale zur Achse) aufweist.

Eine derartige Anordnung ist bekannt, um den Kontaktdruck zwischen den Dichtungsauglagern 5, 6 an den Gewindeverbindungen des Typs von Fig. 1 zu erhöhen.

Der Ansatz 13 weist eine zylindrische Außenumfangsfläche 19 auf, die sich an die distale axiale Anschlagfläche 7 durch eine Torusfläche mit geringem Radius  $R_4$  anschließt.

Die axiale Länge des Ansatzes  $l_a$  stellt im Fall von Fig. 5 ungefähr 25 % der axialen Gesamtlänge der Lippe  $l_t$  dar, wobei diese Abstände in Bezug auf den Schnittpunkt der Oberflächen 7 und 19 genommen sind.

Das Verhältnis zwischen der axialen Länge des Ansatzes  $l_a$  und der radialen Dicke  $e_b$  der distalen axialen Anschlagfläche ist ungefähr 0,9. Ein zu hohes Verhältnis, oberhalb 3, droht, die Ausbeulung des Ansatzes hervorzurufen.

Das Dichtungsauglager auf Lippe 5 ist eine komplexe Oberfläche, die beachtlich zur Achse geneigt ist (mittlere Neigung in der Nähe von  $15^\circ$ ), und sie schließt sich einerseits an den Ansatz 13 durch eine Torusfläche mit geringem Radius  $R_3$  und andererseits an die Lippe auf der Seite des Gewindes durch eine andere Torusfläche mit geringem Radius  $R_2$  an.

$R_3$ ,  $R_4$  haben beispielsweise einen Wert in der Größenordnung von 0,5 bis 1 mm;  $R_2$  hat einen Wert in der Größenordnung von 5 mm.

0100 Das Dichtungsauglager auf Lippe 5 ist gebildet aus:

- a) auf der Seite des freien Endes 7 einem kegeligen Abschnitt 33 mit einer Konizität von 50 % (d. h. einer Neigung von  $14^\circ$  zur Achse) mit der Breite  $l_c$  in der Größenordnung von beispielsweise 1,5 mm, und
- b) auf der Seite des Gewindes einem torischen Abschnitt 31 mit großem Radius  $R1$  (beispielsweise 60 mm) und einer Breite  $l_r$  (beispielsweise 1,5 mm), der den torischen Abschnitt 33 tangiert.

Dies ermöglicht es, ein Dichtungsauflager auf Lippe zu erhalten, das kurz ist (Breite  $l_s$  in der Nähe von 3 mm) und viel geneigter zur Achse als das Gewinde (Konizität 6,25 %, d. h. eine Neigung zur Achse von  $1,8^\circ$ ) ist, und dadurch die Festfressrisiken der Dichtungsauflager beim Verschrauben zu minimieren. Der Moment des ersten Kontakts zwischen den Dichtungsauflagern beim Verschrauben wird tatsächlich verzögert und die schraubenförmige Reibungslänge ab diesem ersten Kontakt ist verringert.

Die kegelige + torische geometrische Konfiguration mit großem Radius auf der Gewindeseite ermöglicht es, einen stabilen Kontakt in der Breite zwischen den Dichtungsauflagern 5, 6 zu erhalten, während die radiale Interferenz zwischen den Dichtungsauflagern 5, 6 und/oder zwischen den kegeligen Gewinden 3, 4 und das Aufbringen eines inneren Fluiddrucks letztlich die Lippe 11 "zu einer Banane" formen, indem die Neigung des Außendichtungsauflagers um einen Bruchteil eines Grades leicht variieren lassen wird. Eine solche Variation der Neigung verringert an den kegeligen Dichtungsauflagern letztlich im Wesentlichen die effektive Kontaktbreite und den integrierten Kontaktdruck auf der Breite des Auflagers.

Die Existenz eines torischen Abschnitts mit großem Radius  $R1$  auf der Gewindeseite ( $R1$  vorzugsweise zwischen 30 und 120 mm, im vorliegenden Fall 60 mm) ermöglicht es, die Vorteile eines kegeligen Dichtungsauflagers unter den Betriebsbedingungen (Stabilität der Funktion dieses Auflagers) zu bewahren.

Fig. 6 zeigt die Zusammenwirkung der an der Außenlippe 11 und am entsprechenden Innenabschnitt angeordneten Mittel in der Montageposition.

Das Innengewindeelement umfasst eine axiale Innenanschlagfläche 8, die konvex kegelig ist, einen halben Scheitelwinkel gleich oder im Wesentlichen gleich jenem der distalen Oberfläche 7 aufweist und die einen Absatz bildet.

Am Fuß dieses Absatzes befindet sich in einem axialen Abstand von der axialen Innenanschlagfläche und gegenüber dem Außendichtungsaufleger 5 ein kegeliges Innendichtungsaufleger 6 mit einer Konizität gleich jener des kegeligen Abschnitts 33 des Außendichtungsauflegers auf Lippe 5.

Die axiale Breite des Innendichtungsauflegers 6 liegt in der Nähe der gesamten  $l_s$  des Außendichtungsauflegers auf Lippe 5 und ist folglich an eine stabile Funktion dieser Dichtungsaufleger im Betrieb angepasst.

Die Innenumfangsfläche des Innengewindeelements zwischen dem Innendichtungsaufleger 6 und der axialen Innenanschlagfläche ist beliebig, da sie nicht radial mit der Außenumfangsfläche 19 gegenüber dem Ansatz 13 interferiert.

Ein kurzer Radius ist vorgesehen, um diese Innenumfangsfläche mit der axialen Innenanschlagfläche 8 zu verbinden.

Zuallererst ist zu beachten, dass die Situation des Dichtungsauflegers 5 nicht am freien Ende der Lippe die Biegung der Lippe begrenzt, wenn die Gewindeverbindung dem inneren oder äußeren Druck eines Fluids unterworfen wird, und dadurch die Verringerung der effektiven Kontaktbreite und jene des integrierten Kontaktdrucks zwischen den Dichtungsauflegern 5, 6 für die Gewindeverbindungen, die derartigen inneren oder äußeren Drücken, insbesondere inneren, unterworfen werden, begrenzt.

Die Graphiken der Fig. 12 und 13 stellen einen bestimmten Vorteil der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung des Typs von Fig. 2 (Fig. 13) in Bezug auf die ähnliche Gewindeverbindung des Standes der Technik von Fig. 1 (Fig. 12) dar.

Die untersuchte Gewindeverbindung des Standes der Technik entspricht einer hochwertigen Rohrgewindeverbindung VAM TOP® gemäß dem Katalog VAM® Nr. 940, herausgegeben von Vallourec Oil & Gas im Juli 1994 für Rohre mit einem Außendurchmesser von 244,48 mm und mit einer Dicke von 13,84 mm (9" 5/8 x 53,5 lb/ft) des Grades L80 (minimale Streckgrenze 551 MPa).

Die erfindungsgemäße Rohrgewindeverbindung wurde durch das Hinzufügen eines Ansatzes mit einer axialen Länge von 3 mm ( $l_a = 25 \% l_t$ ) einfach modifiziert: siehe Fig. 5.

Durch numerische Berechnung gemäß der Methode der finiten Elemente (FEA) wurde die Veränderung der effektiven Kontaktbreite und des integrierten Kontaktdrucks auf dieser Breite für die Anschlagflächen 7, 8 und für die Dichtungsauflager 5, 6 an einer geschraubten Gewindeverbindung beim nominalen Schraubmoment in Abhängigkeit von der axialen Zuglast, der die Gewindeverbindung unterworfen wird, in % der Last ausgedrückt, die der Streckgrenze des Körpers der Rohre entspricht (PBYS), untersucht.

Was die Anschlagflächen 7, 8 betrifft, ist festzustellen, dass die effektive Kontaktbreite (Kurve A) von anfänglich 3,8 mm sehr schnell abnimmt und für eine 42 % PBYS entsprechende Last auf 0 fällt. Oberhalb dieser Last stehen die Anschlagflächen nicht mehr in Kontakt. Der integrierte Kontaktdruck zwischen den Anschlagflächen (Kurve B) folgt demselben Profil (anfänglicher Wert 770 N/mm).

Die Kurve C in Bezug auf die Entwicklung der Kontaktbreite zwischen den Dichtungsauflagern gibt eine effektive Kontaktbreite an, die von 1,5 auf 1,1 mm abnimmt, wenn die axiale Zuglast von 0 bis 100 % verläuft.

Diese geringe Veränderung der effektiven Kontaktbreite reicht aus, um den integrierten Kontaktdruck von 700 N/mm auf 300 N/mm für dieselbe Veränderung der axialen Zuglast abfallen zu lassen (Kurve D).

Verwender bedenken seit einiger Zeit, dass ein Leckrisiko im Betrieb existiert, wenn der durch finite Elemente berechnete integrierte Kontaktdruck geringer ist als 437 N/mm (Gerade S).

Eine derartige Schwelle wird für die Gewindeverbindung des Standes der Technik überschritten, sobald die Zuglast oberhalb jener liegt, die 56 % PBYS entspricht: das verwendete Kriterium ist folglich streng.

Es ist zu beachten, dass die Dichtungsaufleger gemäß der getesteten Geometrie dennoch jenen 5 und 6 der Fig. 5 und 6 entsprechen (kegeliges Außenaufleger mit 50 % Konizität + torisch mit 60 mm Radius), die als die Stabilität des Kontakts unter Last in Bezug auf einfache kegelige Auflager verbessernd betrachtet werden.

Dieselben Berechnungen wurden an der gemäß der Erfindung modifizierten Rohrgewindeverbindung durchgeführt, die unter demselben nominalen Moment wie die Gewindeverbindung des Standes der Technik verschraubt wurde.

Die Kurven A, B, C, D und S von Fig. 13 (erfindungsgemäße Gewindeverbindung) haben dieselbe Bedeutung wie jene der Fig. 12 (Gewindeverbindung des Standes der Technik).

Die Kurven A, B und C von Fig. 13 sind ziemlich ähnlich zu jenen der Fig. 12.

Es ist hinsichtlich des integrierten Kontaktdrucks an den Anschlagflächen (Kurve B) ein integrierter Kontaktdruck geringfügig oberhalb 30 N/mm und ein Lösen der axialen Anschlagflächen, das geringfügig verzögert ist (48 % PBYS gegen 42 %), für die erfindungsgemäße Gewindeverbindung, festzustellen.

Der Hauptunterschied betrifft die Entwicklung des integrierten Kontaktdrucks zwischen den Dichtungsauflagern (Kurve D), der bei der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung viel weniger schnell abnimmt, so dass die Schwelle von 437 N/mm (Gerade S) erst jenseits einer Last, die 89 % PBYS entspricht, überschritten wird.

Das Kriterium für den integrierten Kontaktdruck, das ein strenges Kriterium ist, das von Verwendern, die um die Dichtungsgarantien an den Gewindeverbindungen sehr besorgt sind, jüngst eingeführt wurde, wird für ein großes Spektrum von Betriebsbedingungen an der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung eingehalten.

Die geringe axiale Steifigkeit der Lippe 11, die sich aus der Anwesenheit des Ansatzes 13 ergibt, trägt zu den besseren Dichtungsleistungen der erfindungsgemäßen Gewindeverbindungen unter Zug bei.

Diese geringe axiale Steifigkeit induziert zuallererst eine vorteilhafte Erhöhung der radialen Steifigkeit für die Dichtungsleistungen der Gewindeverbindung.

Die geringe axiale Steifigkeit ermöglicht außerdem der Lippe, am Ende der Verschraubung eine große Verformung unter axialem Druck zu speichern, wobei die Verformung anschließend vorteilhafterweise abgegeben werden kann, wenn die Gewindeverbindung axialen Zuglasten unterworfen wird.

Ein zu kurzer Ansatz ( $l_a < 8 \% l_t$ ) führt nicht zu einem ausreichenden Nutzen für die Dichtungseigenschaften unter Zuglast.

Ein zu langer Ansatz ( $l_a > 75 \% l_t$ ) droht, eine Ausbeulung der Lippe und eine Verringerung der Dichtungsleistungen hervorzurufen.

Die Lippe und die Mittel, die zu ihr gehören (5, 7, 13), sind außerdem durch maschinelle Bearbeitung relativ leicht herzustellen.

Andere Vorteile können sich aus der geringen axialen Steifigkeit der Lippe der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung ergeben.

Ein erster zusätzlicher Vorteil betrifft die Genauigkeit des reellen Schraubmoments.

Die Gewindeverbindungen werden im Allgemeinen mit Hilfe von mechanischen oder hydraulischen Maschinen, die "Schraubenschlüssel" genannt werden und die hohe Momente entwickeln, in der Position verschraubt, da die Gewindeverbindung nach dem Anlegen der axialen Anschlagflächen verschraubt werden muss.

Diese Schlüssel halten an, wenn ein gegebenes Schraubmoment erreicht ist (nominales Moment).

In Anbetracht der Trägheit des Schlüssels kann trotzdem das erhaltene reelle Moment in Bezug auf das gewünschte nominale Moment versetzt sein.

Dieser Versatz hängt von zahlreichen Faktoren ab und kann durch Verringern der Schraubgeschwindigkeit verringert werden, was der Produktivität der Verschraubung schadet.

Die Verringerung der axialen Steifigkeit der Lippe an der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung ermöglicht es, eine weniger steil ansteigende Kurve des Moments zwischen dem Anlegen und der Endmontageposition zu erhalten und folglich entweder weniger Abstand zwischen dem nominalen Moment und dem reellen Moment der Verschraubung zu erhalten oder eine schnellere Verschraubung zu ermöglichen.

Ein weiterer zusätzlicher Vorteil betrifft das Verhalten der Rohrgewindeverbindung unter axialer Drucklast.

Fig. 14 stellt das Aussehen von trapezförmigen Außengewindegängen 21 und Innengewindegängen 22 einer Gewindeverbindung mit kegelförmigen Gewinden, die in der Position verschraubt sind, dar.

Die Außengewindengänge 21 weisen einen Gewindescheitel 29, einen Gewindeboden 27, die alle beide in einem Winkel C (beispielsweise  $1,8^\circ$ ) zur Achse geneigt sind, eine Trägerflanke 23 und eine Eingriffsflanke 25 auf.

Die Innengewinde 22 weisen ebenso einen Gewindescheitel 28, einen Gewindeboden 30, eine Trägerflanke 24 und eine Eingriffsflanke 26 auf.

Auf Grund der Reaktion auf die Anschlagflächen 7, 8 stehen die Außenträgerflanken 23 und Innenträgerflanken 24 in Kontakt, während die Eingriffsflanken 25, 26 ein Spiel  $d_1$  aufweisen.

In Anbetracht der Konizität der Gewinde (Neigungswinkel C) interferieren die Scheitel der Innengewindengänge 28 radial mit den Böden der Außengewindengänge 27, während ein Spiel  $d_2$  zwischen den Scheiteln der Außengewindengänge 29 und den Böden der Innengewindengänge 30 existiert.

Wenn die Gewindeverbindung axialen Drucklasten unterworfen wird, kommt es zu einem Lösen der Trägerflanken 23, 24, die anfänglich in Kontakt stehen, und alle Druckkräfte werden dann durch die axialen Anschlagflächen 7, 8 zusätzlich zu den Druckspannungen, die sich aus dem Verschrauben ergeben, getragen. Wenn die äquivalenten Spannungen von Von Mises dann die Streckgrenze überschreiten, kommt es zu einer Plastifizierung und späteren Leck- und/oder Festfressrisiken nach dem Losschrauben und dem erneuten Verschrauben.

Eine geringe axiale Steifigkeit der Lippe ermöglicht es, die Eingriffsflanken 25, 26, die dann die axialen Druckkräfte aufnehmen, bevor die äquivalente Spannung am Anschlag die Streckgrenze überschreitet, in Kontakt zu bringen.

Die erfindungsgemäße Gewindeverbindung besitzt folglich auch ausgezeichnete Eigenschaften der mechanischen Beständigkeit gegen axialen Druck.

Fig. 3 stellt einen anderen Typ einer erfindungsgemäßen Rohrgewindeverbindung für Unterwassersteigrohre, die "work over risers" genannt werden, dar.

Die Gewindeverbindung 300 ist vom integralen Typ, wobei das Außengewindeelement 1 am Ende eines ersten Rohrs 101 und das Innengewindeelement 2 am Ende eines zweiten Rohrs 102 durch maschinelle Bearbeitung der Rohre hergestellt sind.

Alternativ können sich die Gewindeelemente 1 und 2 aus einer Verdickung der Enden der Rohre durch Schmieden (Erhöhung des Außendurchmessers und/oder Verringerung des Innendurchmessers) ergeben.

Alternativ können die Außengewindeelemente und Innengewindeelemente auch beispielsweise durch Schweißen an die Rohre angefügt werden.

Diese Art von Gewindeverbindung umfasst 2 Paare von axialen Anschlagflächen, wobei jedes Paar eine distale axiale Anschlagfläche umfasst.

Ein "Innenanschlag" genanntes erstes Paar ist wie vorher aus einer distalen Oberfläche 7 am freien Ende des Außengewindeelements 1 und eine ringförmige Oberfläche 8, die einen Absatz bildet, am Innengewindeelement 2 gebildet.

Das "Außenanschlag" genannte andere Paar ist symmetrisch aus einer distalen Oberfläche 18 am freien Ende des Innengewindeelements 2 und eine ringförmige Oberfläche 17, die einen Absatz bildet, am Außengewindeelement 1 gebildet.

Alle 4 axialen Anschlagflächen sind eben und lotrecht zur Achse der Gewindeverbindung 300.

Eine Lippe 11, 12 trennt jeden Anschlag von den Gewinden.

Die Innenlippe 12 umfasst kein Dichtungsaufleger.

Die Außenlippe 11 (siehe Fig. 7) umfasst ein Dichtungsaufleger auf Lippe 5, das axial von der distalen axialen Anschlagfläche 7 durch einen Ansatz 13 getrennt ist.

Das Dichtungsaufleger 5 ist eine komplexe Oberfläche, die auf der Seite des freien Endes aus einem kegeligen Abschnitt 33, der mit 50 % geneigt ist, und auf der Seite des Gewindes 3 aus einem torischen Abschnitt 31 mit einem Radius  $R_1$  (40 mm), der den kegeligen Abschnitt 33 tangiert, gebildet ist, wobei das Innendichtungsaufleger 6 einfach kegelig mit einer Konizität von 50 % und einer axialen Breite, die an die gesamte des Außendichtungsauflegers 5 angepasst ist, ist.

Der Ansatz 13 weist eine Außenumfangsfläche 19 mit zylindrischer Form auf und besitzt eine axiale Länge  $l_a$  von 5 mm, die ungefähr 9 % der axialen Gesamtlänge der Lippe  $l_t$  darstellt.

Das axiale Längenverhältnis des Ansatzes auf der radialen Dicke der distalen axialen Anschlagfläche ist ungefähr 0,75.

Der Abschnitt der Lippe, der sich zwischen dem Dichtungsaufleger auf Lippe 5 und dem Gewinde 3 befindet, umfasst auf seiner Außenumfangsfläche 35 zwei zylindrische Oberflächen 37 und 39, wobei die Oberfläche 39, die am Fuß des Gewindes 3 beginnt, einen geringeren Durchmesser  $D''$  als die Oberfläche 37 auf der Seite des Dichtungsauflegers (Durchmesser  $D'$ ) aufweist, wobei  $(D'' - D')$  ungefähr 1 mm ist.

Eine derartige Stufe erhöht die radiale Steifigkeit des Dichtungsauflegers auf Lippe 5 und folglich die Kontaktdrücke zwischen den Dichtungsauflegern 5, 6. Sie verringert auch die "bananenförmige" Verformung der Lippe, wenn die Gewindeverbindung 300 dem Druck eines äußeren Fluids unterworfen wird. Sie trägt außerdem in Kombination mit dem Ansatz 13 dazu bei, das Dichtungsaufleger 5 vor Beschädi-

gungsmarkierungen im Fall einer Fehlausrichtung beim Eingriff der Gewindeelemente zu schützen.

Die folgende Tabelle 1 ermöglicht es, die integrierten Kontaktdrücke für 2 Gewindeverbindungen für "work over risers" für Rohre mit einem Außendurchmesser von 219,08 mm (8" 5/8) und 17,8 mm Dicke des Grades P110 (minimale Streckgrenze von 758 MPa) ohne Ansatz 13 (Stand der Technik) und mit Ansatz 13 (gemäß der Erfindung) zu vergleichen.

Am Ende der Verschraubung sind die Oberflächen 17, 18 des Außenanschlags die ersten, die in Kontakt stehen (primärer Anschlag), wobei die Verschraubung fortgesetzt wird, bis die Oberflächen 7, 8 des Innenanschlags (sekundärer Anschlag) unter Kontaktdruck zur Anlage gebracht werden.

Die Tabelle 1 gibt Werte von integrierten Kontaktdrücken auf der Kontaktbreite auf der Höhe der Dichtungsaufleger, die durch numerische Berechnung erhalten werden, am Ende der Verschraubung und unter axialem Zug an.

Tabelle 1: Integrierter Kontaktdruck zwischen Dichtungsauflegern.

Integrierter Kontaktdruck (N/mm)		
	Gewindeverbindung des Standes der Technik	Erfindungsgemäße Gewindeverbindung (Fig. 3)
• Am Ende der Verschraubung	1286	1523
• Verschraubung + 80 % PBYS	1214	1462
• Verschraubung + 100 % PBYS	1188	1442

Die integrierten Kontaktdrücke sind höher und nehmen bei der erfindungsgemäßen Gewindeverbindung für diese Konfiguration mit Anlegen zuerst der Außenanschlagflächen ein wenig langsamer ab. Da der Ansatz eine sehr begrenzte Länge (9 % der Gesamtlänge der Lippe) aufweist und die Lippe 11 radial sehr steif ist (10 mm Dicke auf der Höhe der Stufe 37), sind die Differenzen in Bezug auf die

Gewindeverbindung des Standes der Technik geringer als im vorher beschriebenen Beispiel (VAM TOP®).

Die Fig. 15, 16, 17 zeigen an der Gewindeverbindung 300 von Fig. 3 die Grenzbedingungen für den Eingriff der Gewindeelemente in Anbetracht der Anwesenheit des Ansatzes 13.

Fig. 15 zeigt die maximale mögliche radiale Fehlausrichtung  $d_3$  ganz am Anfang des Eingriffs der Gewindeelemente 1 und 2, wobei das Außendichtungsauflager auf Lippe 5 mit dem freien Innenende 18 in Kontakt kommt:  $d_3$  kann für die Gewindeverbindung 300 mit den vorstehend angegebenen Abmessungen 10 mm übersteigen.

Fig. 16 zeigt die maximale mögliche radiale Fehlausrichtung  $d_4$  ein wenig später, wenn das Außendichtungsauflager auf Lippe 5 mit dem 1. Innengewindengang in Kontakt kommt:  $d_4$  beträgt ungefähr 8 mm für die betrachtete Gewindeverbindung.

Fig. 17 zeigt die maximale mögliche Winkelfehlausrichtung  $E$ , wobei das Außendichtungsauflager auf Lippe 5 mit dem Innengewinde in Kontakt steht und die Außen- und Innengewindgänge noch nicht in Eingriff stehen:  $E$  beträgt ungefähr  $4^\circ$ .

Diese Werte von  $d_3$ ,  $d_4$  und  $E$  sind höher als in Abwesenheit des Ansatzes 13. Die erfindungsgemäßen Gewindeverbindungen sind folglich gegenüber fehlerhaften Eingriffsbedingungen der Gewindeelemente toleranter.

Der Ansatz 13 schützt natürlich das Dichtungsauflager auf Lippe 5 vor axialen Stößen am Ende bei Manipulationen auf der Baustelle.

Es ist zu beachten, dass im Fall von Fig. 17 der Ansatz auch ermöglicht, einen radialen Schutz oder eine radiale Barriere für den kegelförmigen Abschnitt 33 des Dichtungsaufagers auf Lippe zu erzeugen, der der kritischste Abschnitt für die Dichtheit ist.

Die Gesamtheit des Dichtungsaufagers kann außerdem geschützt werden, wenn, wie in Fig. 5 gezeigt, der Ansatz 13 eine axiale Länge  $l_a$  besitzt, so dass das Dichtungsauflager auf Lippe 5 auf der Seite des Gewindeelements in Bezug auf die Gerade D1 liegt, die durch den Scheitel des 1. Außengewingdegangs verläuft und das freie Ende des Gewindeelements tangiert. Die Gerade D1 verwirklicht beispielsweise die Mantellinie der Scheitel der Innengewingdegänge in Fig. 17.

Fig. 4 stellt eine integrale Gewindeverbindung 400, die "flush genannt wird, mit einem konstanten Innendurchmesser und Außendurchmesser, mit inneren Anschlagflächen (7, 8) und äußeren Anschlagflächen (17, 18) und mit 2 Paaren von Dichtungsauflagern: einem inneren Paar (5, 6) und einem äußeren Paar (15, 16), dar.

Die Gewindeverbindung 400 ist hinsichtlich der äußeren Drücke durch das äußere Paar von Dichtungsauflagern und der inneren Drücke durch das innere Paar von Dichtungsauflagern dicht.

Das Außendichtungsauflager 5 des inneren Paares und das Innendichtungsauflager 16 des äußeren Paares sind Dichtungsauflager auf Lippe.

Sie sind von den distalen axialen Anschlagflächen 7, 18 an den Gewindeelementen getrennt oder sie sind durch einen Ansatz 13, 14 verwirklicht.

Diese Ansätze 13, 14 ermöglichen es, die axiale Steifigkeit der Lippen 11, 12 zu verringern und die radiale Steifigkeit dieser Lippen maximal zu machen.

Dies ermöglicht es, die Dichtungsleistungen der Gewindeverbindung sowohl gegenüber den äußeren als auch inneren Fluiden selbst unter einem relativ hohen axialen Zug zu maximieren.

Die mechanische Druckfestigkeit ist auch verbessert.

Die geringe axiale Steifigkeit der Lippen 11, 12 ermöglicht es, das Schrauben nach dem Anlegen eines inneren oder äußeren, vorzugsweise inneren, Anschlagpaars bis zum axialen Anlegen des zweiten Paares von Anschlagflächen ausreichend fortzusetzen.

Die Verzögerung des LöSENS der Anschlagflächen unter axialem Zug ermöglicht es, die Schlagwirkungen dieser Oberflächen im Fall einer schwankenden Zug- oder Biegelast in einem gewissen Maß zu vermeiden oder in jedem Fall zu begrenzen, wobei derartige Schlagwirkungen früher oder später eine Quelle für den Start eines ErmüdungsrisSES durch ein "fretting corrosion" genanntes Phänomen sind.

Die vorliegende Erfindung kann nicht auf die Rohrgewindeverbindungen, die gerade beschrieben wurden, begrenzt werden.

Sie kann für jede Art von Rohrgewindeverbindung gelten, die beispielsweise insbesondere kegelige oder zylindrische Gewinde mit einem oder mehreren stufenförmigen oder nicht stufenförmigen Gewindeabschnitten, mit trapezförmigen oder dreieckigen Gewindegängen, mit keilförmigen Gewindegängen ("wedge" genannt) mit variabler Breite oder variabler Steigung aufweist.

## Ansprüche

1. Hochwertige Rohrgewindeverbindung (100, 300, 400) mit einem Außengewindeelement (1) am Ende eines ersten rohrförmigen Bauteils (101) und mit einem Innengewindeelement (2) am Ende eines zweiten rohrförmigen Bauteils (102, 202), wobei das Außengewindeelement ein Außengewinde (3), mindestens ein Außendichtungsauflager (5, 15) auf seiner Außenumfangsfläche und mindestens eine axiale Außenanschlagfläche (7, 17) aufweist, das Innengewindeelement (2) entsprechend ein Innengewinde (4), mindestens ein Innendichtungsauflager (6, 16) auf seiner Innenumfangsfläche und mindestens eine axiale Innenanschlagfläche (8, 18) aufweist, wobei das Außengewinde in das Innengewinde geschraubt wird, bis mindestens eine axiale Außenanschlagfläche (7, 17) in Anschlagreaktion auf das Schraubmoment mit der entsprechenden axialen Innenanschlagfläche (8, 18) zusammenwirkt, wobei jedes Außendichtungsauflager (5, 15) dann radial mit einem entsprechenden Innendichtungsauflager (6, 16) interferiert, wobei mindestens ein Gewindeelement unter der oder den Anschlagflächen eine so genannte "distale axiale Anschlagfläche" (7, 18) hat, die auf der Stirnfläche des freien Endes des Gewindeelements hergestellt ist und im Wesentlichen über ihre ganze Fläche mit einer axialen Anschlagfläche auf dem zugeordneten Element zusammenwirkt, wobei eine Lippe (11, 12) sich vom Gewinde (3, 4) bis zu der distale axiale Anschlagfläche auf dem betrachteten Gewindeelement (7, 18) erstreckt, wobei ein so genanntes "Dichtungsauflager auf Lippe" (5, 16) auf der Lippe (11, 12) in einem gegebenen Abstand vom Ende des Gewindes angeordnet ist, wobei die Lippe einen "Ansatz " genannten Bereich (13, 14) zwischen dem freien Ende der Lippe und dem Dichtungsauflager auf Lippe (5, 16) aufweist, derart, dass der Ansatz die radiale Steifheit der Lippe erhöht und ihre axiale Steifheit verringert, wobei die Umfangsfläche (19) des Ansatzes (13, 14) sich von dem Dichtungsauflager auf Lippe (5, 16) verschieden ist und an dieses über eine konkave Torusfläche anschließt, wobei die Neigung des Dichtungsauflagers auf Lippe (5, 16) bezüglich der Achse der Verbindung größer als diejenige des Gewindes (3, 4) ist.

2. Hochwertige Rohrgewindeverbindung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ansatz eine axiale Länge ( $l_a$ ) von zwischen 8 % und 75 % der axialen Gesamtlänge der Lippe ( $l_t$ ) besitzt.
3. Hochwertige Rohrgewindeverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Ansatz eine derartige axiale Länge ( $l_a$ ) und die distale axiale Anschlagfläche eine derartige radiale Dicke ( $e_b$ ) besitzen, dass das Verhältnis der axialen Länge des Ansatzes zur radialen Dicke der distalen axialen Anschlagfläche kleiner als oder gleich 3 ist.
4. Hochwertige Rohrgewindeverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die axiale Länge ( $l_a$ ) des Ansatzes angepasst ist, damit das Dichtungsauflager auf Lippe (5) sich auf der Seite des Gewindeelements (1) befindet, auf der es bezüglich der Geraden (D1) angeordnet ist, die durch den Scheitel des ersten Gewindegangs des Gewindes (3) verläuft und die das freie Ende des Gewindeelements (1) tangiert, was es ermöglicht, das Dichtungsauflager auf Lippe (5) bei Manipulationen der Gewindeelemente vor Schäden zu schützen.
5. Hochwertige Rohrgewindeverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Dichtungsauflager auf Lippe (5, 16) eine Fläche ist, die aus der Gruppe ausgewählt wird, die von den kegeligen, torischen oder komplexen Flächen gebildet wird, wobei letztere Kombinationen von kegeligen Flächen, zylindrischen Flächen und torischen Flächen enthalten.
6. Hochwertige Rohrgewindeverbindung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Dichtungsauflager auf Lippe (5) eine komplexe Fläche ist, die zwei einander tangierende Flächenabschnitte aufweist, nämlich einen kegeligen Abschnitt (33), der sich auf der Seite der distalen axialen Anschlagfläche (7) befindet, und einen torischen Abschnitt (31) mit einem Radius ( $R_1$ ) größer als 20 mm, der sich auf der Seite des Gewindes (3) befindet, und dass das entsprechende Dichtungsauflager (6) auf dem anderen Gewindeelement eine kegelige Fläche mit einer Kegelneigung

im Wesentlichen gleich derjenigen des kegeligen Abschnitts (33) des Dichtungsaufagers auf Lippe und mit einer an die axiale Gesamtbreite (1s) des Dichtungsaufagers auf Lippe angepassten axialen Breite ist.

7. Hochwertige Rohrgewindeverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Umfangsfläche (35) der Lippe, die sich zwischen dem Dichtungsauflager auf Lippe (5) und dem Gewinde (3) befindet, zwei global zylindrische Flächen mit geringfügig unterschiedlichen Durchmessern aufweist, wobei die global zylindrische Fläche mit geringerem Durchmesser (39) an den Fuß des Gewindes und diejenige mit größerem Durchmesser (37) an das Dichtungsauflager auf Lippe (5) anschließt.
8. Hochwertige Rohrgewindeverbindung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nur ein Gewindeelement (1) eine Lippe (11) mit einem Dichtungsauflager auf Lippe (5), einen Ansatz (13) und eine distale axiale Anschlagfläche (7) aufweist, während das andere Gewindeelement (2) die Gesamtheit dieser Mittel nicht aufweist.
9. Hochwertige Rohrgewindeverbindung (300) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das andere Gewindeelement (2) der Rohrgewindeverbindung ebenfalls eine distale axiale Anschlagfläche (18), aber kein Dichtungsauflager auf Lippe aufweist.
10. Hochwertige Rohrgewindeverbindung (400) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Gewindeelemente (1, 2) der Rohrgewindeverbindung je eine Lippe (11, 12) mit einem Dichtungsauflager auf Lippe (5, 16), einen Ansatz (13, 14) und eine distale axiale Anschlagfläche (7, 18) aufweisen.

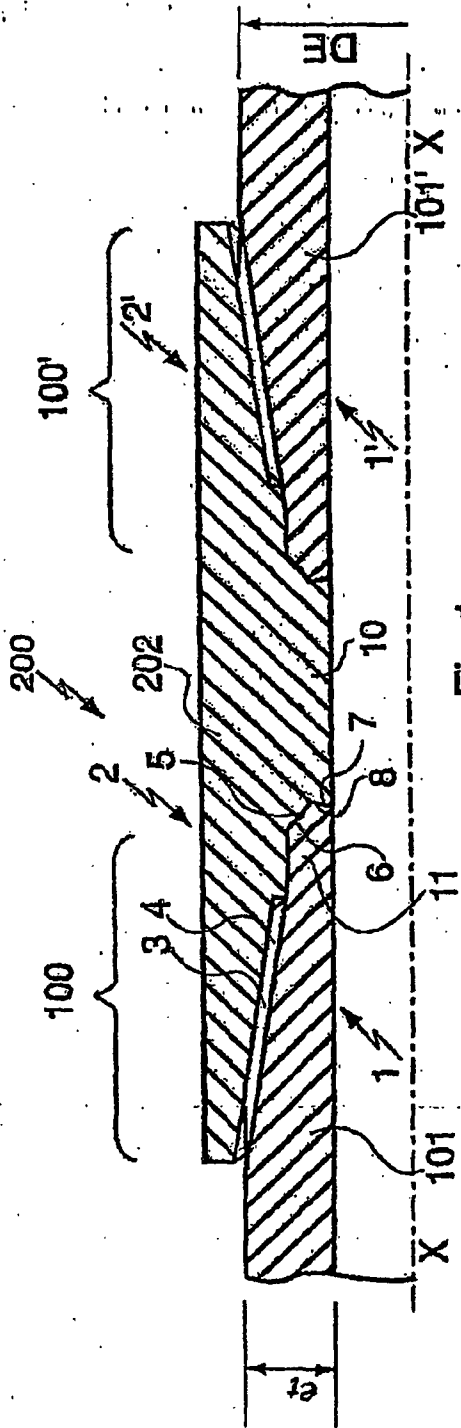


Fig 1

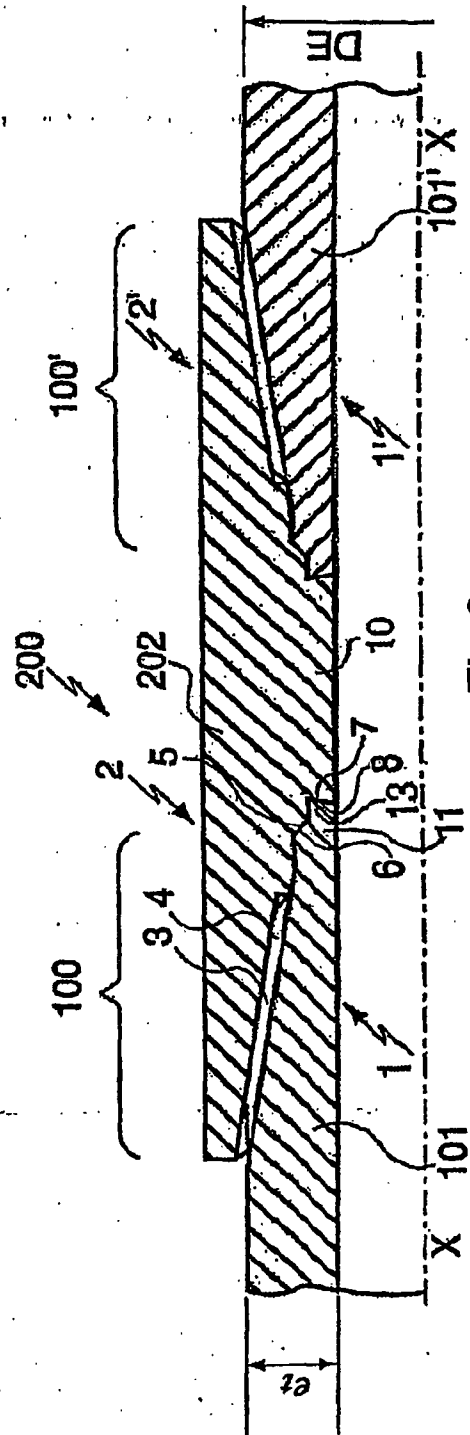
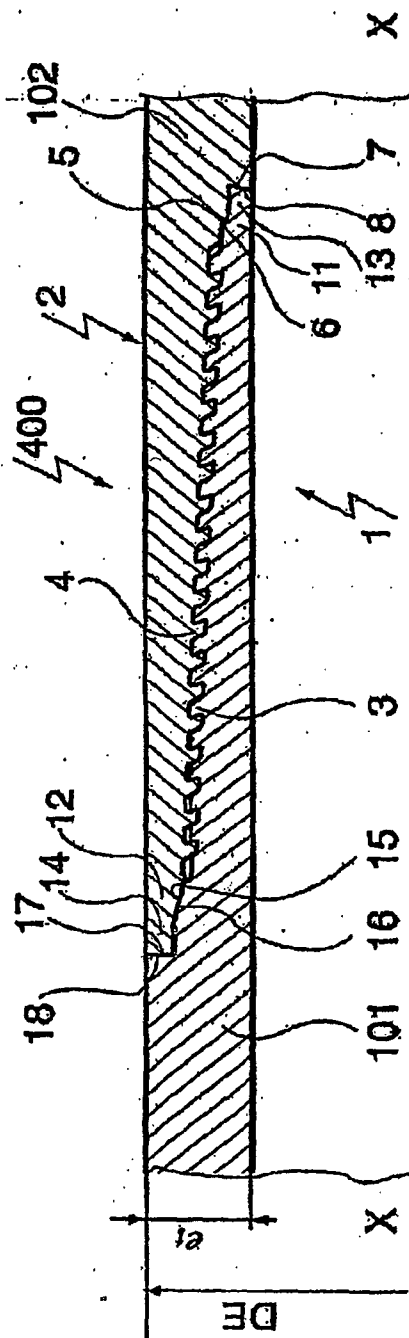
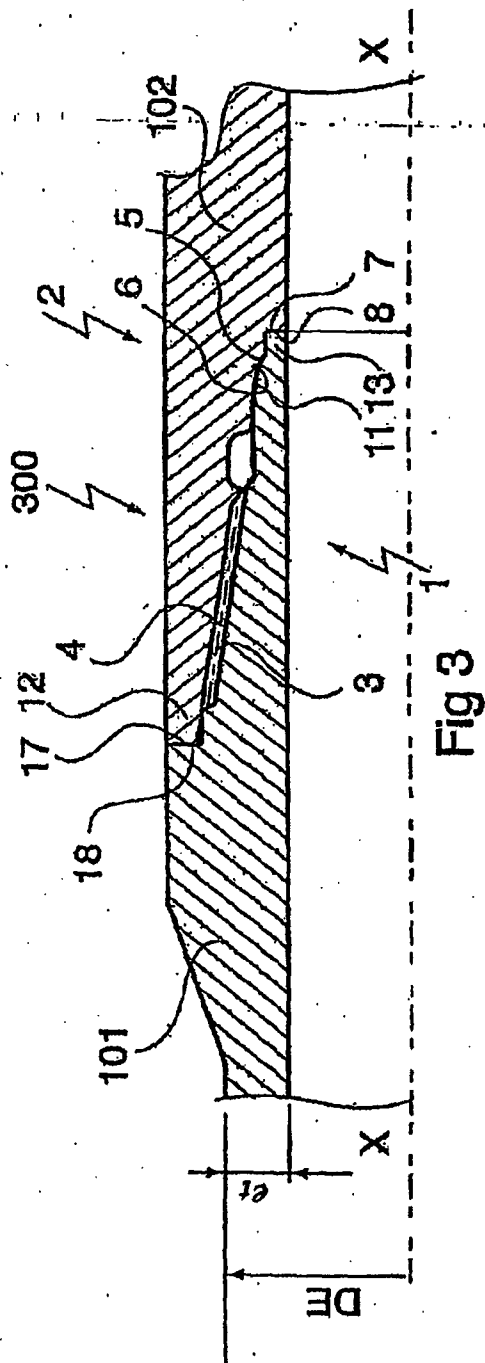


Fig 2



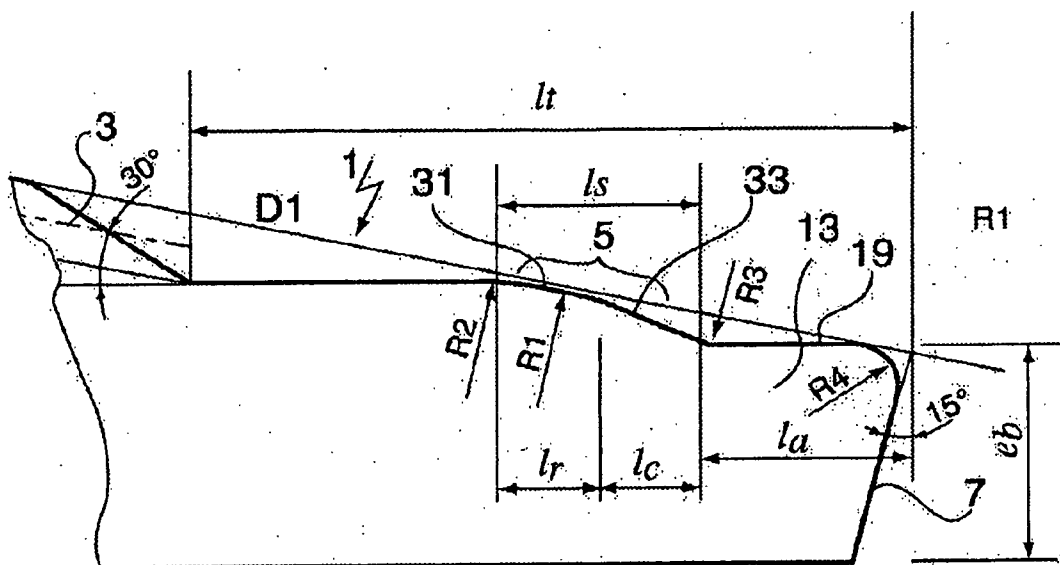


Fig 5

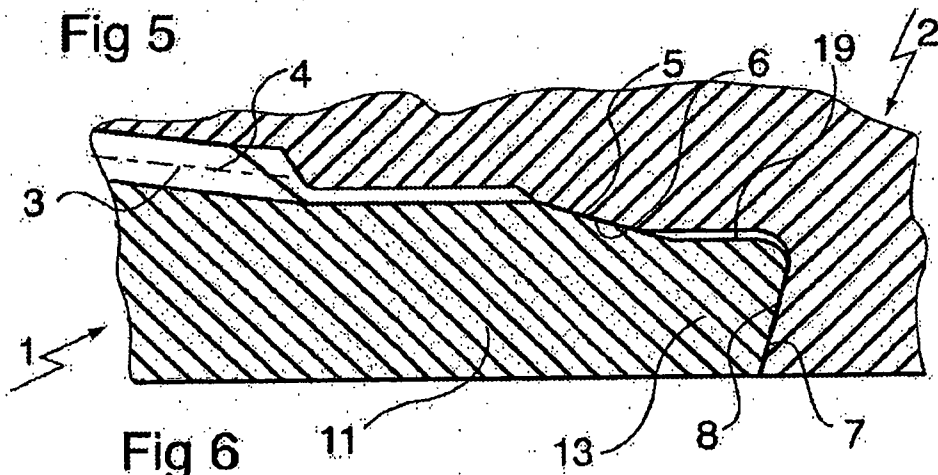


Fig 6

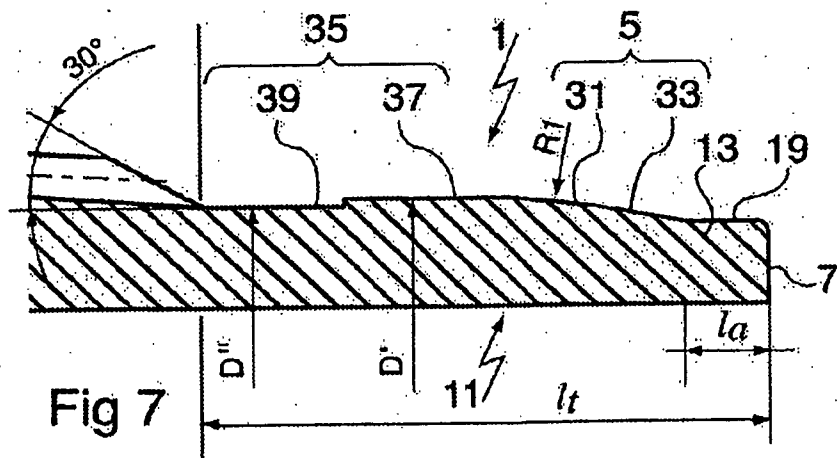


Fig 7

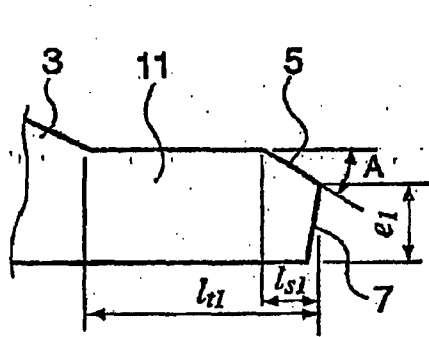


Fig 8

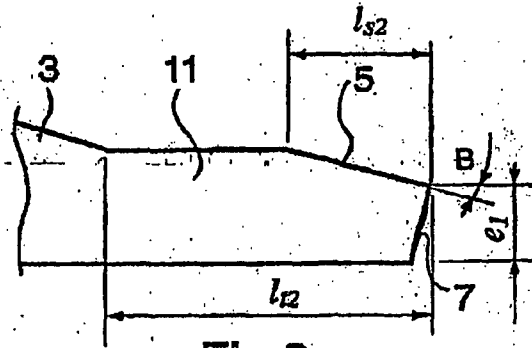


Fig 9

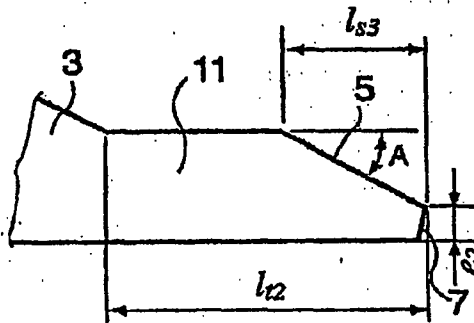


Fig 10

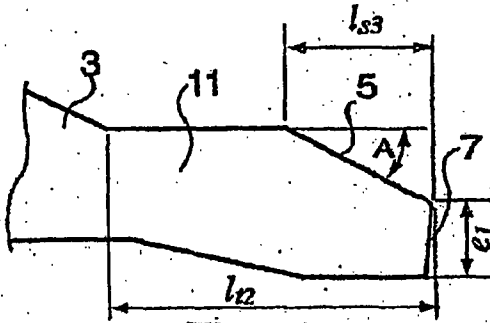


Fig 11

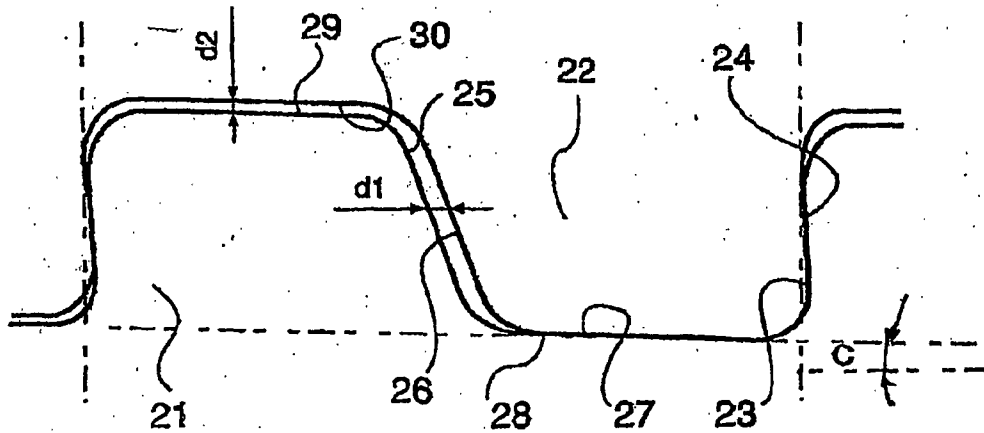


Fig 14

Fig. 12

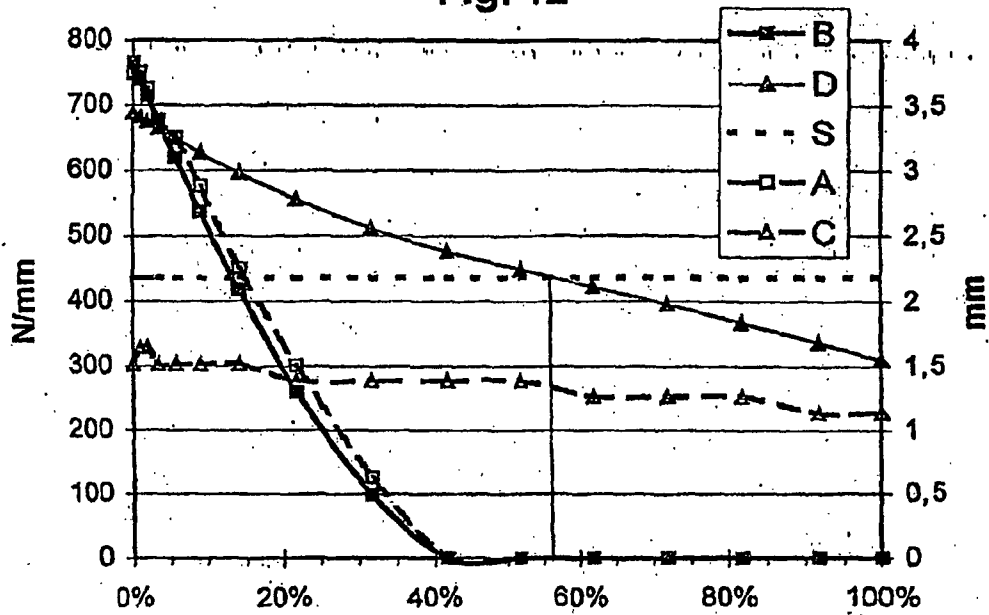
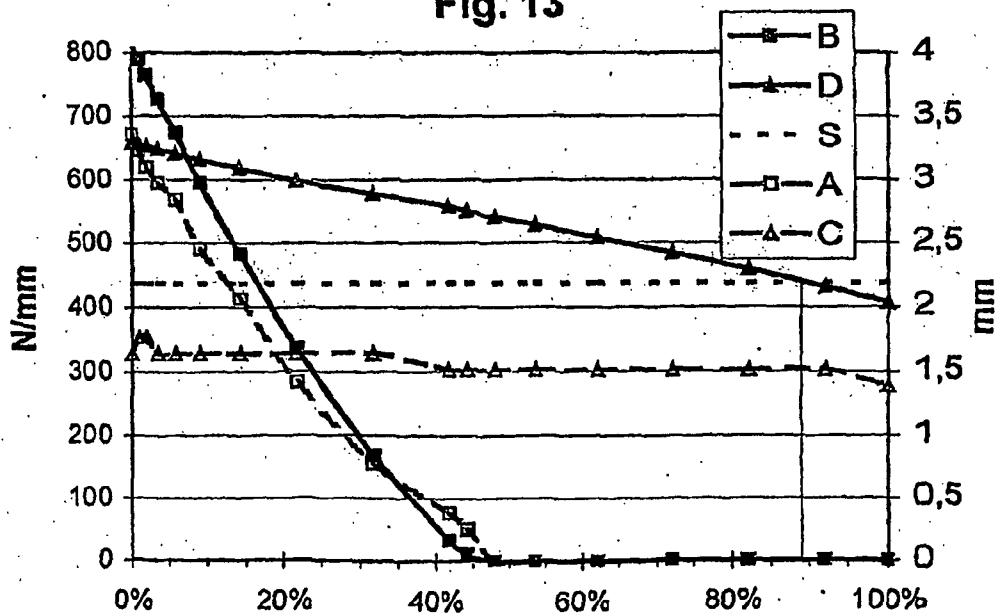


Fig. 13



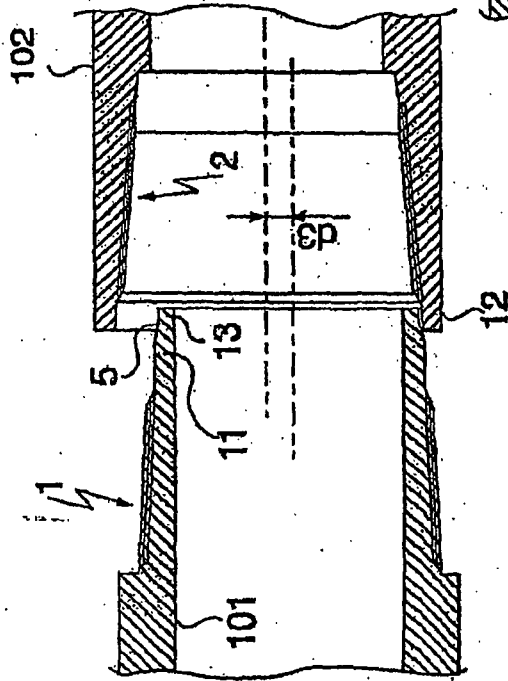


Fig 15

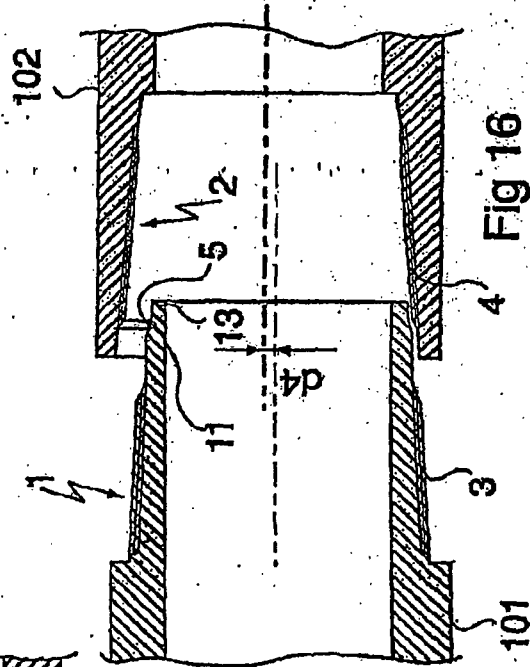


Fig 16

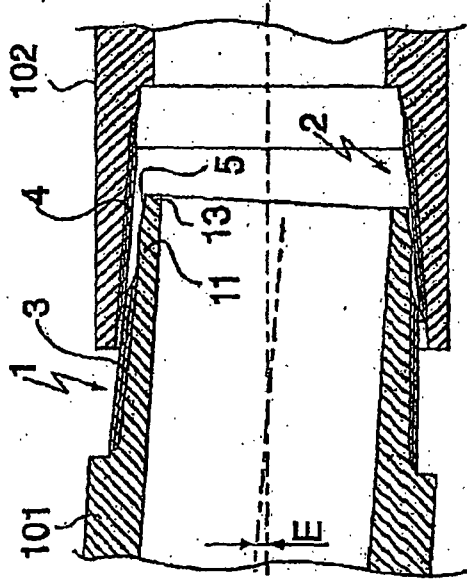


Fig 17