(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 748 875 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.01.2005 Patentblatt 2005/04

(51) Int Cl.[7]: **C21D 8/10**, C21D 7/12

(21) Anmeldenummer: **96250126.8**

(22) Anmeldetag: **11.06.1996**

(54) **Verfahren zur Herstellung von Rohren nach dem UOE-Verfahren**

Method for producing tubes by the U-O-E process

Procédé de fabrication de tubes selon le principe U-O-E

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **14.06.1995 DE 19522790**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.12.1996 Patentblatt 1996/51

(73) Patentinhaber: **Mannesmannröhren-Werke AG**
45473 Mülheim a.d. Ruhr (DE)

(72) Erfinder:
- **Hohl, Gerold**
  41462 Neuss (DE)
- **Vogt, Gerd**
  40670 Meerbusch (DE)

(74) Vertreter: **Meissner, Peter E., Dipl.-Ing. et al**
Meissner & Meissner,
Patentanwaltsbüro,
Postfach 33 01 30
14171 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-B- 1 758 389 **DE-B- 2 657 269**
DE-C- 589 465

- **STRADTMANN: "STAHLROHR-HANDBUCH" 1986, 10. AUFLAGE, VULKAN-VERLAG, ESSEN, DE XP002012116 * Seite 164 - Seite 167 ***
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 195 (M-705), 7.Juni 1988 & JP-A-63 002517 (SUMITOMO METAL IND LTD), 7.Januar 1988,**

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).

EP 0 748 875 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Rohren, insbesondere Großrohren, nach dem UOE-Verfahren gemäß dem Gattungsbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Das in der Fachwelt mit UOE bezeichnete Verfahren ist das am häufigsten angewandte Verfahren zur Herstellung längsnahtgeschweißter Großrohre (Stradtmann, Stahlrohr-Handbuch, 10. Auflage, VulkanVeriag, Essen 1996, Seiten 164-167). Bei diesem Verfahren wird in einem ersten Schritt aus einem ebenen Blech auf einer Presse mit offenen Gesenken (U-Presse) ein U-förmiges Schlitzrohr geformt. Anschließend erfolgt auf einer zweiten Presse mit sich schließenden Gesenken (O-Presse) die Rundung zu einem Rohr. Da in vielen Fällen die Rohre nach dem Innen- und Außenschweißen noch nicht die Anforderungen an Durchmesser und Rundheit erfüllen, werden sie durch Kaltaufweiten (Expandieren) kalibriert. Durch dieses Expandieren wird auch gleichzeitig ein Teil der während der Fertigung und des Schweißens sich aufbauenden Zugeigenspannungen teilweise abgebaut und auf dem größten Teil des Umfangs sogar in Druckeigenspannungen umgewandelt (Firmenprospekt Mannesmann Großrohr, Herausgeber: MRW, Ddf. 1980, S. 114-1239).

[0003] Nach dem UOE-Verfahren hergestellte Rohre zeigen durch das Kaltaufweiten Veränderungen der Festigkeits- und Verformeigenschaften gegenüber dem Ausgangsblech, gekennzeichnet durch Inhomogenitäten am Rohrumfang und ausgeprägte Verformungsanisotropien.

[0004] Aus der DE A-17 58 389 ist ein Verfahren zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften von durch elektrische Widerstandsschweißung erzeugten und kalibrierten Stahlrohren bekannt, mit den Schritten: Abwickeln vom Band, Trennen und Beschneiden, Formen, Schweißen und Kalibrieren, Endbearbeitung. Für das Kalibrieren wird entweder das geschweißte Rohr kleiner gefertigt und anschließend hydraulisch aufgeweitet oder es wird größer gefertigt und dann Kattreduziert. In jedem Fall soll sich dann eine Glühbehandlung anschließen zur Beseitigung der Restspannungen.

[0005] Aus "Stahlrohrhandbuch, 10. Auflage, Vulkan-Verlag Essen, Seite 166" ist es weiterhin bekannt, ein geschweißtes Rohr durch Innendruck auf den gewünschten Enddurchmesser aufzuweiten, ohne das eine Wärmebehandlung anschließend erfolgt.

[0006] Insbesondere für dickwandige Offshore-Rohre und für Rohre aus Stahlgüten mit hohem Streckgrenzverhältnis haben diese Veränderungen Beeinträchtigungen der Gebrauchseigenschaften und der Bauteilsicherheit zur Folge.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von Rohren, insbesondere Großrohre, nach dem UOE-Verfahren
anzugeben, bei dem die Festigkeits- und Verformungseigenschaften in Rohrumfangsrichtung weitgehend homogenisiert sind und bestimmte Eigenschaften gezielt eingestellt werden können.

[0008] Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Rohre durch eine kombinierte Anwendung von Kaltaufweitengefolgt von Kaltreduzieren konditioniert werden, wobei je nach Anforderungsprofil der Grad des Aufweitens bzw. Reduzierens festgelegt werden.

[0009] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind darin zu sehen, dass

- die Festigkeits- und Verformungseigenschaften in Rohrumfangsrichtung homogenisiert werden, auch von einem Rohr zum anderen, was zu einer Verringerung der Streubreite einzelner Eigenschaftsmerkmale führt
- die Rohrfließcharakteristik je nach Anwendungszweck für Innen- und/oder Außendruckbelastung verbessert wird
- die Rohrfließgrenze ganz gezielt je nach Anwendungszweck für Innen- oder Außendruckbelastung eingestellt werden kann
- der Kollapsdruck und die Bauteilsicherheit von Offshore-Rohren erhöht wird
- Stahlgüten mit besonders hohem Streckgrenzenverhältnis besser verarbeitet werden können
- die Umfangseigenspannungen am Rohrumfang homogenisiert werden
- das Rohrverformungsvermögen im Gleichmaßdehnungsbereich erhöht wird
- die Maßhaltigkeit und Rohrgeometrie (Vermeidung von Unrundheiten und Aufdachungen) verbessert wird
- die Umformkräfte beim O-Pressen und beim Kaltaufweiten reduziert werden können.

[0010] Der letztgenannte Vorteil ist besonders für dickwandige Rohre von Bedeutung, da hier sowohl die O-Presse als auch der üblicherweise eingesetzte mechanische Expander bis an die Belastungsgrenze beansprucht werden. Da ein Teil der erforderlichen Umformung in die Konditionierung verlagert wird, kann dementsprechend die Belastung sowohl für die O-Presse als auch für den mechanischen Expander verringert werden.

[0011] Das zuvor erläuterte Verfahren ist auch anwendbar für das Dreiwalzenbiegeverfahren mit integrierter Kaltaufweitung. Im Unterschied zum UOE-Verfahren wird hier weniger Wert auf die Homogenisierung als vielmehr auf die Einstellung der Festigkeitseigenschaften und der Rohrgeometrie gelegt.

[0012] In der Zeichnung werden anhand einiger Darstellungen die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens näher erläutert.
Es zeigen:

Figur 1 eine grafische Darstellung der Gleichmaßdehnung in Rohrumfangsrichtung als Funktion des Reduktions- und des Expansionsgrades

Figur 2 eine grafische Darstellung des Streckgrenzenverhältnisses in Rohrumfangsrichtung als Funktion des Reduktions- und des Expansionsgrades

Figur 3 eine grafische Darstellung der $R_t0,5$ Fließgrenze über den Rohrumfang in Abhängigkeit vom Innen- oder Außendruck Teilbild a: herkömmliches Verfahren Teilbild b: neues erfindungsgemäßes Verfahren

Figur 4 eine grafische Darstellung des Spannungs-Dehnungsdiagrammes für die Herstellung und Prüfung nach dem herkömmlichen Verfahren

Figur 5 eine grafische Darstellung des Spannungs-Dehnungsdiagrammes für die Herstellung und Prüfung nach dem neuen Verfahren für die Herstellung von Offshore-Rohren

[0013] Figur 1 zeigt eine grafische Darstellung der Gleichmaßdehnung in Rohrumfangsrichtung als Funktion des Reduktions- und Expansionsgrades. Auf der Ordinate ist die Gleichmaßdehnung in Prozent und auf der Abszisse der Verformungsgrad resultierend aus Reduktion und Expansion in Prozent aufgetragen. Die feinpunktierte gerade Linie 1 ist die Gleichmaßdehnung für das Ausgangsmaterial Blech beispielhaft für den Stahl X70-TM d.h. thermomechanisch gewalzt. Sie liegt hier oberhalb von 13 %. Der darunter liegende Kurvenzug 2 zeigt das Streuband der Versuchswerte. Bei einem Umformgrad 0 % liegen bedingt durch die Rohrherstellung die Werte der Gleichmaßdehnung schon unterhalb denen des Bleches. Wird nun im Zuge der Rohrherstellung das Rohr stark aufgeweitet, dann nimmt, wie das Bild deutlich zeigt, die Gleichmaßdehnung stark ab. Wird dagegen das Rohr reduziert, dann steigt die Gleichmaßdehnung an und kann je nach Reduktionsgrad den Ausgangswert des Bleches als Einzelwert oder sogar als Mittelwert wieder erreichen.

[0014] Figur 2 zeigt eine grafische Darstellung des Streckgrenzenverhältnisses in Rohrumfangsrichtung als Funktion des Reduktions- und Expansionsgrades. Auf der Ordinate ist das Streckgrenzenverhältnis $R_t0,5/R_m$ abgetragen und auf der Abszisse der Verformungsgrad in Prozent. Die feinpunktierte gerade Linie 3 ist das Streckgrenzenverhältnis für das Ausgangsmaterial Blech. Beispielsweise soll dieses Verhältnis 0,8 betragen. Die stark ausgezogene Linie 4 zeigt den Anstieg des Streckgrenzenverhältnisses mit steigendem Expansionsgrad. Die Fortsetzung dieses Kurvenzuges in die linke Hälfte der grafischen Darstellung zeigt die Abnahme des Streckgrenzenverhältnisses, wenn die vorherige Reduktion zunehmend von einer Expansion überlagert wird. Wird dagegen sofort eine Reduktion auf das Rohr aufgegeben, dann ergibt sich die strichpunktierte Linie 5. Dieser Verlauf macht deutlich, dass selbst schon bei einer geringen Reduktion das Streckgrenzenverhältnis gegenüber dem Ausgangswert Blech stark absinkt.

[0015] Figur 3 zeigt in zwei Teilbildem in grafischer Form die $R_t0,5$-Fließgrenze über den Rohrumfang in Abhängigkeit vom Innen- oder Außendruck. Beim herkömmlichen Verfahren (linkes Teilbild a) liegen die Fließgrenzenwerte bei einer Außendruckbelastung erheblich unterhalb der bei einer Innendruckbelastung. Dies bedeutet, dass das Rohr einen geringen Kollapswiederstand aufweist. Außerdem zeigt der Verlauf über den Rohrumfang, dass die Werte ungleichmäßig verteilt sind. Dies bedeutet, dass Einflüsse von der Rohrherstellung noch deutlich sichtbarwerden und das Bauteilverhalten unter Innen- oder Außendruck bestimmen. Bei Anwendung des erfindungsgemäßen neuen Verfahrens (rechtes Teilbild b) werden die Werte über den Rohrumfang vergleichmäßigt. Die Fließgrenze bei Außendruckbelastung ist deutlich erhöht, so dass das so hergestellte Rohr einen höheren Kollapswiderstand aufweist.

[0016] In den nachfolgenden Figuren 4 bis 5 sind in grafischer Form Spannungs-Dehnungsdiagramme dargestellt, wobei auf der Ordinate die Spannung in Megapascal und auf der Abszisse die Verformung in Prozent abgetragen sind.

[0017] Figur 4 zeigt den Verlauf der Spannung bei der Herstellung von Leitungsrohren nach dem herkömmlichen Verfahren. Die ausgezogene Linie, beginnend im Koordinatenursprung Null über den Punkt A bis zum Punkt B, zeigt die Veränderung der Spannung bei der Herstellung. In der O-Presse findet eine gewisse Reduktion statt, hier gekennzeichnet durch den Kurvenabschnitt 6.1. Nach dem Schweißen findet eine kräftige Expansion mittels eines mechanischen Expanders statt, hier charakterisiert durch den Kurvenzug 6.2, der sich bis zum Punkt A erstreckt. Nach der Entlastung fällt die Spannung auf den Wert bis zum Punkt B ab. Wird bei einem so hergestellten Rohr eine Probe für den Zugversuch entnommen, dann folgt die Spannung/Dehnung dem gestrichelt gezeichneten Kurvenabschnitt 7, wobei beim Punkt F die Fließgrenze und bei Punkt C eine weitere Dehngrenze erreicht wird. Wird in Umkehrung statt eines Zugversuches ein Druckversuch durchgeführt, dann folgt die Spannung/Dehnung etwa dem Kurvenverlauf 8, wobei bei F' die Fließgrenze und bei C' eine weitere Stauchgrenze erreicht wird. Bedingt durch den Bauschinger-Effekt ist aber der Ordinatenwert F' 9 signifikant geringer als der Wert F entsprechend der Ordinate 10 beim Zugversuch. Diese Verhältnisse ändern sich bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0018] Figur 5 zeigt die Verhältnisse bei der Herstellung von Offshore-Rohren. Hier wird erfindungsgemäß zuerst das Rohr durch Aufweiten homogenisiert und anschließend durch Reduktion auf Durchmesser und Stauchgrenze eingestellt. Der Anstieg der Spannung zeigt der dick ausgezogene Kurvenzug 15 beginnend beim Koordinatenursprung Null. Der Abfall bei Aufgabe der Reduktion zeigt der Kurvenzug 16 bis zum Punkt A. Nach der Entlastung sinkt die Spannung ab bis auf den Wert in Punkt B. Führt man wieder einen Zugversuch durch, dann steigt die Spannung entsprechend der gestrichelten Linie 17 bis auf den Ordinatenwert 18 im Punkt F an. Dieser liegt etwas unterhalb der vergleichbaren Werte F entsprechend den Figuren 4 und 5. Die Umkehrung, d. h. der Druckversuch ergibt einen Ordinatenwert 19 im Punkt F', der erheblich größer ist als der beim Zugversuch ermittelte Wert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Rohren, insbesondere Großrohre nach dem UOE-Verfahren, bei dem die Rohre nach dem Innen- und Außennahtschweißen durch Kaltaufweiten kalibriert werden,
   dadurch gekennzeichnet,
   dass die Rohre durch eine kombinierte Anwendung von Kaltaufweiten gefolgt von Kaltreduzieren konditioniert werden, wobei je nach Anforderungsprofil der Grad des Aufweitens bzw. Reduzierens festgelegt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
   dadurch gekennzeichnet,
   dass für Offishore-Rohre zuerst ein Aufweiten des Rohres um bis zu 2% und anschließend eine Reduktion auf Sollmaß um bis zu 4% erfolgt.

Claims

1. Method for producing tubes, especially large pipes, using the UOE process, in which the pipes are calibrated by cold expansion after the welding of the internal and external seams,
   characterised in that
   the pipes are conditioned by the combined application of cold expansion followed by cold reduction, the degree of expansion or reduction being determined in dependence on the requirement profile.

2. Method as in Claim 1,
   characterised in that
   for offshore pipes, an expansion of the pipe by up to 2% is first carried out, followed by a reduction of up to 4% to the finished size.

Revendications

1. Procédé de fabrication de tubes, en particulier de grands tubes, suivant le procédé UOE, dans lequel les tubes sont calibrés par élargissement à froid après le soudage intérieur et extérieur,
   caractérisé en ce que les tubes sont conditionnés par une application combinée d'élargissement à froid suivi d'une réduction à froid, le degré de l'élargissement et de la réduction étant déterminé en fonction du profil d'exigence.

2. Procédé selon la revendication 1,
   caractérisé en ce que, pour des tubes offshore, on réalise d'abord un élargissement du tube pouvant aller jusqu'à 2 %, puis une réduction à la cote de consigne pouvant aller jusqu'à 4 %.

Fig.1

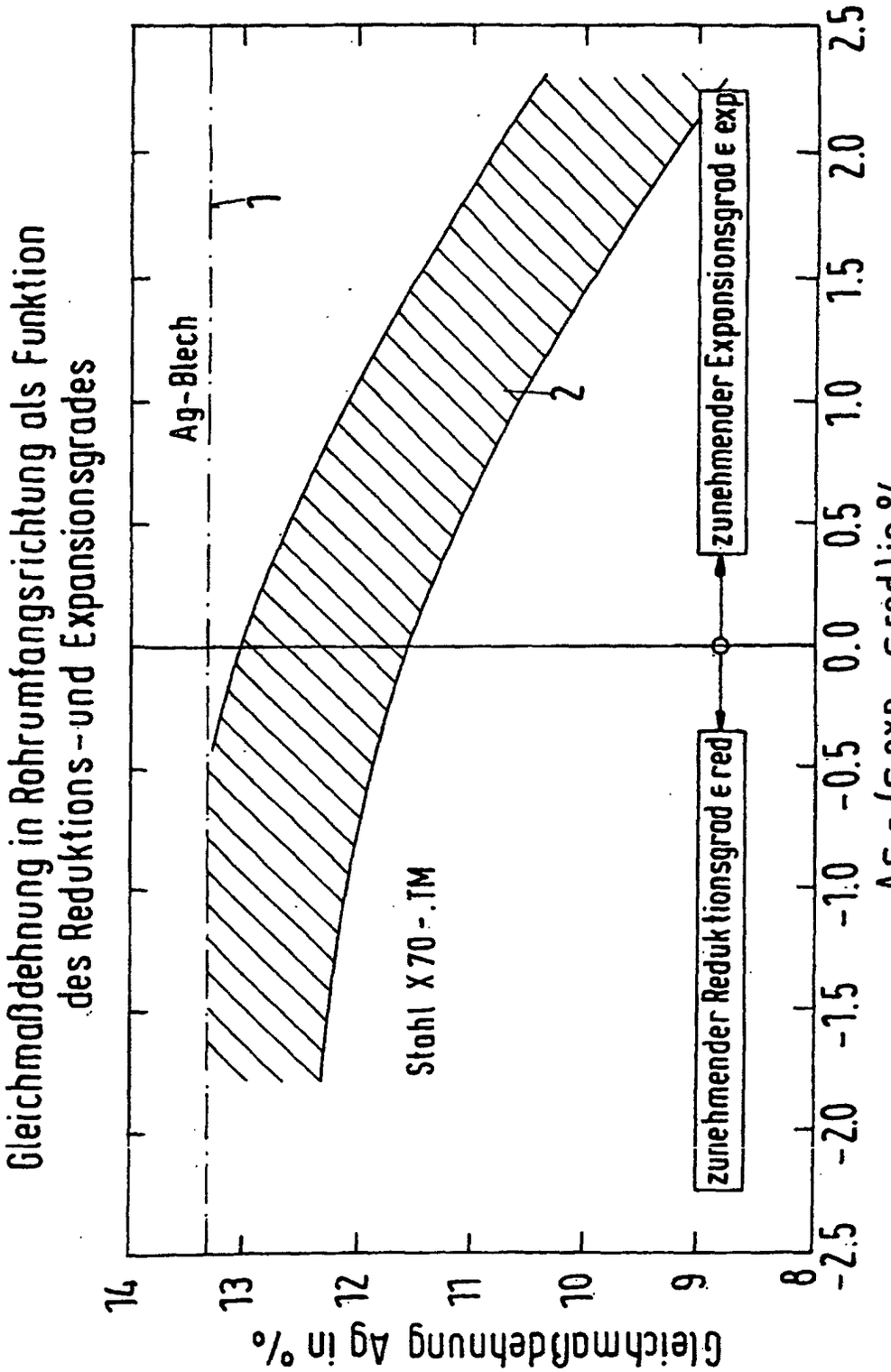

Gleichmaßdehnung in Rohrumfangsrichtung als Funktion des Reduktions- und Expansionsgrades
Gleichmaßdehnung Ag in %
14
13
12
11
10
9
8
Ag-Blech
1
2
Stahl X70-.TM
zunehmender Reduktionsgrad ε red
zunehmender Expansionsgrad ε exp
-2.5
-2.0
-1.5
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Δε = (ε exp - ε red) in %

Fig.2

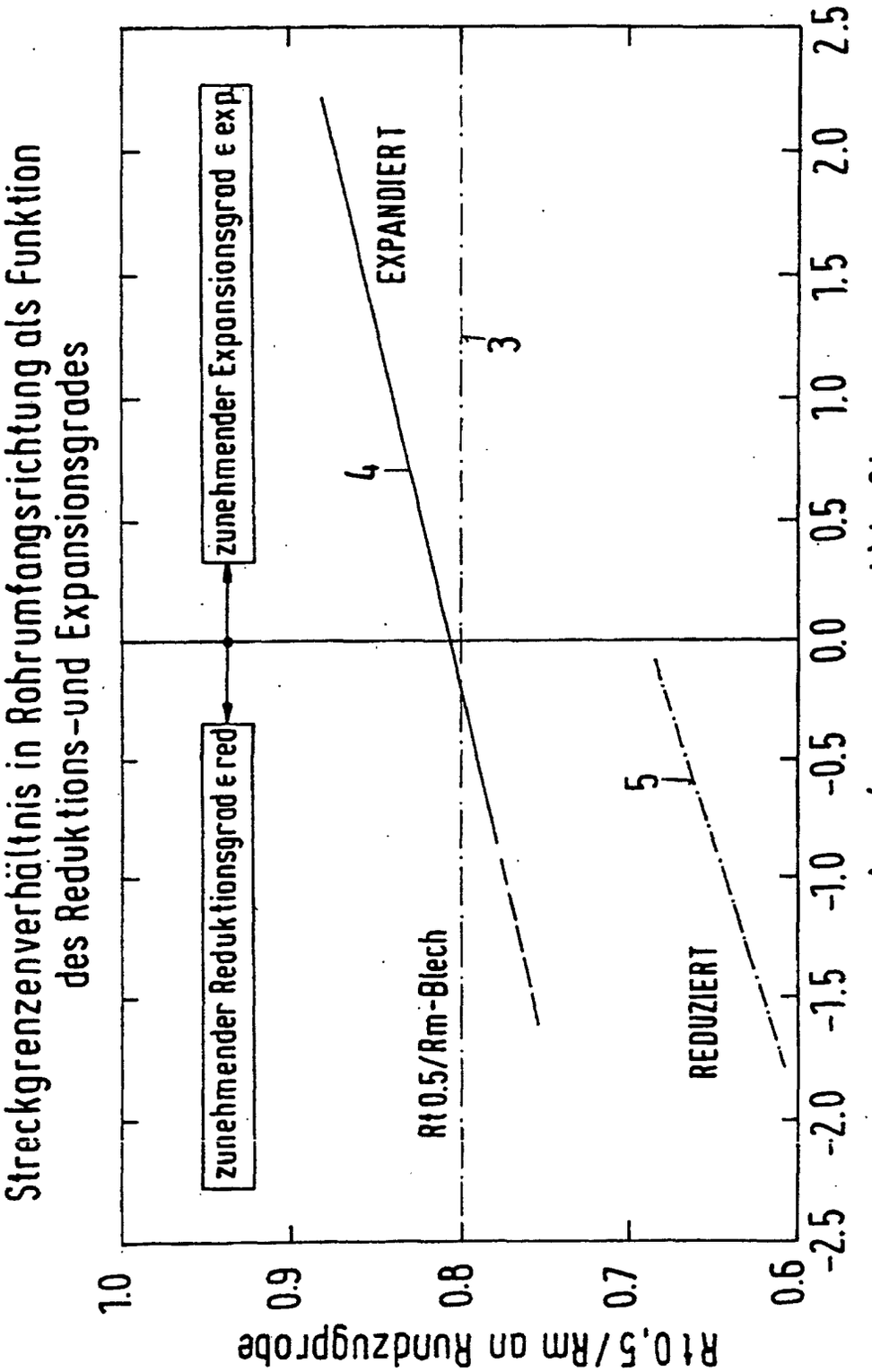

Streckgrenzenverhältnis in Rohrumfangsrichtung als Funktion des Reduktions-und Expansionsgrades
zunehmender Reduktionsgrad ε red
zunehmender Exponsionsgrad ε exp
EXPANDIERT
REDUZIERT
R10.5/Rm-Blech
3
4
5
R10,5/Rm an Rundzugprobe
Δε = (ε exp - ε red) in %
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
-2.5
-2.0
-1.5
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5

Fig.3

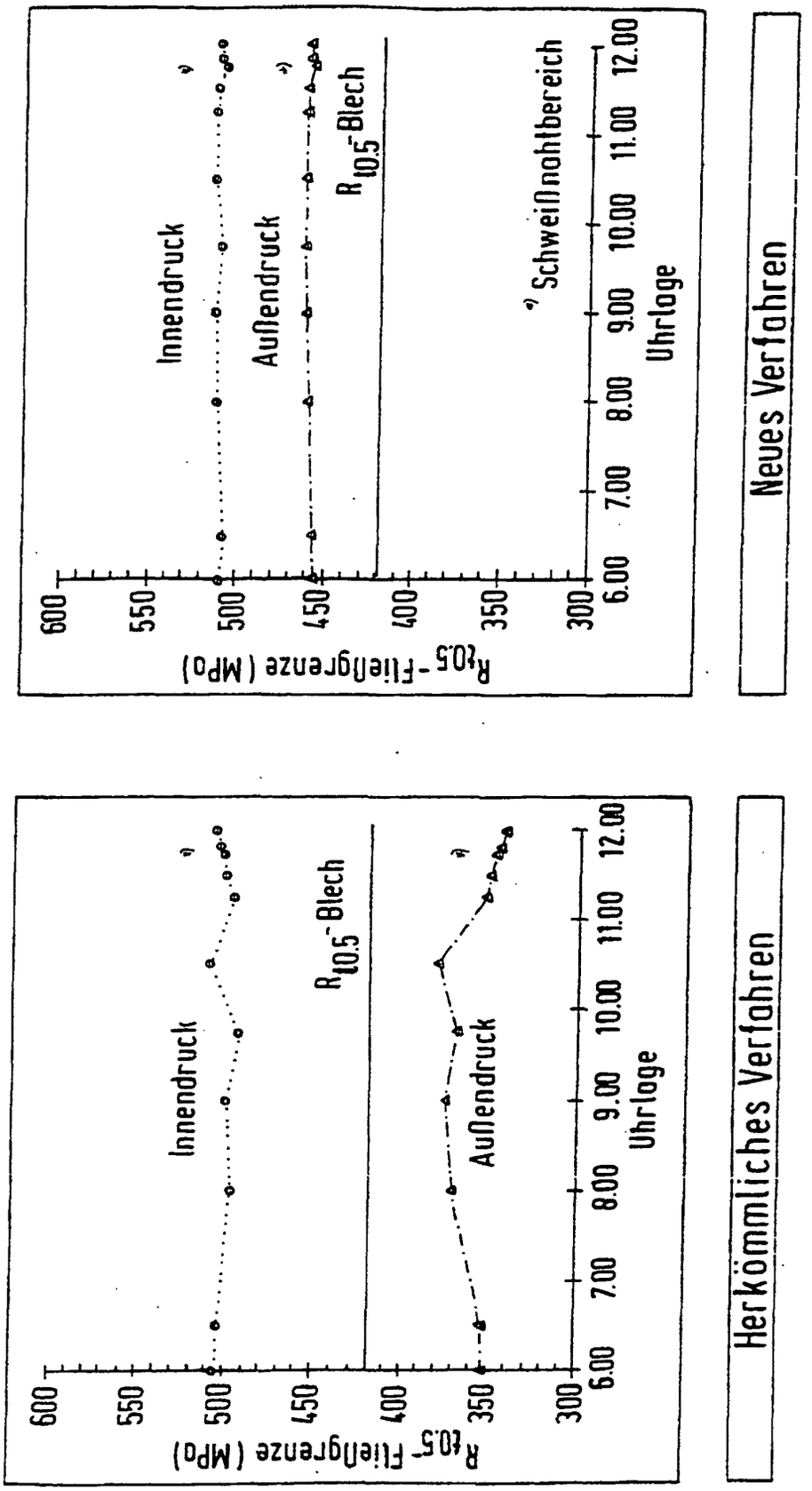

a)
b)
Innendruck
Außendruck
$R_{10.5}$-Blech
$R_{t0.5}$-Fließgrenze (MPa)
600
550
500
450
400
350
300
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
Uhrlage
*) Schweißnahtbereich
Herkömmliches Verfahren
Neues Verfahren

Fig.4

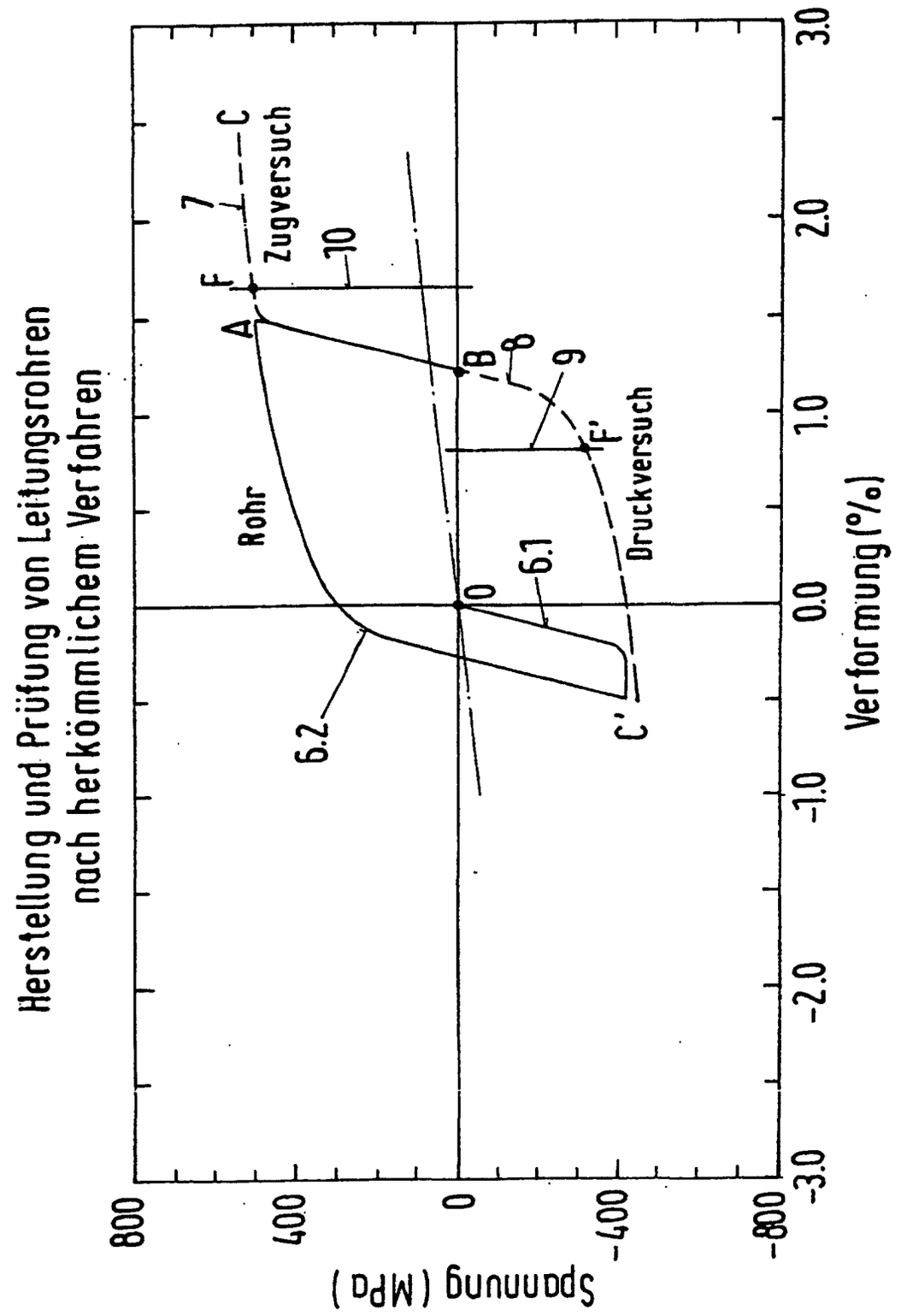

Herstellung und Prüfung von Leitungsrohren
nach herkömmlichem Verfahren
Spannung (MPa)
800
400
0
-400
-800
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
Verformung (%)
Rohr
Zugversuch
Druckversuch
A
B
C
C'
F
F'
0
6.1
6.2
7
8
9
10

Fig.5

Herstellung und Prüfung von Offshore-Rohren nach neuem Verfahren

