

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4751027号
(P4751027)

(45) 発行日 平成23年8月17日(2011.8.17)

(24) 登録日 平成23年5月27日(2011.5.27)

(51) Int.Cl.

F 1

B 2 3 K 9/23 (2006.01)

B 2 3 K 9/23

A

B 2 3 K 9/18 (2006.01)

B 2 3 K 9/18

F

B 2 3 K 101/06 (2006.01)

B 2 3 K 101:06

請求項の数 1 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2004-57724 (P2004-57724)
 (22) 出願日 平成16年3月2日(2004.3.2)
 (65) 公開番号 特開2005-246403 (P2005-246403A)
 (43) 公開日 平成17年9月15日(2005.9.15)
 審査請求日 平成18年9月5日(2006.9.5)

(73) 特許権者 000006655
 新日本製鐵株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100077517
 弁理士 石田 敬
 (74) 代理人 100087413
 弁理士 古賀 哲次
 (74) 代理人 100113918
 弁理士 亀松 宏
 (74) 代理人 100082898
 弁理士 西山 雅也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶接部脆化割れ特性に優れた高強度溶接鋼管

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

引張強度が 8 5 0 MPa以上 1 1 0 0 MPa以下であり、サブマージアーク溶接によるシーム溶接を内面から、続いて外面から、それぞれ一層盛りによって行う溶接鋼管において、前記鋼管の内面で先行する溶接金属の高さ：Wiと前記外面で追従する溶接金属の高さ：Woとの比が、

$$0.6 \leq Wo/Wi \leq 1.0, \text{または} 1.7 \leq Wo/Wi \leq 2.5$$

であることを特徴とする溶接金属の脆化割れ性に優れた溶接鋼管。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、天然ガス・原油輸送用ラインパイプ等に用いられる引張強度が 8 5 0 MPaを超える内外面から溶接を行う高強度鋼管において、溶接部で発生する脆化割れのない溶接鋼管に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、天然ガスを輸送する長距離パイプラインにおいて輸送の効率化、付帯設備のコスト削減の観点から引張強度が 8 5 0 MPaを超えるような超高強度な大径ラインパイプの敷設が検討され始めてきた。このようなラインパイプは通常、UOE方式やベンディングロール方式により造管され、つなぎ目となるシーム溶接部はサブマージアーク溶接により、

内面溶接、外面溶接の順で行われる。しかしながら、外面溶接後の非破壊検査で溶接部に鋼管軸方向に直角方向での割れ、いわゆる横割れが散見される場合がある。

【 0 0 0 3 】

このような割れが残存した鋼管は凍土地帯で軸方向に管体の降伏強度を超えるような引張応力により破壊する危険性や、割れが貫通している場合や繰り返しの応力負荷により割れが進展した場合など輸送流体が漏洩し、大事故につながる危険性がある。このため製造時の割れ発生を未然に防ぐか、発生した割れは非破壊検査により確実に除去されなければならない。

【 0 0 0 4 】

高強度材の脆化割れは水素によるものが一般的であり、強度低下に伴い、脆化割れは起きにくくなる。しかしながら、シーム溶接部の強度を低下させると脆化割れは起きにくくなるものの、内圧負荷時に選択的にシーム溶接部からの変形が促進され、溶接部からの破断に至る場合も想定される。したがって、溶接部強度を母材強度以上に保ちながら脆化割れを防止する方法が必要となった。

【 0 0 0 5 】

水素脆化割れは水素濃度、負荷応力、材料特性、特に強度に依存するため、これらの複合的效果を割れ限界発生値以下に制御する必要がある。水素濃度を低下させる方法として溶接後、100 以上、好ましくは200 以上に加温し、適切な時間だけ保持することで限界水素量以下まで水素を拡散させることがあげられる。

【 0 0 0 6 】

このような観点からUOE鋼管のシーム溶接部強度、母材強度、溶接条件を複合的に抑えることで高強度材のシーム溶接部の水素割れを防止する技術として特許文献1がある。この発明では溶接部の横割れが先行するシーム溶接部で頻発することについては述べているものの、本発明が意図する溶接残留応力を低減する手法については開示されていない。

【 0 0 0 7 】

同じく高強度材UOE鋼管の割れを防止する技術として特許文献2がある。この発明では溶接後、鋼管全体を焼入れ、焼戻しすることで靱性、及び凝固割れを防止する方法について述べられているが、熱処理を伴うため膨大なコスト上昇を招くという問題がある。

【 0 0 0 8 】

その他に水素割れ誘起要因の応力を緩和させる方法として、溶接後700 程度まで加熱するいわゆる応力除去焼純や、ハンマーピーニングによる殴打などで溶接部に塑性変形を与えることで残留応力を低下させる方法もあるが、これらの方法は溶接後、直ちに行う必要があり、製造工程、製造コストを考慮すると必ずしもシーム溶接部へは適切な方法ではない。

【 0 0 0 9 】

また、溶接材料の改良点として、VNなどの水素トラップサイトを作ることによって割れに有害な拡散性水素を低減させる方法や、低温変態溶材により常温での残留応力を低下させる方法がある。トラップサイトは高強度材では必ずしも有用な方法でなく、また、低温変態溶材は著しいコスト上昇を招く。

【 0 0 1 0 】

【特許文献1】特開2003-311321号公報

【特許文献2】特開昭57-35636号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 1 】

本発明は内外面からシーム溶接を行う高強度溶接鋼管で生じる溶接部の水素起因の横割れを防止するためのものである。溶接部の水素割れを防止する技術として、水素を拡散させるための熱処理、残留応力を低減させるための熱処理、残留応力を低減させるための塑性変形付与、水素のトラップサイト付与、残留応力制御のための溶接金属の成分設計などがあるが、いずれも従来の造管工程に熱処理設備などの新工程を付与したり、あるいは合

10

20

30

40

50

金成分増加によるコスト上昇を招く。本発明は高強度鋼管の溶接条件を最適化することで水素誘起割れを防止できる技術にかかわる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は上記課題を解決するためになされたもので、引張強度が850 MPa以上1100 MPa以下であり、サブマージアーク溶接によるシーム溶接を内面から、続いて外面から、それぞれ一層盛りによって行う溶接鋼管において、前記鋼管の内面で先行する溶接金属の高さ： W_i と前記外面で追従する溶接金属の高さ： W_o との比が、

$$0.6 \leq W_o / W_i \leq 1.0, \text{ または } 1.7 \leq W_o / W_i \leq 2.5$$

であることを特徴とする溶接金属の脆化割れ性に優れた溶接鋼管である。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明は、天然ガス・原油輸送用ラインパイプ等に用いられる引張強度が850 MPaを超える高強度鋼管の溶接部での脆化割れの発生を溶接条件を最適化することで防止することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

引張強度が850 MPaを超えるようなUOE造管プロセスでは、Cプレスで板材エッジ近傍を曲げ、UプレスでU字形状に曲げ、次いでOプレスにより鋼管状に成形し、その後、通常、外面からの仮付け後、サブマージアーク溶接による内面溶接を行い、続いて外面溶接を行い、さらに拡管により真円度が整えられ、UOE鋼管となる。しかしながら、外面溶接後の超音波探傷で頻度は少ないものの横割れが散見された。調査の結果、割れは内面溶接部に内在していることがわかった。破面観察の結果、水素割れ特有の破面を呈しており、フラックス、開先の結露、大気中の水分などから溶接金属内に取り込まれた水素と溶接残留応力による水素割れであると結論づけた。

20

【0015】

そこで、本発明者らは、割れが発生している内面溶接部の拡散性水素量を測定したところ、外面後溶接後、4時間経過時に最大で2 ppmに達することがわかった。

【0016】

次に水素量と割れ限界応力の関係を把握するため、シーム溶接内面部から切り出した丸棒引張試験に電解チャージにより水素を封入した。引張強度が950 MPa、850 MPaである溶接金属では図1、図2に示すように、水素濃度と限界応力とが一定の関係を有することが判明した。実生産での水素量は最大で2 ppmであることから引張強度が950 MPaの溶接金属では750 MPa以下、引張強度が850 MPa以下の溶接金属では670 MPa以下の負荷応力では水素割れが起こらないという指標を得た。

30

【0017】

本発明者らは水素割れが内面溶接金属から発生していることに注目し、有限要素法（以下FEA）によりシーム溶接部に生じる軸方向応力を熱応力と変態応力を考慮し、引張強度が950 MPaの溶接金属について解析した（図3）。その結果、フュージョンラインに近い内面溶接部の軸方向応力が800 MPaに達し、割れ観察から特定された割れ発生位置と一致した。さらにはFEAで予測された残留応力はX線回折で測定された内外表面の残留応力とも一致した。

40

【0018】

図1に示す水素割れ限界応力、図3に示す残留応力分布から、横割れは内面溶接部で発生するピーク応力部で起きていることがわかった。実質的な最大水素量、2 ppmでは750 MPa以下の応力では割れは発生しないことからピーク応力を750 MPa以下に制御する溶接方法について検討した。

【0019】

図4に溶接金属の内面溶接と外面溶接の高さ比を変化させたときの残留応力分布の相違を示す。ここで図5に示すようにそれぞれ追従する溶接金属の高さを、 W_o と定義し、先

50

行する溶接金属の高さを W_i とする。割れが生じた鋼管の W_o/W_i は1.03であり、 W_o/W_i が1.4を超えると、ピーク応力は減少しながら表面に向かうことが予見された。また、 W_o/W_i が1.0を下回るとピーク応力は減少した。

【0020】

図4の関係を W_o/W_i とピーク応力の関係で図6に示す。これより

W_o/W_i 1.0、または 1.7 W_o/W_i

でピーク応力は750MPaを下回り、水素割れが発生しないことが予見できた。

【0021】

同様の解析を引張強度、850MPaの溶接材料について行ったものを図7に示す。割れ発生限界応力は図2のようになり、これに対する安全域は同様に、

W_o/W_i 1.0、または 1.7 W_o/W_i

と予見された。

【0022】

次に W_o/W_i の許容最大値、最小値について検討した。相対的に片方の溶接金属部が小さくなりすぎると解け落ち等より形状的に溶接不可能な領域が生じることは言うまでもないが、大きい側の溶接金属の入熱が大きくなりすぎると熱影響部(HAZ)幅が大きくなり、靱性、溶接継手強度に悪影響を及ぼすようになる。靱性低下は入熱増加に伴いHAZ幅が拡大し、結晶粒の粗大化を招き、シャルピー試験片のノッチ先端の亀裂発生点が粗大粒に当たる確率が高まるためと考えられる。

【0023】

そこでシャルピー試験において衝撃吸収エネルギーに低値発生確率と W_o/W_i の関係について調査した。エネルギー低値とは衝撃試験において試験の平均的な値よりも試験片により例えば平均値の2割程度と吸収エネルギーが激減する現象であり、低値発生確率は最小限に抑えられることが好ましい。

【0024】

図8に W_o/W_i とエネルギー低値の発生確率の関係を示す。この結果、

W_o/W_i 0.6、または 2.5 W_o/W_i

の範囲では低値発生確率が上昇することがわかった。

【0025】

したがって、横割れを防ぎ、エネルギー低値発生確率を最小限に抑えるには W_o/W_i を

0.6 W_o/W_i 1.0、または 1.7 W_o/W_i 2.5

に設定することが最適であるという結論に至った。

【0026】

以上の溶接時の残留応力発生メカニズムはUOE鋼管のサブマージアーク溶接について述べたものであり、内面溶接後、外面溶接を行った場合である。内面溶接、外面溶接を、それぞれ一層盛りによって行う場合、本発明の効果は表われ、内面あるいは外面を多層盛りとする場合は、本発明の効果は消失する。ただし、内面溶接を行う前に通常、外面側から仮付け溶接を行うが、本溶接を内外面から一層盛りで行うという点で仮付けを伴う溶接法は本発明に含まれる。また、外面溶接が先行し、内面溶接が追従した場合も本発明に含まれる。また、鋼管の成形法としてUOE成形プロセスを例に示したが、ベンディングロールによる成形法でも内外面から一層ずつの溶接を行う場合、本発明に含まれる。

【0027】

本発明は通常の成形、溶接環境でも十分に効果を発揮するものであるが、製造工程における開先面への結露、油分の付着、フラックスの過度な水分含有などにより溶接金属内への拡散性水素量が増加したときなどシーム溶接後のシーム部の予後熱も有効であるが、係る熱処理を行う場合でも残留応力を低減させた本発明では加熱温度の低減、保持時間の縮小などコストメリットを生み出すことになり、その効果は大きい。

【実施例1】

【0028】

以下に本発明例と比較例により本発明の実施による効果を説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

表 1 は鋼管サイズ $\phi 914 \times 16$ t、鋼管強度 900 ~ 1100 MPa、表 2 は鋼管サイズ $\phi 914 \times 16$ t、鋼管強度 950 ~ 930 MPa、表 3 は鋼管サイズ $\phi 711 \times 12$ t、鋼管強度 900 ~ 1000 MPa、表 4 は鋼管サイズ $\phi 1067 \times 20$ t、鋼管強度 900 ~ 1050 MPa の U O E 成形プロセスにより造管し、内面、外面の順番でシーム溶接したときの実施例である。

【 0 0 3 0 】

横割れ発生は外面溶接終了後、拡管までの間 72 時間放置し、超音波探傷により横割れが検出された鋼管本数で示す。エネルギー低値は同一の鋼管を拡管し、その後、最も低値が発生しやすいフュージョンラインから 1 mm 離れた点に 2 mm V ノッチの先端が来るように加工したシャルピー衝撃試験片により評価し、低値の基準を吸収エネルギー平均値の 2 割以下とした。

【 0 0 3 1 】

横割れは W_o / W_i が 1.1 ~ 1.4 の区間で発生し、それ以外の区間では発生していない。一方、エネルギー低値は $W_o / W_i = 0.4$ 、2.8 で発生確率が高まり、0.6 W_o / W_i 2.5 では発生確率に有意差は観察されない。

【 0 0 3 2 】

【表 1】

〔表 1〕

サイズ： $\phi 914 \times 16$ t

管体強度：900 ~ 1100 MPa

W_o / W_i	溶接金属横割れ発生確率			衝撃吸収エネルギーの低値発生確率			備 考
	確率 (%)	割れ本数	試験数	確率 (%)	低値本数	試験数	
0.4	0	0	20	33	8	24	比較例
0.6	0	0	20	13	3	24	発明例
0.8	0	0	20	8	2	24	発明例
1	0	0	20	13	3	24	発明例
1.1	20	4	20	8	2	24	比較例
1.4	10	2	20	8	2	24	比較例
1.7	0	0	20	8	2	24	発明例
2.5	0	0	20	13	3	24	発明例
2.8	0	0	20	33	8	24	比較例

【 0 0 3 3 】

【表 2】

〔表 2〕

サイズ： $\phi 914 \times 16 \text{ t}$

管体強度：850～930MPa

Wo/Wi	溶接金属横割れ発生確率			衝撃吸収エネルギーの低値発生確率			備 考
	確率 (%)	割れ本数	試験数	確率 (%)	低値本数	試験数	
0.4	0	0	10	25	3	12	比較例
0.6	0	0	10	17	2	12	発明例
1	0	0	10	8	1	12	発明例
1.1	20	2	10	8	1	12	比較例
1.7	0	0	10	8	1	12	発明例
2.5	0	0	10	17	2	12	発明例
2.8	0	0	10	33	4	12	比較例

10

【 0 0 3 4 】

【表 3】

20

〔表 3〕

サイズ： $\phi 711 \times 12 \text{ t}$

管体強度：900～1000MPa

Wo/Wi	溶接金属横割れ発生確率			衝撃吸収エネルギーの低値発生確率			備 考
	確率 (%)	割れ本数	試験数	確率 (%)	低値本数	試験数	
0.4	0	0	10	17	2	12	比較例
0.6	0	0	10	17	2	12	発明例
1	0	0	10	0	0	12	発明例
1.1	20	2	10	8	1	12	比較例
1.7	0	0	10	8	1	12	発明例
2.5	0	0	10	17	2	12	発明例
2.8	0	0	10	25	3	12	比較例

30

【 0 0 3 5 】

【表 4】

〔表 4〕

サイズ： $\phi 1067 \times 20$ t

管体強度：900～1050MPa

Wo/Wi	溶接金属横割れ発生確率			衝撃吸収エネルギーの低値発生確率			備 考
	確率 (%)	割れ本数	試験数	確率 (%)	低値本数	試験数	
0.6	0	0	10	17	2	12	発明例
1	0	0	10	8	1	12	発明例
1.1	20	2	10	8	1	12	比較例
1.7	0	0	10	8	1	12	発明例
2.5	0	0	10	17	2	12	発明例

10

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】TS：950MPa、YS：850MPaの高強度鋼管における水素濃度と応力との関係を示す図。

20

【図2】TS：850MPa、YS：760MPaの高強度鋼管における水素濃度と応力との関係を示す図。

【図3】溶接内面からのフュージョンラインの位置と軸応力の関係を示す図。

【図4】Wo/Wiの比を変化させた場合の軸応力の分布を示す図。

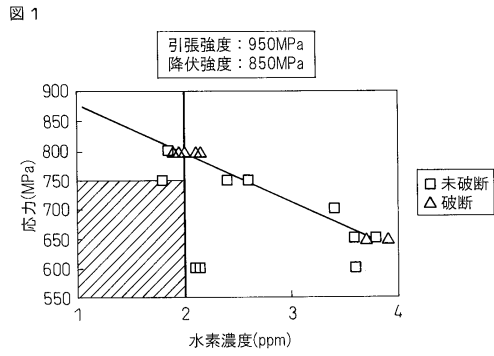
【図5】WoとWiの定義を示す図。

【図6】Wo/Wiの比と軸方向応力の関係を示す図。

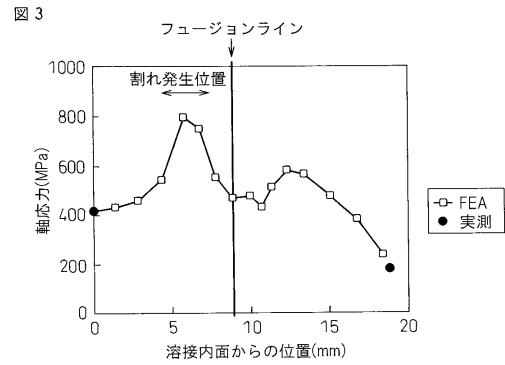
【図7】Wo/Wiの比と軸方向応力の関係を示す図。

【図8】内外面溶接金属高さ比Wo/Wiと横割れ発生率との関係を示す図。

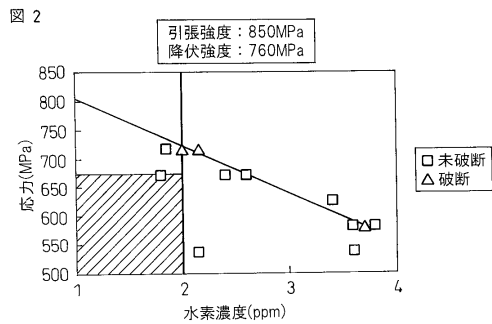
【図 1】



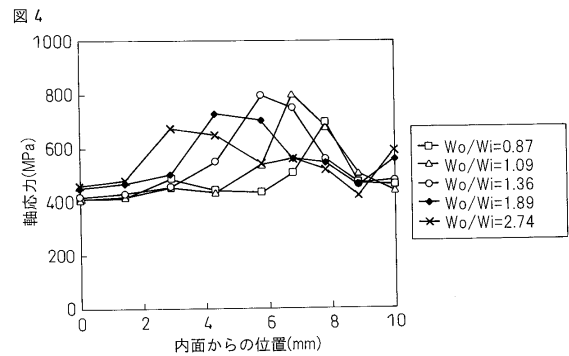
【図 3】



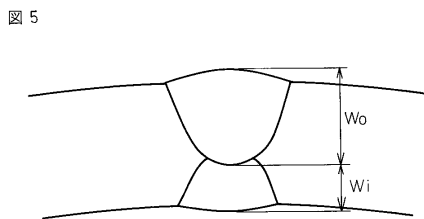
【図 2】



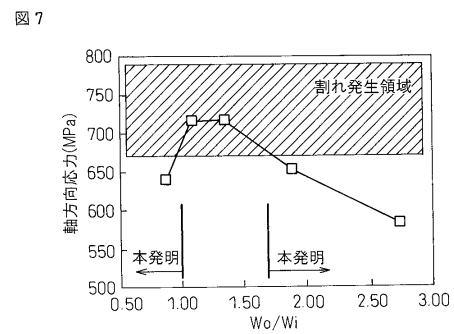
【図 4】



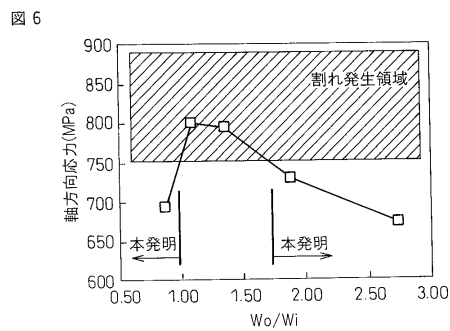
【図 5】



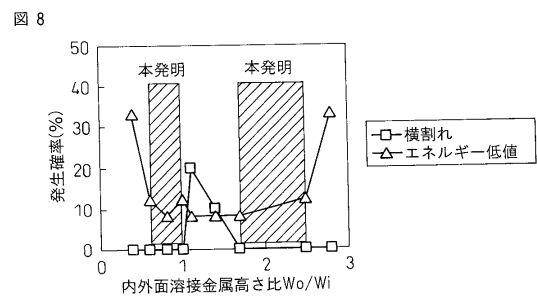
【図 7】



【図 6】



【図 8】



フロントページの続き

- (72)発明者 津留 英司
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 原 卓也
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 朝日 均
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内

審査官 松本 公一

- (56)参考文献 特開平 0 4 - 2 7 9 2 7 8 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 3 6 1 3 0 (J P , A)
特開平 0 5 - 0 0 0 3 7 5 (J P , A)
特開昭 5 9 - 1 3 7 1 9 1 (J P , A)
特開昭 6 1 - 2 2 2 6 8 3 (J P , A)
特開昭 6 1 - 2 3 2 0 6 6 (J P , A)
特開昭 6 2 - 1 1 0 8 7 2 (J P , A)
特開平 0 2 - 2 2 0 7 9 6 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- | | | |
|---------|-------------|-----------|
| B 2 3 K | 9 / 0 0 - | 9 / 3 2 |
| B 2 3 K | 1 0 / 0 0 - | 1 0 / 0 2 |