

(19)



(11)

EP 2 623 616 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.09.2014 Patentblatt 2014/37

(51) Int Cl.:
C21D 7/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12153851.6**

(22) Anmeldetag: **03.02.2012**

(54) **Autofrettage-Verfahren**

Expansion controlled autofrettage

Procédé d'autofrettage

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **Hersel, Walter**
71229 Leonberg (DE)
- **Rath, Stephan**
71665 Vaihingen (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.08.2013 Patentblatt 2013/32

(74) Vertreter: **Rohmann, Michael**
Andrejewski - Honke
Patent- und Rechtsanwälte
An der Reichsbank 8
45127 Essen (DE)

(73) Patentinhaber: **TI Automotive (Heidelberg) GmbH**
69123 Heidelberg (DE)

(72) Erfinder:
• **Fiedler, Uwe**
68804 Altlußheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 041 835 WO-A1-2010/018721
WO-A2-99/35036 JP-A- 55 035 282
US-A- 3 438 113 US-A- 3 889 381

EP 2 623 616 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Autofrettage-Verfahren zur Festigkeitssteigerung von Metallrohren, wobei der Innenraum eines Metallrohres mit einem hohen Druck bzw. Innendruck von mindestens 700 bar beaufschlagt wird.

[0002] Derartige Verfahren sind aus der Praxis in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt. Dabei wird ein Metallrohr mit einem hohen Druck, der oberhalb des späteren Betriebsdrucks liegt, beaufschlagt. Die bei Autofrettage-Verfahren eingesetzten Drücke liegen üblicherweise im Bereich von mehreren tausend bar. Aufgrund der Einwirkung eines solchen hohen Druckes wird das Metall der inneren Wandbereiche des Metallrohres plastifiziert. Daraus resultieren innere Spannungen in der Rohrwandung, die den später im Betrieb einwirkenden Kräften aufgrund innerer Drücke entgegenwirken. Bei der Autofrettage-Behandlung wird der Druck in der Regel mit Hilfe einer Flüssigkeit bzw. mit Hilfe einer Flüssigkeit niedriger Kompressibilität, wie beispielsweise mit Hydraulik-Ölen oder ionischen Flüssigkeiten, aufgebracht. Dazu wird ein Metallrohr an beiden Enden verschlossen und mit der Flüssigkeit befüllt. Anschließend erfolgt der Druckaufbau durch Pumpen bis zum jeweiligen Enddruck. Mit steigendem Druck bildet sich, von der Innenoberfläche des Rohres ausgehend, die Plastifizierung aus. Bislang wird zur Kontrolle der Autofrettage-Behandlung der sich aufbauende bzw. der sich erhöhende Druck gemessen. Die bisher verwendeten Autofrettage-Verfahren weisen zunächst den Nachteil auf, dass das Ausmaß des Autofrettierens bzw. der Grad der Plastifizierung des Rohres nicht hinreichend präzise und funktionssicher kontrolliert werden kann. Dadurch resultieren nicht selten fehlerhafte Rohre bzw. Rohre mit nicht zufriedenstellenden Materialeigenschaften. Weiterhin haftet vielen bekannten Autofrettage-Verfahren der Nachteil an, dass - nicht zuletzt wegen der unzureichenden Präzision bei der Kontrolle des Prozesses - verhältnismäßig viele Rohre beschädigt werden und somit der Ausschuss relativ hoch ist oder Rohre unzureichend vorgespannt sind und damit die Betriebsfestigkeit über die Lebensdauer gefährdet ist.

[0003] Aus WO 2010/018721 A1 ist ein Autofrettage-Verfahren für gebogene Metallrohren bekannt. Hier wird der aufgebrachte Druck gemessen sowie der Außendurchmesser eines geraden Keils des Rohres. Die Parameter des Autofrettage-Verfahrens sollen genau gemessen werden. Der aufgebrachte Druck soll in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften so reguliert werden, dass keine Beschädigungen an dem Rohr verursacht werden. Bei diesem bekannten Verfahren ist der Grad der Plastifizierung der Rohrwandung aber nur schwierig feststellbar.

[0004] Dementsprechend liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, ein Autofrettage-Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem die vorstehend geschilderten Nachteile vermieden werden können.

nen.

[0005] Zur Lösung dieses technischen Problems lehrt die Erfindung ein Autofrettage-Verfahren zur Festigkeitssteigerung von Metallrohren, wobei ein bereits zumindest einer ersten Autofrettage-Behandlung unterzogenes Metallrohr zumindest einer zweiten Autofrettage-Behandlung unterzogen wird und wobei zumindest bei der zweiten Autofrettage-Behandlung der Innenraum eines Metallrohres mit einem hohen Druck bzw. Innendruck von mindestens 700 bar - vorzugsweise von mindestens 3.000 bar - beaufschlagt wird, so dass ausgehend von der Innenoberfläche des Metallrohres eine Plastifizierung des Metalls bzw. der Metallwandung stattfindet, wobei der Druck bzw. Innendruck während der Autofrettage-Behandlung erhöht wird, wobei weiterhin der während der Behandlung zunehmende Außendurchmesser d_a des Rohres gemessen wird und wobei der Druck anschließend wieder verringert wird und wobei mittels der Messung des Außendurchmessers d_a des Metallrohres bei der zweiten Autofrettage-Behandlung das Ausmaß der ersten Autofrettage-Behandlung bzw. der Grad der Plastifizierung der Rohrwandung bei der ersten Autofrettage-Behandlung ermittelt wird. - Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass die Druckerhöhung bei Erreichen eines kritischen Außendurchmessers d_{ak} des Rohres beendet wird und der Druck danach wieder verringert wird.

[0006] Bei den Metallrohren handelt es sich insbesondere um Stahlrohre. Diese Stahlrohre können mit einer Beschichtung bzw. können mit Beschichtungen versehen sein. - Bei der erfindungsgemäßen Autofrettage-Behandlung wird der Druck zweckmäßigerweise von 0 bis auf den Enddruck gesteigert, der dem kritischen Außendurchmesser d_{ak} entspricht. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass nach Erreichen des Enddruckes dieser Enddruck kurzzeitig konstant gehalten wird, beispielsweise mehrere zehn Sekunden lang.

[0007] Bei dem kritischen Außendurchmesser d_{ak} handelt es sich um einen Erfahrungswert, der durch entsprechende Vorversuche festgelegt wird. Der kritische Außendurchmesser d_{ak} hängt ab von dem Material der Rohrwandung, von der Dicke der Rohrwandung und auch vom ursprünglichen Außendurchmesser des Rohres. Zweckmäßigerweise wird in Vorversuchen für ein bestimmtes Metallrohr der kritische Außendurchmesser d_{ak} bestimmt, bei dem die gewünschte Plastifizierung des Metallrohres erreicht wird und bei dem insbesondere noch keine Beschädigung des Metallrohres, beispielsweise durch Bersten bzw. Platzen auftritt.

[0008] Erfindungsgemäß wird der Außendurchmesser d_a des Rohres bzw. werden die Änderungen des Außendurchmessers d_a gemessen bzw. bestimmt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Messung des Außendurchmessers d_a kontinuierlich. Empfohlenermaßen wird der Außendurchmesser d_a mittels eines laser-interferometrischen Verfahrens gemessen. Grundsätzlich kommen für die Messung des Außendurchmessers d_a der Metallrohre alle Messverfahren infrage, die eine Messung von Änderungen des Außendurchmes-

sers d_a im Bereich von 0 bis zu 50 μm erlauben. Vorzugsweise wird der Außendurchmesser d_a mit einer berührungsfreien Meßmethode bestimmt. Prinzipiell können aber auch nicht-berührungsfreie Meßmethoden eingesetzt werden.

[0009] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass neben dem Außendurchmesser d_a des Rohres auch der aufgebrauchte Druck bzw. Innendruck gemessen wird. Zweckmäßigerweise erfolgt eine kontinuierliche Messung des Druckes. Nach dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden also sowohl der aufgebaute Druck bzw. Änderungen des Druckes als auch der Außendurchmesser d_a bzw. Änderungen des Außendurchmessers d_a gemessen. - Die Abhängigkeit des Außendurchmessers d_a vom aufgebrauchten Druck wird für ein bestimmtes Metallrohr bzw. für einen bestimmten Rohrtyp in Vorversuchen bestimmt. Dabei kann festgestellt werden, in welchem Toleranzbereich das Verhältnis Außendurchmesser d_a / Druck bei fehlerfreien Metallrohren liegen muss. Bei weiteren Messungen an Metallrohren dieses Typs können dann bei Abweichungen von dem Toleranzbereich Materialfehler in der Rohrwandung festgestellt werden. So können auf einfache und wenig aufwendige Weise fehlerhafte Rohre erkannt werden und dem Produktionsprozess entzogen werden. Diese Ausführungsform erlaubt somit eine effektive Qualitätskontrolle während der Autofrettage-Behandlung.

[0010] Erfindungsgemäß wird ein bereits zumindest einer ersten Autofrettage-Behandlung unterzogenes Metallrohr zumindest einer zweiten Autofrettage-Behandlung unterzogen und mittels der Messung des Außendurchmessers d_a des Rohres bei der zweiten Autofrettage-Behandlung wird das Ausmaß der ersten Autofrettage-Behandlung bzw. der Grad der Plastifizierung der Rohrwandung bei der ersten Autofrettage-Behandlung ermittelt bzw. kontrolliert. Bei der ersten Autofrettage-Behandlung kann es sich um eine Autofrettage-Behandlung nach dem Stand der Technik handeln. Mit Hilfe der zweiten Autofrettage-Behandlung kann erkannt werden, inwieweit das Metallrohr bereits einer Autofrettage-Behandlung unterzogen wurde und ob der Grad der Plastifizierung entsprechend bzw. wunschgemäß erfolgte. Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann somit zur Kontrolle von Metallrohren, die bereits einem Autofrettage-Verfahren unterlagen, herangezogen werden. Die Ausführungsform wird weiter unten noch näher erläutert.

[0011] Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass der Druck bzw. Innendruck in dem Metallrohr mittels einer Flüssigkeit aufgebaut wird. Zweckmäßigerweise handelt es sich dabei um eine Flüssigkeit niedriger Kompressibilität, vorzugsweise um eine hydraulische Flüssigkeit, beispielsweise um ein Hydraulik-Öl. Empfohlenermaßen wird das Metallrohr an beiden Enden verschlossen und der Aufbau des Innendruckes erfolgt mit Hilfe zumindest einer Pumpe.

[0012] Zweckmäßigerweise erfolgt die Beaufschlagung der Innenoberfläche des Rohres mit einem Druck bzw. Innendruck von 700 bis 15.000 bar, vorzugsweise von 2.500 bis 9.000 bar und besonders bevorzugt von 2.800 bis 8.500 bar. Eine empfohlene Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass der aufgebrauchte Druck bzw. Innendruck im Bereich zwischen 5.000 und 8.500 bar liegt. - Vorzugsweise erfolgt die Druckerhöhung bzw. der Druckaufbau über einen Zeitraum von 2 bis 25 s, vorzugsweise 2 bis 20 s und bevorzugt 2 bis 10 s. Nach Erreichen des Enddruckes wird dieser zweckmäßigerweise kurzzeitig konstant gehalten, insbesondere 3 bis 40 s konstant gehalten.

[0013] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Druck bzw. Innendruck mit der Maßgabe gesteigert wird, dass eine Plastifizierung der inneren Wandungsbereiche des Rohres entsprechend einem Plastifizierungsradius r_p erreicht wird, wobei dieser Plastifizierungsradius r_p 50 bis 92 %, vorzugsweise 70 bis 92 % und bevorzugt 75 bis 92 % des Außenradius r_a des Rohres beträgt. Die Radien werden dabei von der Mitte bzw. von der Längsmittelachse des Rohres aus gemessen. Wie bereits dargelegt, beginnt die Plastifizierung an der Innenoberfläche des Metallrohres und pflanzt sich bei weiterer Druckerhöhung nach außen hin fort. Der Plastifizierungsradius r_p gibt das Ausmaß der Plastifizierung in radialer Richtung des Rohres an. - Die Plastifizierung des Metalls beginnt im Übrigen bei einem Innendruck p_1 von:

$$p_1 = \frac{\sigma_F}{\sqrt{3}} (1 - (r_i / r_a)^2)$$

[0014] Bei einem Druck p_2 von

$$p_2 = \frac{2\sigma_F}{\sqrt{3}} \ln(r_a / r_i)$$

wäre theoretisch die gesamte Rohrwandung (100 %) plastifiziert. σ_F steht im Übrigen für die Spannung, bei der die elastischen Eigenschaften des Materials in Fließeigenschaften übergehen. r_i ist der Innenradius des Metallrohres und r_a ist der Außenradius des Metallrohres.

[0015] Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass gerade und/oder gebogene Metallrohre oder Metallrohre mit zumindest einem gebogenen Rohrabschnitt mit dem erfindungsgemäßen Autofrettage-Verfahren behandelt werden. Insbesondere bei gebogenen Rohren oder bei gebogenen Rohrabschnitten hat sich das erfindungsgemäße Verfahren besonders bewährt.

[0016] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass mit dem erfindungsgemäßen Autofrettage-Verfahren

ren eine besonders präzise und funktionssichere Kontrolle des Plastifizierungsgrades möglich ist. Dabei zeichnet sich das Verfahren durch Einfachheit und geringen Aufwand aus. Bei gleichzeitiger Messung von Außendurchmesser und Druck können im Übrigen auf sehr einfache Weise Materialfehler bzw. fehlerhafte Rohre erkannt werden und dem Produktionsprozess entzogen werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist problemlos eine Kontrolle bereits autofrettierter Rohre möglich. Hervorzuheben ist weiterhin, dass die erfindungsgemäßen Maßnahmen mit relativ geringen Kosten realisiert werden können. Im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Autofrettage-Verfahren werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren deutlich weniger Rohre beschädigt und das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich somit durch einen vorteilhaft geringen Ausschuss aus.

[0017] Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig. 1 einen Schnitt durch ein mit dem erfindungsgemäßen Verfahren behandeltes Metallrohr mit zwei unterschiedlichen Plastifizierungsgraden und

Fig. 2. die Änderung des Druckes und die Änderung des Außendurchmessers d_a eines Metallrohres während der erfindungsgemäßen Autofrettage-Behandlung.

[0018] Die Erfindung betrifft ein Autofrettage-Verfahren zur Steigerung der Festigkeit von Metallrohren 1. Der Innenraum 2 des Metallrohres 1 wird mit einem hohen Innendruck p beaufschlagt und dieser Druck bzw. Innendruck p wird während der Autofrettage-Behandlung erhöht. Im Ausführungsbeispiel wird der Innendruck p von 0 bis etwa 5.500 bar erhöht (s. Fig. 2). Aufgrund dieser Druckerhöhung findet ausgehend von der Innenoberfläche 3 des Metallrohres 1 eine Plastifizierung des Metalls bzw. der Metallwandung statt. Die plastifizierten Innenbereiche der Rohrwandung des Metallrohres 1 sind in den Fig. 1a und 1 b durch eine Kreuzschraffur gekennzeichnet.

[0019] Erfindungsgemäß wird während der Autofrettage-Behandlung der zunehmende Außendurchmesser d_a des Metallrohres 1 gemessen (Fig. 2). Erfindungsgemäß wird weiterhin die Druckerhöhung nach Erreichen eines kritischen Außendurchmessers d_{ak} beendet (Fig. 1b) und der Druck wird danach wieder verringert (Fig. 2). Die Figuren 1 a und 1 b zeigen ein mit dem erfindungsgemäßen Autofrettage-Verfahren behandeltes Metallrohr 1 mit zwei unterschiedlichen Plastifizierungsgraden. In dem Zustand des Metallrohres 1 gemäß Fig. 1b ist nach Druckerhöhung der kritische Außendurchmesser d_{ak} erreicht worden sowie der gewünschte maximale Plastifizierungsgrad. Der Plastifizierungsgrad kann durch den Plastifizierungsradius r_p angegeben werden. Im Zustand

des Metallrohres 1 gemäß Fig. 1b mag der Plastifizierungsradius r_p 90 % des Außenradius r_a des Metallrohres 1 betragen. r_i steht im Übrigen für den Innenradius des Metallrohres 1. Alle Radien werden von der Mitte M des Metallrohres 1 aus gemessen.

[0020] Fig. 2 zeigt den Druckaufbau bzw. den Verlauf des Druckes p und den Verlauf bzw. die Änderung des Außendurchmessers d_a während der erfindungsgemäßen Autofrettage-Behandlung. Erfindungsgemäß wird eine erste Autofrettage-Behandlung sowie gleichsam zur Kontrolle eine zweite Autofrettage-Behandlung durchgeführt. Der Fig. 2 ist entnehmbar, dass sich bei Druckbeaufschlagung eines Metallrohres 1 die Änderungen im Außendurchmesser d_a in einen elastischen Anteil E und einen plastischen Anteil P aufteilen lassen. Im Hinblick darauf kann mit der zweiten Autofrettage-Behandlung (rechte Seite von Fig. 2) kontrolliert werden, inwieweit das Metallrohr 1 bereits einer Autofrettage-Behandlung unterzogen wurde und ob der Grad der Plastifizierung entsprechend bzw. wunschgemäß erfolgt ist. Somit ist eine Kontrolle von Metallrohren 1 möglich die bereits einer Autofrettage-Behandlung unterzogen wurden.

25 Patentansprüche

1. Autofrettage-Verfahren zur Festigkeitssteigerung von Metallrohren (1), wobei ein bereits zumindest einer ersten Autofrettage-Behandlung unterzogenes Metallrohr (1) zumindest einer zweiten Autofrettage-Behandlung unterzogen wird, wobei zumindest bei der zweiten Autofrettage-Behandlung der Innenraum (2) eines Metallrohres (1) mit einem hohen Druck bzw. Innendruck p von mindestens 700 bar beaufschlagt wird, so dass ausgehend von der Innenoberfläche (3) des Metallrohres (1) eine Plastifizierung des Metalls bzw. der Metallwandung stattfindet, wobei der Druck bzw. Innendruck p während der Behandlung erhöht wird, wobei weiterhin der während der Behandlung zunehmende Außendurchmesser d_a des Rohres gemessen wird und wobei der Druck anschließend wieder verringert wird und wobei mittels der Messung des Außendurchmessers d_a des Metallrohres (2) bei der zweiten Autofrettage-Behandlung das Ausmaß der ersten Autofrettage-Behandlung bzw. der Grad der Plastifizierung der Rohrwandung bei der ersten Autofrettage-Behandlung ermittelt wird.
2. Autofrettage-Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Druckerhöhung bei Erreichen eines kritischen Außendurchmessers d_{ak} beendet wird und der Druck danach wieder verringert wird.
3. Autofrettage-Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei neben dem Außendurchmesser d_a des Metallrohres (1) auch der aufgebrauchte Druck

bzw. Innendruck p gemessen wird.

4. Autofrettage-Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Druck bzw. Innendruck p in dem Metallrohr (1) mittels einer Flüssigkeit aufgebaut wird.
5. Autofrettage-Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Beaufschlagung der Innenoberfläche (3) des Metallrohres (1) mit einem Druck bzw. Innendruck p von 700 bis 15.000 bar, vorzugsweise von 2.500 bis 9.000 bar und besonders bevorzugt von 2.800 bis 8.500 bar durchgeführt wird.
6. Autofrettage-Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Druckerhöhung bzw. der Druckaufbau über einen Zeitraum von 2 bis 25 s, vorzugsweise 2 bis 20 s und bevorzugt 2 bis 10 s erfolgt.
7. Autofrettage-Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Druck p mit der Maßgabe gesteigert wird, dass eine Plastifizierung der inneren Wandungsbereiche des Metallrohres (1) entsprechend einem Plastifizierungsradius r_p erreicht wird, wobei dieser Plastifizierungsradius r_p 50 bis 92 %, vorzugsweise 70 bis 92 % und bevorzugt 75 bis 92 % des Außenradius r_a des Metallrohres (1) beträgt.
8. Autofrettage-Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei gebogene Rohre oder Rohre mit zumindest einem gebogenen Rohrabschnitt behandelt werden.

Claims

1. An autofrettage method for increasing the strength of metal pipes (1), wherein a metal pipe (1) that has already been subjected to at least one first autofrettage treatment is subjected to at least one second autofrettage treatment, wherein at least during the second autofrettage treatment, the interior (2) of a metal pipe (1) is pressurized with high pressure or internal pressure p of at least 700 bar so that starting from the inner surface (3) of the metal pipe (1), plasticization of the metal or the metal wall takes place, wherein the pressure or inner pressure p is increased during the treatment, wherein furthermore the outer diameter d_a of the pipe increasing during the treatment is measured, and wherein the pressure is subsequently reduced again, and wherein by means of the measurement of the outer diameter d_a of the metal pipe (2) during the second autofrettage treatment, the extent of the first autofrettage treatment or the degree of plasticization of the pipe wall during the first autofrettage treatment is determined.

2. The autofrettage method according to claim 1, wherein the pressure increase is terminated upon reaching a critical outer diameter d_{ak} , and the pressure is reduced again thereafter.
3. The autofrettage method according to any one of the claims 1 or 2, wherein in addition to the outer diameter d_a of the metal pipe (1), the applied pressure or inner pressure p is also measured.
4. The autofrettage method according to any one of the claims 1 to 3, wherein the pressure or inner pressure p in the metal pipe (1) is built up by means of a liquid.
5. The autofrettage method according to any one of the claims 1 to 4, wherein pressurizing the inner surface (3) of the metal pipe (1) is carried out with a pressure or inner pressure p of from 700 to 15,000 bar, preferably of from 2,500 to 9,000 bar, and particularly preferably of from 2,800 to 8,500 bar.
6. The autofrettage method according to any one of the claims 1 to 5, wherein pressure increase or pressure built-up takes place over a period of 2 to 25 s, preferably 2 to 20 s, and preferred 2 to 10 s.
7. The autofrettage method according to any one of the claims 1 to 6, wherein the pressure p is increased with the requirement that plasticization of the inner wall regions of the metal pipe (1) is achieved according to a plasticization radius r_p , wherein said plasticization radius r_p is 50 to 92%, preferably 70 to 92% and preferred 75 to 92% of the outer radius r_a of the metal pipe (1).
8. The autofrettage method according to any one of the claims 1 to 7, wherein bent pipes or pipes having at least one bent pipe section are treated.

Revendications

1. Procédé d'autofrettage pour augmenter la résistance de tubes métalliques (1), dans lequel un tube métallique (1) déjà au moins soumis à un premier traitement d'autofrettage est soumis à au moins un deuxième traitement d'autofrettage, pour lequel au moins pour le deuxième traitement d'autofrettage, l'espace intérieur (2) d'un tube métallique (1) est sollicité par une pression ou pression intérieure 'p' élevée d'au moins 700 bars de sorte qu'une plastification du métal ou de la paroi métallique a lieu à partir de la surface intérieure (3) du tube métallique (1), dans lequel la pression ou pression intérieure 'p' est augmentée pendant le traitement, dans lequel en outre le diamètre extérieur d_a du tube augmentant pendant le traitement est mesuré et dans lequel la pression est ensuite à nouveau réduite

- et dans lequel on détermine au moyen de la mesure du diamètre extérieur d_a du tube métallique (2) lors du deuxième traitement d'autofrettage, la dimension du premier traitement d'autofrettage ou le degré de plastification de la paroi tubulaire lors du premier traitement d'autofrettage. 5
2. Procédé d'autofrettage selon la revendication 1, dans lequel l'augmentation de la pression se termine en atteignant un diamètre extérieur d_{ak} critique et la pression est à nouveau réduite par la suite. 10
3. Procédé d'autofrettage selon une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel, en plus du diamètre extérieur d_a du tube métallique (1), on mesure également la pression ou pression intérieure 'p' appliquée. 15
4. Procédé d'autofrettage selon une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la pression ou pression intérieure 'p' dans le tube métallique (1) est établie au moyen d'un liquide. 20
5. Procédé d'autofrettage selon une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la sollicitation de la surface intérieur (3) du tube métallique (1) a lieu avec une pression ou pression intérieure 'p' de 700 à 15 000 bars, de préférence de 2 500 à 9 000 bars et de façon particulièrement préférée de 2 800 à 8 500 bars. 25
30
6. Procédé d'autofrettage selon une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'augmentation de la pression ou l'établissement de la pression a lieu sur une période de temps de 2 à 25 s, de préférence 2 à 20 s et de façon préférée 2 à 10 s. 35
7. Procédé d'autofrettage selon une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel la pression 'p' est augmentée dans la proportion faisant en sorte qu'on obtient une plastification des zones de paroi internes du tube métallique (1) correspondant à un rayon de plastification r_p , pour lequel le rayon de plastification r_p est de 50 à 92, de préférence 70 à 92% et de façon préférée 75 à 92% du rayon extérieur r_a du tube métallique (1). 40
45
8. Procédé d'autofrettage selon une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel on traite des tubes coudés ou des tubes avec au moins une section de tube coudée. 50

55

Fig. 1B

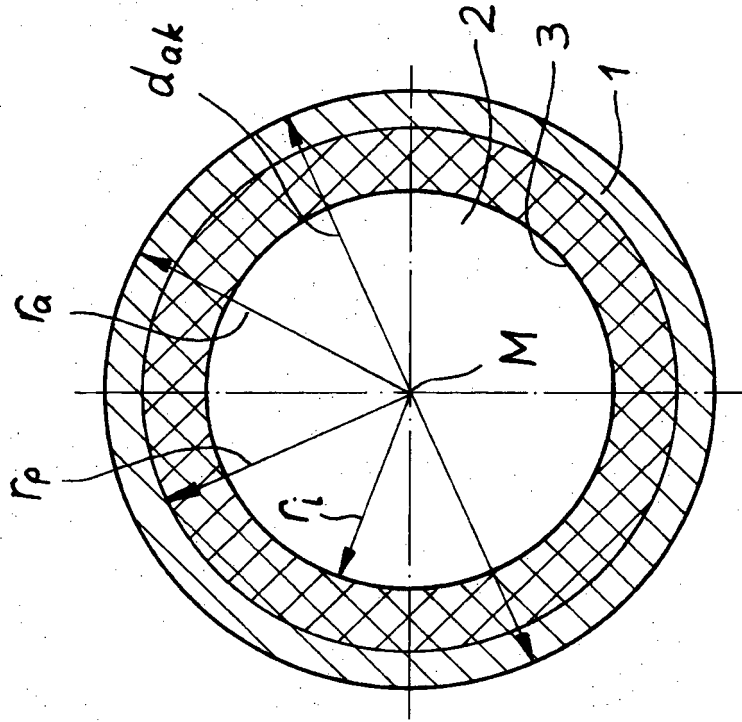


Fig. 1A

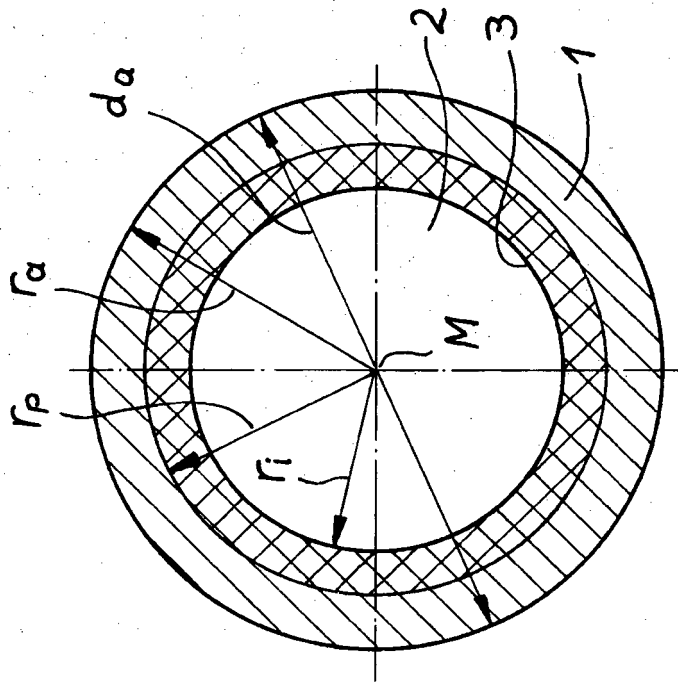
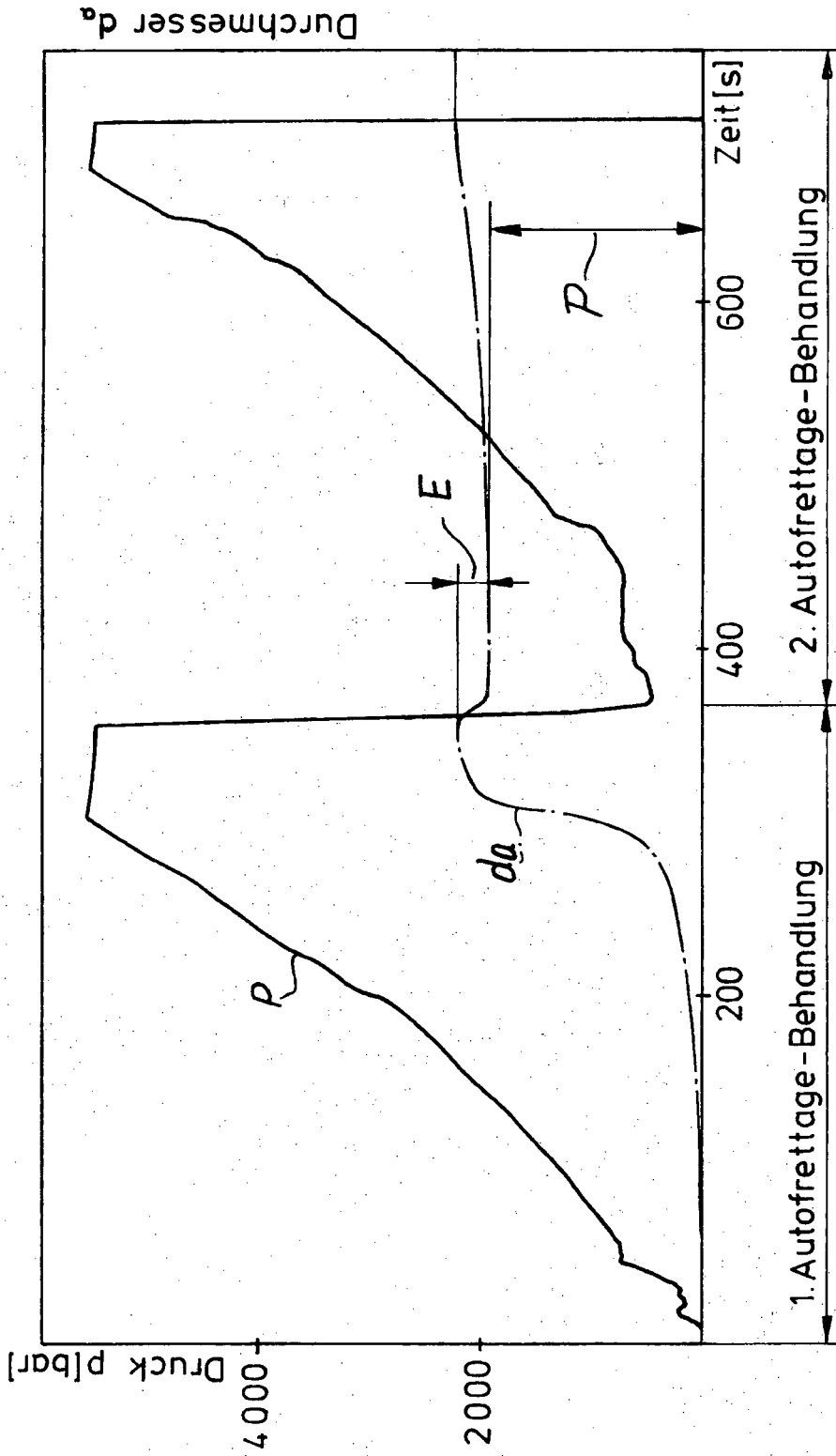


Fig.2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2010018721 A1 [0003]