



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 661 232 A5

⑤① Int. Cl.⁴: B 23 K 20/00
B 21 C 37/06

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 6697/83

⑫② Anmeldungsdatum: 13.04.1983

⑫③ Priorität(en): 13.04.1982 NO 821208
12.04.1983 NO 831295

⑫④ Patent erteilt: 15.07.1987

⑫⑤ Patentschrift veröffentlicht: 15.07.1987

⑫⑦ Inhaber:
Per H. Moe, Drammen (NO)

⑫⑦② Erfinder:
Moe, Per H., Drammen (NO)

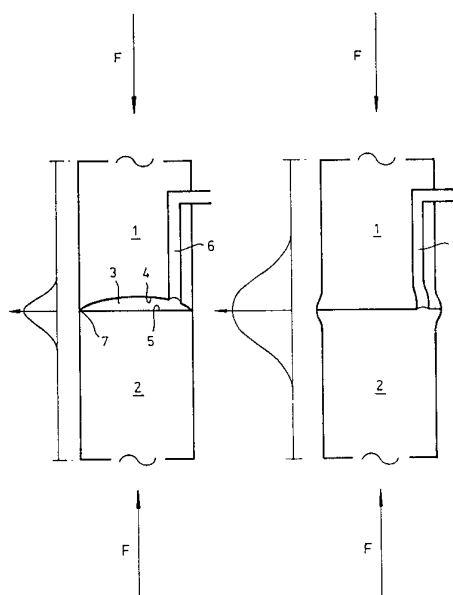
⑫⑦④ Vertreter:
Patentanwälte Schaad, Balass, Sandmeier, Alder,
Zürich

⑫⑧⑥ Internationale Anmeldung: PCT/NO 83/00010
(No)

⑫⑧⑦ Internationale Veröffentlichung: WO 83/03565
(En) 27.10.1983

⑫⑤④ **Verfahren zum Diffusionsschweissen.**

⑫⑤⑦ Beim Verfahren zum Verbinden von Metallteilen (1, 2) durch Diffusionsschweissen wird eine Fuge (3) zwischen den gegenüberliegenden Grenzflächen (4, 5) ausgebildet, wobei die Fuge im allgemeinen von der Peripherie gegen die Mitte eine zunehmende Höhe aufweist. Die Fuge ist mit einer Anschlussleitung (6) zu einer äusseren Quelle für ein Spülgas und für Vakuum versehen. Während des Vorheizens und Zusammenpressens der Teile wird die Fuge (3) mit einem inerten oder reduzierenden Spülgas, z.B. Wasserstoff, versorgt, bis die Fuge (3) entlang ihrer Peripherie (7) durch Diffusionsschweissen geschlossen ist. Danach kann die Fuge am Vakuum angeschlossen werden, worauf weiteres Erhitzen, schnelles Zusammenpressen und eine bestimmte Haltezeit das vollständige Diffusionsschweissen der Teile bewirken. Es wird auch empfohlen, den Querschnitt der Teile im Fugenbereich zu reduzieren und diese während des Diffusionsschweissens zu ihrem ursprünglichen Querschnitt zu pressen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Verbinden von Metallteilen (1, 2) durch Diffusionsschweissen, wobei

– zwischen einander gegenüberliegenden Grenzflächen (4, 5) der miteinander zu verbindenden Teile (1, 2) eine Fuge (3) ausgebildet,

– die Teile (1, 2) zumindest in den an die Fuge (3) angrenzenden Bereichen auf eine vorbestimmte Temperatur erhitzt,

– die Teile (1, 2) durch Aneinanderpressen miteinander verbunden und

– die Teile gekühlt werden,

dadurch gekennzeichnet, dass der Fuge zu Beginn die Form eines Hohlraumes (3) mit einer sich von der Peripherie (7) zur Mitte hin allmählich vergrößernden Höhe gegeben und die Fuge mit zumindest einer Anschlussleitung (6) versehen wird, dass dem Hohlraum (3) der Fuge während des Erhitzens zunächst ein inertes oder reduzierendes Spülgas bis zum dichten Verschliessen der Fuge entlang ihrer Peripherie (7) zugeführt wird, dass dann gegebenenfalls der Hohlraum (3) der Fuge über die Anschlussleitung (6) unter Vakuum gesetzt wird und dass anschliessend die Fuge zwecks weiteren Diffusionsschweissens mit vorbestimmter Geschwindigkeit zusammengepresst wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der Grenzflächen (4) der Fuge eine konkave Form gegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der Grenzflächen (4) der Fuge eine konische Form gegeben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass beiden Grenzflächen (4, 5) der Fuge eine konische Form, und zwar einer (4) eine konkave Form und der anderen (5) eine konvexe Form, gegeben wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Helium als Inertgas verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Wasserstoff als reduzierendes Gas verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anschlussleitung (6) in einem der Teile (1), vorzugsweise in Nähe seiner Peripherie, vorgesehen wird.

8. Verfahren zum Verbinden von Metallteilen (1, 2) durch Diffusionsschweissen, bei welchem

– zwischen gegenüberliegenden Grenzflächen (4, 5) der miteinander zu verbindenden Teile (1, 2) eine Fuge (3) hergestellt,

– die Teile (1, 2) zumindest in den die Fuge (3) angrenzenden Bereichen auf eine vorbestimmte Temperatur erhitzt,

– die Teile (1, 2) durch Zusammenpressen miteinander verbunden und

– die Teile gekühlt werden,

dadurch gekennzeichnet, dass die Teile (1, 2) im Bereiche der Fuge mit einem verringerten Querschnitt versehen werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fugen mit einer Aktivierungslegierung versehen werden.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Grenzflächen (4, 5) der Fuge zumindest an der Peripherie (7) mit einer Zahnung versehen wird.

sen, wobei zwischen einander gegenüberliegenden Grenzflächen der miteinander zu verbindenden Teile eine Fuge ausgebildet, die Teile zumindest in den an die Fuge angrenzenden Bereichen auf eine vorbestimmte Temperatur erhitzt, die Teile durch Aneinanderpressen miteinander verbunden und die Teile gekühlt werden.

Die Vorteile und Nachteile des Diffusionsschweissens sind unter anderem aus Welding Handbook, 7. Auflage, Band III, Seiten 312 ff, bekannt.

Zu den Vorteilen zählt, dass Verbindungen mit Eigenschaften und einem Mikrogefüge hergestellt werden können, die jenen des Grundmaterials sehr ähnlich sind, und dass es möglich ist, dort Verbindungsstellen herzustellen, wo es schwierig ist, andere Methoden anzuwenden. Weiters können Verbindungen mit nur sehr geringen Verformungen und ohne nachfolgendes maschinelles Bearbeiten oder nachfolgende Formgebung hergestellt werden.

Zu den Nachteilen zählt, dass die Kosten für die Einrichtung in der Regel äusserst hoch sind, wodurch die Grösse der in wirtschaftlicher Weise noch durch Diffusionsschweissen verbindbaren Teile begrenzt wird. Darüber hinaus werden wegen der Notwendigkeit, in einer Umgebung wie Vakuum- oder Schutzgasatmosphäre Wärme zuzuführen und hohe Druckkräfte aufzubringen, die bei der Erstellung der erforderlichen Einrichtung auftretenden Probleme noch verstärkt, womit die Anwendbarkeit dieses Verfahrens beträchtlich eingeschränkt wird. Weiters wurde angenommen, dass dieses Verfahren eine besonders sorgfältige und gründliche Oberflächenvorbereitung erfordert und dass es zeitaufwendiger ist als übliche Verfahren.

Trotzdem ist es Gegenstand der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der oben angegebenen Art für die Herstellung von Rohrleitungen auszubilden, die dazu dienen, Gas und Öl in Meerengebieten zu transportieren. Solche Rohrleitungen werden derzeit dadurch hergestellt, dass Rohrschüsse händisch oder automatisch unter Verwendung von CO₂ an Bord eines Verlegeschiffes zusammengeschweisst werden. In der Regel erfolgt das Verschweissen der Rohre an mehreren Stellen gleichzeitig, um die Verlegegeschwindigkeit zu erhöhen. Aus praktischen Gründen sind die Schweissstationen entlang einer horizontalen Strecke angeordnet, sodass mehrere Schweisser gleichzeitig an jeder Schweissstation schweissen können. Das fertiggestellte Rohr wird hinter dem Verleges Schiff über einen sogenannten «Stinger» abgesenkt, welcher verhindert, dass das Rohr unmittelbar hinter dem Verleges Schiff bricht, und entlang einer S-förmigen Bahn sich zum Meeresgrund erstreckt. In der verlegten Rohrleitung verbleibt eine gewisse Spannung, weshalb das Verleges Schiff Anker besitzen muss, mittels welcher es sich während des Verlegens der Rohrleitung vorwärtszieht. Diese Anker müssen von Zeit zu Zeit in Verlegerichtung des Verlegeschiffes weiterbewegt werden, zu welchem Zwecke es erforderlich ist, Hilfsschiffe zu verwenden.

Aus verschiedenen Gründen wäre es erwünscht, die Rohrleitung vom Verleges Schiff aus im wesentlichen vertikal absenken zu können, so dass die Rohrleitung in nur einer einzigen Krümmung bis zum Meeresgrund gelangt. Dies würde unter anderem ermöglichen, die Spannungen in der verlegten Rohrleitung besser kontrollieren zu können, wobei auch auf die Verwendung von Ankern und Hilfsfahrzeuge verzichtet werden könnte und statt dessen das Verleges Schiff dynamisch in Stellung gebracht werden kann. Bei relativ zum Verleges Schiff vertikal angeordneter Rohrleitung wird es jedoch äusserst schwierig, mehr als eine Schweissstation vorzusehen. Bei den derzeitigen nur langsam ablaufenden Schweissvorgängen würde sich damit eine für praktische Zwecke nur unzureichende Verlegegeschwindigkeit ergeben.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Verbinden von Metallteilen durch Diffusionsschweis-

Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren geschaffen, welches es ermöglicht, zwei Rohrschüsse so rasch miteinander zu verbinden, dass es die erzielte Verlegegeschwindigkeit ermöglicht die Rohrleitung an Bord eines Verlegeschiffes vertikal zu orientieren, womit die sich daraus ergebenden Vorteile genutzt werden können.

Dies wird gemäss der Erfindung mit einem Verfahren der oben angegebenen Art erreicht, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass der Fuge zu Beginn die Form eines Hohlraumes mit einer sich von der Peripherie zur Mitte hin allmählich vergrössernden Höhe gegeben und die Fuge mit zumindest einer Anschlussleitung versehen wird, dass dem Hohlraum der Fuge während des Erhitzens zunächst ein inertes oder reduzierendes Spülgas bis zum dichten Verschiessen der Fuge entlang ihrer Peripherie zugeführt wird, dass dann gegebenenfalls der Hohlraum der Fuge über die Anschlussleitung unter Vakuum gesetzt wird und dass anschliessend die Fuge zwecks weiteren Diffusionsschweissens mit vorbestimmter Geschwindigkeit zusammengepresst wird.

Wegen der erwähnten Formgebung der Fuge wird zu Beginn des Verfahrens entlang der peripherie der Fuge ein grosser Oberflächendruck erzielt. Die Diffusion kann deshalb entlang der Peripherie bereits bei solch niedrigen Temperaturen einsetzen, bei welchen eine Oberflächeoxydation vermieden wird. Das Spülen mit Inertgas verhindert einen Zutritt von Sauerstoff, sodass eine Oxydation vermieden wird. Falls ein reduzierendes Gas verwendet wird, können zuvor an den Oberflächen der Fuge möglicherweise entstandene Oxyde beseitigt werden. Nachdem in dieser Weise die Fuge entlang ihrer Peripherie verschlossen worden ist — was daran zu erkennen ist, dass Spülgas nicht mehr entweicht — kann die Anschlussleitung an eine Vakuumquelle angeschlossen und damit die Fuge unter Vakuum gesetzt werden. Dadurch werden Restgase beseitigt und mit zunehmender Temperatur Oxyde und andere Verunreinigungen bis zu einem gewissen Ausmass zersetzt. Durch Auswahl von Temperatur und Druck wird die Fuge rasch verschlossen, so dass dann innerhalb kurzer Zeit das Diffusionsschweissen vollständig ablaufen kann. Ein rasches Zusammenpressen ist vorteilhaft, da dadurch wegen des mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit ansteigenden Kriechwiderstandes des Materials ein höherer Druck im Bereiche der Stossstelle erzeugt wird.

Entsprechend einem vorteilhaften Merkmal der Erfindung wird zumindest eine der Grenzflächen der Fuge entlang der Peripherie mit einer Zahnung versehen. Dies stellt sicher, dass während der frühen Phasen des Verbindungsvorganges Spülgas in ausreichender Menge entweichen kann.

Es ist weiters sehr vorteilhaft, zumindest einer Grenzflächen der Fuge eine konkave Form zu geben. Hiedurch ergibt sich während des abschliessenden Zusammenpressens der Teile eine vorteilhafte Verteilung der Kräfte, was in komplettes Verschweissen entlang der gesamten Fuge sicherstellt. Eine weitere vorteilhafte Form der Fuge ergibt sich, wenn zumindest eine der Grenzflächen, vorzugsweise beide Grenzflächen, konisch ausgebildet werden. Eine solche konische Form kann hinreichend genau leichter maschinell erzielt werden, wobei, falls beide Oberflächen konisch sind und eine konvex und die andere konkav ist, beim Zusammenpressen der Teile selbsttätig eine Ausrichtwirkung zwischen den Teilen erzielt wird. Eine solche Form ergibt auch eine gute Gewissheit eines völligen Verschmelzens.

Um während des Zusammenpressens im Bereiche der Fuge den Anpressdruck zu erhöhen, wird mit der Erfindung vorgeschlagen, den Querschnitt der Teile im Bereiche der Fuge zu verringern. Damit wird im Bereiche der Fuge ein Druck erzielt, welcher um ein Mehrfaches grösser ist als die

uniaxiale Kriechspannung des Materials bei der herrschenden Temperatur, was zu einer rascheren und besseren Diffusion führt.

Es können verschiedenste Spülgase verwendet werden, jedoch wird Helium bevorzugt, da es bei seiner Herstellung auf eine Temperatur abgekühlt wird, bei welcher es praktisch sauerstofffrei sein muss. Darüber hinaus können im Handel erhältliche und verlässlich arbeitende Heliumdetektoren dazu verwendet werden, vor Anwendung von Vakuum zu kontrollieren, ob die Peripherie der Fuge vollständig geschlossen worden ist.

Falls statt dessen als Spülgas ein reduzierendes Gas verwendet wird, ist Wasserstoff äusserst vorteilhaft. Damit werden nicht nur Oxydschichten beseitigt, sondern es wird auch ermöglicht visuell festzustellen, ob die Fuge geschlossen worden ist, da entweichender Wasserstoff an der Oberfläche abbrennt. Wasserstoff übt auf die nach dem erfindungsgemässen Verfahren miteinander zu verbindenden relativ weichen Baustähle keinen schädlichen Einfluss aus.

Mit der Erfindung wird auch vorgeschlagen, die Fuge mit einer aktivierenden Legierung, unter anderem mit einer Legierung aus 60% Palladium und 40% Nickel, zu versehen. Diese Legierung kann in Form eines dünnen Streifens eingeführt werden, jedoch ist es auch möglich, diese Legierung auf eine der Grenzflächen oder auf beide Grenzflächen durch Elektroplattieren aufzubringen. Dadurch wird unter anderem die Diffusionsdauer verringert.

Die Anschlussleitung zum Zuführen von Spülgas oder zum Abziehen von Gas zwecks Erzeugung eines Vakuums kann vorteilhafter Weise in einem der miteinander zu verbindenden Teile, vorzugsweise nahe dessen Peripherie, angeordnet werden. Die Anschlussleitung kann unmittelbar nach dem Diffusionsschweissen mittels einer Tiefschweisselectrode oder nach dem Plasma-WIG-Verfahren (Wolfram-Inertgas-Verfahren) verschlossen werden, während die Temperatur der Teile noch ausreichend hoch ist, beispielsweise 400 — 600 °C beträgt.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand von in der Zeichnung veranschaulichten Ausführungsformen erläutert.

Die Fig. 1 und 2 zeigen eine erste Ausführungsform von zwei Teilen zu Beginn des Diffusionsschweissens und nach abgeschlossenem Diffusionschweissen.

Die Fig. 3 und 4 veranschaulichen eine zweite Ausführungsform von zwei Teilen zu Beginn des Diffusionsschweissens und nach abgeschlossenem Diffusionsschweissen.

Die Fig. 5 und 6 veranschaulichen beispielsweise eine weitere Ausführungsform von zwei Teilen zu Beginn des Diffusionsschweissens und nach abgeschlossenem Diffusionschweissen.

Die Fig. 7 zeigt die Teile der Fig. 6 nach dem weiteren Zusammenpressen.

In allen Figuren der Zeichnung sind einander entsprechende Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch zwei Teile 1 und 2, welche Bolzen aus einem Baustahl wie ST 52-3 sein können. Fig. 1 kann auch als ein Axialschnitt durch ein dickwandiges Rohr angesehen werden, dessen Achse an der linken Seite der Figur liegt. Zwischen den beiden Teilen 1 und 2 wird eine Fuge 3 ausgebildet, welche durch eine konkav gekrümmte Grenzfläche 4 am Teil 1 und eine ebene Grenzfläche 5 am Teil 2 begrenzt ist. Im Teil 1 ist eine Anschlussleitung 6 vorgesehen, welche in den Hohlraum 3 der Fuge mündet und mit ihrem anderen Ende je nach Bedarf mit einer Spülgasquelle oder einer Vakuumquelle (nicht dargestellt) verbunden werden kann. Die Pfeile F veranschaulichen eine variable Anpresskraft, wogegen die glockenförmige Kurve an der linken Seite der Teile 1 und 2 die Temperaturverteilung in den Teilen in axialer Richtung veranschaulicht.

Wenn die beiden Teile miteinander verbunden werden sollen, werden sie zunächst in die in Fig. 1 gezeigte Stellung gebracht und einer geeigneten Anpresskraft F ausgesetzt. Diese Anpresskraft kann durch ein (nicht dargestelltes) einfaches Klemmbackensystem erzeugt werden, welches beispielsweise einen Klemmring auf jeden der beiden Teile 1, 2 aufweist, wobei die Klemmringe über hydraulische Zylinder miteinander verbunden sind. Selbstverständlich können in Abhängigkeit von Form und Querschnitt der Teile auch andere Ausführungsformen in Betracht gezogen werden. Anschliessend wird mit dem Erhitzen, beispielsweise mittels einer nicht dargestellten Induktionsspule, begonnen. Gleichzeitig wird Spülgas über die Anschlussleitung 6 zugeführt. Das Spülgas tritt zunächst wegen Unregelmässigkeiten an den Grenzflächen der Fuge oder wegen einer dort vorgesehenen Verzahnung entlang der Peripherie 7 der Fuge aus. Der Zweck des Spülens mit Spülgas ist, Sauerstoff von der Fugenoberfläche fernzuhalten, um eine Oxydation derselben während des Erhitzens zu vermeiden, und um bereits vorhandene Oxyde möglichst weitgehend zu entfernen. Unabhängig davon, wie gut die Grenzflächen 4, 5 vor dem Verschweissen gereinigt worden sind, erzeugt eine auch nur kurzzeitige Einwirkung des Luftsauerstoffs in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit eine Oxydschicht mit einer Stärke in der Grössenordnung von 350–1000 Å.

Sobald die Temperatur in Nähe der Peripherie 7 der Fuge 600–800 °C erreicht hat und sich hierbei beispielsweise eine Temperaturverteilung eingestellt hat, wie sie schematisch an der linken Seite der Fig. 1 dargestellt ist, setzt unter der Einwirkung einer geeigneten Anpresskraft F zwischen den Teilen 1, 2 eine Diffusion ein, so dass die Fuge entlang ihrer Peripherie 7 verschlossen wird. Dies kann in verschiedenster Weise, beispielsweise dadurch festgestellt werden, dass Gas nicht mehr entlang der Fuge austritt oder dass der auf den Hohlraum der Fuge aufgebrachte Druck nicht weiter abfällt.

Sobald die Fuge entlang ihrer Peripherie 7 verschlossen worden ist, wird die Anschlussleitung 6 an eine Vakuumquelle angeschlossen, über welche der Druck im Hohlraum 3 auf etwa 10^{-4} Torr abgesenkt wird. Gleichzeitig wird die Temperatur der Teile 1, 2 in der an der linken Seite der Fig. 2 schematisch veranschaulichten Weise auf einen Maximalwert von etwa 1350 °C angehoben. Bei Anwendung einer geeigneten Anpresskraft F wird die Fuge 3 innerhalb einiger Sekunden verschlossen. Das Endergebnis ist schematisch in Fig. 2 veranschaulicht. Das Diffusionsschweissen kann sodann im Verlaufe von 15–30 min vollständig abgeschlossen werden (jedoch wurde ein vollständiges Verschweissen bei Diffusionszeiten von nur 8 min bei 1350 °C erzielt). Im Anschluss daran werden die Teile in ruhender Luft auf etwa 600 °C abgekühlt, wofür bei einer Materialstärke von 40 mm etwa 4 min erforderlich sind. Bei dieser Temperatur kann die Anschlussleitung, beispielsweise mittels einer Tiefschweiss-elektrode oder durch Plasma-WIG-Schweissen verschlossen werden.

Fig. 3 zeigt zwei Teile 1 und 2, welche im wesentlichen die gleiche äussere Gestalt wie in Fig. 1 besitzen, jedoch ist hier die Schweissfuge 3 insofern andersartig ausgebildet, als die Grenzflächen 4 und 5 konisch ausgebildet sind und eine konkav und die andere konvex ist. Die spitzen Winkel sind voneinander verschieden, so dass die Fuge in Richtung zur Mitte hin stetig dicker wird. Der Abstand zwischen den Scheiteln der Fugenoberflächen kann bis zu etwa 10% der Wandstärke der Teile 1, 2 betragen. Die konische Form der Grenzflächen 4, 5 bewirkt, dass sich die Teile 1, 2 beim Aneinanderpressen selbsttätig ausrichten. Die konische Form trägt auch dazu bei, eine unzureichende Diffusion in der

Mitte der Fuge zu vermeiden, wie dies ohne weiteres dann eintreten könnte, wenn die untere Grenzfläche 5 eben und die obere Grenzfläche 4 konkav konisch ist.

Im übrigen erfolgt das Verbinden der Teile 1, 2 in der gleichen Weise, wie dies im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 angegeben worden ist. Das Endergebnis ist in Fig. 4 schematisch veranschaulicht.

Der während des Diffusionsschweissen aufzubringende Druck ist ein äusserst wichtiger aber schwierig zu beeinflussenden Parameter. Entsprechend dem oben erwähnten «Welding Handbook» ist anzunehmen, dass ohne Verwendung von ein Fliessen verhindernden Formen zu jedem Zeitpunkt der Druck nicht über die uniaxiale Kriechfestigkeit des Materials bei der herrschenden Temperatur gesteigert werden kann. Die Verwendung derartiger Formen ist mühsam und erhöht die Kosten und ist in einigen Anwendungsfällen wegen mangelnder Zugänglichkeit überhaupt ausgeschlossen. Da die Diffusionsgeschwindigkeit im allgemeinen mit dem Quadrat des aufgeprägten Druckes ansteigt, kann durch Erhöhen des Anpressdruckes auf das 2- oder 3-fache der Kriechfestigkeit die Diffusionsdauer auf etwa $1/4$ oder $1/9$ der entsprechenden Diffusionsdauer für uniaxialen Druck abgesenkt werden. Andererseits ist es möglich, eine beträchtlich höhere Menge an Oxyden an den Fugenoberflächen zuzulassen und dann möglicherweise auf das Spülen der Stossstelle mit einem reduzierenden Gas zu verzichten.

Um derartig hohe Drücke zu erzielen wird mit der Erfindung angestrebt, im Bereiche der Fuge einer triaxialen Beanspruchung entsprechende Bedingungen aufzubauen. Es ist bekannt, dass beim Zugversuch dickere Prüfstäbe durch Fliessverformung eine Einschnürung erfahren und schliesslich im mittleren Bereich Bruch auftritt. Dieser Bruch wird durch die in der Mitte auftretende axiale Spannung bewirkt, welche wesentlich höher ist als die Streckgrenze des Materials, wobei das Material zu beiden Seiten der Einschnürung durch radiale Spannungen zurückgehalten wird. Aus diesem Grunde nimmt die axiale Spannung zu und das Fliessen ab, sobald die Differenz zwischen der axialen Spannung und der radialen Spannung kleiner wird als die Fliessspannung (Trescas-Prinzip).

Mit der Erfindung wird angestrebt, das triaxiale Phänomen dadurch auszunützen, dass die Teile 1, 2 im Bereiche der Fuge im Vergleich zum angrenzenden Material mit einer beträchtlichen Verengung versehen werden. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 5 gezeigt. Bei diesem Beispiel wird als Spülgas Wasserstoff verwendet, wie dies durch die Flammen entlang der Peripherie der Fuge veranschaulicht wird.

Sobald die Flammen verschwinden erkennt man, dass die Fuge verschlossen worden ist, d.h. dass in diesem Falle keine Dedektoreinrichtung irgendwelcher Art verwendet werden muss. Sobald die Fuge verkürzt und entlang ihres Randes verschlossen worden ist, wird durch Anwendung der vollen Anpresskraft die Fuge unter dem Einfluss eines äusserst komplizierten Spannungsverlaufes dynamischen Charakters verschlossen. Die genau zum Verschliesszeitpunkt auftretenden triaxialen Beanspruchungsbedingungen erzeugen wegen der Verengung und wegen des relativ kalten umgebenden Materials quer zur Verbindung Spannungen, die die Kriechfestigkeit gleich dicker Teile um das 5- bis 6-fache übersteigen. Diese Situation ist in Fig. 6 veranschaulicht. In der Folge werden die Teile mit einer relativ geringen Kraft zusammengepresst, bis sie über die gesamte Länge in der in Fig. 7 veranschaulichten Weise im wesentlichen den gleichen Querschnitt besitzen.

Auf diese Weise wurde die richtige Form der verschweissten Teile ohne Verwendung einer Aussenform, ein äusserst hoher Anpressdruck in der entscheidenden Phase und eine Verteilung allenfalls vorhandener Oxyde auf den doppelten

oder einen grösseren Flächenbereich erzielt, wobei die Stärke der Oxydschicht in entsprechender Weise verringert und die globulare Umwandlung, einschliesslich einer beschleunigten Rekristallisation, erhöht wurde.

Sobald die gewünschte Dicke erreicht worden ist, kann die Anpresskraft unwirksam gemacht und die Diffusionsdauer und die Diffusionstemperatur aufrechterhalten werden, bis restliche Poren durch Rekristallisation geschlossen worden sind. Falls es erwünscht ist den Verbindungsvorgang zu beschleunigen, kann dies durch Elektroplattieren der Oberflächen der Fugen oder durch Einführen eines Bandes aus einer aktivierenden Legierung, wie einer Legierung vom Typ Pd/Ni 60/40, in die Fuge erreicht werden.

Da im Bereich der Fuge beim Zusammenpressen in der durch Fig. 5 veranschaulichten Weise äusserst hohe Spannungen auftreten, wird angenommen, dass die ursprüngliche Gestalt der Fuge und die Vorbehandlung der Fugenoberfläche weniger kritisch sind.

Unter Verwendung von einem Durchmesser von 40 mm besitzenden Bolzen aus einem Baustahl ST 52-3 nach dem erfindungsgemässen Verfahren durchgeführte Versuche lie-

fernten ausgezeichnete Ergebnisse hinsichtlich Duktilität und Zugfestigkeit. In dem durch das Erwärmen beeinflussten Bereich der Bolzen wurden beim Umbiegen derselben in die Form einer Haarnadel Dehnungswerte von mehr als 60% gemessen. Die eingerissene Oberfläche zeigte im wesentlichen Scherbruch.

Selbstverständlich kann die Erfindung mit Vorteil auch für andere Zwecke als für die Herstellung langer Rohrleitungen Anwendung finden. Beispielsweise kann die Erfindung zum Verschweissen von Stossstellen bzw. Knotenpunkten in Streben von Brücken und küstennahen Bauwerken verwendet werden.

Es wurde oben erwähnt, dass auf einer der Grenzflächen der Fuge oder auf beiden Grenzflächen derselben entlang ihrer Peripherie eine Verzahnung vorgesehen werden kann, um während der ersten Phasen des Schweissvorganges das Austreten von Spülgas zu ermöglichen. In gewissen Fällen kann es vorteilhaft sein, über die gesamte Grenzfläche eine seichte Verzahnung vorzusehen. Eine derartige Verzahnung gibt bei der späteren Ultraschallprüfung ein Echo, falls die Fuge nicht vollständig verschmolzen worden ist.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

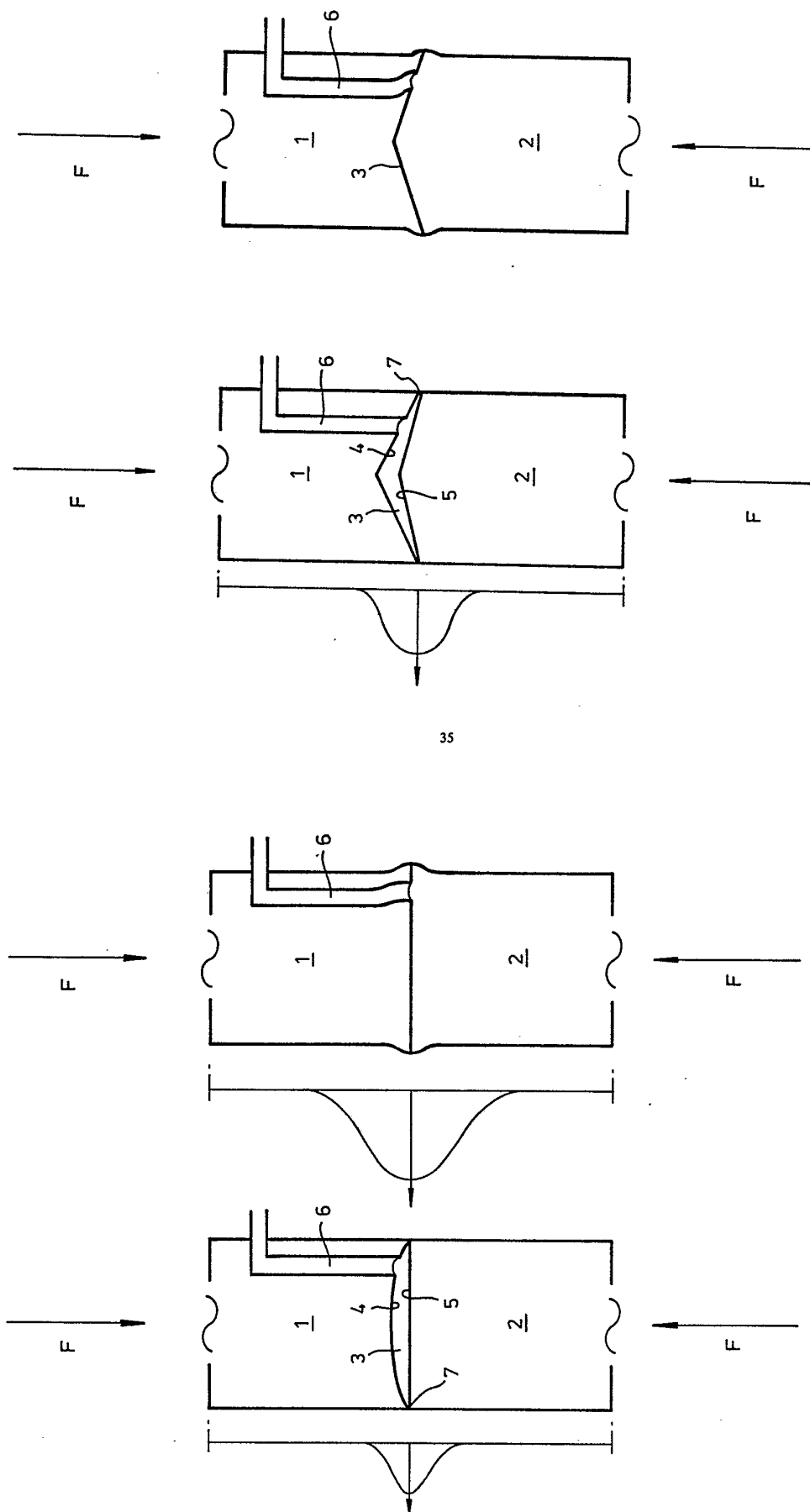


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

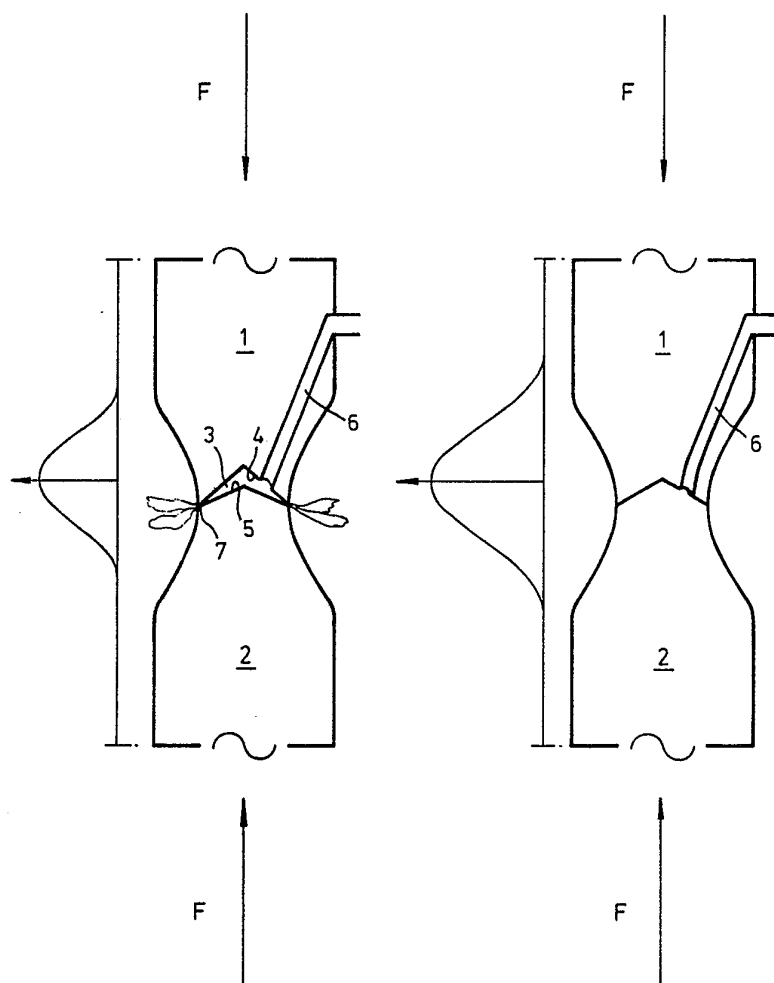


Fig. 5.

Fig. 6.

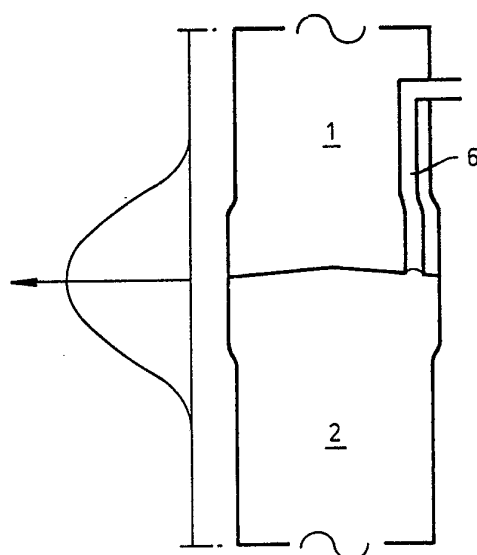


Fig. 7.