



(11)

EP 2 773 784 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.09.2018 Patentblatt 2018/36

(51) Int Cl.:
C22C 38/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12794656.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/071601

(22) Anmeldetag: **31.10.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/064557 (10.05.2013 Gazette 2013/19)

(54) **KOSTENREDUZIERTER STAHL FÜR DIE WASSERSTOFFTECHNIK MIT HOHER BESTÄNDIGKEIT GEGEN WASSERSTOFFINDUZIERTE VERSPRÖDUNG**

COST REDUCED STEEL FOR HYDROGEN TECHNOLOGY WITH HIGH RESISTANCE TO HYDROGEN INDUCED EMBRITTLEMENT

ACIER À COÛTS RÉDUITS POUR LA FILIÈRE HYDROGÈNE, DOTÉ D'UNE RÉSISTANCE ÉLEVÉE À LA FRIABILITÉ INDUITE PAR L'HYDROGÈNE

(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

- **WEBER, Sebastian**
45147 Essen (DE)
- **MICHLER, Thorsten**
65187 Wiesbaden (DE)
- **MARTIN, Mauro**
44791 Bochum (DE)

(30) Priorität: **02.11.2011 DE 102011054992**
27.01.2012 DE 102012100686
16.05.2012 DE 102012104254

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 735 154 DE-A1-102010 053 385
FR-A- 743 179 GB-A- 2 073 249
US-A1- 2008 292 489

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.09.2014 Patentblatt 2014/37

(73) Patentinhaber: **Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft**
80809 München (DE)

- **WEBER S ET AL: "Lean-alloyed austenitic stainless steel with high resistance against hydrogen environment embrittlement", MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A: STRUCTURAL MATERIALS:PROPERTIES, MICROSTRUCTURE & PROCESSING, LAUSANNE, CH, Bd. 528, Nr. 25, 16. Juni 2011 (2011-06-16), Seiten 7688-7695, XP028258900, ISSN: 0921-5093, DOI: 10.1016/J.MSEA.2011.06.049 [gefunden am 2011-06-23]**

(72) Erfinder:

- **NAUMANN, Jörg**
85375 Neufahrn (DE)
- **LEISTNER, Wolfgang**
80999 München (DE)
- **THEISEN, Werner**
45527 Hattingen (DE)

EP 2 773 784 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 bezieht sich auf die Verwendung eines korrosionsbeständigen, warm- und kaltumformbaren und schweißbaren Stahl mit hoher Beständigkeit gegen wasserstoffinduzierte Versprödung im gesamten Temperaturbereich (-253 bis mindestens + 100°C) insbesondere zwischen -100°C und Raumtemperatur (+25°C) für die Wasserstofftechnik in Kraftfahrzeugen. Der vorgeschlagene Stahl ist für alle mit Wasserstoff in Kontakt stehenden metallischen Bauteile geeignet, wie zum Beispiel Wasserstofftanks, Liner, Boss, Ventile, Leitungen, Federn, Wärmetauscher, Fittings oder Faltenbälge.

[0002] Aus US 2008/0292489 A1 ist ein korrosionsbeständiger, austenitischer Stahl mit 8 bis 15 Masse-% Nickel und bis zu 3 Masse-% Molybdän bekannt, der sich durch eine hohe Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen von 650 bis 800°C auszeichnet und für Kraftwerke geeignet ist, um deren Emissionswerte und Wirkungsgrad zu verbessern.

[0003] Stahl, der über längere Zeit einer mechanischen Belastung in Wasserstoffatmosphäre ausgesetzt ist, unterliegt der Wasserstoffversprödung. Eine Ausnahme bilden nichtrostende austenitische Edelstähle mit hohem Nickelgehalt wie der Werkstoff 1.4435, X2CrNiMo18-14-3. Ein Nickelgehalt von mindestens 12,5 Masse-% wird bei diesen austenitischen Stählen als notwendig erachtet, um eine ausreichende Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung im gesamten Temperaturbereich (-253 bis mindestens + 100°C) und Druckbereich (0,1 bis 87,5100 MPa) zu erzielen. Nickel ist jedoch, wie auch Molybdän, ein sehr teures Legierungselement, so dass vor allem für eine Massenfertigung z.B. von Tankkomponenten im Kfz-Bereich kostengünstige wasserstoffbeständige Stähle fehlen.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen kostengünstigen Stahl für die Wasserstofftechnik in Kraftfahrzeugen bereitzustellen, der gegen wasserstoffinduzierte Versprödung im gesamten Temperaturbereich insbesondere im Bereich der maximalen Wasserstoffversprödung zwischen Raumtemperatur und - 100°C resistent ist, keinen ausgeprägten duktil-spröden Übergang bei tiefen Temperaturen aufweist, Korrosionsbeständigkeit aufweist und sich gut warm- und kaltumformen sowie schweißen lässt.

[0005] Dies wird erfindungsgemäß mit einem Stahl folgender Zusammensetzung erreicht:

0,01-0,4 Masse-%, vorzugsweise $\leq 0,20$ Masse-%, bevorzugt mindestens 0,02 Masse-% und insbesondere 0,06-0,16 Masse-% Kohlenstoff,
 $\leq 3,0$ Masse-%, insbesondere 0,05-0,8 Masse-% Silizium,
 4-20, insbesondere 6-15 Masse-% Mangan,
 10,5-30 Masse-%, vorzugsweise 10,5-23 Masse-%, insbesondere höchstens 20 Masse-% Chrom,
 4-12,5 Masse-%, vorzugsweise 5-10 Masse-%, insbesondere höchstens 9 Masse-% Nickel,
 1,0 Masse-%, insbesondere $\leq 0,40$ Masse-% Molybdän,
 $\leq 0,20$ Masse-%, insbesondere $\leq 0,08$ Masse-% Stickstoff,
 1,5-6,0 Masse-% Aluminium,
 ≤ 4 Masse-% Kupfer, insbesondere 0,3-3,5 Masse-% Kupfer
 $\leq 0,1$ Masse-%, vorzugsweise maximal 0,05 Masse-%, insbesondere maximal 0,03 Masse-% Bor,
 $\leq 1,0$ Masse-%, insbesondere $\leq 0,40$ Masse-% Wolfram,
 $\leq 3,0$ Masse-%, insbesondere $\leq 2,0$ Masse-% Kobalt,
 $\leq 0,5$ Masse-%, insbesondere $\leq 0,3$ Masse-% Tantal,
 $\leq 2,0$ Masse-%, vorzugsweise 0,01-1,5 Masse-% wenigstens eines der Elemente: Niob, Titan, Vanadinum, Hafnium und Zirkon,
 $\leq 0,3$ Masse-%, vorzugsweise 0,01-0,2 Masse-% wenigstens eines der Elemente Yttrium, Scandium, Lanthan, Cer und Neodym,
 Rest Eisen und erschmelzungsbedingte Stahlbegleitelemente.

[0006] Der erfindungsgemäße Stahl kann also mit oder ohne Bor hergestellt sein.

[0007] Die untere Grenze des Gehalts des Silizium liegt im Allgemeinen bei 0,05 Masse-% und die des Kupfers bei 0,05 Masse-%.

[0008] Von den Mikrolegierungselementen sind insbesondere (a) Yttrium, Scandium, Lanthan, Cer und (b) Zirkon und Hafnium relevant.

[0009] Der Stahl kann einen Yttrium-Gehalt von 0,01 bis 0,2, insbesondere bis 0,10 Masse-% aufweisen, wobei Yttrium ganz oder teilweise durch 0,01 bis 0,2, insbesondere bis 0,10 Masse-% eines der Elemente: Scandium, Lanthan oder Cer ersetzt sein kann.

[0010] Der Hafnium- und der Zirkon-Gehalt beträgt jeweils vorzugsweise 0,01 bis 0,2, insbesondere bis 0,10 Masse-%, wobei Hafnium oder Zirkon ganz oder teilweise durch 0,01 bis 0,2, insbesondere bis 0,10 Masse-% durch Titan ersetzt sein kann.

[0011] Die erschmelzungsbedingten Stahlbegleitelemente umfassen übliche produktionsbedingte Elemente (z.B. Schwefel und Phosphor) sowie weitere nicht gezielt hinzu legierte Elemente.

[0012] Dabei beträgt vorzugsweise der Phosphorgehalt $\leq 0,05$ Masse-%, der Schwefelgehalt $\leq 0,4$ Masse-%, insbesondere $\leq 0,04$ Masse-%. Der Gehalt aller erschmelzungsbedingten Stahlbegleitelemente beträgt pro Element maximal 0,3 Masse-%.

[0013] Durch die Herabsetzung des Nickelgehaltes auf höchstens 12,5 Masse-%, insbesondere höchstens 9 Masse-%, die Herabsetzung des Molybdän-Gehaltes auf höchstens 1,0 Masse-%, vorzugsweise höchstens 0,4 Masse-%, insbesondere den völligen Entfall von Molybdän als Legierungselement können die Legierungskosten des Stahls drastisch gesenkt werden.

[0014] Trotz der Absenkung des Nickelgehaltes und fehlendem Molybdän (also ohne Molybdän-Zusatz) weist der Stahl sehr gute mechanische Eigenschaften in einer Wasserstoffatmosphäre im gesamten Temperaturbereich von -253°C bis mindestens $+100^{\circ}\text{C}$ und Druckbereich von 0,1 bis 100 MPa auf.

[0015] So weist der Stahl bei einer Prüftemperatur von -50°C und einem Gasdruck von 40 MPa Wasserstoff im Zugversuch bei einer Dehnrate von 5×10^{-5} 1/s eine "Relative Reduction of Area" (RRA) oder relative Brucheinschnürung (= Brucheinschnürung Z in Luft, Argon oder Helium geteilt durch die /Brucheinschnürung Z in Wasserstoff $\times 100\%$) von mindestens 80%, vorzugsweise mindestens 90% auf. Die entsprechende relative Zugfestigkeit R_{m} , relative Streckgrenze $R_{p0,2}$ und die relative Bruchdehnung R_{A5} betragen mindestens 90%. Der Stahl besitzt eine sehr gute Schweißbarkeit, keinen ausgeprägten duktil-spröden Übergang bei tiefen Temperaturen, eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine sehr gute Warm- und Kaltumformbarkeit.

[0016] Der Stahl kann lösungsgeglüht (AT) sein. Er kann auch kaltverformt, insbesondere kaltgezogen oder kaltgewalzt verwendet werden.

[0017] Der Stahl kann ein stabil austenitischer Stahl mit einem Austenit-Anteil von mindestens 90 Masse-% sein. Der Stahl kann jedoch auch als austenitisch-ferritischer Stahl (Duplex-Stahl) ausgebildet sein. So kann der δ -Ferrit-Anteil beispielsweise 10-90, insbesondere 10-60 Volumen-Prozent betragen. Bemerkenswerterweise liegt auch bei einem hohen δ -FerritGehalt eine sehr hohe Wasserstoffbeständigkeit vor.

[0018] So weist beispielsweise der Stahl A mit folgender Zusammensetzung (in Masse-%) :

0,06 - 0,16% C
0,05 - 0,3% Si
8 - 12% Mn
13,5 - 17,5% Cr
6 - 9% Ni
2,5 - 4,5% Al
0 - 0,04% B

[0019] Rest Eisen und erschmelzungsbedingte Stahlbegleitelemente ein austenitisch-ferritisches Gefüge (Duplex-Stahl) auf.

[0020] Der δ -Ferritgehalt des Stahls beträgt dabei 15 - 35 Volumen-%. Im lösungsgeglühten Zustand (AT) beträgt die Streckgrenze $R_{p0,2}$ bei -50°C in einer Wasserstoffatmosphäre von 40 MPa mehr als 500 MPa. Die relative Brucheinschnürung (= Brucheinschnürung Z in Helium geteilt durch die / Brucheinschnürung Z in Wasserstoff $\times 100\%$) beträgt dabei zwischen 85 und 100%.

[0021] Der Stahl weist eine hohe Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung im gesamten Temperaturbereich von -253°C bis mindestens $+100^{\circ}\text{C}$ und Druckbereich von 0,1 bis 100 MPa auf.

[0022] Der Stahl mit austenitisch-ferritischem Gefüge stellt damit einen kostengünstigen wasserstoffbeständigen Werkstoff mit hoher Festigkeit für die Wasserstofftechnik in Kraftfahrzeugen dar und ist deshalb insbesondere für Federn sehr gut geeignet.

[0023] Außerdem kann der Stahl für Vorrichtungen und Bauteile von Systemen zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff eingesetzt werden, insbesondere wenn die Vorrichtungen bzw. Bauteile mit Wasserstoff in Berührung kommen. Dies gilt insbesondere für Leitungen, Regeleinrichtungen, Ventile und andere Absperrorgane, Behälter, Wärmetauscher, Boss und Liner, Fittings, Drucksensoren usw. einschließlich Teile dieser Einrichtungen, wie z.B. Federn und Faltenbälge.

[0024] Aufgrund der hohen Streckgrenze $R_{p0,2}$ des Stahls kann bei den genannten Bauteilen signifikant Gewicht reduziert werden, wodurch sich der Kraftstoffverbrauch reduziert.

[0025] Der Stahl B mit folgender Zusammensetzung (in Masse-%):

0,06 - 0,16% C
0,05 - 0,3% Si
8 - 12% Mn
11 - 15% Cr
6 - 9% Ni

EP 2 773 784 B1

1,5 - 3,0% Al

0 - 4% Cu

0 - 0,04% B

- 5 **[0026]** Rest Eisen und erschmelzungsbedingte Stahlbegleitelemente weist ein stabil austenitisches Gefüge auf.
- [0027]** Der δ -Ferritgehalt des Stahls beträgt dabei weniger als 10 Volumen-Prozent. Im lösungsgeglühten Zustand (AT) beträgt die Streckgrenze $R_{p0,2}$ bei -50°C in einer Wasserstoffatmosphäre von 40 MPa 250 bis 300 MPa. Die relative Brucheinschnürung (= Brucheinschnürung Z in Helium / Brucheinschnürung Z in Wasserstoff $\times 100\%$) beträgt dabei zwischen 85 und 100%. Beim Kaltumformen dieses Stahl tritt nur eine sehr geringe Umwandlung des Austenits
- 10 in α' -Martensit von weniger als 5 Volumen-% bei einer Umformung von 75% bei -50°C Umformtemperatur auf. Dieser Stahl zeichnet sich deshalb durch eine sehr hohe Austenitstabilität aus.
- [0028]** Der Stahl mit stabil austenitischem Gefüge stellt damit einen kostengünstigen wasserstoffbeständigen Werkstoff für die Wasserstofftechnik in Kraftfahrzeugen dar.
- [0029]** Der Stahl kann insbesondere für Vorrichtungen und Bauteile von Systemen zur Erzeugung, Speicherung,
- 15 Verteilung und Nutzung von Wasserstoff eingesetzt werden, insbesondere wenn die Vorrichtungen bzw. Bauteile mit Wasserstoff in Berührung kommen. Dies gilt insbesondere für Leitungen, Regeleinrichtungen, Ventile und andere Absperrorgane, Behälter, Wärmetauscher, Boss und Liner, Fittings, Drucksensoren usw. einschließlich Teile dieser Einrichtungen, wie z.B. Federn und Faltenbälge.
- [0030]** Dabei kann zur Wasserstoffspeicherung ein (Hoch-)Druckbehälter, ein Kryo-(Hoch-)Druck-Behälter, oder ein
- 20 Flüssigwasserstoffbehälter aus dem erfindungsgemäßen Stahl eingesetzt werden.
- [0031]** Darüber hinaus eignet sich der Stahl auch für Anwendungen, die im lösungsgeglühten Zustand eine hohe Streckgrenze aufweisen müssen (Stahl A) oder eine hervorragende Kaltumformbarkeit oder Austenitstabilität insbesondere nach einer Kaltumformung benötigen (Stahl B).
- [0032]** In der nachstehenden Tabelle sind beispielsweise die Zusammensetzungen von erfindungsgemäß verwendeten Stählen wiedergegeben. Die Mengen eines jeden Elements in dem Stahl sind als Masse-%-Anteile ausgedrückt.
- 25 Für die Stähle Nr. 1 bis 7 sind die Ist-Werte angegeben und für die Stähle Nr. 8 bis 10 die Soll-Werte.

30

35

40

45

50

55

Stahl	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10
C	0,076	0,076	0,09	0,11	0,13	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12
Si	0,05	0,06	0,17	0,07	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Mn	9,8	9,4	10,0	9,9	10,1	9,7	9,8	10	10	10
P								≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,030
S								≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010
Cr	12,5	12,6	13,0	12,9	14,2	12,6	16,5	13	17	17
Ni	7,8	7,9	7,7	8,0	7,7	7,8	7,7	6	6	8
Mo							-	-	-	-
N							-	-	-	-
Al	2,9	2,7	2,7	2,5	3,9	2,6	2,8	2,5	2,5	1,8-2,0
Cu							-	3	-	-
B						0,02	-	-	-	-
δ-Ferrit (%) (berechnet aus Analyse)	10			21	6 (ohne B)	18	7	19	8	
δ-Ferrit (%) gemessen mit Ferritscope	0	0	0	0	27	1	23	-	-	-
mittlere Korngröße (µm)	39	38						-	-	-
Rm (MPa) Luft/H2 (bei -50°C 40 MPa)	656/711	656/713	666/688	663/639	865/808	705/659	855/798	-	-	-
Rp0,2 (MPa) Luft/H2 (bei -50°C 40 MPa)	256/276	256/283	303/306	287/287	541/520	282/277	505/515	-	-	-
Streckgrenzenverhältnis Luft/H2 (bei -50°C 40 MPa)	0,39/0,39	0,39/0,40	0,45/0,44	0,43/0,45	0,63/0,64	0,40/0,42	0,59/0,64	-	-	-
A5 (%) Luft/H2 (bei -50°C 40 MPa)	78/79	78/73	80/70,5	86/72	41/40	75/68	41/40	-	-	-
Z (%) Luft/H2 (bei -50°C 40 MPa)	83/69	83/75	83/71	80/73	71/62	79/74	68/67	-	-	-
RRA (%) (bei -50°C 40 MPa)	83	90	86	91	87	94	99	-	-	-

[0033] Durch den geringen Nickelgehalt von maximal 8 Masse-% und das Fehlen von Molybdän sind die Stähle Nr. 1 bis 10 sehr kostengünstig. Dies gilt insbesondere für die Stähle Nr. 8 und 9 mit lediglich 6 Masse-% Nickel.

[0034] Sämtliche Stähle besitzen eine hohe Festigkeit in einer Wasserstoffatmosphäre. So weisen im lösungsgeglühten Zustand (AT) die Stähle bei einer Prüftemperatur von -50°C und einem Gasdruck von Wasserstoff von 40 MPa im Zugversuch mit einer Dehnrage von 5×10^{-5} 1/s eine geringe relative Bruchdehnung (RRA) von höchstens mindestens 83 % (Stahl Nr. 1) und beim Stahl Nr. 7 sogar nur von 99% auf.

[0035] Der Stahl Nr. 6 weist durch den Zusatz von 200 ppm Bor eine hohe Zugfestigkeit (Rm) und Bruchdehnung (A5) in einer Wasserstoffatmosphäre bei 40 MPa auf. Da es für die Berechnung des δ -Ferritgehaltes, die den Borgehalt beinhaltet, keine Formel gibt, konnte Bor bei der Berechnung des δ -Ferritgehaltes des Stahls Nr. 6 nicht berücksichtigt werden.

[0036] Ferner ist die hohe Streckgrenze Rp0,2 der Stähle in der Wasserstoffatmosphäre sowohl in Helium als auch in Wasserstoff hervorzuheben, insbesondere der Duplex-Stähle mit austenitisch-ferritischem Gefüge Nr. 5 und 7 mit einem δ -Ferrit-Gehalt von 27 bzw. 23 Masse-%.

Patentansprüche

1. Verwendung eines korrosionsbeständigen, warm- und kaltumformbaren und schweißbaren Stahls mit hoher Beständigkeit gegen wasserstoffinduzierte Versprödung folgender Zusammensetzung:

0,01 bis 0,4 Masse-% Kohlenstoff,

≤ 3,0 Masse-% Silizium,

4 bis 20 Masse-% Mangan,

10,5 bis 30 Masse-% Chrom,

4-12,5 Masse-% Nickel,

≤ 1,0 Masse-% Molybdän,

≤ 0,2 Masse-% Stickstoff,

1,5 bis 6,0 Masse-% Aluminium,

4,0 Masse-% Kupfer,

≤ 0,1 Masse-% Bor,

≤ 1,0 Masse-% Wolfram,

≤ 5,0 Masse-% Kobalt,

≤ 0,5 Masse-% Tantal,

≤ 2,0 Masse-% wenigstens eines der Elemente:

Niob, Titan, Vanadium, Hafnium und Zirkon,

≤ 0,3 Masse-% wenigstens eines der Elemente:

Yttrium, Scandium, Lanthan, Cer und Neodym,

Rest Eisen und erschmelzungsbedingte Stahlbegleitelemente für die Wasserstofftechnik in Kraftfahrzeugen.

2. Verwendung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nickelgehalt höchstens 9 Masse-% beträgt.

3. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl 0,3-3,5 Masse-% Kupfer enthält.

4. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl 0,005-0,06 Masse-% Bor enthält.

5. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl Molybdän ≤ 0,40 Masse-% enthält.

6. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Chromgehalt 10,5 - 23 Masse-% beträgt.

7. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl 0,01 bis 0,2 Masse-% Yttrium enthält, wobei das Yttrium ganz oder teilweise durch 0,01 bis 0,2 Masse-% Scandium und/oder Lanthan und/oder Cer ersetzt sein kann.

8. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl 0,01 bis 0,2 Masse-% Hafnium und/oder Zirkon enthält, wobei das Hafnium oder Zirkon ganz oder teilweise durch 0,01 bis 0,2 Masse-% Titan ersetzt sein kann.
9. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl bis zu 0,3 Masse-% Tantal enthält.
10. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl bis zu 3,0 Masse-% Kobalt enthält.
11. Verwendung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl als austenitischer Stahl oder austenitisch-ferritischer Stahl (Duplex-Stahl) mit einem δ -Ferrit-Anteil von wenigstens 10 Masse-% ausgebildet ist.

Claims

1. Use of a corrosion-resistant, hot- and cold-workable and weldable steel with high resistance to hydrogen-induced embrittlement, of the following composition:

0.01 to 0.4% by weight carbon,
 $\leq 3.0\%$ by weight silicon,
4 to 20% by weight manganese,
10.5 to 30% by weight chromium,
4-12.5% by weight nickel,
 $\leq 1.0\%$ by weight molybdenum,
 $\leq 0.2\%$ by weight nitrogen,
1.5 to 6.0% by weight aluminium,
 $\leq 4.0\%$ by weight copper,
 $\leq 0.1\%$ by weight boron,
 $\leq 1.0\%$ by weight tungsten,
 $\leq 5.0\%$ by weight cobalt,
 $\leq 0.5\%$ by weight tantalum,
 $\leq 2.0\%$ by weight of at least one of the elements:
niobium, titanium, vanadium, hafnium and zirconium,
 $\leq 0.3\%$ by weight of at least one of the elements:
yttrium, scandium, lanthanum, cerium and neodymium,
remainder iron and steel accompanying elements which are caused by smelting, for hydrogen technology in motor vehicles.

2. Use according to Claim 1, **characterised in that** the nickel content is at most 9% by weight.
3. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains 0.3 - 3.5% by weight copper.
4. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains 0.005 - 0.06% by weight boron.
5. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains molybdenum $\leq 0.40\%$ by weight.
6. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the chromium content is 10.5 - 23% by weight.
7. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains 0.01 to 0.2% by weight yttrium, the yttrium possibly being replaced entirely or partly by 0.01 to 0.2% by weight scandium and/or lanthanum and/or cerium.
8. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains 0.01 to 0.2% by weight hafnium and/or zirconium, the hafnium or zirconium possibly being replaced entirely or partly by 0.01 to 0.2% by

weight titanium.

9. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains up to 0.3% by weight tantalum.

5 10. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel contains up to 3.0% by weight cobalt.

11. Use according to one of the preceding claims, **characterised in that** the steel is in the form of austenitic steel or austenitic/ferritic steel (duplex steel) with a δ -ferrite content of at least 10% by weight.

10

Revendications

1. Utilisation d'un acier résistant à la corrosion, pouvant être mis en forme sous l'action de la chaleur et du froid et susceptible d'être soudé ayant une résistance élevée vis-à-vis de la fragilisation induite par l'hydrogène ayant la composition suivante :

15

0,01 à 0,4 % en masse de carbone,
 $\leq 3,0$ % en masse de silicium,
 4 à 20 % en masse de manganèse,
 10,5 à 30 % en masse de chrome,
 4 à 12,5 % en masse de nickel,
 $\leq 1,0$ % en masse de molybdène,
 $\leq 0,2$ % en masse d'azote,
 1,5 à 6,0 % en masse d'aluminium,
 $\leq 4,0$ % en masse de cuivre,
 $\leq 0,1$ % en masse de bore,
 $\leq 1,0$ % en masse de tungstène,
 $\leq 5,0$ % en masse de cobalt,
 $\leq 0,5$ % en masse de tantale,
 $\leq 2,0$ % en masse d'au moins l'un des éléments suivants :
 niobium, titane, vanadium, hafnium et zirconium,
 $\leq 0,3$ % en masse d'au moins l'un des éléments suivants :

20

25

30

yttrium, scandium, lanthane, cérium et néodyme,
 le reste étant constitué par du fer et des additifs d'acier conditionnés par la fusion,
 dans la technique d'hydrogène dans des véhicules.

35

2. Utilisation conforme à la revendication 1,
caractérisée en ce que
 la teneur en nickel de l'acier est au plus de 9 % en masse.

40

3. Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 l'acier renferme 0,3 à 3,5 % en masse de cuivre.

45

4. Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 l'acier renferme 0,005 à 0,06 % en masse de bore.

50

5. Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 l'acier renferme $\leq 0,40$ % en masse de molybdène.

55

6. Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 la teneur en chrome de l'acier est comprise entre 10,5 et 23 % en masse.

7. Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,

caractérisée en ce que

l'acier renferme 0,01 à 0,2 % en masse d'yttrium, l'yttrium pouvant être remplacé en totalité ou en partie par 0,01 à 0,2 % en masse de scandium et/ou de lanthane et/ou de cérium.

- 5 **8.** Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'acier renferme 0,01 à 0,2 % en masse de hafnium et/ou de zirconium, le hafnium ou le zirconium pouvant être remplacés totalement ou partiellement par 0,01 à 0,2 % en masse de titane.
- 10 **9.** Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'acier renferme jusqu'à 0,3 % en masse de tantale.
- 15 **10.** Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'acier renferme jusqu'à 3,0 % en masse de cobalt.
- 20 **11.** Utilisation conforme à l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'acier est réalisé sous la forme d'un acier austénitique ou austénitique-ferritique (acier mixte) renfermant une proportion de ferrite δ d'au moins 10% en masse.

25

30

35

40

45

50

55

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

- US 20080292489 A1 [0002]