



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 323010

(13) B1

(51) Int Cl.

*C22C 38/44 (2006.01)*

*C22C 38/50 (2006.01)*

*B23K 9/167 (2006.01)*

*B23K 9/173 (2006.01)*

Patentstyret

---

|      |           |            |      |                           |                              |
|------|-----------|------------|------|---------------------------|------------------------------|
| (21) | Søknadsnr | 19981373   | (86) | Int.inng.dag og søknadsnr | 1996.09.27<br>PCT/JP96/02834 |
| (22) | Inng.dag  | 1998.03.26 | (85) | Videreføringsdag          | 1998.03.26                   |
| (24) | Løpedag   | 1996.09.27 | (30) | Prioritet                 | 1995.09.27, JP, 249661/95    |
| (41) | Alm.tilgj | 1998.05.28 |      |                           |                              |
| (45) | Meddelt   | 2006.12.27 |      |                           |                              |

|      |            |                                                                                                                                                                    |  |  |  |
|------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| (73) | Innehaver  | Sumitomo Metal Industries Ltd , 5-33, Kitahama 4-chome, Chuo-ku, 541-0041 OSAKA-SHI, OSAKA, JP                                                                     |  |  |  |
| (72) | Oppfinner  | Kazuhiro Ogawa, Nishinomiya-shi, Hyogo, JP<br>Masakatsu Ueda, Shiki-gun, Nara, JP<br>Kunio Kondo, Sanda-shi, Hyogo, JP<br>Masaaki Igarashi, , Sanda-shi, Hyogo, JP |  |  |  |
| (74) | Fullmektig | Bryn & Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, NO                                                                                                             |  |  |  |

---

|      |                       |                                                                           |  |  |  |
|------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| (54) | Benevnelse            | <b>Sveiset høystyrke-stålstruktur med utmerket korrosjonsbestandighet</b> |  |  |  |
| (56) | Anførte publikasjoner | JP 08-057683<br>JP 60-165364<br>US 5 049 210                              |  |  |  |

- (57) Sammendrag
- Sveiset høystyrke-stålstruktur med utmerket SSC- og korrosjonsbestandighet i et vått karbondioksidmiljø med lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon En konstruksjon med en Vickers hardhet på det meste 350 og en skjøt-strekkstyrke på minst 620 MPa og bestående av et grunnmetall omfattende et martensittisk rustfritt stål med en martensittisk eller herdet martensittisk struktur inneholdende 0,001 til 0,05%C og 9 til 14% Cr og et sveisemetall omfattende et austenittisk-ferrittisk rustfritt stål med en dobbelt struktur bestående av austenitt og 35 til 75 volum% ferritt og inneholdende 22 til 27% Cr, 7 til 11 % Ni og 1, 5 til 5% Mo, og på det meste 0,03% C som en forurensning.

Foreliggende oppfinnelse angår sveisede stålstrukturer (structures) med utmerket korrosjonsbestandighet i et vått karbondioksid-miljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon mettet med hydrogensulfid med et partialtrykk på mindre enn omtrent 1013 Pa (0,01 atm). Spesielt angår oppfinnelsen sveisede stålstrukturer med høy styrke, slik som avsvovlingsmidler for oljeraffinerier, beholdere, rørsystem for geotermiske anlegg, spesielt olje- eller naturgass-rørsystemer, i hvilke både grunnmetall og sveiset del er upåvirkelig for sprekkdannelse p.g.a. sulfidspenning eller korrosjonsskader selv når det blir brukt i det ovenfor nevnte miljø.

Et vått karbondioksid-miljø med lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon forekommer ofte med materialer brukt i områdene for utvinning, transport, raffinering, lagring og lignende av olje og naturgass, og er således et betydelig miljø for disse industriområder. Kraftindustrien, den kjemiske synteseindustri og lignende, som understøtter det moderne samfunn, avhenger av råolje, naturgass og lignende. Råolje og naturgass er også vanskelig å sikre eller utnytte uten materialer som er motstandsdyktige overfor miljøet. Følgelig er det ikke for mye å si at materialer som er motstandsdyktige overfor miljøet understøtter det moderne samfunn.

For sveisede stålstrukturer brukt i miljøet, er de mest viktige problemer å løse sprekkdannelse p.g.a. sulfidspenning (heretter referert til som SSC) i den varmepåvirkede sonen (heretter referert til som HAZ) av et stål og korrosjonsbestandighet av et sveisemetall. SSC i HAZ henviser til forekomst av SSC i HAZ størknet ved sveising. Her refererer SSC til hydrogen-fremkalt sprekkdannelse, dvs. spekkdannelse fremkalt ved inntreden av hydrogen generert ved en katodisk reaksjon i stål, og skiller seg fra sprekkdannelse p.g.a. korrosjon (heretter referert til som SCC) ledsaget av en anodisk reaksjon fulgt av oppløsning av elektrode.

Korrosjon av et sveisemetall henviser til både «korrosjon fremkalt ved å finne hydrogensulfid» inneholdt i våt karbondioksidgass og «korrosjon fremkalt ved våt karbondioksidgass». En type korrosjon tilsvarer både generell korrosjon og gropdannelses-korrosjon av et sveisemetall. Korrosjon fremkalt ved hydrogensulfid er kalt «hydrogensulfid-korrosjon». Spesielt, korrosjon som kommer til syne i form av sprekkdannelse og er ledsaget av en anodisk reaksjon som får elektroden til å oppløses, er kalt SCC.

Som det vil beskrives senere, er sveisede stålstrukturer, for eksempel sveiset rørsystem, utholdende ved langtidsbruk i miljøet så langt begrenset til disse

som er fremstilt av dyre materialer. I de ovenfor nevnte oljeutvinnings- og lignende industrier, har det følgelig vært stor etterspørsel etter rimelige sveisede stålstrukturer med SSC-bestandighet og korrosjonsbestandighet.

Den allment tilgjengelige japanske patentsøknad (kokai) nr. 8-57683 beskriver en metode for sveising av stål med høyt Cr-innhold. Den viser imidlertid ikke noen kjemisk sammensetning av sveisemetallet og hardhet og strekkfasthet til den sveisede skjøten.

Som beskrevet av oppfinnerne av foreliggende oppfinnelse i allment tilgjengelige japanske patentsøknad (Kokai) nr. 5-287455, oppviser lavkarbon-rustfritt stål inneholdende Mo og 13% Cr tilstrekkelig korrosjonsbestandighet i et vått karbondioksid-miljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon og er benyttet av mange brukere som materiale for et oljebrønnsrør. Det vil si at lavkarbon-rustfritt stål inneholdende Mo og 13% Cr reiser ingen problemer som materiale for et oljebrønnsrør med mindre sveising er involvert.

Imidlertid, når en sveiset stålstruktur sammensatt av lavkarbon-rustfritt stål inneholdende Mo og 13% Cr tjener som et grunnmetall og et stål med de samme kjemiske sammensetninger som det av grunnmetallet, som tjener som et sveisemateriale, benyttes i et vått karbondioksid-miljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon, opptrer SSC i HAZ, og et sveiset metall oppviser en relativt høy korrosjonshastighet. Således svikter den sveisede stålstrukturen i å tåle å bli brukt i miljøet.

Ved sammenligning oppviser en sveiset stålstruktur som gjør bruk av Cr-konsentrasjonsreducerende dobbelt rustfritt stål inneholdende 22% Cr som både et grunnmetall og et sveisemetall, utmerket SSC-bestandighet og korrosjonsbestandighet i det forannevnte miljø (M. Ueda et al.; «Performance of high corrosion resistant duplex stainless steel in chloride and sour environments, Corrosion/93, Paper No. 125, NACE International, Houston (1993)).

Følgelig er det i et vått karbondioksid-miljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon blitt brukt en sveiset stålstruktur sammensatt av et grunnmetall formet av dobbelt rustfritt stål inneholdende 22% Cr og et sveisemetall formet av dobbelt rustfritt stål inneholdende 22% Cr. Spesielt blir sveiset rørsystem som anvender sømløse rør som et grunnmetall, brukt i et slikt miljø.

Imidlertid er dobbelt rustfritt stål inneholdende 22% Cr mer kostbart og dårligere i styrke enn rustfritt stål inneholdende 13% Cr.

Et mål med den foreliggende oppfinnelse er å frembringe en rimelig sveiset høystyrke-stålstruktur (structure), spesielt sveiset rørsystem, som kan brukes i et vått karbondioksid-miljø med lav  $H_2S$ -konsentrasjon, som sveiset eller etter å ha vært utsatt for ettersveise-varmebehandling (heretter referert til som PWHT), og

5 spesielt for å frembringe en sveiset stålstruktur med følgende utførelse.

Grunnmetall (inkludert HAZ):

(1) SSC oppstår ikke i et vått karbondioksid-miljø med lav  $H_2S$ -konsentrasjon.

(2) Utmerket korrosjonsbestandighet er oppvist i et vått karbondioksid-miljø med en lav  $H_2S$ -konsentrasjon.

10 (3) Styrken er høyere enn den til det konvensjonelt dobbelte rustfrie stål inneholdende 22% Cr (UNS (Unified Numbering System for Metals and Alloys) S31803) og er ikke lavere enn X80 som definert ved API (American Petroleum Institute)-standard.

(4) Kostnaden er lavere enn den til det konvensjonelt dobbelte rustfrie stål.

15 Sveisemetall:

(1) Utmerket korrosjonsbestandighet er oppvist i et vått karbondioksid-miljø med en lav  $H_2S$ -konsentrasjon.

(2) Styrken er høyere enn den til et sveisemetall formet av det konvensjonelt dobbelte rustfrie stål inneholdende 22% Cr (UNS S31803) og er ikke lavere enn

20 X80 som definert ved API-standard.

Sveiset stålstruktur:

(1) Brudd oppstår ikke i et sveisemetall i en strekktest av en sveiset skjøt, og en strekkstyrke (TS) på ikke mindre enn 620 MPa er frembrakt. 620 MPa er den lavere grense av den nominelle strekkstyrke av en X80-kvalitetsstål ifølge API-

25 standard.

Sammenlignet med en konvensjonell teknisk idé, er den fundamentale idé ifølge den foreliggende oppfinnelse ny ved at en sveiset stålstruktur, som oppviser alle de ovennevnte utførelsesegenskaper, er sammensatt av et grunnmetall formet av dobbelt rustfritt stål inneholdende 13% Cr, og et sveisemetall formet av

30 dobbelt rustfritt stål inneholdende 25% Cr.

Kjernen i den foreliggende oppfinnelse er å fremskaffe en stålstruktur hvis kjemiske sammensetning av grunnmetall og mikrostruktur, hvis kjemiske sam-

men setning av sveisemetall og mikrostruktur, hardhet, og sveiset skjøt-strekkstyrke er begrenset til de tilsvarende områder beskrevet nedenfor.

(1) En sveiset høystyrke-stålstruktur med utmerket korrosjonsbestandighet i et vått karbondioksid-miljø med en lav  $H_2S$ -konsentrasjon, omfattende et grunnmetall beskrevet nedenfor i (a) og et sveisemetall beskrevet nedenfor i (b) og med en Vickers hardhet på ikke mer enn 350 og en sveiset skjøt-strekkstyrke på ikke mindre enn 620 MPa (første aspekt av oppfinnelsen).

(a) Et martensittisk rustfritt stål hvis kjemiske sammensetning inkluderer, på vektbasis, 0,001% til 0,05% C og 9% til 14% Cr og eventuelt Si: ikke høyere enn 1%; Mn: ikke høyere enn 5%; Ni: 0,5% til 7%; sol. Al: 0,001% til 0,2%; Mo: 0% til 4%; Cu: 0% til 3%; W: 0% til 5%; Ti: 0% til 0,2%; Nb: 0% til 0,2%; Zr: 0% til 0,2%; Ca: 0% til 0,01%; B: 0% til 0,01%; og balansen: Fe og uunngåelige forurensninger inneholdende ikke høyere enn 0,03% P og ikke høyere enn 0,01% S, og hvis mikrostruktur er av den martensittiske fase eller herdede martensittiske fase,

(b) et austenittisk-ferrittisk rustfritt stål hvis kjemiske sammensetning inkluderer, på vektbasis, 22% til 27% Cr, 7% til 11% Ni, 1,5% til 5% Mo, og eventuelt Si: ikke høyere enn 1%; Mn: ikke høyere enn 2%; sol. Al: 0,005% til 0,1%; N: 0,05% til 0,4%; Cu: 0% til 2%; W: 0% til 3,5%; Ti: 0% til 0,15%; Nb: 0% til 0,15%; Zr: 0% til 0,15%; Ca: 0% til 0,01%; B: 0% til 0,01%; og balansen: Fe og unngåelige forurensninger inneholdende ikke høyere enn 0,03% C, ikke høyere enn 0,02% P, og ikke høyere enn 0,01% S og hvis mikrostruktur er en dobbelt-struktur omfattende den austenittiske fase og 35% til 75 volum% av ferrittfasen.

(2) En sveiset stålstruktur som beskrevet ovenfor i det første aspekt av oppfinnelsen, hvori den kjemiske sammensetningen av et sveisemetall inneholder Mn, Cu, og W i en mengde beskrevet nedenfor i (c) (andre aspekt av oppfinnelsen).

(c) Mn: ikke høyere enn 1,5%; Cu: 0,3% til 2%; og W: 1,5% til 3,5%.

(3) En sveiset stålstruktur som beskrevet ovenfor i det første aspekt av oppfinnelsen, hvori den kjemiske sammensetning av et grunnmetall inneholder C, Mn, Cr, Ni, Mo, Ti, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i (d), og den kjemiske sammensetning av et sveisemetall inneholder Mo, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i (e) (tredje aspekt av oppfinnelsen).

(d) C: 0,001% til 0,01%; Mn: ikke høyere enn 0,5%; Cr: 11% til 14%; Ni: 4,5% til 7%; Mo: 1,5% til 4%; Ti: 0,01% til 0,2%, og Cu, W, Nb, og Zr er med hensikt ikke tilsatt.

(e) Mo: 2,5% til 5%; og Cu, W, Nb, og Zr er med hensikt ikke tilsatt.

(4) En sveiset stålstruktur som beskrevet ovenfor i det første aspekt av oppfinnelsen, hvori den kjemiske sammensetningen av et grunnmetall inneholder C, Mn, Cr, Ni; Mo, Ti, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i (d), og den kjemiske sammensetningen av et sveisemetall inneholder Mn, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i (f) (fjerde aspekt av oppfinnelsen).

(d) C: 0,001% til 0,01%; Mn: ikke høyere enn 0,5%; Cr: 11% til 14%; Ni: 4,5% til 7%; Mo: 1,5% til 4%; Ti: 0,01% til 0,2%; og Cu, W, Nb, og Zr er med hensikt ikke tilsatt.

(f) Mn: ikke høyere enn 1,5%; Cu: 0,3% til 2%; W: 1,5% til 3,5%; og Nb og Zr er med hensikt ikke tilsatt.

I beskrivelsen ovenfor refererer en sveiset stålstruktur til alle slags stålstrukturer konstruert ved sveising, for eksempel sveiset rørsystem.

Sveiset rørsystem refererer her til et overflatesveiset stålør som skal innlemmes i en struktur som del av strukturen. Sveiset rørsystem eller lignende kan bli benyttet som periferisk sveiset eller etter å ha vært utsatt for PWHT.

Fig. 1 er et skjematisk snitt som viser den periferisk (circumferentially) sveisede tilstand til et antall forskjellige stålør, hvori (a) viser minimum-enheten av rørsystem oppnådd ved periferisk sveising av sømløse stålør, (b) viser det av rørsystemet oppnådd ved periferisk sveising av stålør, hvert fremstilt ved langsgående sømsveising av stålplate, og (c) viser det av rørsystem oppnådd ved periferisk sveising av stålør, hvert fremstilt ved spiralsveising av en varmespole.

Det vil si at det ovennevnte stålør refererer til et stålør som tjener som et materiale. Et stålør som tjener som et materiale er ikke begrenset til et sømløst stålør, men refererer også til et stålør fremstilt ved sveising av stålplate eller en varmespole. Heri, når et stålør tjener som et komponent-materiale av en sveiset stålstruktur inkluderer en sveiset del, er stålørret også tiltenkt en sveiset stålstruktur. Det vil si at stålplaten eller varmespolen tilsvarer et grunnmetall som nevnt i den foreliggende oppfinnelse, og en sveiset del tilsvarer et sveisemetall som nevnt i den foreliggende oppfinnelse. Tilsvarende er en sveiset del til stede i et stålør

som tjener som et materiale hovedsakelig identisk med en sveiset del formet ved periferisk sveising for å bli ledet når stålrøret er innlemmet i en struktur. Således må sveisemetallet av en langstrakt sømsveiset del eller spiral-sveiset del ha en kjemisk sammensetning tilpasset de innholdsspektre som spesifisert i den foreliggende oppfinnelse. Videre må hele stålrøret, inkludert et sveisemetall og HAZ som tjener som et materiale, ha en Vickers hardhet på ikke mer enn 350, slik som i tilfellet med en periferisk sveiset del.

Vickers hardhet er en hardhet som er målt under en testlast på 1 kg (HV1).

Med uttrykket «strekkstyrken til en sveiset skjot av en sveiset stålstruktur tilfredsstiller en viss spenningsverdi» menes at brudd opptrer i et grunnmetall (base metal), ikke i et sveiset metall, i en strekktest av sveiset skjot, og en strekkstyrke som målt ved forekomsten av brudd tilfredsstiller den gitte spenningsverdi.

Et vått karbondioksid-miljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon tilsvarer, for eksempel, 5% NaCl-oppløsning mettet med H<sub>2</sub>S ved et partialtrykk på 1013 Pa (0,01 atm) og CO<sub>2</sub> ved et partialtrykk på 3 MPa (30 atm).

Heretter vil trekk av en sveiset stålstruktur ifølge den foreliggende oppfinnelse bli beskrevet.

Oppfinnerne til den foreliggende oppfinnelse studerte forskjellige typer rustfritt stål inneholdende 13% Cr for SSC av HAZ og studerte forskjellige typer av sveisemetall med høyt innhold av Cr for et korrosjonsfenomen, i et kunstig tilpasset, vått karbondioksid-miljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. Som et resultat ble det oppdaget de følgende fem tekniske punkter for en sveiset stålstruktur ifølge den foreliggende oppfinnelse.

(1) For å sikre en viss styrke i et grunnmetall, må mikrostrukturen i et grunnmetall være en enkeltfase av martensitt eller herdet martensitt.

(2) For å formidle tilstrekkelig SSC-bestandighet til et grunnmetall, spesielt til HAZ, i det ovenfor nevnte miljø, må styrke økes gjennom økning av innholdet av et legeringselement annet enn C og reduisering av C-innholdet tilsvarende, og hardheten av HAZ må bli begrenset til en Vickers hardhet på ikke mer enn 350. I tillegg til tilpasning av innholdet av et legeringselement når det gjelder styrken, må Cr-innholdet bli tilpasset til området 9% til 14% for å sikre korrosjonsbestandighet av et grunnmetall i det ovenfor nevnte miljøet.

(3) For å oppvise utmerket korrosjonsbestandighet i det ovenfor nevnte miljøet og en sveiseskjøt-strekkstyrke på ikke mindre enn 620 MPa, må et sveisemetall ha en dobbelt struktur sammensatt av ferritt og austenitt og ha en høy Cr-konsentrasjon, dvs. spesielt må sveisemetallet være et dobbelt rustfritt stål inneholdende

25% Cr.

(4) Et sveisemetall må ha en strekkstyrke slik at grunnmetallet brekker i en strekktest av en sveiset skjøt, og må ha en hardhet ikke over en viss grense.

(5) Når det ovenfor nevnte miljøet høyst sannsynlig vil fremkalle forekomster av SSC, må innholdet av C og Mn av et grunnmetall være begrenset, tillegg av Ti må være gjort obligatorisk, og hardheten av HAZ må bli styrt til et lavere nivå.

Den foreliggende oppfinnelse er komplettert ved å kombinere de ovenfor nevnte punkter (1) til (5).

Fig. 1 er en skjematisk skisse som viser sveiset rørsystem oppnådd ved sveising av forskjellige typer stålrør, hvori (a) viser sveiset rørsystem oppnådd ved periferisk sveisede sømløse stålrør, (b) viser hva som er oppnådd ved periferisk sveising av stålrør, hvert av hvilke er fremstilt ved langstrakt sømsveising av en stålplate, og (c) viser hva som er oppnådd ved periferisk sveisede stålrør, hvert av hvilke er fremstilt ved spiralsveising av en varmespole.

Grunnen til begrensningene slik de er definert i den foreliggende oppfinnelse vil nå bli beskrevet.

I den foreliggende oppfinnelse er det første aspektet ved oppfinnelsen grunnleggende, og det andre til fjerde aspektet ved oppfinnelsen er foretrukne utførelsesformer av det første aspektet ved oppfinnelsen.

## 1. Første aspektet ved oppfinnelsen

Det første aspektet av oppfinnelsen retter sin anvendelse på et miljø som spenner fra en lav konsentrasjon til en høy konsentrasjon av hydrogensulfid inneholdt i en våt karbondioksidgass. Det vil si, et antatt miljø i hvilket det første aspektet av oppfinnelsen skal anvendes i, spenner fra et miljø med en relativ lav mulighet for SSC til et miljø med en relativ høy mulighet for SSC. Det første aspektet av oppfinnelsen omfatter dessuten det andre til og med det fjerde aspektet av oppfinnelsen, som er utførelsesformer av det første aspektet av oppfinnelsen.



(A) Kjemisk sammensetning og mikrostruktur

(a) Grunnmetall

(a-1) Kjemisk sammensetning

C: 0,001% til 0,05%

5        Når karboninnholdet er over 0,05%, overskrider hardheten av HAZ en Vickers hardhet på 350, resulterende i forekomsten av SSC. Derfor er den øvre grense av karboninnholdet bestemt å være 0,05%. Jo lavere karboninnholdet er, desto bedre. Imidlertid involverer oppnåelse av et karboninnhold lavere enn 0,001% en betydelig økning i kostnadene. Derfor er den nedre grense for karboninnholdet  
10        bestemt til å være 0,001%.

Cr: 9% til 14%

Cr er et grunnstoff som påvirker forbedringen av SSC-bestandigheten i nærværet av Mo. Når krominnholdet er lavere enn 9%, er ikke tilstrekkelig SSC-bestandighet oppnådd. Dessuten, når krominnholdet overstiger 14%, er en enkelt-  
15        fase av martensitt ikke etablert, men ferrittfasen er dannet med varierende kvalitet, noe som resulterer i en reduksjon i strekkstyrken. Således er krominnholdet bestemt til å være fra 9% til 14%.

Si: ikke høyere enn 1%

Si behøver ikke tilsettes. Imidlertid, hvis Si ikke blir tilsatt som et deoksidasjonsmiddel (deoxidizer), vil tapet av Al øke under deoksidasjon med Al, noe som er uøkonomisk. Således er Si fortrinnsvis tilsatt i en slik grad at fritt oksygen til  
20        stede i smeltet stål kan bli redusert til et tilstrekkelig lavt nivå; for eksempel, Si er tilsatt i en mengde ikke lavere enn 0,01%. Ved sammenligning, når silisiuminnholdet overstiger 1%, er varmebearbeidbarhet svekket. Derfor er silisiuminnholdet  
25        bestemt til ikke å være høyere enn 1%.

Mn: ikke høyere enn 5%

Mn behøver ikke tilsettes. Siden Mn imidlertid ikke bare påvirker deoksidasjon men også bindingen av S i form av MnS, er Mn fortrinnsvis tilført. Når manganinnholdet er lavere enn 0,1%, er disse påvirkninger ikke tilstrekkelig fremkalt.  
30        Således er Mn fortrinnsvis tilsatt i en mengde ikke lavere enn 0,1%. Imidlertid, når manganinnholdet overstiger 5%, er SSC-bestandigheten og varmebearbeidbarheten svekket. Derfor er den øvre grense for manganinnholdet bestemt til å være 5%.

**Ni: 0,5% til 7%**

Ni er tilført i en mengde på ikke lavere enn 0,5%, slik at mikrostrukturen av stål antar en enkeltfase av martensitt gjennom avkjøling for derved å oppnå en forutbestemt strekkstyrke. Ved sammenligning, når nikkelinholdet overstiger 7%,  
5 er rest-austenitt dannet med varierende kvalitet i mikrostrukturen, noe som resulterer i svekkelse i 0,2% styrkespenning. Derfor er nikkelinholdet bestemt til ikke å være høyere enn 7%.

**Mo: 0% til 4%**

Mo behøver ikke tilsettes. Siden Mo påvirker forbedringen av SSC-  
10 bestandigheten i nærværet av Cr, er Mo tilsatt når en ytterligere forbedring av SSC-bestandigheten er svekket. Imidlertid, når molybden-innholdet er lavere enn 0,5%, kan tilstrekkelig SSC-bestandighet ikke oppnås. Følgelig, når Mo skal tilsettes, er molybden-innholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,5%. Ved sammenligning, når molybden-innholdet overstiger 4%, er effekten mettet. Derfor er molybden-  
15 innholdet bestemt til ikke å være høyere enn 4%.

**Sol-Al: 0,001% til 0,2%**

Al påvirker rensing av mikrostruktur. For å oppnå virkning, må ikke sol.Al-innholdet være lavere enn 0,001%. Når imidlertid sol.Al-innholdet overstiger 0,2%, svekkes bearbeidbarheten. Derfor er sol.Al-innholdet bestemt til å være mellom  
20 0,001% og 0,2%.

**Ti: 0% til 0,2%**

Ti behøver ikke tilsettes. Imidlertid, siden tilsettingen av Ti påvirker reduseringen innholdet av fast-løsning karbon i HAZ for derved å undertrykke økningen av hardhet i martensittfase, tilføres Ti for å sikre SSC-bestandighet i et hardt miljø.  
25 Når titan-innholdet er lavere enn 0,01% er mengden av C som skal bestemmes/fastslås i form av TiC ikke tilstrekkelig. Følgelig, når Ti skal tilsettes, er titan-innholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,01%. Imidlertid, når titan-innholdet overstiger 0,2%, er effekten mettet. Derfor er titan-innholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,2%.

30 **Cu: 0% til 3%**

Cu behøver ikke tilsettes. Imidlertid, siden Cu, når tilsatt, påvirker forbedringen av korrosjonsbestandigheten i et miljø med så lav pH som omtrent 2, tilsettes fortrinnsvis Cu i tilfelle anvendelse i slikt et miljø. Når kopperinnholdet er lavere

enn 0,3%, blir ikke effekten tydelig fremkalt. Følgelig, når Cu skal tilføres, er kop-  
perinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,3%. Ved sammenligning, når kop-  
perinnholdet overstiger 3%, er virkningen mettet, og overflateegenskapen til et plate-  
emne blir svekket. Derfor er kopperinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn  
5 3%.

W: 0% til 5%

W behøver ikke tilsettes. Imidlertid påvirker W, slik som Mo, forbedringen  
av bestandigheten til sjøvannskorrosjon. Når wolframinnholdet er lavere enn 1,5%,  
blir ikke effekten betydelig fremkalt. For å oppnå effekten blir W fortrinnsvis tilsatt i  
10 en mengde ikke lavere enn 1,5%. Ved sammenligning, når wolframinnholdet over-  
stiger 5%, blir effekten av tilsetning av W mettet i den foreliggende oppfinnelse.  
Derfor er wolframinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 5%.

Nb: 0% til 0,2%

Nb behøver ikke tilsettes. Imidlertid påvirker Nb fremskyndelsen av karbo-  
15 nitrider for derved å forbedre styrken eller 0,2% styrkespenning. Således blir Nb  
tilsatt når et høystyrke-stål skal oppnås gjennom oppnåelse av effekten.  
Imidlertid, når niobinnholdet er lavere enn 0,02%, er ikke effekten tilstrekkelig.  
Følgelig, når Nb skal tilsettes, er niobinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,02%.

Zr: 0% til 0,2%

20 Zr behøver ikke tilsettes. Siden Zr, i likhet med Ti, påvirker binding (fixation)  
av C i form av ZrC for derved å minke hardheten av HAZ, tilsettes Zr når bestan-  
digheten av SSC skal forbedres ytterligere. Når zirkoniuminnholdet er mindre enn  
0,02%, er effekten ikke eksplisitt fremstilt. Følgelig, når Zr skal tilsettes, er det fo-  
retrukket at innholdet av zirkonium ikke er mindre enn 0,02%. I motsetning, når  
25 innholdet av zirkonium overstiger 0,2%, minker snarere SSC bestandigheten. Så-  
ledes er innholdet av zirkonium bestemt å være ikke høyere enn 0,2%.

Ca: 0% til 0,01%

Ca behøver ikke tilsettes. Ca, når dette tilsettes, danner sterke oksysulfider  
(oxysulfides) og forbedrer dermed SSC bestandigheten. Siden oksysulfidene ikke  
30 forlenges ved valsing/rulling og ikke svekker bearbeidbarheten, tilsettes Ca når  
høy SSC bestandighet og bearbeidbarhet er påkrevet. Når innholdet av Ca er  
mindre enn 0,001%, blir effekten beskrevet ovenfor ikke eksplisitt fremstilt. Følge-  
lig, når Ca skal tilsettes, er det foretrukket at innholdet av kalsium ikke er mindre

enn 0,001%. I motsetning, når innholdet av kalsium overstiger 0,01%, øker mengden av ikke-metalliske innleiringer i stål. Således er innholdet av kalsium bestemt å være ikke høyere enn 0,01.

B: 0% til 0,01%.

5 B behøver ikke tilsettes. Siden B, når tilsatt, påvirker økningen av korn-grenseflater for derved å forbedre SSC-bestandigheten, er B tilsatt når SSC-bestandigheten ytterligere skal forbedres. Når borinnholdet er lavere enn 0,0005%, blir effekten ikke tydelig fremkalt. Følgelig, når B skal tilsettes, er borinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,0005%. Ved sammenligning, når borinn-  
10 holdet overstiger 0,01%, blir grov-karboborider generert, slik at SSC-bestandigheten blir heller svekket. Derfor er borinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,01%.

P: ikke høyere enn 0,03%

Når innholdet av P som en uunngåelig forurensning overstiger 0,03%, øker  
15 den potensielle forekomsten av SSC i et hydrogensulfid-miljø. Følgelig er fosforinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,03%.

S: ikke høyere enn 0,01%

Når innholdet av S som en uunngåelig forurensning overstiger 0,01%, blir varme-  
bearbeidbarheten svekket. Derfor er svovelinholdet bestemt til ikke å være høye-  
20 re enn 0,01%.

#### (a-2) Mikrostruktur

Mikrostrukturen av et grunnmetall må være av en enkeltfase av martensitt eller herdet martensitt. Hvis austenitt eller ferritt er dannet med varierende kvalitet,  
25 oppnås ikke tilstrekkelig styrke.

Et stålrør eller stålprodukt med den ovenfor nevnte kjemiske sammensetning blir avkjølt for derved å anta en martensittisk enkeltfase-struktur, og, som påkrevet, er deretter herdet for derved å anta en herdet martensitt-struktur; således er forutbestemte mekaniske egenskaper gitt dertil. Et sømløst stålrør eller stålplate  
30 er avkjølt gjennom «off-line»-oppvarming eller direkte «on-line»-avkjøling. Et sømløst stålrør og en stålplate er begge herdet «off-line» eller «on-line». En varmespole antar en martensittisk struktur gjennom avkjøling utført mellom slutten av avslutnings-rulling og start av spoling. Den således avkjølte varmespole gjen-

nomgår bearbeiding eller er herdet før den gjennomgår bearbeiding. En varmebehandlet eller termomekanisk behandlet ståplate eller varmespole er bearbeidet og utsettes deretter vanlig sveising, som vil bli beskrevet senere, til derved å bli et stålrør.

5

#### (b) Sveisemetall

Et antatt miljø i hvilket det første aspektet ved oppfinnelsens sveisemetall skal anvendes, strekker seg også fra et miljø med relativ lav mulighet for forekomst av SSC til et miljø med en relativ høy mulighet for forekomst av SSC. Som  
 10 nevnt tidligere omslutter innholdsområdene av de kjemiske sammensetninger av sveisemetallet ifølge det første aspektet ved oppfinnelsen, alle innholdsområdene av de kjemiske sammensetningene ifølge det første til det fjerde aspektet ved oppfinnelsen, hvilke er utførelsesformer av oppfinnelsen.

#### 15 (b-1) Kjemisk sammensetning

Cr: 22% til 27%

Cr er et grunnstoff som påvirker forbedringen av bestandigheten til hydrogensulfid-korrosjon (hovedsakelig bestandighet til sprekkdannelse p.g.a. korrosjonsspenning) i nærværet av Ni og Mo. Hydrogensulfid-korrosjon er et generisk  
 20 uttrykk som henviser til korrosjon i et miljø som inneholder  $H_2S$ , som nevnt tidligere, og inkluderer sprekkdannelse, generell sprekkdannelse, og lokal korrosjon.

Når krominnholdet er lavere enn 22%, mislykkes N å være i form av fast oppløsning i en mengde som er ønskelig for oppnåelse av en påkrevet strekkstyrke, og tilstrekkelig korrosjonsbestandighet oppnås ikke. Ved sammenligning, når  
 25 krominnholdet overstiger 27%, er intermetalliske forbindelser slik som sigma ( $\sigma$ ) - fase generert, noe som medfører sprøhet. Derfor er krominnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 27%.

Ni: 7% til 11%

Ni påvirker forbedringen av bestandigheten til hydrogensulfid-korrosjon og  
 30 oppnåelsen av en dobbeltstruktur for et sveisemetall. For at et «as-welded»-sveisemetall skal oppnå en optimal ferritt-prosent på fra 35 volum% til 75 volum% i perioder for bestandighet til hydrogensulfid-korrosjon, er nikkellinnholdet bestemt til å være fra 7% til 11%. Når nikkellinnholdet er lavere enn 7%, overstiger ferritt-

prosenten 75 volum%; når nikkelinholdet overstiger 11%, blir ferritt-prosenten lavere enn 35 volum%. I ingen av tilfellene er tilstrekkelig korrosjonsbestandighet oppnådd.

Mo: 1,5% til 5%

5 Mo påvirker forbedringen av bestandigheten til sjøvannskorrosjon. Når molybdeninnholdet er lavere enn 1,5%, er bestandigheten til hydrogensulfid-korrosjon betydelig svekket. Ved sammenligning, når molybdeninnholdet overstiger 5%, er effekten mettet, og følgelig er en ytterligere betydelig forbedring av utførelse ikke oppnådd. Således er molybdeninnholdet bestemt til å være fra 1,5% til 5%.

10 C: Ikke høyere enn 0,03%

Når karboninnholdet overstiger 0,03%, er sprekkdannelse på grunn av spenningskorrosjon høyst sannsynlig å oppnå ved korn-grenseoverflater. Således er karboninnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,03%. Jo lavere karboninnholdet av et smeltemetall er, desto bedre.

15 Si: ikke høyere enn 1%

Si kan bli tilsatt som et deoksidiseringsmiddel (deoxidizer), imidlertid er ikke et positivt forsøk på å la Si bli igjen i et sveisemetall påkrevet. Si påvirker økningen av styrke. Imidlertid, når silisiuminnholdet er lavere enn 0,05%, blir økningen av styrke ikke tydelig påvirket. Følgelig, når Si skal tilsettes, er silisiuminnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,05%. Ved sammenligning, når silisiuminnholdet overstiger 1%, blir store innleiringer inneholdende Si generert, og utfellingen av sigma ( $\sigma$ ) -fasen blir tiltagende, noe som resulterer i en svekkelse i SSC-bestandighet. Følgelig er silisiuminnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 1%. I tilfellet med anvendelse i et slikt miljø som fremkaller en høyere sannsynlighet for forekomst av SSC, er silisiuminnholdet fortrinnsvis ikke høyere enn 0,5%.

25 Mn: ikke høyere enn 2%

Mn kan tilsettes som et deoksidiseringsmiddel (deoxidizer), imidlertid er et forsøk på å få Mn til å bli igjen i sveisemetall ikke påkrevet. Imidlertid, siden Mn påvirker økningen av styrke, når Mn skal tilsettes for å øke styrken, er manganinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,15%. Når manganinnholdet er lavere enn 0,15%, blir økningen av styrke ikke betydelig påvirket. Ved sammenligning, når manganinnholdet overstiger 2%, blir grove innleiringer inneholdende Mn generert, og utfellingen av sigma ( $\sigma$ ) -fasen blir tiltagende, noe som resulterer i en svekkelse

av SSC-bestandigheten. Følgelig, er manganinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 2%.

Sol.Al: 0,005% til 0,1%

Al påvirker sterkt deoksidasjon av et sveisemetall under sveising. Aluminiumoksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) og lignende dannet som et resultat av deoksidasjon tjener som fastforms-overgangskjerner eller omformingskjerner, og derved effektivt bidrar til rensing. Effekten blir mindre fremkalt med mindre sol.Al er til stede i sveisemetallet i en mengde på ikke lavere enn 0,005%. Ved sammenligning, når sol.Al-innholdet overstiger 0,1%, blir korrosjonsbestandigheten svekket. Derfor er sol.Al-innholdet bestemt til å være 0,005% til 0,1%.

N: 0,05% til 0,4%

N påvirker en betydelig forbedring i sjøvannsbestandighet og økningen av styrke i et sveisemetall gjennom fastløsnings-forsterkning. Imidlertid, når nitrogeninnholdet er lavere enn 0,05%, oppnås ikke en påkrevet strekkstyrke og korrosjonsbestandighet. Følgelig er nitrogeninnholdet bestemt til ikke å være lavere enn 0,05%. Ved sammenligning, når nitrogeninnholdet overstiger 0,4%, er blåse-hull (blow-holes) høyst sannsynlig generert i et plateemne eller lignende, hvor nitrider øker som ikke påvirker forsterkningen, og korrosjonsbestandighet av et sveisemetall blir svekket. Derfor er nitrogeninnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,4%.

Cu: 0% til 2%

Cu behøver ikke tilsettes. Imidlertid, siden Cu, når tilsatt, påvirker forbedringen av korrosjonsbestandigheten i et miljø med så lav pH som omtrent 2, blir Cu tilsatt når virkningen skal produseres. Når kopperinnholdet overstiger 2%, blir effekten mettet, og et plateemnes overflateegenskap blir svekket. Derfor er kopperinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 2%.

W: 0% til 3,5%.

W behøver ikke tilsettes. Imidlertid påvirker W, som Mo, forbedringen av bestandigheten av sjøvannskorrosjon og undertrykkelse av fremskyndelsen av en sprø fase. Således, når effekten skal produseres, blir W fortrinnsvis tilsatt. Når wolframinnholdet overstiger 3,5%, er effekten mettet. Derfor, når W skal tilsettes, må wolframinnholdet ikke være høyere enn 3,5%.

Ti: 0% til 0,15%

Ti behøver ikke tilsettes. Ti, når tilsatt, påvirker en reduksjon av hardhet gjennom binding av C i form av TiC i et sveisemetall. Følgelig når SSC-bestandigheten skal forbedres ved redusert hardhet av sveisemetallet, tilsettes Ti. Når titaninnholdet overstiger 0,15%, har sveisemetallet blitt vesentlig skjørt (embrittled). Således er titaninnholdet bestemt å være ikke høyere enn 0,15%.

Nb: 0% til 0,15%

Nb behøver ikke tilsettes. Siden Nb påvirker forbedret hardhet og 0,002% flytegrense, tilsettes Nb når effekten skal fremskaffes. Imidlertid, når innholdet av niob overstiger 0,15%, svekkes hardhet betydelig. Således er innholdet av niob bestemt å være ikke større enn 0,15%.

Zr: 0% til 0,15%

Zr behøver ikke tilsettes. Siden Zr, i likhet med Ti, påvirker reduksjon av hardheten av et sveisemetall, tilsettes Zr når hardheten skal reduseres ytterligere. Imidlertid, når innholdet av zirkonium overstiger 0,15%, er virkning (effect) mettet. Således er innholdet av zirkonium bestemt å være ikke høyere enn 0,15%.

Ca: 0% til 0,01%

Ca behøver ikke tilsettes. Imidlertid når Ca tilsettes binder dette S i form av oksysulfider for derved å forbedre korrosjonsbestandigheten til et sveisemetall. Følgelig blir Ca tilsatt i tilfellet av et korrosjonsmiljø med en relativt høy H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. Når kalsiuminnholdet er lavere enn 0,001%, blir effekten ikke betydelig fremkalt. Følgelig, når Ca skal tilsettes, er kalsiuminnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,001%. Ved sammenligning, når kalsiuminnholdet overstiger 0,01%, blir korrosjonsbestandigheten heller svekket. Derfor er kalsiuminnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,01%.

B: 0% til 0,01%

B behøver ikke tilsettes. Imidlertid påvirker B, når tilsatt, undertrykkelsen av utfelling av intermetalliske forbindelser slik som sigma ( $\sigma$ )-fase i et sveisemetall for derved å forbedre korrosjonsbestandigheten. Når borinnholdet er lavere enn 0,005%, blir effekten ikke betydelig fremkalt. Følgelig, når B skal tilsettes, er borinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,0005%. Ved sammenligning, når borinnholdet overstiger 0,01%, blir bornitrid, BN, generert, noe som resulterer i en svekkelse av korrosjonsbestandigheten. Derfor er borinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,01%.



P: ikke høyere enn 0,02%

Når innholdet av P som en uunngåelig forurensning overstiger 0,02%, øker den potensielle forekomsten av sprekkdannelse p.g.a. spenningskorrosjon i et hydrogensulfidmiljø. Følgelig er fosforinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,02%.

S: ikke høyere enn 0,01%

Når innholdet av S som en uunngåelig forurensning overstiger 0,01%, øker mottageligheten av SSC. Derfor er svovelinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,01%.

#### (b-2) Mikrostruktur

Ferrittprosenten av et smeltemetall må være fra 35 volum% til 75 volum% slik at det er optimalt i perioder med bestandighet til hydrogensulfid-korrosjon.

Når ferrittprosenten av et sveisemetall er lavere enn 35 volum%, er 0,2% styrkespenning ikke oppnådd. Ved sammenligning, når ferrittprosenten overstiger 75 volum%, fremskyndes nitriden i ferritt, følgelig er korrosjonsbestandighet i det ovenfor nevnte miljø svekket, og styrken er betydelig svekket.

(B) En sveiset stålstrukturs hardhet og strekkstyrken til en sveiset skjøt av en sveiset stålstruktur

#### Hardhet:

En sveiset stålstruktur ifølge den foreliggende oppfinnelse må ha en Vickers-hardhet ikke mer enn 350 over dens hele. Hvis en viss del av den sveisede stålstrukturen har en Vickers-hardhet som overstiger 350, vil SSC oppstå i delen når delen er i kontakt med et vått karbondioksidmiljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. I en sveiset stålstruktur har HAZ den største hardheten. Således, gjennom oppnåelse av en HAZ-hardhet på ikke mer enn 350, blir hardheten av hele stålstrukturen naturligvis ikke mer enn 350.

Når et grunnmetall og et sveisemetall har de ovenfor nevnte respektive kjemiske sammensetninger, har allikevel HAZ en Vickers-hardhet på ikke mer enn 350 i tilfellet med vanlig sveising. Vanlig sveising refererer til gass wolfram bue-sveising (heretter referert til som GTAW; også kalt TIG-sveising; automatisk sveising), gass metall bue-sveising (heretter referert til som GMAW; inkludert MIG-sveising; automatisk sveising), og beskyttet metall bue-sveising (heretter referert

til som SMAW; manuell sveising). Varmeeffekt i vanlig sveising rangeres vanligvis fra 7.000 J/cm til 40.000 J/cm.

Sveiset rørsystem beskrevet heri refererer til rørsystem oppnådd ved periferisk sveising av sømløse stålrør, stålrør som hvert er fremstilt ved spiralsveising av varmespole, eller stålrør hvor hvert er fremstilt ved trykk-arbeid og langstrakt sømsveising av en ståplate. Som nevnt tidligere inkluderer en sveiset del av en stålkonstruksjon ikke bare slik en periferisk sveiset del, men også den ovenfor nevnte spiralsveisede sone og langsgående sømsveisede del. Den langsgående søm av et stålrør fremstilt av et ståplate er vanligvis sveiset ved neddykket bue-sveising (heretter referert til som SAW), ikke ved de ovenfor nevnte sveisemetoder, ved en varmeeffekt høyere enn den ovenfor nevnte varmeeffekt.

Sveisede stålstrukturer beskrevet heri inkluderer også beholdere og lignende.

Strekkestyrke av en sveiset skjøl:

I en strekk-test av en sveiset skjøl må en målt strekkstyrke (TS) ikke være lavere enn 620 MPa, og et sveisemetall må ikke brekke. Bruddet av et sveisemetall må ikke oppstå, fordi hvis en sveiset stålstruktur har en mulighet til å brekke i en del annen enn et grunnmetall, blir utformingen av strukturen basert på styrken av et grunnmetall meningsløs.

En strekkstyrke som målt i en strekktest av en sveiset skjøl må ikke være mindre enn 620 MPa, fordi utformingen av en struktur antar at en sveiset stålstruktur som tjener som del av en struktur, har en sveiset skjøl-strekkestyrke på ikke mindre enn 620 MPa.

## 2. Andre aspekt ved oppfinnelsen

Det andre aspektet ved oppfinnelsen er forskjellig fra det første aspektet ved oppfinnelsen ved Mn-, Cu- og W-innholdet av et sveisemetall som beskrevet nedenfor (c). Andre legerings-komponenter av et sveisemetall og den kjemiske sammensetning av et grunnmetall er identiske til de i det første aspektet ved oppfinnelsen. Det andre aspektet ved oppfinnelsen er anvendelig til et korrosivt miljø som strekker seg hovedsakelig like bredt som anvendeligheten til det første aspektet ved oppfinnelsen, og er kjennetegnet ved at korrosjonsbestandigheten av

et sveisemetall blir forbedret, som sammenlignet med det først aspektet ved oppfinnelsen.

(c) Sveisemetall

Mn: ikke høyere enn 1,5%

5 Mn kan tilsettes som et deoksidningsmiddel; imidlertid er et forsøkt på å få Mn til å bli værende i sveisemetallet ikke påkrevet. Imidlertid, siden Mn påvirker økning av styrken, når Mn blir tilsatt for å øke styrken, er manganinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,15%. Når manganinnholdet er lavere enn 0,15%, påvirkes ikke styrken betydelig. Ved sammenligning, når manganinnholdet overstiger  
10 1,5%, blir grove innleiringer inneholdende Mn generert, og utfellingen av  $\sigma$ -fasen blir tiltagende, noe som resulterer i en svekkelse i SSC-bestandigheten. Følgelig er manganinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 1,5%.

Cu: 0,3% til 2%

15 Cu påvirker forbedringen av korrosjonsbestandighet i et miljø med så lav pH som omtrent 2. Når kobberinnholdet er lavere enn 0,3%, blir effekten ikke betydelig fremkalt. Følgelig er kobberinnholdet bestemt til ikke å være lavere enn 0,3%. Ved sammenligning, når kobberinnholdet overstiger 2%, blir effekten mettet, og overflateegenskapen av et plateemne blir svekket. Derfor er kobberinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 2%.

20 W: 1,5% til 3,5%

W, som Mo, påvirker forbedringen av bestandigheten til sjøvannskorrosjon og utelatelsen av utfellingen av en sprø fase. Når wolframinnholdet er lavere enn 1,5%, blir effekten ikke fremkalt i påkrevet grad. Følgelig er wolframinnholdet bestemt til ikke å være lavere enn 1,5%. Ved sammenligning, når wolframinnholdet  
25 overstiger 3,5%, blir effekten mettet. Derfor er wolframinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 3,5%.

3. Tredje aspekt ved oppfinnelsen

30 Det tredje aspektet ved oppfinnelsen er kjennetegnet ved å ha et grunnmetall som er i stand til å utelate forekomsten av SSC selv i et vått karbondioksidmiljø med en høy  $H_2S$ -konsentrasjon. Det tredje aspektet ved oppfinnelsen er forskjellig fra det første aspektet ved oppfinnelsen i C-, Mn-, Cr-, Ni-, Mo-, Ti-, Cu-, W-, Nb- og Zr-innholdet av et grunnmetall som beskrevet nedenfor i (d) og i Mo-,

Cu-, W-, Nb- og Zr-innholdet av et sveisemetall som beskrevet nedenfor (e). Andre legeringskomponenter av både grunnmetall og sveisesone er identiske med de i det første aspektet av oppfinnelsen.

(d) Grunnmetall

5 C: 0,001% til 0,01%

Når karboninnholdet er over 0,01%, overstiger HAZ-hardheten en Vickers-hardhet på 350, noe som resulterer i forekomsten av SSC i et miljø med en høy H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. Derfor er den øvre grense for karboninnholdet bestemt til å være 0,01%. Jo lavere karboninnhold, dess bedre. Imidlertid involverer oppnåelsen av et karboninnhold på lavere enn 0,001% en betydelig økning i kostnad. Derfor er den nedre grense av karboninnholdet bestemt til å være 0,001%.

Mn: ikke høyere enn 0,5%

Mn behøver ikke tilsettes. Imidlertid, siden Mn påvirker ikke bare deoksidasjon men også bindingen av S i form av MnS, blir Mn fortrinnsvis tilsatt. Når manganinnholdet er lavere enn 0,1%, er ikke disse påvirkninger tilstrekkelig fremkalt. Således blir Mn fortrinnsvis tilsatt i en mengde på ikke lavere enn 0,1%. Imidlertid, når manganinnholdet overstiger 0,5%, forekommer SSC høyst sannsynlig i et miljø med en høy H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. Derfor er den øvre grense av manganinnholdet bestemt til å være 0,5%.

20 Cr: 11% til 14%

Cr påvirker forbedringen av SSC-bestandigheten i nærværet av Mo. Når krominnholdet er lavere enn 11%, oppnås ikke tilstrekkelig SSC-bestandighet i et vått karbondioksidmiljø med en høy H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. Ved sammenligning, når krominnholdet overstiger 14%, blir en enkeltfase-martensitt ikke etablert, men ferrittfasen blir dannet med varierende kvalitet, noe som resulterer i en reduksjon av strekkstyrke. Således er krominnholdet bestemt til å være fra 11% til 14%.

Ni: 4,5% til 7%

Ni blir tilsatt i en mengde på ikke lavere enn 4,5% slik at stålets mikrostruktur antar en enkeltfase av martensitt selv ved et lavt karboninnhold ved avkjøling for derved å oppnå en forutbestemt strekkstyrke. Ved sammenligning, når nikkelinnholdet overstiger 7%, dannes rest-austenitt med varierende kvalitet i mikrostrukturen, noe som resulterer i 0,2% svekkelse i styrkespenning. Derfor er nikkelinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 7%.

Mo: 1,5% til 4%

Siden Mo påvirker forbedringen av SSC-bestandighet i nærværet av Cr, er Mo tilsatt i det tredje aspektet ved oppfinnelsen i hvilken en ytterligere forbedring av SSC-bestandigheten oppnås. Imidlertid, når molybdeninnholdet er lavere enn 1,5%, kan ikke tilstrekkelig SSC-bestandighet oppnås. Følgelig er molybdeninnholdet bestemt til å være ikke lavere enn 1,5%. Ved sammenligning, når molybdeninnholdet overstiger 4%, blir effekten mett. Derfor er molybdeninnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 4%.

Ti: 0,01% til 0,2%

Siden Ti påvirker minskningen av fast-løsning karbon inneholdt i HAZ for derved å undertrykke økningen av hardheten av den martensittiske fasen, er Ti et obligatorisk element i det tredje aspektet av den foreliggende oppfinnelse, som tilveiebringer sikker SSC-bestandighet i et strengt miljø. Når titaninnholdet er lavere enn 0,01%, er mengden av C som skal bindes i formen av TiC ikke tilstrekkelig. Følgelig, er titaninnholdet bestemt til ikke å være lavere enn 0,01%. Imidlertid, når titaninnholdet overstiger 0,2%, blir effekten mett, og hardheten blir betydelig svekket. Derfor er titaninnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 0,2%.

Cu, W, Nb, Z: med hensikt ikke tilsatt

Når andre elementer av den kjemiske sammensetning av det tredje aspektet ved oppfinnelsen faller innenfor de ovenfor nevnte innholdsområder, medfører heller tilsetningen av ethvert av Cu, W, Nb, og Zr en svekkelse av SSC-bestandighet eller fremkaller ingen forbedrende effekt. Følgelig er disse elementer bestemt til med hensikt ikke å tilsettes.

(e) Sveisemetall

Mo: 2,5% til 5%

Mo påvirker forbedringen av bestandighet til sjøvannskorrosjon. Når molybdeninnholdet er lavere enn 2,5%, blir bestandigheten til hydrogensulfidkorrosjon betydelig svekket i et sterkt korrosivt miljø. Ved sammenligning, selv når molybdeninnholdet overstiger 5%, blir en ytterligere betydelig forbedring av utførelse ikke oppdaget. Således er molybdeninnholdet bestemt til å være fra 2,5% til 5%.

Cu, W, Nb, Zr: med hensikt ikke tilsatt

Hvis Mo er inneholdt i en mengde som faller innenfor de ovenfor nevnte områder, oppviser et sveisemetall tilstrekkelig korrosjonsbestandighet selv når Cu, W, Nb, og Zr ikke blir tilsatt. Følgelig er disse elementer bestemt til med hensikt ikke å tilsettes.

#### 4. Fjerde aspekt ved oppfinnelsen

Et mål ifølge det fjerde aspektet ved oppfinnelsen er å gjøre både grunnmetall og sveisemetall i stand til å bli bestandige i et vått hydrogensulfidmiljø med en høy H<sub>2</sub>S-konsentrasjon. Følgelig begrenser det fjerde aspektet ved oppfinnelsen de kjemiske sammensetningene av både grunnmetall og sveisemetall til slike områder som skal være bestandige i det hardeste miljø blant miljøer til hvilke utførelsene i det første aspekt av oppfinnelsen skal anvendes.

Det fjerde aspektet ved oppfinnelsen er forskjellig fra det første aspektet av oppfinnelsen i C-, Mn-, Cr-, Ni-, Mo-, Ti-, Cu-, W-, Nb-, og Zr-innholdet av et grunnmetall og i Mn-, Cu-, W-, Nb-, og Zr-innholdet av et sveisemetall. Siden det fjerde aspektet ved oppfinnelsen har den samme kjemiske sammensetning av et grunnmetall som den til det tredje aspektet ved oppfinnelsen, er beskrivelsen av de kjemiske sammensetninger av et grunnmetall sløffet. Den kjemiske sammensetning av et sveisemetall er beskrevet nedenfor.

##### (f) Sveisemetall

Mn: ikke høyere enn 1,5%

Mn kan tilsettes som en deoksidiseringsmiddel; imidlertid er et forsøk på å få Mn til å bli igjen i sveisemetallet ikke påkrevet. Imidlertid, siden Mn påvirker økning av styrken, når Mn skal tilsettes for å øke styrken, er manganinnholdet fortrinnsvis ikke lavere enn 0,15%. Når manganinnholdet er lavere enn 0,15%, blir økningen av styrke ikke betydelig påvirket. Ved sammenligning, når manganinnholdet overstiger 1,5%, blir grove inklusjoner som inneholder Mn generert, og utfelling av  $\sigma$ -fasen blir tiltagende, noe som resulterer i en svekkelse i SSC-bestandigheten. Følgelig er manganinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 1,5%.

Cu: 0,3% til 2%

Cu påvirker forbedringen av korrosjonsbestandighet i et miljø med en så lav pH som omtrent 2. Når kopperinnholdet er lavere enn 0,3%, blir effekten ikke betydelig fremkalt. Følgelig er kopperinnholdet bestemt til å være lavere enn 0,3%.

Ved sammenligning, når kopperinnholdet overstiger 2%, blir effekten mettet, og plateemnets overflateegenskap blir svekket. Derfor er kopperinnholdet bestemt til ikke å være høyere enn 2%.

W: 1,5% til 3,5%

5 W, som Mo, påvirker forbedring av bestandigheten til sjøvannskorrosjon og undertrykkelsen av fremskyndelsen av en sprø fase. Når wolframinnholdet er lavere enn 1,5%, blir effekten ikke fremkalt i påkrevet grad. Følgelig er wolframinnholdet bestemt til ikke å være lavere enn 1,5%. Ved sammenligning, når wolframinnholdet overstiger 3,5%, blir effekten mettet. Derfor er wolframinnholdet bestemt til  
10 ikke å være høyere enn 3,5%.

Nb, Zr: med hensikt ikke tilsatt

Når W blir tilsatt som et obligatorisk element i en mengde som varierer mellom 1,5% og 3,5% som beskrevet ovenfor, behøver ikke tilsetningen av Nb og Zr å påvirke forbedringen av korrosjonsbestandigheten eller kan heller svekke korrosjonsbestandigheten. Således er Nb og Zr bestemt til ikke å tilsettes.  
15

## EKSEMPLER

Tabell 1 viser de kjemiske sammensetningene av grunnmetallene underkastet eksperimentet. Hver av ståltypene med de kjemiske sammensetninger vist i  
20 tabell 1 ble fremstilt i en smelteform ved bruk av en elektrisk ovn. Støpestålet ble rensset ved bruk av en Ar-oksygen-avkarburiseringsovn («decarburizing furnace») (AOD-ovn) for det formål å avsvovles. Deretter ble det rensede støpestålet støpt for å oppnå en støpeblokk med en diameter på 500 mm. Støpeblokken ble oppvarmet til 1200°C og så varme-smidd («hot-forged») for å oppnå en blokk («billett») med en diameter på 225 mm. Så ble blokken underkastet Mannesmann-  
25 prosessen for å oppnå et sømløst stålrør med en diameter på 168 mm og en veggtykkelse på 12 mm. Deretter ble det sømløse stålrøret avkjølt og herdet for å oppnå et stålrør (grunnmetall) med 0,2% styrkespenning på 80 ksi til 95 ksi (550 MPa til 654 MPa) ekvivalent til et X80-kvalitets stålrør som beskrevet i API-  
30 standard.

Tabell 1

(vekt%)

| Grunn-<br>metall nr. | C      | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Ni   | Mo  | sol.Al | Ti   |
|----------------------|--------|------|------|-------|-------|------|------|-----|--------|------|
| *M1                  | 0,003  | 0,32 | 2,50 | 0,04* | 0,003 | 9,3  | 0,3* | -   | 0,025  | -    |
| M2                   | 0,006  | 0,25 | 1,20 | 0,01  | 0,001 | 12,7 | 4,3  | 0,6 | 0,019  | 0,08 |
| M3                   | 0,007  | 0,19 | 0,43 | 0,01  | 0,001 | 12,1 | 5,5  | 2,0 | 0,011  | 0,09 |
| M4                   | 0,010  | 0,24 | 0,39 | 0,01  | 0,001 | 11,5 | 6,8  | 3,1 | 0,009  | 0,12 |
| M5                   | 0,007  | 0,29 | 0,35 | 0,01  | 0,002 | 11,9 | 6,0  | 2,5 | 0,012  | 0,08 |
| M6                   | 0,006  | 0,30 | 0,40 | 0,01  | 0,001 | 12,8 | 5,2  | 1,3 | 0,013  | 0,07 |
| M7                   | 0,003  | 0,22 | 0,23 | 0,01  | 0,001 | 12,5 | 5,9  | 1,9 | 0,021  | -    |
| M8                   | 0,005  | 0,36 | 0,48 | 0,01  | 0,001 | 11,8 | 5,5  | 1,5 | 0,018  | 0,06 |
| *M9                  | 0,002  | 0,40 | 4,46 | 0,03  | 0,001 | 10,2 | 0,1* | -   | 0,005  | -    |
| M10                  | 0,003  | 0,31 | 4,21 | 0,01  | 0,001 | 12,1 | 1,5  | 0,7 | 0,008  | -    |
| *M11                 | 0,020  | 0,56 | 0,72 | 0,02  | 0,001 | 13,2 | 0,9  | 1,1 | 0,016  | -    |
| *M12                 | 0,053* | 0,20 | 0,35 | 0,01  | 0,001 | 11,9 | 5,4  | 2,1 | 0,015  | -    |

5 Grunnmetallnr. eller innhold merket med \* faller utenfor av området for oppfinnelsen.



Tabell 1 (forts.)

| Grunnmetall-<br>nummer | Nb   | Zr   | Cu  | W   | Ca     | B      | N     | Mikrostruktur              |
|------------------------|------|------|-----|-----|--------|--------|-------|----------------------------|
| *M1                    | -    | -    | -   | -   | -      | -      | 0,032 | Martensitt enkeltfase      |
| M2                     | -    | -    | -   | -   | 0,0023 | -      | 0,002 | Martensitt enkeltfase      |
| M3                     | -    | -    | -   | -   | 0,0031 | -      | 0,003 | Martensitt enkeltfase      |
| M4                     | -    | -    | -   | -   | 0,0012 | -      | 0,002 | Martensitt enkeltfase      |
| M5                     | -    | -    | -   | -   | 0,0018 | -      | 0,001 | Martensitt enkeltfase      |
| M6                     | -    | -    | -   | 1,2 | -      | -      | 0,002 | Martensitt enkeltfase      |
| M7                     | -    | 0,15 | -   | -   | -      | -      | 0,001 | Martensitt enkeltfase      |
| M8                     | -    | -    | 1,5 | -   | 0,0025 | -      | 0,003 | Martensitt enkeltfase      |
| *M9                    | -    | -    | -   | -   | -      | -      | 0,004 | Martensitt enkeltfase      |
| M10                    | 0,06 | -    | -   | -   | -      | 0,0015 | 0,002 | Martensitt enkeltfase      |
| *M11                   | -    | -    | -   | -   | -      | -      | 0,004 | Martensitt + ferritt (60%) |
| *M12                   | -    | -    | -   | -   | -      | -      | 0,003 | Martensitt enkeltfase      |

Grunnmetallnr. eller mikrostruktur merket med \* faller utenfor området av oppfinnelsen

Tabell 2 viser de kjemiske sammensetninger av de sveisede materialer. Hver av ståltypene med de kjemiske sammensetninger vist i tabell 2 ble fremstilt i den primære smelteformen ved bruk av en vanlig elektrisk ovn. Støpestålet ble rensset ved bruk av «Ar-oxygen-decarburizing furnace» (AOD-ovn) for det formål å avsvovles. Deretter ble det rensede støpestålet støpt for å oppnå en blokk. Blokken ble oppvarmet til 1200°C og så smidd for å oppnå en rund stang med en diameter på 10 mm. Den runde stangen ble vaier-trukket («wire-drawn») for å oppnå et sveisemateriale (vaier) for automatisk sveising (GTAW og GMAW). Det samme materiale ble også brukt for fremstilling av et sveisemateriale for dekket metall buesveising (SMAW), dvs. en sveisestang for manuell sveising. I tabell 2 er den kjemiske sammensetning av sveisematerialet W5 den av kjernevaieren av en sveisestang for dekket metall buesveising, og er identisk med den av W4.

Tabell 3 viser den kjemiske sammensetningen av belagt fluks med hvilken kjernevaieren med den ovenfor nevnte W5's kjemiske sammensetning er belagt for å bli en beskyttet metall buesveisingsstang.

Tabell 2

| Sveisematerial-nr. | Kjemisk sammensetning av sveisemetall (vekt%) |      |      |      |       |      |      |     |        |     |     |      |        |        | Sveisemetode |
|--------------------|-----------------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|-----|--------|-----|-----|------|--------|--------|--------------|
|                    | C                                             | Si   | Mn   | P    | S     | Cr   | Ni   | Mo  | sol.Al | Cu  | W   | N    | Ca     | B      |              |
| W1                 | 0,016                                         | 0,16 | 0,28 | 0,01 | 0,001 | 26,6 | 11,5 | 4,1 | 0,020  | -   | -   | 0,03 | 0,0032 | 0,0011 | GTAW         |
| W2                 | 0,019                                         | 0,40 | 1,04 | 0,01 | 0,002 | 26,8 | 9,4  | 4,4 | 0,021  | 0,6 | -   | 0,29 | 0,0025 | 0,0013 | GTAW         |
| W3                 | 0,026                                         | 0,70 | 0,80 | 0,01 | 0,001 | 25,0 | 9,8  | 3,2 | 0,013  | 0,4 | 2,3 | 0,35 | 0,0036 | 0,0020 | GMAW         |
| W4                 | 0,020                                         | 0,41 | 0,99 | 0,01 | 0,001 | 25,8 | 9,4  | 3,1 | 0,014  | 1,1 | 2,1 | 0,37 | 0,0028 | 0,0015 | GTAW         |
| W5                 | 0,020                                         | 0,41 | 0,99 | 0,01 | 0,001 | 25,8 | 9,4  | 3,1 | 0,014  | 1,1 | 2,1 | 0,37 | 0,0028 | 0,0015 | SMAW         |
| W6                 | 0,017                                         | 0,53 | 0,76 | 0,02 | 0,001 | 24,3 | 9,9  | 2,6 | 0,015  | 1,0 | 2,8 | 0,35 | 0,0029 | 0,0013 | GTAW         |
| W7                 | 0,010                                         | 0,65 | 0,95 | 0,02 | 0,001 | 24,7 | 8,4  | 2,6 | 0,020  | 0,9 | 2,3 | 0,38 | -      | -      | GTAW         |
| W8                 | 0,022                                         | 0,66 | 0,74 | 0,02 | 0,001 | 12,2 | 5,8  | 1,9 | 0,022  | -   | -   | -    | -      | -      | GTAW         |
| W9                 | 0,013                                         | 0,49 | 0,97 | 0,02 | 0,002 | 22,4 | 7,6  | 3,1 | 0,019  | -   | -   | 0,36 | -      | -      | GTAW         |
| W10                | 0,017                                         | 0,35 | 0,67 | 0,01 | 0,001 | 25,5 | 13,7 | 2,5 | 0,021  | 0,4 | -   | 0,41 | 0,0025 | -      | GTAW         |
| W11                | 0,020                                         | 0,42 | 0,39 | 0,01 | 0,001 | 26,9 | 7,0  | 3,5 | 0,015  | -   | 2,2 | 0,21 | 0,0015 | -      | GTAW         |

Tabell 3 (vekt%)

| T.CaO | TiO  | SiO | MnO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr   | Ni  | W   | MgO | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O |
|-------|------|-----|-----|--------------------------------|------|-----|-----|-----|-------------------|------------------|
| 13,9  | 41,7 | 3,6 | 3,9 | 3,3                            | 12,8 | 3,0 | 3,1 | 0,1 | 0,1               | 1,2              |

De ovenfor nevnte stålrør av hvert par ble lagt buttende mot hverandre mens deres senterakser ble lagt på linje med hverandre. Den buttende del ble periferisk sveiset ved bruk av et sveisemateriale vist i tabell 2. Periferisk sveisingen ble automatisk utført ved bruk av gass wolfram buesveising (GTAW) og gass metall buesveising (GMAW) og ble manuelt utført ved bruk av dekket metall buesveising (SMAW). Den benyttede sveiseposisjonen var 5G-posisjonen (som beskrevet i ASME), dvs. sveising ble utført på en slik måte at en sveiselykt ble dreiet rundt de fikserte stålrørene. Sveisevarme-inngangseffekten var 12.000 J/cm i hver sveising. Grunnmetallet og sveisemetode (sveisemateriale) ble variert for å oppnå en total på 22 slag sveisede skjøter.

Tabell 4 viser kombinasjonene av grunnmetall, sveisemateriale, og sveisemetode.

Tabell 4

|                                | Prøve nr. | Grunnmetall nr. | Sveisemetall nr. | Sveisemetode |
|--------------------------------|-----------|-----------------|------------------|--------------|
| Eksempler i-følge oppfinnelsen | J1        | M1*             | W1               | GTAW         |
|                                | J2        | M2              | W2               | GTAW         |
|                                | J3        | M3              | W4               | GTAW         |
|                                | J4        | M4              | W4               | GTAW         |
|                                | J5        | M5              | W1               | GTAW         |
|                                | J6        | M5              | W2               | GTAW         |
|                                | J7        | M5              | W3               | GMAW         |
|                                | J8        | M5              | W4               | GTAW         |
|                                | J9        | M5              | W5               | SMAW         |
|                                | J10       | M5              | W6               | GTAW         |
|                                | J11       | M5              | W7               | GTAW         |
|                                | J12       | M6              | W6               | GTAW         |
|                                | J13       | M7              | W4               | GTAW         |
|                                | J14       | M8              | W4               | GTAW         |
|                                | J15       | M9*             | W7               | GTAW         |
|                                | J16       | M10             | W4               | GTAW         |
| Sammenlign.-eksempler          | J17       | M5              | W8               | GTAW         |
|                                | J18       | M5              | W9               | GTAW         |
|                                | J19       | M5              | W10              | GTAW         |
|                                | J20       | M5              | W11              | GTAW         |
|                                | J21       | M11*            | W4               | GTAW         |
|                                | J22       | M12*            | W1               | GTAW         |

Grunnmetallnr. merket med \* faller utenfor oppfinnelsens område.

- 5            Tabell 5 viser den kjemiske sammensetningen av et sveisemetall for disse 22 slag av sveisede skjøter.

Tabell 5

|                          | Test nr. | Grunnmetall nr. | Kjemisk sammensetning av sveise metall (vekt%) |      |      |       |       |       |      |       |         |      |    |      |     |        |        |        | Mikrostruktur ferrit vol. % |    |
|--------------------------|----------|-----------------|------------------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|---------|------|----|------|-----|--------|--------|--------|-----------------------------|----|
|                          |          |                 |                                                |      |      |       |       |       |      |       |         |      |    |      |     |        |        |        |                             |    |
|                          |          |                 | C                                              | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni   | Mo    | sol. Al | Ti   | Nb | Zr   | Cu  | W      | Ca     | B      |                             | N  |
| Eks. ifølge oppfinnelsen | J1       | M1*             | 0,018                                          | 0,20 | 0,45 | 0,02  | 0,001 | 25,4  | 10,4 | 3,8   | 0,020   | -    | -  | -    | -   | -      | 0,0015 | 0,0010 | 0,03*                       | 74 |
|                          | J2       | M2              | 0,017                                          | 0,35 | 1,02 | 0,01  | 0,002 | 25,9  | 9,0  | 4,1   | 0,020   | 0,01 | -  | -    | 0,5 | -      | 0,0023 | 0,0010 | 0,25                        | 61 |
|                          | J3       | M3              | 0,018                                          | 0,36 | 0,90 | 0,01  | 0,001 | 25,1  | 8,8  | 3,0   | 0,012   | 0,01 | -  | -    | 0,9 | 1,9    | 0,0022 | 0,0011 | 0,33                        | 47 |
|                          | J4       | M4              | 0,017                                          | 0,34 | 0,88 | 0,01  | 0,001 | 25,0  | 9,1  | 3,1   | 0,012   | 0,02 | -  | -    | 0,8 | 1,9    | 0,0018 | 0,0013 | 0,34                        | 45 |
|                          | J5       | M5              | 0,014                                          | 0,20 | 0,29 | 0,01  | 0,001 | 25,7  | 10,9 | 3,8   | 0,018   | 0,01 | -  | -    | -   | -      | 0,0022 | 0,0009 | 0,02*                       | 73 |
|                          | J6       | M5              | 0,016                                          | 0,38 | 0,94 | 0,01  | 0,002 | 26,0  | 8,9  | 4,2   | 0,020   | 0,01 | -  | -    | 0,5 | -      | 0,0019 | 0,0012 | 0,26                        | 62 |
|                          | J7       | M5              | 0,024                                          | 0,61 | 0,75 | 0,01  | 0,001 | 24,1  | 9,4  | 2,9   | 0,013   | 0,01 | -  | -    | 0,3 | 1,8    | 0,0029 | 0,0016 | 0,30                        | 44 |
|                          | J8       | M5              | 0,018                                          | 0,37 | 0,92 | 0,01  | 0,001 | 25,0  | 8,8  | 3,0   | 0,013   | 0,02 | -  | -    | 0,9 | 1,8    | 0,0021 | 0,0011 | 0,34                        | 46 |
|                          | J9       | M5              | 0,019                                          | 0,35 | 0,89 | 0,01  | 0,002 | 25,2  | 8,9  | 2,9   | 0,010   | 0,03 | -  | -    | 0,7 | 1,9    | 0,0011 | 0,0010 | 0,32                        | 49 |
|                          | J10      | M5              | 0,014                                          | 0,48 | 0,68 | 0,02  | 0,001 | 23,5  | 9,5  | 2,6   | 0,014   | 0,01 | -  | -    | 0,9 | 2,5    | 0,0022 | 0,0009 | 0,32                        | 39 |
|                          | J11      | M5              | 0,009                                          | 0,60 | 0,82 | 0,01  | 0,002 | 24,1  | 7,7  | 2,5   | 0,019   | 0,01 | -  | -    | 0,8 | 2,0    | 0,0002 | -      | 0,32                        | 48 |
|                          | J12      | M6              | 0,015                                          | 0,48 | 0,68 | 0,01  | 0,001 | 23,5  | 9,4  | 2,4   | 0,014   | 0,01 | -  | 0,02 | 0,8 | 2,6    | 0,0020 | 0,0010 | 0,30                        | 36 |
| J13                      | M7       | 0,018           | 0,36                                           | 0,91 | 0,01 | 0,001 | 25,1  | 9,1   | 3,0  | 0,015 | -       | -    | -  | 0,9  | 1,9 | 0,0021 | 0,0014 | 0,33   | 46                          |    |
| J14                      | M8       | 0,018           | 0,39                                           | 0,89 | 0,01 | 0,001 | 25,0  | 9,0   | 2,9  | 0,015 | 0,01    | -    | -  | 1,2  | 1,9 | 0,0020 | 0,0013 | 0,32   | 47                          |    |
| J15                      | M9*      | 0,012           | 0,61                                           | 1,24 | 0,02 | 0,001 | 24,1  | 7,9   | 2,4  | 0,010 | -       | -    | -  | 0,8  | 2,0 | -      | -      | 0,34   | 43                          |    |
| J16                      | M10      | 0,020           | 0,36                                           | 0,12 | 0,01 | 0,001 | 25,0  | 8,9   | 2,9  | 0,009 | -       | 0,01 | -  | 0,9  | 1,9 | 0,0020 | 0,0014 | 0,31   | 50                          |    |
| J17                      | M5       | 0,020           | 0,58                                           | 0,69 | 0,01 | 0,001 | 12,1* | 5,4*  | 2,0  | 0,020 | 0,01    | -    | -  | -    | -   | 0,0003 | -      | -      | 36                          |    |
| J18                      | M5       | 0,012           | 0,45                                           | 0,92 | 0,02 | 0,002 | 21,3* | 7,2   | 3,0  | 0,018 | 0,01    | -    | -  | -    | -   | 0,0001 | -      | 0,32   | 40                          |    |
| J19                      | M5       | 0,015           | 0,33                                           | 0,60 | 0,01 | 0,001 | 24,8  | 13,4* | 2,3  | 0,015 | 0,01    | -    | -  | 0,3  | 1,3 | 0,0019 | -      | 0,38   | 10*                         |    |
| J20                      | M5       | 0,018           | 0,40                                           | 0,35 | 0,01 | 0,001 | 25,8  | 6,6*  | 3,4  | 0,011 | 0,01    | -    | -  | -    | 2,1 | 0,0012 | -      | 0,18   | 80*                         |    |
| J21                      | M11*     | 0,019           | 0,43                                           | 0,93 | 0,01 | 0,001 | 24,9  | 8,6   | 2,9  | 0,012 | -       | -    | -  | 0,8  | 1,8 | 0,0015 | 0,0013 | 0,32   | 50                          |    |
| J22                      | M12*     | 0,019           | 0,19                                           | 0,51 | 0,02 | 0,001 | 25,5  | 10,6  | 3,7  | 0,021 | -       | -    | -  | -    | -   | 0,0020 | 0,0009 | 0,03*  | 74                          |    |
| Sam.lign. eksempler      |          |                 |                                                |      |      |       |       |       |      |       |         |      |    |      |     |        |        |        |                             |    |

Grunnmetallnr. eller verdi merket med \* faller utenfor området av oppfinnelsen

Teststykker nevnt nedenfor ble oppnådd fra hvert sveiset rørsystem i «as-welded»-tilstanden, når det gjaldt strekktesten, hardhetsmåling, og SSC-bestandighetstest.

(a) Strekktest

5 Testtemperatur: romtemperatur

Teststykke: 4,0 mm; lengde av parallell del 20 mm

(b) Hardhetsmåling

Hardhet ble målt etter en hardhetsmålelinje som krysser grunnmetallet og sveisemetallet, ifølge Vickers hardhetstest, under en last på 9,8 N (1 kgf). I kryssningsseksjonen av den periferiske sveisesonen var en hardhets-målelinje en rett linje plassert 0,5 mm inn i veggen av et stålrør fra den indre overflate av et stålrør og strukket i parallell med den indre overflate av stålrøret. Hardhet ble målt ved 0,2 mm intervaller over en lengde på 4 cm for å oppnå en fordeling av hardhet i sveisemetallet og grunnmetallet. Effekten av det første lag av periferisk sveising på hardhet oppvises sterkest ved punktet plassert 0,5 mm inn i veggen av stålrøret fra den indre overflaten av stålrøret.

(c) SSC-bestandighet

Testen ble utført ved bruk av de følgende to slag løsninger.

Løsning A: 5% NaCl-løsning mettet med  $H_2S$  med et delvis trykk på 1013 Pa (0,01 atm)

og  $CO_2$  med et delvis trykk på 3 MPa (30 atm).

Løsning B: 5% NaCl-løsning mettet med  $H_2S$  med et delvis trykk på 0,01 MPa (0,1 atm) og

$CO_2$  med et delvis trykk på 3 MPa (30 atm).

25 Testtemperatur: 25°C

Nedsenkningstid: 720 timer

Påført spenning: 100% av den aktuelle 0,2% styrkespenning av grunnmetall

Teststykke: 4-punkts bøyings-teststykke som måler 100 mm (bredde) x 2 mm (tykkelse) x 75 mm (lengde) og med HAZ ved senteret

30 Tabell 6 viser resultatene av disse testene.

|                           | Test nr. | Grunnmetall nr. | Sveise-materiale nr. | Sveise-metode | Maks. hardhet <sup>1</sup> | Strektest av sveiset skjõt |                | Sveiset skjõt bindings-seighet | Sulfid-spennings-sprekking |                |
|---------------------------|----------|-----------------|----------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|
|                           |          |                 |                      |               |                            | Strekstyrke (Mph)          | Brudd-posisjon |                                | Test-løsning A             | Test-løsning B |
| Eksempler på oppfinnelsen | J1       | M1              | W1                   | GTAW          | 0                          | 708                        | Grunnmetall    | 113                            | 0                          | x              |
|                           | J2       | M2              | W2                   | GTAW          | 0                          | 708                        | Grunnmetall    | 93                             | 0                          | x              |
|                           | J3       | M3              | W4                   | GTAW          | 0                          | 725                        | Grunnmetall    | 97                             | 0                          | 0              |
|                           | J4       | M4              | W4                   | GTAW          | 0                          | 713                        | Grunnmetall    | 102                            | 0                          | 0              |
|                           | J5       | M5              | W1                   | GTAW          | 0                          | 712                        | Grunnmetall    | 79                             | 0                          | 0              |
|                           | J6       | M5              | W2                   | GTAW          | 0                          | 718                        | Grunnmetall    | 108                            | 0                          | 0              |
|                           | J7       | M5              | W3                   | GMAW          | 0                          | 720                        | Grunnmetall    | 112                            | 0                          | 0              |
|                           | J8       | M5              | W4                   | GTAW          | 0                          | 724                        | Grunnmetall    | 78                             | 0                          | 0              |
|                           | J9       | M5              | W5                   | MAW           | 0                          | 719                        | Grunnmetall    | 100                            | 0                          | 0              |
|                           | J10      | M5              | W6                   | GTAW          | 0                          | 730                        | Grunnmetall    | 70                             | 0                          | 0              |
|                           | J11      | M5              | W7                   | GTAW          | 0                          | 712                        | Grunnmetall    | 90                             | 0                          | 0              |
|                           | J12      | M6              | W6                   | GTAW          | 0                          | 722                        | Grunnmetall    | 120                            | 0                          | x              |
| Sammenlignings-eksempler  | J13      | M7              | W4                   | GTAW          | 0                          | 702                        | Grunnmetall    | 110                            | 0                          | 0              |
|                           | J14      | M8              | W4                   | GTAW          | 0                          | 724                        | Grunnmetall    | 98                             | 0                          | 0              |
|                           | J15      | M9              | W7                   | GTAW          | 0                          | 729                        | Grunnmetall    | 71                             | 0                          | x              |
|                           | J16      | M10             | W4                   | GTAW          | 0                          | 722                        | Grunnmetall    | 83                             | 0                          | x              |
|                           | J17      | M5              | W8                   | GTAW          | 0                          | 720                        | Grunnmetall    | 107                            | x                          | x              |
|                           | J18      | M5              | W9                   | GTAW          | 0                          | 612                        | Sveisemetall   | 95                             | 0                          | 0              |
|                           | J19      | M5              | W10                  | GTAW          | 0                          | 617                        | Sveisemetall   | 117                            | 0                          | 0              |
|                           | J20      | M5              | W11                  | GTAW          | 0                          | 812                        | Grunnmetall    | 18                             | 0                          | 0              |
|                           | J21      | M11             | W4                   | GTAW          | 0                          | 600                        | Grunnmetall    | 105                            | x                          | x              |
|                           | J22      | M12             | W1                   | GTAW          | x                          | 740                        | Grunnmetall    | 100                            | x                          | x              |



Som sett i testresultatene, fremviser sveiserørsystemer ifølge den foreliggende oppfinnelse representert ved test nr. J1 til J16 en Vickers hardhet ikke mer enn 350 mens de har en strekkstyrke på 620 MPa, har utmerket korrosjonsbestandighet i et miljø mettet med H<sub>2</sub>S med et delvis trykk på minst 101 Pa (0,001 atm), og kan åpenlyst bli benyttet i et miljø mettet med H<sub>2</sub>S med et delvis trykk på 1013 Pa (0,01 atm) ved å øke mengden av Mo.

I sammenligningseksempelene representert ved test nr. J17, ble sveising utført ved bruk av et martensittisk rustfritt stål som sveisemateriale. Som vist i tabell 5 faller den kjemiske sammensetning av sveisemetallet utenfor et relevant område som beskrevet i den foreliggende oppfinnelse. Den maksimale hardhet var også over en Vickers hardhet på 350, og SSC forekom i begge de to slag av løsninger.

I sammenligningseksempelene representert ved J18, ble sveising utført ved bruk av et dobbelt rustfritt stål med 22% Cr. Cr-innholdet av sveisemetallet falt utenfor et relevant område som beskrevet i den foreliggende oppfinnelse. Som et resultat manglet sveisemetallet styrke; følgelig oppsto et sveisemetallbrudd i strekktesten av den sveisede skjøt. Strekkstyrken er også mindre enn en målverdi av 620 MPa.

I sammenligningseksempelene representert ved J19, var ferrittprosenten av sveisemetallet 10 volum%; følgelig oppsto et sveisemetallbrudd på grunn av manglende styrke av sveisemetallet. Strekkstyrken er også relativt lav.

I sammenligningseksempelene representert ved J20, var ferrittprosenten av sveisemetallet 80 volum%; følgelig ble seigheten betydelig svekket.

I sammenligningseksempelene representert ved J21, var mikrostrukturen av grunnmetallet ikke en enkeltfase av martensitt, og ferritt var inneholdt i en mengde på 60 volum%; følgelig, i strekktesten av sveiseskjøten var strekkstyrken mindre enn en målverdi på 620 MPa selv om et grunnmetallbrudd oppsto. SSC forekom også i begge de to slag av løsninger.

I sammenligningseksempelene representert ved J22, siden C-innholdet av grunnmetallet var over 0,05%, var den maksimale hardhet av HAZ over 350. Således oppsto SSC i begge de to slag av løsninger.

En sveiset stålstruktur ifølge den foreliggende oppfinnelse, som består av et forbedret rimelig stål inneholdende 13% Cr som tjener som et grunnmetall og et

forbedret dobbelt stål som tjener som et sveisemetall, fremviser forebyggelse av SSC i HAZ og korrosjon av sveisemetallet i et vått karbondioksidmiljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon, og fremviser også en sveiseskjøt-strekkstyrke på ikke mindre enn 620 MPa.

- 5           Følgelig fremviser en sveiset stålstruktur ifølge den foreliggende oppfinnelse utmerket SSC-bestandighet og korrosjonsbestandighet når den blir benyttet som hvilket som helst av det følgende: avsvovlingsmidler for petroleum, oljetanker, og rørsystemer for geotermiske anlegg, som er i kontakt med petroleum, naturgass, geotermisk damp, eller lignende, som blandet inneholder en våt karbon-
- 10       dioksidgass med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon, spesielt når det blir benyttet som petroleum- eller naturgass-rørsystemer.

Således tilveiebringer den foreliggende oppfinnelse et rimelig basisk materiale som er meget viktig for industrier som angår petroleum og lignende.

**P a t e n t k r a v**

1. En sveiset høystyrke-stålstruktur med en utmerket korrosjonsbestandighet i et vått karbondioksidmiljø med en lav H<sub>2</sub>S-konsentrasjon,

5 k a r a k t e r i s e r t v e d et grunnmetall beskrevet nedenfor i (a) og et sveise-  
metall beskrevet nedenfor i (b), og som har en Vickers hardhet på ikke mer enn 350 og en sveiset skjøt-strekkstyrke på ikke mindre enn 620 MPa:

(a) et martensittisk rustfritt stål hvis kjemiske sammensetning inkluderer, på vektbasis,

10 C: 0,001% til 0,05% og Cr: 9% til 14% og eventuelt

Si: ikke høyere enn 1%;

Mn: ikke høyere enn 5%;

Ni: 0,5% til 7%;

sol. Al: 0,001% til 0,2%;

15 Mo: 0% til 4%;

Cu: 0% til 3%;

W: 0% til 5%;

Ti: 0% til 0,2%;

Nb: 0% til 0,2%;

20 Zr: 0% til 0,2%;

Ca: 0% til 0,01%;

B: 0% til 0,01%;

og balansen: Fe og uunngåelige forurensninger inneholdende ikke høyere enn

0,03% P og ikke høyere enn 0,01% S, og hvis mikrostruktur er av den martensit-

25 tiske fase eller herdede martensittiske fase,

(b) et austenittisk-ferrittisk rustfritt stål hvis kjemiske sammensetning inklu-  
derer, på vektbasis,

Cr: 22% til 27%, Ni: 7% til 11%, Mo: 1,5% til 5%, og eventuelt

Si: ikke høyere enn 1%;

30 Mn: ikke høyere enn 2%;

sol. Al: 0,005% til 0,1%;

N: 0,05% til 0,4%;

Cu: 0% til 2%;

W: 0% til 3,5%;

Ti: 0% til 0,15%;

Nb: 0% til 0,15%;

Zr: 0% til 0,15%;

5 Ca: 0% til 0,01%;

B: 0% til 0,01%;

og balansen: Fe og unngåelige forurensninger inneholdende ikke høyere enn 0,03% C, ikke høyere enn 0,02% P, og ikke høyere enn 0,01% S og hvis mikrostruktur er en dobbelt-struktur omfattende den austenittiske fase og 35% til 75  
10 volum% av ferrittfasen.

2. Sveiset stålstruktur ifølge krav 1,

karakterisert ved at den kjemiske sammensetning av sveisemetallet inneholder Mn, Cu, og W i en mengde beskrevet nedenfor i (c):

15 (c) Mn: ikke høyere enn 1,5%; Cu: 0,3% til 2%; og W: 1,5% til 3,5%.

3. Sveiset stålstruktur ifølge krav 1,

karakterisert ved at den kjemiske sammensetning av grunnmetallet inneholder C, Mn, Cr, Ni, Mo, Ti, Cu, W, Nb og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i  
20 (d), og den kjemiske sammensetning av sveisemetallet inneholder Mo, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i (e):

(d) C: 0,001% til 0,01%; Mn: ikke høyere enn 0,5%; Cr: 11% til 14%; Ni: 4,5% til 7%; Mo: 1,5% til 4%; Ti: 0,01% til 0,2%; og Cu, W, Nb, og Zr er med hensikt ikke tilsatt,

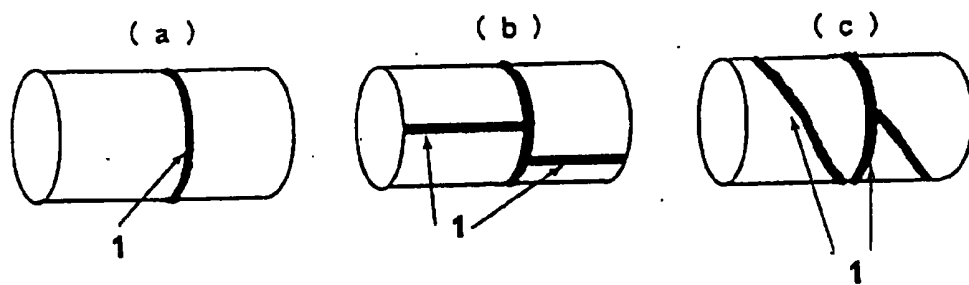
25 (e) Mo: 2,5% til 5%; og Cu, W, Nb, og Zr er med hensikt ikke tilsatt.

4. Sveiset stålstruktur ifølge krav 1,

karakterisert ved at den kjemiske sammensetning av grunnmetallet inneholder C, Mn, Cr, Ni, Mo, Ti, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor  
30 i (d), og den kjemiske sammensetning av sveisemetallet inneholder Mn, Cu, W, Nb, og Zr i en mengde beskrevet nedenfor i (f):

(d) C: 0,001% til 0,01%; Mn: ikke høyere enn 0,5%; Cr: 11% til 14%; Ni: 4,5% til 7%; Mo: 1,5% til 4%; Ti: 0,01% til 0,2%; og Cu, W, Nb, og Zr er med hensikt ikke tilsatt,

(f) Mn: ikke høyere enn 1,5%; Cu: 0,3% til 2%; W: 1,5% til 3,5%; og Nb og  
5 Zr er med hensikt ikke tilsatt.



Figur 1