

(19)



(11)

EP 4 289 978 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.12.2023 Patentblatt 2023/50

(21) Anmeldenummer: **23178038.8**

(22) Anmeldetag: **07.06.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

C21D 1/02 (2006.01) **C21D 7/10** (2006.01)
C21D 8/10 (2006.01) **C21D 9/08** (2006.01)
C21D 9/14 (2006.01) **C22C 38/04** (2006.01)
B21C 1/00 (2006.01) **C22C 38/12** (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01) **C22C 38/18** (2006.01)
C21D 1/26 (2006.01) **C23G 1/00** (2006.01)
C25F 1/00 (2006.01) **B21C 23/08** (2006.01)
B21D 51/16 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

C21D 1/02; B21C 1/00; C21D 7/10; C21D 8/105;
C21D 9/08; C21D 9/14; C22C 38/04; B21C 23/08;
C21D 1/26; C21D 2261/00; C22C 38/12;
C22C 38/14; C22C 38/18; C23G 1/00; C25F 1/00

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA

Benannte Validierungsstaaten:

KH MA MD TN

(30) Priorität: **08.06.2022 DE 102022114337**

(71) Anmelder: **Mannesmann Precision Tubes GmbH**
45473 Mülheim an der Ruhr (DE)

(72) Erfinder:

- **ZIMMERMANN, Steffen**
47259 Duisburg (DE)
- **SCHULZE, Sebastian Leif**
47259 Duisburg (DE)

(74) Vertreter: **Moser Götze & Partner Patentanwälte**
mbB
Paul-Klinger-Strasse 9
45127 Essen (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES NAHTLOSEN PRÄZISIONSSTAHLROHRS, DERARTIGES PRÄZISIONSSTAHLROHR UND ENTSPRECHENDE HERSTELLUNGSANLAGE**

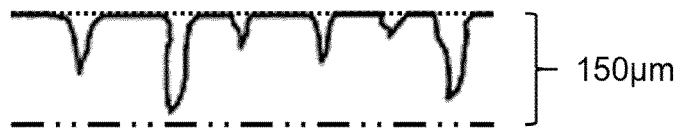
(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen ist vorgesehen, dass dieses Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- (i) Warmwalzen eines Stahls, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist: C: bis 0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22, Mn: 0,30 bis 2,0, Si: bis 0,60, und optional weiterhin Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35, Ni: bis 0,80, Mo: bis 0,10, V: bis 0,15, Nb: bis 0,06, Ti: bis 0,06, Al: bis 0,060, Cu: bis 0,60, N: bis 0,02, S: bis 0,02 und P: bis 0,025, wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind, um daraus ein nahtloses Stahlrohr zu erhalten,
- (ii) darauf folgend optionale Wärmebehandlung des nahtlosen Stahlrohrs,
- (iii) darauf folgendes Abkühlen des nahtlosen Stahlrohrs und anschließendes Kaltfertigen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs zur Erzeugung des nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit den gewünschten Dimensionen inklusive eines gewünschten Innendurchmessers D_i , wobei das Kaltfertigen ein Kaltziehen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs in einem oder mehreren Kaltzügen umfasst,

fasst, wobei zur Reduktion von Oberflächenfehlern an einer den Innendurchmesser D_i bestimmenden Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs bei der Kaltfertigung, zusätzlich zum Kaltziehen, eine Feinbearbeitung der Innenoberfläche erfolgt, bei der eine 100 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche chemisch und/oder spanend abgetragen wird.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr und eine entsprechende Anlage zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen.

EP 4 289 978 A1



Figur 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen sowie ein entsprechendes kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr und eine entsprechende Anlage zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen.

[0002] Entsprechende kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohre werden unter anderem auch als HPL-Rohre genutzt. Sie werden vorwiegend in hydraulisch oder pneumatisch betriebenen Anlagen als Leitungen eingesetzt (HPL-Rohr: Hydraulik- und/oder Pneumatikleitungs-Rohr). Der Zusammenbau erfolgt in der Regel durch lösbare oder dauerhafte Verbindungen. Im Betrieb hydraulischer Anlagen treten unter Betriebsbedingungen Änderungen von Geschwindigkeit und Druck des strömenden Mediums auf. Durch die Geschwindigkeitsänderungen entstehen Druckstöße, die sich dem Innendruck überlagern. Die Rohrleitung ist in der Regel schwelkend beansprucht. Für die Auslegung ist die Beanspruchung unter Betriebsbedingungen zu berücksichtigen.

[0003] Als Anwendung für kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohre gibt es neben der Nutzung als Hydraulik- oder Pneumatikleitungen diverser Dimensionen auch die Nutzung als Vorprodukt bei der Herstellung von Hydraulikzylindern und die Nutzung als Transportleitung für fluide Medien wie Flüssigkeiten und Gase.

[0004] Das Dokument EP 2 044 228 B1 beschreibt die Herstellung eines nahtlosen Präzisionsstahlrohrs als Vorprodukt für Hydraulikzylinder mit den folgenden Herstellungsschritten: (i) Warmwalzen eines Stahls mit folgender Zusammensetzung: 0,06 bis 0,15 Gewichts-% Kohlenstoff, 0,30 bis 2,5 Gewichts-% Mn, 0,10 bis 0,60 Gewichts-% Si sowie wahlweise eines oder mehrere der folgenden Elemente: Cr, Ni, Mo, V, Nb, N und Al, Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen bei einer Temperatur oberhalb Ac₃, um daraus ein nahtloses Stahlrohr zu erhalten, (ii) nachfolgend eine Wärmebehandlung des nahtlosen Stahlrohrs, um ein Mehrphasengefüge zu erhalten, (iii) nachfolgendes Abschrecken des nahtlosen Stahlrohrs und anschließendes Kaltfertigen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs durch Kaltziehen zur Erzeugung des nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit den gewünschten Dimensionen, sowie (iv) eine nachfolgende Spannungsbehandlung zur Verbesserung der isotropen Schlagzähigkeit und (v) ein Richten des so erhaltenen nahtlosen Präzisionsstahlrohrs. Weiterhin beschreibt dieses Dokument ein entsprechendes nahtloses Präzisionsstahlrohr, welches sich durch eine verbesserte isotrope Zähigkeit bei niedriger Temperatur auszeichnet, sowie die Weiterverarbeitung zu einem Hydraulikzylinder, der auch bei sehr niedrigen Temperaturen einsetzbar ist. In diesem Zusammenhang erwähnt das Dokument auch die Ermüdungszyklen des Zylinders während seiner Lebensdauer.

[0005] Das Dokument DE 11 2016 000 288 T5 beschreibt ein vergleichbares Verfahren zur Herstellung eines nahtlosen Stahlrohrs mit ähnlicher Stahl-Zusammensetzung zur Verwendung als Vorprodukt für Federn wie zum Beispiel Aufhängungsfedern, Ventilfedern und Kupplungsfedern für Automobilanwendungen.

[0006] Das Dokument JP 2 822 849 B2 beschreibt die Herstellung eines nahtlosen Präzisionsstahlrohrs als Vorprodukt für Antriebswellen und Stabilisatoren bei Automobilanwendungen, welches eine exzellente Rundheit aufweist. Nach einem Walzen zu einem nahtlosen Stahlrohr erfolgt eine Wiedererwärmung des nahtlosen Stahlrohrs auf eine Temperatur im Bereich von 900 °C bis 1100 °C für 5 bis 20 Minuten unter Ausbildung einer bis maximal 150 µm in die Oberfläche hineinreichenden Randentkohlungs-Schicht, die anschließend schleifend abgetragen wird.

[0007] Bei der Verwendung als innendruckführendes Rohr und insbesondere bei der Nutzung als HPL-Rohr ist es wünschenswert, dass das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr bei einem höheren Dauerdruck genutzt, also mit einem höheren Dauerdruck beaufschlagt, werden kann. Dies kann durch eine Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit dieses Rohres ermöglicht werden. Bezüglich einer Mehrzahl von kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohren ist es wünschenswert, wenn die Streuung der Ermüdungsfestigkeits-Werte deutlich eingegrenzt ist, denn dadurch ist eine präzisere Prognose der Drucklaststufen möglich. In der Anwendung kann dann bei gleicher Rohr-Geometrie ein höherer Arbeitsdruck realisiert werden.

[0008] Durch eine Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit bei derartigen Präzisionsstahlrohren ergeben sich zusätzliche Potentiale in Richtung Leichtbau beziehungsweise eine höhere Leistungsfähigkeit entsprechender hydraulisch angetriebener Maschinen.

[0009] Es ist Aufgabe der Erfindung Maßnahmen zur Bereitstellung eines nahtlosen Präzisionsstahlrohrs anzugeben, das eine hohe Ermüdungsfestigkeit aufweist.

[0010] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß bezüglich des Verfahrens zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs durch die Merkmale des Anspruchs 1, bezüglich des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs durch die Merkmale des Anspruchs 8 und bezüglich der Anlage zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs durch die Merkmale des Anspruchs 13. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben, die jeweils einzeln oder in Kombination einen Aspekt der Erfindung darstellen können.

[0011] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen ist vorgesehen, dass dieses Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(i) Warmwalzen eines Stahls, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist: C: bis

0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22, Mn: 0,30 bis 2,0, Si: bis 0,60, und optional weiterhin Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35, Ni: bis 0,80, Mo: bis 0,10, V: bis 0,15, Nb: bis 0,06, Ti: bis 0,06, Al: bis 0,060, Cu: bis 0,60, N: bis 0,02, S: bis 0,02 und P: bis 0,025, wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind, um daraus ein nahtloses Stahlrohr zu erhalten,

(ii) darauf folgend optionale Wärmebehandlung des nahtlosen Stahlrohrs,

(iii) darauf folgendes Abkühlen des nahtlosen Stahlrohrs und anschließendes Kaltfertigen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs zur Erzeugung des nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit den gewünschten Dimensionen inklusive eines gewünschten Innendurchmessers D_I , wobei das Kaltfertigen ein Kaltziehen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs in einem oder mehreren Kaltzügen umfasst, wobei zur Reduktion von Oberflächenfehlern an einer der Innendurchmesser D_I bestimmenden Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs bei der Kaltfertigung, zusätzlich zum Kaltziehen, eine Feinbearbeitung der Innenoberfläche erfolgt, bei der eine 100 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche chemisch und/oder spanend abgetragen wird. Bevorzugt wird eine 200 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche chemisch und/oder spanend abgetragen, besonders bevorzugt eine 350 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche.

[0012] Es hat sich herausgestellt, dass Oberflächenfehler, wie etwa Risse, an der Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs, die - bezogen auf die entsprechende Oberflächennormale - deutlich weiter als in eine kritische Tiefe, die grob mit etwa 20 bis 45 μm abgeschätzt werden kann, in den Stahl hineinreichen, sich negativ auf die Ermüdungsfestigkeit dieses Rohrs auswirkt. Der Ursprung von zumindest einem Teil dieser Oberflächenfehler liegt in dem der Kaltfertigung vorgelagerten Warmwalzprozess bei der Herstellung des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs. Bei einer Kaltfertigung durch reines Kaltziehen erreicht man in der Regel eine Ermüdungsfestigkeit des Präzisionsstahlrohrs, die etwa dem 0,3-fachen der axialen Zugfestigkeit des Stahls entspricht.

[0013] Trägt man nun durch Feinbearbeitung im Rahmen der Kaltfertigung eine 100 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche chemisch und/oder spanend ab, so eliminiert man die vorhandenen Oberflächenfehler oder dezimiert zumindest deren Tiefenausdehnung derart, dass das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr eine Ermüdungsfestigkeit zeigt, die oberhalb des 0,4-fachen der axialen Zugfestigkeit des Stahls liegt.

[0014] Das entsprechende kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr ist insbesondere zur Verwendung als innendruckführendes Rohr oder als Vorprodukt für einen

Druckbehälter vorgesehen. Das innendruckführende Rohr ist zum Beispiel ein Hydraulikleitungs- und/oder Pneumatikleitungs-Rohr, kurz HPL-Rohr. Der Druckbehälter (oder Druckspeicher) weist in der Regel Anschlüsse auf, über die er befüllt und entleert werden kann. Dem entsprechend kommt es auch hier zu einer sich verändernden Druckbelastung. Das entsprechende Medium im Rohr beziehungsweise im Behälter kann aus Gas(en), Flüssigkeit(en), überkritische(n) Fluide(n) sowie Kombinationen davon zusammengesetzt sein.

[0015] Dabei ist unter dem Begriff Ermüdungsfestigkeit insbesondere eine Dauerschwellfestigkeit nach DIN 2413:2011-06 zu verstehen.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die spanabhebende Feinbearbeitung ein Honen und/oder Schälen und/oder Rollieren. Hier ergeben sich Mittenrauhwerte R_a von deutlich weniger als einem Mikrometer ($< 1 \mu\text{m}$).

[0017] Mit Vorteil ist vorgesehen, dass die Feinbearbeitung durch chemisches Abtragen durch Beizen erfolgt. Unter Beizen versteht man dabei die Behandlung zur Veränderung der Oberfläche mithilfe einer Beize oder eines Beizmittels. Bei Metall- und insbesondere Stahloberflächen geschieht das Beizen in der Hauptsache durch ein Anätzen mittels aggressiver Chemikalien, meist Säuren oder Laugen. In diesem Fall erfolgt die Feinbearbeitung durch chemisches Abtragen also durch ein Ätzen, genauer gesagt ein Anätzen.

[0018] Die Feinbearbeitung der Innenoberfläche kann vor dem Kaltzug beziehungsweise dem ersten der Kaltzüge und/oder zwischen zwei Kaltzügen und/oder nach dem Kaltzug beziehungsweise dem letzten der Kaltzüge erfolgen.

[0019] Dabei erfolgt die Feinbearbeitung der Innenoberfläche bevorzugt vor dem Kaltzug oder dem letzten der Kaltzüge. Bei mehreren Kaltzügen erfolgt die Feinbearbeitung dann vor dem ersten der Kaltzüge oder zwischen zwei Kaltzügen. Alternativ erfolgt die Feinbearbeitung der Innenoberfläche dann insbesondere nach dem Kaltzug oder dem letzten der Kaltzüge.

[0020] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass durch das Kaltfertigen

- ein Wanddicke zu Außendurchmesser-Verhältnis d/D_A des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs von $d/D_A \leq 0,2$, insbesondere $d/D_A \leq 0,02$, und/oder
- ein Rohrlänge zu Außendurchmesser-Verhältnis L/D_A von $L/D_A > 5$ eingestellt wird, wobei L die Rohrlänge, d die Wanddicke und D_A den Außendurchmesser des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs beschreiben. Derartige Dimensionen schließen die typischen Rohre für Hydraulikzylinder und die Rohre für Kraftstoffleitungen von Kraftfahrzeugen regelmäßig aus.

[0021] Mit Vorteil ist vorgesehen, dass das kaltgefer-

tigte nahtlose Präzisionsstahlrohr durch die Feinbearbeitung eine derart bearbeitete Innenoberfläche aufweist, dass das Präzisionsstahlrohr eine Ermüdungsfestigkeit zeigt, die dem 0,46- bis 0,49-fachen der axialen Zugfestigkeit des Stahls entspricht. Eine derartig hohe Ermüdungsfestigkeit kommt der maximal erwartbaren Ermüdungsfestigkeit schon recht nahe. Die maximal erwartbare Ermüdungsfestigkeit liegt bei rund dem 0,5-fachen der axialen Zugfestigkeit des Stahls.

[0022] Bei dem erfindungsgemäßen kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohr aus einem Stahl, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist: C: bis 0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22, Mn: 0,30 bis 2,0, Si: bis 0,60, und optional weiterhin Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35, Ni: bis 0,80, Mo: bis 0,10, V: bis 0,15, Nb: bis 0,06, Ti: bis 0,06, Al: bis 0,060, Cu: bis 0,60, N: bis 0,02, S: bis 0,02 und P: bis 0,025, wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind, und wobei das Präzisionsstahlrohr einen Innendurchmesser D_i aufweist, der durch eine Innenoberfläche bestimmt wird, ist vorgesehen, dass vorhandene Risse oder andere Strukturen von Oberflächenfehlern in dieser Innenoberfläche bezogen auf ein Oberflächen-Mittelwertniveau maximal bis in eine Tiefe von 45 μm in den Stahl hineinreichen.

[0023] Das Oberflächen-Mittelwertniveau ist im Zusammenhang mit der Beschreibung der Rauheit einer Oberfläche wohlbekannt und fällt bei hinreichend glatten Oberflächen mit dem Niveau der Oberfläche zusammen, welches die Strukturen der Oberflächenfehler umgibt. Als Rauheitskennwert am Profil ist beispielsweise ein Mittenrauwert R_A definiert, der den mittleren Abstand eines Messpunktes - auf der Oberfläche - zu einer Mittellinie angibt. Diese Mittellinie schneidet innerhalb einer entsprechenden Bezugsstrecke das wirkliche Oberflächenprofil derart, dass die Summe der Profilabweichungen in einer parallelen Ebene zur Mittellinie auf die Länge der Messstrecke verteilt wird. Mit anderen Worten ist diese Mittellinie das Oberflächen-Mittelwertniveau bezüglich der gewählten Messstrecke. Das Oberflächen-Mittelwertniveau bezüglich der Fläche ergibt sich analog bei den Rauheitskennwerten auf der Fläche. Die Rauheit auf der Fläche ist in der ISO 25178 genormt.

[0024] Wie bereits erwähnt, hat es sich herausgestellt, dass Oberflächenfehler, wie etwa Risse, an der Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs, die - bezogen auf die entsprechende Oberflächennormale - deutlich weiter als in eine kritische Tiefe, die grob mit etwa 20 bis 45 μm abgeschätzt werden kann, in den Stahl hineinreichen, sich negativ auf die Ermüdungsfestigkeit dieses Rohrs auswirkt. Bevorzugt ist daher vorgesehen, dass vorhandene Risse oder andere Strukturen von Oberflächenfehlern in dieser Innenoberfläche bezogen auf ein Oberflächen-Mittelwertniveau maximal bis in eine Tiefe von nur 25 μm in den Stahl hineinreichen.

[0025] Das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr ist insbesondere ein per vorstehend erwähntem Herstellungsverfahren hergestelltes kaltgefertigtes nahtloses

Präzisionsstahlrohr.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs weist das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr eine durch chemischen und/oder spanenden Abtrag feinbearbeitete Innenoberfläche mit entsprechender Oberflächenbeschaffenheit auf.

[0027] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr eine Rohrlänge L , eine Wanddicke d , einen Außendurchmesser D_A , sowie

- ein Wanddicke zu Außendurchmesser-Verhältnis d/D_A des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs von $d/D_A \leq 0,1$, insbesondere von $d/D_A \leq 0,02$, und/oder
- ein Rohrlänge zu Außendurchmesser-Verhältnis L/D_A von $L/D_A > 5$ auf.

[0028] Es ist insbesondere vorgesehen, dass das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr eine per Feinbearbeitung derart bearbeitete Innenoberfläche aufweist, dass das Präzisionsstahlrohr eine Ermüdungsfestigkeit zeigt, die dem 0,46- bis 0,49-fachen der axialen Zugfestigkeit des Stahls entspricht.

[0029] Bei der erfindungsgemäßen Anlage zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen, die die folgenden Mittel umfasst: (a) Mittel zum Warmwalzen eines Stahls, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist: C: bis 0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22, Mn: 0,30 bis 2,0, Si: bis 0,60, und optional weiterhin Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35, Ni: bis 0,80, Mo: bis 0,10, V: bis 0,15, Nb: bis 0,06, Ti: bis 0,06, Al: bis 0,060, Cu: bis 0,60, N: bis 0,02, S: bis 0,02 und P: bis 0,025, wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind, um daraus ein nahtloses Stahlrohr zu erhalten, (b) optional Wärmebehandlungs-Mittel für eine nachfolgende Wärmebehandlung des nahtlosen Stahlrohrs, (c) Abkühl-Mittel für ein nachfolgendes Abkühlen des nahtlosen Stahlrohrs und (d) Kaltfertigungsmittel für ein anschließendes Kaltfertigen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs zur Erzeugung des nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit den gewünschten Dimensionen inklusive eines gewünschten Innendurchmessers D_i , wobei das Kaltfertigen ein Kaltziehen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs in einem oder mehreren Kaltzügen umfasst, ist vorgesehen, dass die Kaltfertigungsmittel zur Reduktion von Oberflächenfehlern an einer den Innendurchmesser D_i bestimmenden Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs bei der Kaltfertigung, ein Feinbearbeitungsmittel zur Feinbearbeitung der Innenoberfläche durch chemischen und/oder spanenden Abtrag aufweist, welches insbesondere eingerichtet ist, eine 100 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht abzutragen. Das Feinbearbeitungsmittel zur Feinbearbeitung der Innenoberfläche durch chemischen Abtrag ist insbesondere eine Beizvorrichtung. Das

Feinbearbeitungsmittel zur Feinbearbeitung der Innenoberfläche durch spanenden Abtrag ist insbesondere eine Werkzeugmaschine zum Honen und/oder Schälen und/oder Rollieren der Innenoberfläche.

[0030] Die Anlage zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs ist insbesondere eine Anlage zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen. Die im Zusammenhang mit diesem Verfahren genannten bevorzugten Ausgestaltungen der Erfindung sollen entsprechend auch für die besagte Anlage gelten.

[0031] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegende Zeichnung exemplarisch erläutert, wobei die nachfolgend dargestellten Merkmale sowohl jeweils einzeln als auch in Kombination einen Aspekt der Erfindung darstellen können. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Oberflächenprofils der Innenoberfläche eines nahtlosen Präzisionsstahlrohrs beim Kaltfertigungsschritt des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens.

[0032] Die Fig. 1 zeigt in einer Schnittdarstellung eine Rohrwand eines nahtlosen Präzisionsstahlrohrs im Bereich seiner Innenoberfläche beim Kaltfertigungsschritt in einer schematischen Darstellung. Neben einem ebenen Grundniveau der noch nicht feinbearbeiteten Innenoberfläche weist diese zahlreiche Strukturen von Oberflächenfehlern in Form von Riss-Strukturen, also den Strukturen von Rissen, auf. Diese reichen im Beispiel bis zu 140 μm in das Stahlmaterial hinein. Die überwiegende Zahl der Risse reicht jedoch weniger als 80 μm in das Material hinein. Andere mögliche Oberflächenfehler, beispielsweise Einschlüsse an der Oberfläche, sind nicht dargestellt.

[0033] Neben dem entsprechenden Oberflächenprofil der Innenoberfläche ist auch eine Abtragungsgrenze eines Materialabtrags der Innenoberfläche im Rahmen einer Feinbearbeitung (als Strich-Punkt-Linie) eingetragen, bei der eine 150 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche chemisch und/oder spanend abgetragen wird. Diese Abtragungsgrenze gibt die feinbearbeitete Innenoberfläche des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs vor. Es ist klar erkennbar, dass die Oberflächenfehler durch einen entsprechenden Abtrag vollständig entfernt sind. Die Struktur der feinbearbeiteten Innenoberfläche wird also nur durch die Rauigkeit bestimmt sein, die durch die Feinbearbeitung und gegebenenfalls nachfolgende Bearbeitungsprozesse vorgegeben wird.

[0034] Neben dem Oberflächenprofil und der Abtragungsgrenze ist noch ein Oberflächen-Mittelwertniveau der Innenoberfläche vor der Feinbearbeitung als gepunktete Linie eingezeichnet.

[0035] Das hier im Beispiel betrachtete kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr ist ein HPL-Rohr, könnte aber auch ein anderes innendruckführendes Rohr sein. Der im Beispiel verwendete Stahl hat die folgende Zusammensetzung in Gewichts-%: C: bis 0,25, insbeson-

dere 0,06 bis 0,22, Mn: 0,30 bis 2,0, Si: bis 0,60, und optional weiterhin Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35, Ni: bis 0,80, Mo: bis 0,10, V: bis 0,15, Nb: bis 0,06, Ti: bis 0,06, Al: bis 0,060, Cu: bis 0,60, N: bis 0,02, S: bis 0,02 und P: bis 0,025, wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind. Die Zugfestigkeit R_m ist im Bereich 340 bis 690 MPa.

[0036] Die durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen erreichte Ermüdungsfestigkeit des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs liegt entsprechend im Bereich von 153 MPa bis 365 MPa, insbesondere 153 MPa bis 339 MPa. Hierbei ist unter dem Begriff Ermüdungsfestigkeit eine Dauerschwellfestigkeit, insbesondere eine

[0037] Dauerschwellfestigkeit nach DIN 2413:2011-06, zu verstehen.

[0038] Durch das eingangs beschriebene erfindungsgemäße Herstellungsverfahren und analog auch das eingangs beschriebene erfindungsgemäße kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr sowie die eingangs beschriebene erfindungsgemäße Anlage ist es möglich, die folgenden Vorteile in Bezug auf das Präzisionsstahlrohr zu erreichen:

1. Erhöhung der Zeitfestigkeit und Dauerfestigkeit, sodass sich der Sicherheitsbeiwert um 0,5 Punkte erhöht (also von $S = 1,5$ auf $S = 2,0$) und sich somit die Ausfallwahrscheinlichkeit reduziert.

2. Bei gleichbleibenden Sicherheitsbeiwert S ergibt sich ein Leichtbaupotenzial durch Wanddickenreduzierung zur Gewichtsreduktion von mehr als 30 %.

3. Bei gleichbleibender Rohrdimensionierung ist es möglich, eine Steigerung des Betriebsdrucks um mehr als 50 % bei gleicher Dauerfestigkeit zu erreichen.

[0039] Dabei gelten insbesondere die folgenden Definitionen:

(i) Zeitfestigkeit gemäß Schwingfestigkeitsversuch DIN 50100:2016-12,

(ii) Dauerfestigkeit gemäß Schwingfestigkeitsversuch DIN 50100:2016-12 für eine Mindest-Lastspielzahl in Höhe von 5 Millionen Zyklen,

(iii) Sicherheitsbeiwert nach DIN 2413:2011-06 und

(iv) Ausfallwahrscheinlichkeit auf 1 ppm Level/Niveau auf der Basis des Probit-Verfahrens mit log-logistischer Verteilung.

55 Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimen-

sionen, wobei dieses Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Warmwalzen eines Stahls, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist:

C: bis 0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22,
Mn: 0,30 bis 2,0,
Si: bis 0,60,
und optional weiterhin
Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35,
Ni: bis 0,80,
Mo: bis 0,10,
V: bis 0,15,
Nb: bis 0,06,
Ti: bis 0,06,
Al: bis 0,060,
Cu: bis 0,60,
N: bis 0,02,
S: bis 0,02
und P: bis 0,025,
wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind, um daraus ein nahtloses Stahlrohr zu erhalten,

- nachfolgend optionalen Wärmebehandlung des nahtlosen Stahlrohrs,
- nachfolgendes Abkühlen des nahtlosen Stahlrohrs und anschließendes Kaltfertigen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs zur Erzeugung des nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit den gewünschten Dimensionen inklusive eines gewünschten Innendurchmessers D_i , wobei das Kaltfertigen ein Kaltziehen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs in einem oder mehreren Kaltzügen umfasst, wobei zur Reduktion von Oberflächenfehlern an einer den Innendurchmesser D_i bestimmenden Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs bei der Kaltfertigung, zusätzlich zum Kaltziehen, eine Feinbearbeitung der Innenoberfläche erfolgt, bei der eine 100 μm bis 2000 μm dicke Oberflächenschicht der Innenoberfläche chemisch und/oder spanend abgetragen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr

- ein kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr für die Verwendung als innendruckführendes Rohr oder
- ein Vorprodukt für einen Druckbehälter ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die spanabhebende Feinbearbeitung ein Honen und/oder Schälén und/oder Rollieren ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feinbearbeitung der Innenoberfläche vor dem Kaltzug oder dem letzten der Kaltzüge erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feinbearbeitung der Innenoberfläche nach dem Kaltzug oder dem letzten der Kaltzüge erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch das Kaltfertigen

- ein Wanddicke zu Außendurchmesser-Verhältnis d/D_A des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs von $d/D_A \leq 0,2$, insbesondere $d/D_A \leq 0,02$, und/oder

- ein Rohrlänge zu Außendurchmesser-Verhältnis L/D_A von $L/D_A > 5$ eingestellt wird, wobei L die Rohrlänge, d die Wanddicke und D_A den Außendurchmesser des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs beschreiben.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr durch die Feinbearbeitung eine derart bearbeitete Innenoberfläche aufweist, dass das Präzisionsstahlrohr eine Ermüdungsfestigkeit zeigt, die dem 0,46- bis 0,49-fachen der Zugfestigkeit des Stahls entspricht.

8. Kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr aus einem Stahl, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist:

C: bis 0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22,
Mn: 0,30 bis 2,0,
Si: bis 0,60,
und optional weiterhin
Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35,
Ni: bis 0,80,
Mo: bis 0,10,
V: bis 0,15,
Nb: bis 0,06,
Ti: bis 0,06,
Al: bis 0,060,
Cu: bis 0,60,
N: bis 0,02,
S: bis 0,02
und P: bis 0,025,

wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind und wobei das Präzisionsstahlrohr einen Innendurchmesser D_i aufweist, der durch eine Innenoberfläche bestimmt wird, bei der vorhandene Risse oder andere Strukturen von Oberflächenfehlern in dieser Innenoberfläche bezogen auf ein Oberflächen-Mittelwert-

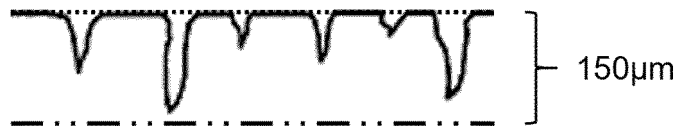
niveau maximal bis in eine Tiefe von 45 µm in den Stahl hineinreichen.

9. Kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr eine durch chemischen und/oder spanenden Abtrag feinbearbeitete Innenoberfläche mit entsprechender Oberflächenbeschaffenheit aufweist. 5
10. Kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr 10
 - ein kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr für die Verwendung als innendruckführendes Rohr oder 15
 - ein Vorprodukt für einen Druckbehälter ist.
11. Kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **gekennzeichnet durch** eine Rohrlänge L, eine Wanddicke d, einen Außendurchmesser D_A , sowie 20
 - ein Wanddicke zu Außendurchmesser-Verhältnis d/D_A des kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs von $d/D_A \leq 0,2$, insbesondere von $d/D_A \leq 0,02$, und/oder 25
 - ein Rohrlänge zu Außendurchmesser-Verhältnis L/D_A von $L/D_A > 5$. 30
12. Kaltgefertigtes nahtloses Präzisionsstahlrohr nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgefertigte nahtlose Präzisionsstahlrohr eine per Feinbearbeitung derart bearbeitete Innenoberfläche aufweist, dass das Präzisionsstahlrohr eine Ermüdungsfestigkeit zeigt, die dem 0,46- bis 0,49-fachen der axialen Zugfestigkeit des Stahls entspricht. 35
13. Anlage zur Herstellung eines kaltgefertigten nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit gewünschten Dimensionen, wobei diese Anlage die folgenden Mittel umfasst: 40
 - Mittel zum Warmwalzen eines Stahls, der die folgende Zusammensetzung in Gewichts-% aufweist: 45
 - C: bis 0,25, insbesondere 0,06 bis 0,22, 50
 - Mn: 0,30 bis 2,0,
 - Si: bis 0,60,
 - und optional weiterhin
 - Cr: bis 0,60, insbesondere bis 0,35,
 - Ni: bis 0,80, 55
 - Mo: bis 0,10,
 - V: bis 0,15,
 - Nb: bis 0,06,

Ti: bis 0,06,
 Al: bis 0,060,
 Cu: bis 0,60,
 N: bis 0,02,
 S: bis 0,02
 und P: bis 0,025,
 wobei der Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen sind, um daraus ein nahtloses Stahlrohr zu erhalten,

- optional Wärmebehandlungs-Mittel für eine nachfolgende Wärmebehandlung des nahtlosen Stahlrohrs,
 - Abkühl-Mittel für ein nachfolgendes Abkühlen des nahtlosen Stahlrohrs und Kaltfertigungsmittel für ein anschließendes Kaltfertigen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs zur Erzeugung des nahtlosen Präzisionsstahlrohrs mit den gewünschten Dimensionen inklusive eines gewünschten Innendurchmessers D_i , wobei das Kaltfertigen ein Kaltziehen des abgekühlten nahtlosen Stahlrohrs in einem oder mehreren Kaltzügen umfasst, wobei die Kaltfertigungsmittel zur Reduktion von Oberflächenfehlern an einer den Innendurchmesser D_i bestimmenden Innenoberfläche des nahtlosen Stahlrohrs bei der Kaltfertigung, ein Feinbearbeitungsmittel zur Feinbearbeitung der Innenoberfläche durch chemischen und/oder spanenden Abtrag aufweist, welches insbesondere eingerichtet ist, eine 100 µm bis 2000 µm dicke Oberflächenschicht abzutragen.

14. Anlage nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Feinbearbeitungsmittel zumindest eine Werkzeugmaschine zur Feinbearbeitung der Innenoberfläche durch Honen und/oder Schälen und/oder Rollieren umfasst.



Figur 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 17 8038

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 02/074462 A1 (SANOH IND CO LTD [JP]; KAMEDA SHIGETSUGU [JP]) 26. September 2002 (2002-09-26) * 0020-0030; Anspr. 1, 2; Fig. 11 * -----	1-14	INV. C21D1/02 C21D7/10 C21D8/10 C21D9/08 C21D9/14 C22C38/04 B21C1/00
X	CN 114 250 414 A (HENG YANG HUAISHI STEEL PIPE CO LTD) 29. März 2022 (2022-03-29) * Anspr. 3; Fig. 11 * -----	13, 14	C21D9/14 C22C38/04 B21C1/00
A	EP 3 128 025 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 8. Februar 2017 (2017-02-08) * 0001, 0058 * -----	1-14	ADD. C22C38/12 C22C38/14 C22C38/18 C21D1/26 C23G1/00 C25F1/00 B21C23/08 B21D51/16
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21D C22C B21C C25F C23G B21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 4. Oktober 2023	Prüfer Kreutzer, Ingo
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 17 8038

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-10-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 02074462 A1	26-09-2002	DE 60208011 T2	13-07-2006
		EP 1375019 A1	02-01-2004
		JP 3920581 B2	30-05-2007
		JP 2002273512 A	25-09-2002
		WO 02074462 A1	26-09-2002

CN 114250414 A	29-03-2022	KEINE	

EP 3128025 A1	08-02-2017	CN 106133176 A	16-11-2016
		EP 3128025 A1	08-02-2017
		JP 6070617 B2	01-02-2017
		JP 2015196895 A	09-11-2015
		KR 20160130430 A	11-11-2016
		US 2017022581 A1	26-01-2017
		WO 2015151448 A1	08-10-2015

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- EP 2044228 B1 [0004]
- DE 112016000288 T5 [0005]
- JP 2822849 B [0006]