(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5660285号
(P5660285)

(45)発行日　平成27年1月28日(2015.1.28)　(24)登録日　平成26年12月12日(2014.12.12)

(51)Int.Cl.		F I		
C21D 9/08	(2006.01)	C21D	9/08	F
C21D 9/50	(2006.01)	C21D	9/50	101A
C22C 38/00	(2006.01)	C22C	38/00	301Z
C22C 38/06	(2006.01)	C22C	38/06	
C22C 38/58	(2006.01)	C22C	38/58	

請求項の数 6　(全 18 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2010-123749 (P2010-123749)
(22)出願日　平成22年5月31日 (2010.5.31)
(65)公開番号　特開2011-246793 (P2011-246793A)
(43)公開日　平成23年12月8日 (2011.12.8)
審査請求日　平成25年4月19日 (2013.4.19)

(73)特許権者　000001258
ＪＦＥスチール株式会社
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号
(74)代理人　100105968
弁理士　落合　憲一郎
(74)代理人　100099531
弁理士　小林　英一
(72)発明者　豊田　俊介
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者　岡部　能知
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】拡管性と低温靭性に優れた油井用溶接鋼管の製造方法および溶接鋼管

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

質量％で、Ｃ：０．０５～０．２５％、Ｓｉ：０．００１～２．００％、Ｍｎ：０．５０～２．５０％、Ａｌ：０．０１０～０．１００％を含有し、Ｐ：０．０１９％以下、Ｓｎ：０．１０％以下、Ｓ：０．００５％以下、Ｎ：０．００４９％以下、Ｏ：０．００３０％以下で、かつ、３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）が１６．０％未満であり、残部Ｆｅ及び不可避的不純物からなる組成を有する鋼スラブを、１１５０～１３００℃に加熱して３０分以上均熱保持し、全圧下率９３．０～９８．０％で熱間圧延を施し、７５０℃以上で仕上げ圧延を終え、７５０～６００℃間の冷却時間を４ｓ以上とし、３００℃超６００℃未満の巻取温度で巻き取って熱延鋼帯となし、該熱延鋼帯をスリットし、連続ロール成形によって円弧状断面とし、該円弧状断面の両端を溶接し、該溶接してなる溶接部のみを７５０～１０００℃に加熱後５００℃以下まで５℃/ｓ以上の冷却速度で冷却することを特徴とする、円錐拡管試験で求められる限界拡管率が４６％以上であり、かつ－２０℃における２ｍｍＶノッチシャルピー試験で求められる衝撃値$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上である拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。

【請求項２】

質量％で、Ｃｕ：０．００１～１．００％、Ｎｉ：０．００１～１．００％のうちから選ばれた１種又は２種を含有することを特徴とする請求項１に記載の拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方

法。
【請求項３】
質量％で、Ｃｒ：０．００１～１.５０％、Ｍｏ：０．００１～０.４９％、Ｎｂ：０．０００１～０.１４％、Ｖ：０．０００１～０.１４％、Ｔｉ：０．０００１～０.１４％、Ｗ：０．０００１～０.１４％、Ｂ：０．０００１～０.００３０％、Ｃａ：０．０００１～０.００３０％、ＲＥＭ：０．０００１～０.１０％うちから選ばれた１種又は２種以上を含有することを特徴とする請求項１又は２に記載の拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。
【請求項４】
請求項１～３のいずれか１つにおいて、該溶接してなる溶接部のみを、に替えて、該溶接してなる溶接鋼管全体を、としたことを特徴とする拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。
【請求項５】
請求項１～４のいずれか１つにおいて、最後の冷却の後に、溶接鋼管全体を２００～６５０℃の範囲で焼戻し熱処理することを特徴とする拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。
【請求項６】
質量％で、Ｃ：０．０５～０．２５％、Ｓｉ：０．００１～２．００％、Ｍｎ：０．５０～２．５０％、Ａｌ：０．０１０～０．１００％を含有し、Ｐ：０．０１９％以下、Ｓｎ：０．１０％以下、Ｓ：０．００５％以下、Ｎ：０．００４９％以下、Ｏ：０．００３０％以下で、かつ、３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）が１６．０％未満であり、あるいはさらに下記Ａ群及び/又はＢ群を含有し、残部Ｆｅ及び不可避的不純物からなる組成を有し、かつ母材部及び溶接部の微視組織中にＣが０．４質量％以上に濃化した第２相を０．１～１２面積％含むことを特徴とする、円錐拡管試験で求められる限界拡管率が４６％以上であり、かつ－２０℃における２ｍｍＶノッチシャルピー試験で求められる衝撃値${}_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上である拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管。

記

Ａ群：質量％で、Ｃｕ：０．００１～１．００％、Ｎｉ：０．００１～１．００％のうちから選ばれた１種又は２種
Ｂ群：質量％で、Ｃｒ：０．００１～１.５０％、Ｍｏ：０．００１～０.４９％、Ｎｂ：０．０００１～０.１４％、Ｖ：０．０００１～０.１４％、Ｔｉ：０．０００１～０.１４％、Ｗ：０．０００１～０.１４％、Ｂ：０．０００１～０.００３０％、Ｃａ：０．０００１～０.００３０％、ＲＥＭ：０．０００１～０.１０％のうちから選ばれた１種又は２種以上
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、原油あるいは天然ガスの油井、ガス井（以下、これらを総称して単に油井という）内に埋設されて使用される油井用溶接鋼管に係り、とくに拡管性と低温靭性に優れた油井用溶接鋼管の製造方法および溶接鋼管に関する。
【背景技術】
【０００２】
地表から地下まで油井管を敷設するには、まず地表から所定の深さまで掘削し、その中にケーシングと呼ばれる鋼管を埋設し壁の崩壊を防止する。その後、ケーシングの先端からさらに地下を掘削してより深い井戸とし、先に埋設したケーシング内を通して新たなケーシングを埋設する。この作業を繰り返して、最終的に油田あるいは天然ガス田に到達する油井管（チュービング）が敷設される。深度の深い井戸を掘削する場合には、直径の異なる多種類のケーシングを必要とする。原油や天然ガスを通す油井管（チュービング）の径は定められているため、深度の深い井戸を掘削する場合には、径方向における掘削面積

を広くする必要があるが、この掘削面積を必要最小限にすることが強く要望されている。
【０００３】
このような要望に対し、例えば特許文献１、特許文献２には、井戸内でケーシング(鋼管)を、押拡げ加工等により拡管する方法が記載されている。特許文献１、特許文献２に記載された技術によれば、井戸内でケーシング(鋼管)を半径方向に膨張させることにより、多段構造になったケーシング毎の直径を小さく抑えることができ、井戸上部のケーシングサイズを小さく抑えて、油井の掘削費を低減することが可能となるとしている。
【０００４】
特許文献３には質量％でＣ：０．０５～０．３０％、Ｓｉ：０．２～２％、Ｍｎ：０．７～４．０％、Ｐ：０．０３％以下、Ｓ：０．０１５％以下、Ｎ：０．００７％以下、Ｏ：０．００５％以下を含有し、あるいはさらにＡｌ，Ｃｒ，Ｎｉ，Ｃｕ，Ｎｂ，Ｖ，Ｔｉ，Ｍｏ，Ｂ，Ｃａの１種または２種以上を規定量だけ含有し、残部Ｆｅおよび不可避的不純物からなり、相分率５体積％以上の残留γ相を有する、引張強度（ＴＳ）６００ＭＰａ以上の高強度でありながら、拡管率３０％超の拡管加工に対し優れた拡管性を示す、拡管性に優れる油井用継目無鋼管が記載されている。
【０００５】
特許文献４には質量％で、Ｃ：０．０１～０．３％、Ｓｉ：０．０１～０．７％、Ｍｎ：０．５～２．０％、Ｎｂ：０．００５～０．１％、Ｔｉ：０．００５～０．０５％、Ａｌ：０．００２～０．１％、Ｃａ：０．０００５～０．００８％を含有し、Ｐ：０．１０％以下、Ｓ：０．００５％以下、Ｏ：０．００４０％以下に制限し、Ｓｉ／Ｍｎ：０．００５～１．５を満足し、残部がＦｅ及び不可避的不純物からなることを特徴とする拡管性能及び耐食性に優れた拡管油井用電縫鋼管が記載されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００６】
【特許文献１】特表平７－５０７６１０号公報
【特許文献２】国際公開Ｗ０９８/００６２６号公報
【特許文献３】特許第４３６７２５９号公報
【特許文献４】特開２００８－２０２１２８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
しかし、特許文献３に記載された技術では、ビレットを穿孔圧延して製造される継目無鋼管であるため、肉厚精度が所望の値（±１０％）を満たすのが困難である。また、特許文献４に記載された技術では、記載された拡管性能を得るために、電縫鋼管全体に対してＡｃ１変態点からＡｃ３変態点の間への加熱‐冷却熱処理を必要とするため熱処理費用が嵩み、その割には拡管加工可能な拡管率は高々２８％以下と低レベルであった。なお、拡管加工可能な拡管率範囲の上限を、以下、限界拡管率という。すなわち、従来の油井用溶接鋼管に関する技術では、肉厚精度が不十分であるか、または、拡管性に優れたものが得られないという課題があった。
【０００８】
本発明は、上述の課題を解決し、引張強度が４９０ＭＰａ以上、降伏比（＝降伏強度/引張強度）が０．７４～０．９２の範囲において、肉厚精度が所望の値（±１０％）を満たしながら、優れた拡管性と低温靭性を達成しうる手段を提供することを目的とする。
ここにいう「優れた拡管性」とは、次の円錐拡管試験で求められる限界拡管率が４６％以上であることとする。
（円錐拡管試験：）溶接鋼管から外径の２倍長さの鋼管を切り出し、両管端を平行に▽▽▽仕上げ（Ra:1.6a相当仕上げ、日本機械学会編「機械工学便覧」新版第６刷、1993.7.30丸善発行、B1-22頁参照）した後、鬻りを防ぐためプレス油を塗布後、頂角６０°の円錐をプレス機で鋼管に押込んで管端を押し拡げる。管端に亀裂が生じたところで押込みを

止め、除荷した後の押し拡げ側の管端外径Ｄｂを測定し、原管の外径Ｄｏから拡管率（＝（Ｄｂ－Ｄｏ）/Ｄｏ×１００（％））を求める。これを３回繰り返し、得られた３つの拡管率データの平均を限界拡管率とする。

【０００９】

また「優れた低温靭性」とは、次の低温衝撃試験により求められる$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上であることとする。

（低温衝撃試験：）２ｍｍＶノッチシャルピー試験（ＪＩＳ　Ｚ　２２４２規定に準拠）において、ノッチ深さ方向を管円周方向及び肉厚方向に直交させた試験片（ＪＩＳ　Ｚ　２２０２の規定に準拠）を用い、－２０℃で試験して、衝撃値（試験片ノッチ位置のノッチ深さ方向断面の単位面積１ｃｍ^{2}当たりの吸収エネルギー）を求め、これを$_{V}E_{-20}$とする。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本発明者らは上記目的を達成するために、電縫鋼管について造管ままでの限界拡管率と低温靭性に及ぼす熱延素材の組成、製造条件、ミクロ組織の影響を系統的に鋭意研究した。さらに、溶接によって硬化する溶接部についても、所望の拡管性と低温靭性を得るための適正なオンライン熱処理条件、ミクロ組織条件を系統的に鋭意研究した。その結果、特定組成を有する素材スラブを、特定温度・加工条件で熱間圧延し、得られた熱延鋼板を電縫鋼管製造工程により溶接鋼管となし、溶接部に特定温度条件でオンライン熱処理を加えることで優れた拡管性と低温靭性を有する油井用溶接鋼管が得られることを見出した。

【００１１】

本発明は上記知見に基づいて完成されたものであり、その要旨構成は以下のとおりである。

(1)　質量％で、Ｃ：０．０５～０．２５％、Ｓｉ：０．００１～２．００％、Ｍｎ：０．５０～２．５０％、Ａｌ：０．０１０～０．１００％を含有し、Ｐ：０．０１９％以下、Ｓｎ：０．１０％以下、Ｓ：０．００５％以下、Ｎ：０．００４９％以下、Ｏ：０．００３０％以下で、かつ、３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）が１６．０％未満であり、残部Ｆｅ及び不可避的不純物からなる組成を有する鋼スラブを、１１５０～１３００℃に加熱して３０分以上均熱保持し、全圧下率９３．０～９８．０％で熱間圧延を施し、７５０℃以上で仕上げ圧延を終え、７５０～６００℃間の冷却時間を４ｓ以上とし、３００℃超６００℃未満の巻取温度で巻き取って熱延鋼帯となし、該熱延鋼帯をスリットし、連続ロール成形によって円弧状断面とし、該円弧状断面の両端を溶接し、該溶接してなる溶接部のみを７５０～１０００℃に加熱後５００℃以下まで５℃/ｓ以上の冷却速度で冷却することを特徴とする、円錐拡管試験で求められる限界拡管率が４６％以上であり、かつ－２０℃における２ｍｍＶノッチシャルピー試験で求められる衝撃値$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上である拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。

(2)　質量％で、Ｃｕ：０．００１～１．００％、Ｎｉ：０．００１～１．００％のうちから選ばれた１種又は２種を含有することを特徴とする(1)に記載の拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。

(3)　質量％で、Ｃｒ：０．００１～1.５０％、Ｍｏ：０．００１～0.４９％、Ｎｂ：０．０００１～0.１４％、Ｖ：０．０００１～0.１４％、Ｔｉ：０．０００１～０.１４％、Ｗ：０．０００１～0.１４％、Ｂ：０．０００１～0.００３０％、Ｃａ：０．０００１～0.００３０％、ＲＥＭ：０．０００１～０.１０％うちから選ばれた１種又は２種以上を含有することを特徴とする(1)又は(2)に記載の拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。

(4)　(1)～(3)のいずれか１つにおいて、該溶接してなる溶接部のみを、に替えて、該溶接してなる溶接鋼管全体を、としたことを特徴とする拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。

(5)　(1)～(4)のいずれか１つにおいて、最後の冷却の後に、溶接鋼管全体を２００～６５０℃の範囲で焼戻し熱処理することを特徴とする拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管の製造方法。

(6)　質量％で、Ｃ：０．０５～０．２５％、Ｓｉ：０．００１～２．００％、Ｍｎ：０．５０～２．５０％、Ａｌ：０．０１０～０．１００％を含有し、Ｐ：０．０１９％以下、Ｓｎ：０．１０％以下、Ｓ：０．００５％以下、Ｎ：０．００４９％以下、Ｏ：０．００３０％以下で、かつ、３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）が１６．０％未満であり、あるいはさらに下記Ａ群及び/又はＢ群を含有し、残部Ｆｅ及び不可避的不純物からなる組成を有し、かつ母材部及び溶接部の微視組織中にＣが０．４質量％以上に濃化した第２相を０．１～１２面積％含むことを特徴とする、円錐拡管試験で求められる限界拡管率が４６％以上であり、かつ－２０℃における２ｍｍＶノッチシャルピー試験で求められる衝撃値${}_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上である拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管。

記

Ａ群：質量％で、Ｃｕ：０．００１～１．００％、Ｎｉ：０．００１～１．００％のうちから選ばれた１種又は２種

Ｂ群：質量％で、Ｃｒ：０．００１～１.５０％、Ｍｏ：０．００１～０.４９％、Ｎｂ：０．０００１～０.１４％、Ｖ：０．０００１～０.１４％、Ｔｉ：０．０００１～０.１４％、Ｗ：０．０００１～０.１４％、Ｂ：０．０００１～０.００３０％、Ｃａ：０．０００１～０.００３０％、ＲＥＭ：０．０００１～０.１０％のうちから選ばれた１種又は２種以上

【発明の効果】

【００１２】

本発明によれば、肉厚精度が±１０％以内で、円錐拡管試験での限界拡管率が４６％以上になる優れた拡管性と、${}_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上になる優れた低温靭性を有する引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管が得られる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】微視組織中に占める、Ｃが０．４質量％以上に濃化した第２相の面積率と、限界拡管率、${}_{V}E_{-20}$、ＹＲの関係を示すグラフ

【発明を実施するための形態】

【００１４】

まず、本発明において組成を上記のとおり限定した理由について説明する。以下、成分含有量は質量％を単位とし、％と略記する。また、ＴＳは引張強度を、ＹＳは降伏強度を、ＥＬは伸びを、ＹＲは降伏比（＝ＹＳ/ＴＳ）を、それぞれ意味する。

Ｃ：０．０５～０．２５％

Ｃは所望の原管強度（ＴＳ、ＹＳ）を確保させ、かつ母材部並びに溶接部の微視組織中に所望の第２相（Ｃが０．４％以上に濃化した第２相）を所望の面積率（０．１～１２面積％）だけ形成させ、良好な拡管性を得させる元素である。０．０５％未満ではこの、所望の原管強度と第２相を得ることができない。一方、０．２５％を超えると鋼管の低温靭性が低下するためこれを上限とする。なお、好ましくは０．０６～０.１３％である。

【００１５】

Ｓｉ：０．００１～２．００％

Ｓｉは熱延工程でのフェライト変態を促進する元素であり、必要な拡管性を確保するための元素である。０．００１％未満では拡管性が不足する。一方、２．００％を超える場合は酸化物が残存し、溶接部の低温靭性が劣化する。従ってＳｉは０．００１～２．００％に限定した。なお、好ましくは０．８１～１．４５％である。

【００１６】

Ｍｎ：０．５０～２．５０％

Ｍｎは所望の原管強度（引張強度ＴＳ，降伏強度ＹＳ）を確保させ、かつ母材部並びに溶接部の微視組織中に所望の第２相（Ｃが０．４％以上に濃化した第２相）を所望の面積率（０．１～１.２面積％）だけ形成させ、良好な拡管性を得させる元素である。０．５０％未満ではこの、所望の原管強度と第２相を得ることができない。一方、２．５０％を超えると鋼管の低温靭性が低下するためこれを上限とする。なお、好ましくは０．８４～１．２５％である。

【００１７】

Ａｌ：０．０１０～０．１００％

Ａｌは製鋼時の脱酸元素であるとともに、熱間圧延工程でのオーステナイト粒の成長を抑制し、結晶粒を微細とし、良好な拡管性を得させる元素である。０．０１０％未満ではこれらの効果が得られず、一方、０．１０％を超えると効果は飽和し、酸化物系介在物の増大により拡管性が低下するために０．１０％を上限とする。なお、好ましくは０.０３０～０．０８０％である。

【００１８】

Ｐ：０．０１９％以下

ＰはＭｎとの凝固共偏析を介し、低温靭性を低下させるとともに、拡管性を低下させる。０．０１９％を超えるとこの悪影響が顕著となるため、０．０１９％を上限とする。なお、好ましくは０．００９％以下である。

Ｓｎ：０．１０％以下

Ｓｎは低融点固溶元素として鋼中に存在し、拡管性を劣化させる。０．１０％を超えると悪影響が顕著となるため、０．１０％を上限とする。なお、好ましくは０．０５％以下である。

【００１９】

Ｓ：０．００５％以下

ＳはＭｎＳなどとして鋼中介在物として存在し、拡管性を低下させる。０．００５％を超えるとこの悪影響が顕著となるため、０．００５％を上限とする。なお、好ましくは０．００３％以下である。

Ｎ：０．００４９％以下

Ｎは固溶Ｎとして残存すると拡管性を低下させる。０．００４９％を超えるとこの悪影響が顕著となるため、０．００４９％を上限とする。なお、好ましくは０．００４０％以下である。

【００２０】

Ｏ：０．００３０％以下

Ｏは酸化物系介在物として存在し、拡管性、低温靭性を低下させる。０．００３０％を超えるとこの悪影響が顕著となるため、０．００３０％を上限とする。なお、好ましくは０．００２０％以下である。

３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）：１６．０％未満

Ｃは炭化物や硬質第２相の面積率上昇を通して、ＰとＳはメタルフロー部への偏析を通して、Ｓｎは低融点固溶元素として、Ｎは時効硬化を通して、Ｏは溶接部の酸化物系介在物として、いずれも拡管性と低温靭性を相乗的に低下させる。所望の拡管性と低温靭性を確保するためには、これら元素の成分含有量範囲を個別に規定するだけでは不十分で、各元素の影響を勘案した３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）値を特定の閾値未満に抑える必要がある。３０＊Ｃ＋１００＊（Ｐ＋Ｓｎ）＋１０００＊（Ｓ＋Ｎ＋Ｏ）値が１６．０％以上となると、拡管性と低温靭性の低下が大きくなるため、１６．０％未満とする。なお、好ましくは１３．０％未満である。

【００２１】

上記の成分が基本組成をなすが、本発明では、この基本組成に加えて、さらに前記Ａ群及び/又はＢ群を含有できる。

Ａ群：質量％で、Ｃｕ：０．００１～１．００％、Ｎｉ：０．００１～１．００％のうちから選ばれた１種又は２種

Ｃｕ：０．００１～１．００％
Ｃｕは腐食保護皮膜を形成し、これを強固にすることで鋼中への水素の侵入を抑制し、耐硫化物応力腐食割れ特性を向上させるとともに、溶接時に再固溶した鋼中ＳをＣｕサルファイドとして捕捉し、溶接部の選択腐食を抑制する効果がある。これら効果は０．００１％以上の含有で発現するが、１．００％を超える含有は拡管性を低下させ、また、素材の熱間圧延時にＣｕが液相となり、熱間割れや、表面疵の要因となるために１．００％を上限とする。なお、好ましくは０.００１～０．０４９％である。
【００２２】
Ｎｉ：０．００１～１．００％
ＮｉはＣｕと同様鋼中への水素の侵入を抑制し、耐硫化物応力腐食割れ特性を向上させる効果がある。さらに、母材部及び溶接部の低温靭性を向上させる効果がある。これらの効果は０．００１％以上の含有で発現するが、１．００％を超える含有は拡管性を低下させるために１．００％を上限とする。なお、好ましくは０．００１～０．０４９％である。
Ｂ群：質量％で、Ｃｒ：０．００１～１.５０％、Ｍｏ：０．００１～０.４９％、Ｎｂ：０．０００１～０.１４％、Ｖ：０．０００１～０.１４％、Ｔｉ：０．０００１～０.１４％、Ｗ：０．０００１～０.１４％、Ｂ：０．０００１～０.００３０％、Ｃａ：０．０００１～０.００３０％、ＲＥＭ：０．０００１～０.１０％のうちから選ばれた１種又は２種以上
Ｃｒ：０．００１～１.５０％
Ｃｒは耐炭酸ガス腐食性、耐炭酸ガス応力腐食割れ性等の耐食性を向上させる元素である。さらに、熱延或いは溶接後の溶接部熱処理時のオーステナイト相からの冷却過程において、組織の２相分離を促進し、母材部並びに溶接部の微視組織中に所望の第２相（Ｃが０．４％以上に濃化した第２相）を所望の面積率（０．１～１２面積％）だけ形成させるのに有効な元素である。これらの効果は０．００１％以上の含有で発現するが、１．５０％を超える含有は、溶接部に酸化物が残存して、拡管性並びに溶接部の低温靭性を低下させるために１．５０％を上限とする。なお、好ましくは０．０１～０．４９％である。
【００２３】
Ｍｏ：０．００１～０.４９％
Ｍｏは硫化水素が存在する環境下での耐硫化物応力腐食割れ性を向上させる元素であり、さらに、熱延或いは溶接後の溶接部熱処理時のオーステナイト相からの冷却過程において、組織の２相分離を促進し、母材部並びに溶接部の微視組織中に所望の第２相（Ｃが０．４％以上に濃化した第２相）を所望の面積率（０．１～１２面積％）だけ形成させるのに有効な元素である。これらの効果は０．００１％以上の含有で発現するが、０．４９％を超えると拡管性を低下させるために０．４９％を上限とする。なお、好ましくは０．０１～０．０９％である。
【００２４】
Ｎｂ：０．０００１～０.１４％
Ｎｂは結晶粒の微細化を通して、低温靭性の向上に寄与する。０．０００１％未満ではこの効果が得られない。一方、０．１４％を超えると拡管性低下が顕著となるため０．１４％を上限とする。なお、好ましくは０．０２２～０．０８０％である。
Ｖ：０．０００１～０.１４％
Ｖは焼入れ性の向上を通して、母材部並びに溶接部の微視組織中に所望の第２相（Ｃが０．４％以上に濃化した第２相）を所望の面積率（０．１～１２面積％）だけ形成させるのに有効な元素である。０．０００１％未満ではこの効果が得られない。一方、０．１４％を超えると拡管性低下が顕著となるため０．１４％を上限とする。なお、好ましくは０．０１１～０．０８０％である。
【００２５】
Ｔｉ：０．０００１～０.１４％
Ｔｉは拡管性に悪影響を及ぼす固溶ＮをＴｉＮとして固定し、拡管性の向上に有効な元

素である。０．０００１％未満ではこの効果が得られない。一方、０．１４％を超えると析出炭化物による拡管性低下が顕著となるため０．１４％を上限とする。なお、好ましくは０．０００１～０．００４９％である。

【００２６】

Ｗ：０．０００１～０.１４％

Ｗは炭化物として析出し、強度確保に有効な元素である。この効果は０．０００１％以上の含有で発現するが、０．１４％を超える含有では拡管性が低下するために０．１４％を上限とする。なお、好ましくは０．０００１～０．０６％である。

Ｂ：０．０００１～０.００３０％

Ｂは焼入れ性の向上を通して、強度確保に有効な元素である。この効果は０．０００１％以上の含有で発現するが、０．００３０％を超える含有は拡管性を低下させるために０．００３０％を上限とする。なお、好ましくは０.０００１～０．０００５％である。

【００２７】

Ｃａ：０．０００１～０.００３０％

ＣａはＭｎＳを粒状のＣａ（Ａｌ）Ｓ（Ｏ）とする所謂形態制御効果があり、特に拡管成形時の溶接部近傍メタルフロー立上がり部での割れを抑制し、拡管性の向上に有効な元素である。この効果は０．０００１％以上の含有で発現するが、０．００３０％を超える含有では、非金属介在物の増大によってかえって拡管性が低下するために０．００３０％を上限とする。なお、好ましくは０．０００１～０．００１９％である。

【００２８】

ＲＥＭ：０．０００１～０.１０％

ＲＥＭはＣａと同様、展伸したＭｎＳを粒状とする所謂形態制御効果があり、特に拡管成形時の溶接部近傍メタルフロー立上がり部での割れを抑制し、拡管性の向上に有効な元素である。この効果は０．０００１％以上の含有で発現するが、０．１０％を超える含有では拡管性が低下するために０．１０％を上限とする。なお、好ましくは０．０１～０．０５％である。

【００２９】

上記した成分以外の残部はＦｅ及び不可避的不純物である。

母材部及び溶接部の微視組織中の、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相：０．１～１２面積％

本発明の溶接鋼管は、溶接部を除き、基本的に熱延鋼帯を管状に成形したままで適正なＹＲ（０．７４～０．９２）を有し、かつ、溶接部を含む管において所望の拡管性を有すべく、母材部及び溶接部の微視組織中に、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相を０．１～１２面積％だけ含むものとする。当該第２相は、熱延或いは溶接後の溶接部熱処理時のオーステナイト相からの冷却過程において変態時に周囲の軟質相に可動転位を生起せしめ、成形ままでＹＲが高くなりすぎなくする効果がある。さらに、冷却過程以降、例えば拡管成形時に変態することにより、拡管成形時の応力を緩和し、拡管性を大きく向上させる効果がある。これらの効果は微視組織中の第２相分率が０．１面積％以上で発現し、一方、１２面積％を超えると反対に拡管性が低下するためにこれを上限とする。なお、好ましくは２．０～１０．０面積％である。

【００３０】

ここで、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相の面積率を求めるにあたっては、次の第２相分率測定方法を用いた。

（第２相分率測定方法：）研磨した円周方向断面領域４００μｍ×４００μｍを測定面積とし電子ビーム寸法２μｍ×２μｍでＥＭＰＡ面分析を行い、Ｃ濃度（鋼中含有量）が０．４％以上となっているＣ濃化領域を特定してその合計面積を求め、これを前記測定面積に対する百分率で表して前記第２相の面積率とする。

【００３１】

なお、微視組織の残部は、ポリゴナルフェライト、アシキュラーフェライト、ウィッドマンステッテンフェライト（これらをフェライトと総称する）のいずれか１種又は２種以

上である第１相：７５面積％以上、及び、カーバイド、微細パーライト、ベイナイトなど炭化物と鉄の混合組織である第３相：０．０～１５．１面積％、で構成される。

図１は、微視組織中に占める、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相の面積率と、限界拡管率、$_{V}E_{-20}$、ＹＲの関係を示すグラフであり、同図に示されるように、当該第２相の面積率が０．１～１２面積％の範囲において、限界拡管率：４６％以上、$_{V}E_{-20}$：１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上、ＹＲ：０．７４～０．９２が達成される。

【００３２】

次に、前述の所望の微視組織を得るための素材鋼スラブの好ましい熱間圧延条件について説明する。

スラブ加熱温度及びスラブ均熱時間：１１５０～１３００℃、３０分以上

熱間圧延工程におけるスラブ加熱条件はオーステナイト粒径を通して、鋼管の低温靭性に、含有元素の固溶分散状態を通して拡管性に影響を及ぼす。スラブ加熱温度が１１５０～１３００℃、かつスラブ均熱時間が３０分以上の場合に、$_{V}E_{-20}$：１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上かつ限界拡管率：４６％以上が得られる。スラブ加熱温度が１３００℃を超えるとオーステナイト粒径が極端に粗大化し、$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}を下回る。一方、スラブ加熱温度が１１５０℃を下回るか、スラブ均熱時間が３０分を下回ると、含有元素の固溶分散状態が不均一となり、拡管成形時の変形が局所に集中し、限界拡管率が４６％を下回る。このため、スラブ加熱温度は１１５０～１３００℃、スラブ均熱時間は３０分以上とすることが好ましい。

【００３３】

全圧下率：９３．０～９８．０％

スラブ厚Ｈから熱延仕上げ板厚ｈまでの全圧下率（＝（Ｈ－ｈ）/Ｈ×１００（％））は変態前のオーステナイトの粒径を通して、鋼管の低温靭性とＹＲに影響を及ぼす。全圧下率が９３．０～９８．０％の場合に$_{V}E_{-20}$は１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上、ＹＲは０．７４～０．９２が得られる。全圧下率が９３．０％を下回ると、変態前のオーステナイト粒径が大きくなり、$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}を下回る。また、ＹＳが低下し、造管後のＹＲが０．７４を下回る。一方、全圧下率が９８．０％を上回るとＹＲが０．９２を上回る。以上から全圧下率は９３．０～９８．０％とした。なお、好ましくは９５．０～９７．６％である。

【００３４】

仕上げ圧延終了温度：７５０℃以上

熱間圧延工程における仕上げ圧延終了温度は、鋼管の低温靭性、ＹＲ、拡管性に影響を及ぼす。仕上げ圧延終了温度が７５０℃以上で、$_{V}E_{-20}$は１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上、ＹＲは０．９２以下、限界拡管率は４６％以上が得られる。仕上げ圧延終了温度が７５０℃を下回ると、圧延歪みが残存するため$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}を下回り、ＹＲが０．９２を超え、また表層部に粗大粒が形成されるため、限界拡管率が４６％を下回る。ここで、仕上げ圧延終了温度の上限は特に定めないが、表面性状を良好に保つという観点から９５０℃以下であることが好ましい。さらにまた表面性状確保の観点からは、仕上げ圧延前に１５０ｋｇｆ/ｃｍ^{2}以上の水圧でのデスケーリングを行うことが好ましい。

【００３５】

７５０～６００℃間の冷却時間：４ｓ以上

熱間圧延終了後、ランナウトでの冷却条件は、フェライトの析出有無/量、２相分離状態に影響を及ぼし、微視組織形成を通して、鋼管の低温靭性、ＹＲ、拡管性に影響を及ぼす。鋼材のフェライトノーズ温度域に相当する７５０～６００℃間において冷却時間を４ｓ以上確保することにより、フェライトが７５面積％以上生成され、２相分離が進行し、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相が０．１～１２面積％を占有する微視組織が形成されて、$_{V}E_{-20}$は１００Ｊ/ｃｍ^{2}以上、ＹＲは０．９２以下、限界拡管率は４６％以上が得られる。７５０～６００℃間の冷却時間が４ｓを下回ると、前記第２相の面積率が１２面積％を超え、$_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}を下回り、ＹＲが０．９２を超え、限界拡管率が４６％を下回る。なお、好ましくは、７５０～６００℃間の冷却時間が６ｓ以上

である。

【００３６】

巻取温度：３００℃超６００℃未満

熱延ランナウトでの冷却によってオーステナイト/フェライト２相分離した微視組織のうちオーステナイト相は巻取（コイリング）後、３００℃超６００℃未満の温度で、一部ベイナイト変態し、オーステナイト相へのＣの濃化が進み、最終的にＣが０．４％以上に濃化した第２相が形成される。巻取温度が３００℃以下であると、オーステナイト相へのＣの濃化が不十分となり、前記第２相の面積率が０．１面積％を下回り、ＹＲが０．９２を超え、限界拡管率が４６％を下回る。一方、巻取温度が６００℃以上であると、Ｃがパーライトとして析出してしまい、Ｃの濃化が進行せず、ＹＲが０．９２を超える。以上から、巻取温度は３００℃超６００℃未満とした。なお、好ましくは３５０～５５０℃である。

【００３７】

次に、好ましい溶接鋼管製造方法について説明する。

上記熱延要件を満たして製造された熱延鋼板は、黒皮まま（＝酸化スケール付着のまま）、或いは酸洗やショットブラストによって酸化スケールを除去後、スリットし、連続ロール成形によって円弧状断面とし、該円弧状断面の両端を高周波誘導加熱等によって加熱、溶接（衝合・圧接）する。なお、溶接は大気中で行ってもよいが、溶接部の酸化物等の介在物を減少させる目的で不活性ガスの噴きつけ、或いはシールディング等により酸素濃度を低下させて（例えば１００ｐｐｍ以下）溶接してもよい。また、溶接は、高周波誘導加熱に替えて、抵抗溶接、レーザ溶接、アーク溶接、プラズマ溶接等で、あるいはこれらを組み合わせて行うこともできる。

【００３８】

溶接部のオンライン熱処理条件：溶接部のみを７５０～１０００℃に加熱後５００℃以下まで５℃/ｓ以上の冷却速度で冷却

溶接後急冷された溶接部は、硬度が高く、${}_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}を下回る。これをオンラインで７５０～１０００℃に加熱した後、５００℃以下まで５℃/ｓ以上の冷却速度で冷却することで、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相を０．１～１２面積％だけ含む微視組織が形成され、${}_{V}E_{-20}$は１００Ｊ/ｃｍ^{2}を確保することができる。加熱温度が１０００℃を超えると、粒径が大きくなり低温靭性が低下する。一方、加熱温度が７５０℃を下回ると硬度低下が不十分で低温靭性が低下する。オンライン加熱後、５００℃以下まで５℃/ｓ未満の冷却速度で冷却された溶接部は、硬度が低くＴＳ４９０ＭＰａ以上が確保できない。さらに冷却途中でパーライト組織が生成し、${}_{V}E_{-20}$が１００Ｊ/ｃｍ^{2}を下回る。なお、前記オンライン加熱後５００℃以下までの冷却速度は、これが速すぎると前記第２相の面積率が１２面積％以下となり難いため、好ましくは５～３００℃/ｓであり、より好ましくは５～２００℃/ｓである。

【００３９】

なお、溶接部のオンライン熱処理に替えて、溶接鋼管全体を７５０～１０００℃に加熱後、５００℃以下まで５℃/ｓ以上、好ましくは５～３００℃/ｓ、より好ましくは５～２００℃/ｓ、の冷却速度で冷却すること（全管熱処理と称す）によっても、拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の油井用溶接鋼管が得られる。

【００４０】

また、特性の均質安定化のために、前記溶接部のオンライン熱処理の後に、或いは前記全管熱処理の後に、溶接鋼管全体を２００～６５０℃の範囲で焼戻し熱処理することができる。

【実施例】

【００４１】

（実施例１）

表１に示す組成の鋼スラブを約１２４０℃に加熱し約６０分均熱後抽出し、全圧下率約

９６．８％の熱間圧延を施し、約８４０℃で仕上げ圧延を終了し、熱延ランナウトで約７００℃を挟んだ温度域で空冷を行い、７５０～６００℃間の冷却時間８ｓを確保し、約４５０℃で巻き取って熱延鋼帯（板厚約８ｍｍ）とした。次いでこれらの熱延鋼帯を所定の幅寸法にスリット加工し、連続ロール成形してオープン管となし、該オープン管の円弧状断面の両端を高周波抵抗溶接により電縫溶接して管となし、引き続き連続的にオンラインシーム熱処理を、加熱温度約９００℃、２００℃までの冷却速度３０℃/ｓ（ミスト冷却による）の条件で行い、外径φ２０３．２ｍｍ、肉厚約８ｍｍの溶接鋼管を得た。

【００４２】

これらの溶接鋼管から試験片を採取し、組織観察試験、拡管試験、引張試験、低温靭性試験を行った。

（１）組織観察試験

溶接鋼管の円周方向断面が観察面となる組織観察試験片を母材部及び溶接部よりそれぞれ採取し、研磨、ナイタール腐食して走査型電子顕微鏡（３０００倍）で組織を観察、撮像し、画像解析装置を用いて、フェライトの面積率を測定した。さらに、前述の第２相分率測定方法により、Ｃが０．４％以上に濃化した第２相の面積率を求めた。

（２）引張試験

溶接鋼管のＬ方向（管長さ方向）が引張方向となるように、ＡＳＴＭのＡ－３７０の規定に準拠して母材部から弧状試験片を切り出し、同規定に準拠して引張試験を実施し、引張特性（ＴＳ，ＹＳ，ＥＬ，ＹＲ）を求めた。

（３）拡管試験

前述の円錐拡管試験を実施し、限界拡管率を求めた。

（４）低温靭性試験

前述の低温衝撃試験において、試験片として溶接鋼管の母材部及び溶接部より採取した１/２サイズのものを用いた試験により、$_{V}E_{-20}$を求めた。

【００４３】

得られた結果を表２に示す。同表より、本発明例は、いずれも本発明規定の鋼組成要件及び製造方法要件を満たし、得られた溶接鋼管は本発明規定の第２相面積率要件を満たし、拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の特性を有するものとなっている。

これに対し、比較例は、いずれも本発明規定の鋼組成要件及び製造方法要件の少なくともいずれか１つを満たさず、得られた溶接鋼管は本発明規定の第２相面積率要件を満たさず、拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の特性を有するものとはなっていない。

（実施例２）

表１中の鋼Ｂ，Ｃの組成を有する鋼スラブに表３に示す条件（鋼帯の熱間圧延製造条件）で熱間圧延を施し熱延鋼帯とした。次いでこれらの熱延鋼帯を所定の幅寸法にスリット加工し、連続ロール成形してオープン管となし、該オープン管の円弧状断面の両端を高周波抵抗溶接により電縫溶接して管となし、引き続き連続的にオンラインシーム熱処理を、表３に示す条件（溶接部のオンライン熱処理条件。ここでの冷却：空冷又はミスト冷却）で行い、表３に示す外径、肉厚の溶接鋼管を得た。また、表３に示すとおり、電縫溶接後の管のうちいくつかの管には、オンラインシーム熱処理に替えて全管熱処理を施し、あるいはオンラインシーム熱処理もしくは全管熱処理の後に焼戻し熱処理を施した。

【００４４】

これらの溶接鋼管から実施例１と同様に試験片を採取し、実施例１と同様に組織観察試験、拡管試験、引張試験、低温靭性試験を行った。

得られた結果を表４に示す。同表より、本発明例は、いずれも本発明規定の鋼組成要件及び製造方法要件を満たし、得られた溶接鋼管は本発明規定の第２相面積率要件を満たし、拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の特性を有するものとなっている。

【００４５】

これに対し、比較例は、いずれも本発明規定の鋼組成要件及び製造方法要件の少なくともいずれか１つを満たさず、得られた溶接鋼管は本発明規定の第２相面積率要件を満たさず、拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の特性を有するものとはなっていない。

（実施例３）

実施例３では、実施例２のNo.３４においてオープン管から管への溶接を、高周波抵抗溶接による電縫溶接に替えてレーザ溶接、ＴＩＧ溶接の二通りで実施し、それ以外は同様として溶接鋼管を製造し、これらをそれぞれ表３に示す本発明例No.５９、６０とし、これらについて、実施例２と同様に試験した。その結果を表４に示す。同表より、実施例３においても、得られた溶接鋼管は、実施例２と同様、本発明規定の第２相面積率要件を満たし、拡管性と低温靭性に優れた引張強度４９０ＭＰａ以上、降伏比０．７４～０．９２の特性を有するものとなっている。

【００４６】

【表１】

鋼	C	Si	Mn	Al	P	Sn	S	N	O	Cu	Ni	Others	30*C+100*(P+Sn)+1000*(S+N+O)	備考
A	0.087	1.05	1.22	0.035	0.010	0.000	0.0040	0.0037	0.0014	0.000	0.000	—	12.7	適合
B	0.092	0.22	1.72	0.033	0.009	0.000	0.0020	0.0035	0.0016	0.000	0.000	Ca:0.0022	10.8	適合
C	0.122	1.42	0.95	0.042	0.008	0.010	0.0010	0.0033	0.0012	0.002	0.000	Cr:0.32	11.0	適合
D	0.068	0.35	1.31	0.040	0.005	0.012	0.0006	0.0015	0.0018	0.250	0.000	—	7.6	適合
E	0.157	0.01	1.88	0.014	0.005	0.020	0.0005	0.0036	0.0026	0.005	0.100	—	13.9	適合
F	0.059	0.42	1.62	0.054	0.018	0.000	0.0020	0.0042	0.0015	0.070	0.250	Mo:0.11	11.3	適合
G	0.212	0.96	1.03	0.072	0.002	0.001	0.0030	0.0033	0.0015	0.000	0.000	Nb:0.025	14.5	適合
H	0.107	0.22	1.53	0.042	0.012	0.000	0.0020	0.0026	0.0011	0.000	0.010	V:0.035	10.1	適合
I	0.059	0.43	1.15	0.0332	0.018	0.000	0.0010	0.0032	0.0008	0.030	0.000	Ti:0.0023	8.6	適合
J	0.074	0.36	1.71	0.039	0.010	0.010	0.0040	0.0035	0.0010	0.015	0.000	W:0.02	12.7	適合
K	0.121	1.00	1.20	0.034	0.008	0.008	0.0020	0.0038	0.0008	0.001	0.001	B:0.0003	11.8	適合
L	0.095	1.22	1.96	0.045	0.013	0.006	0.0030	0.0027	0.0011	0.000	0.000	REM:0.002	11.6	適合
M	0.024	0.27	1.44	0.063	0.014	0.002	0.0080	0.0014	0.0018	0.001	0.000	—	13.5	不適合
N	0.252	0.16	1.74	0.026	0.014	0.010	0.0020	0.0031	0.0018	0.000	0.000	—	16.9	不適合
O	0.125	0.00	1.52	0.074	0.016	0.000	0.0008	0.0030	0.0012	0.002	0.000	—	10.4	不適合
P	0.059	2.12	1.58	0.038	0.005	0.001	0.0020	0.0036	0.0044	0.000	0.000	—	12.4	不適合
Q	0.098	0.44	0.42	0.049	0.017	0.000	0.0050	0.0018	0.0007	0.000	0.002	—	12.1	不適合
R	0.116	0.35	2.55	0.021	0.012	0.000	0.0030	0.0033	0.0015	0.000	0.000	—	12.5	不適合
S	0.081	0.26	1.28	0.007	0.019	0.010	0.0060	0.0032	0.0011	0.000	0.300	—	15.6	不適合
T	0.108	0.19	1.44	0.120	0.012	0.020	0.0020	0.0039	0.0022	0.000	0.000	—	14.5	不適合
U	0.076	0.44	1.35	0.024	0.026	0.000	0.0009	0.0019	0.0006	0.000	0.000	—	8.3	不適合
V	0.089	0.20	1.53	0.042	0.009	0.150	0.0030	0.0039	0.0024	0.000	0.000	—	27.9	不適合
W	0.111	0.41	1.49	0.035	0.014	0.010	0.0120	0.0045	0.0011	0.000	0.000	—	23.3	不適合
X	0.088	0.12	1.36	0.026	0.010	0.002	0.0040	0.0088	0.0020	0.200	0.001	—	18.6	不適合
Y	0.135	0.39	1.75	0.025	0.009	0.000	0.0030	0.0048	0.0042	0.000	0.020	—	17.0	不適合
Z	0.092	0.14	1.73	0.054	0.015	0.000	0.0030	0.0034	0.0016	1.520	0.000	—	12.3	不適合
α	0.123	0.14	1.44	0.029	0.006	0.010	0.0004	0.0024	0.0014	0.001	1.230	—	9.5	不適合
β	0.096	0.35	1.63	0.044	0.013	0.002	0.0020	0.0028	0.0011	0.003	0.000	Cr:1.62	10.3	不適合
γ	0.069	0.25	1.28	0.033	0.016	0.004	0.0060	0.0041	0.0010	0.000	0.000	Mo:0.75	15.2	不適合
δ	0.097	0.13	1.53	0.058	0.014	0.003	0.0030	0.0034	0.0013	0.000	0.000	Nb:0.19	12.3	不適合
ε	0.073	0.19	1.23	0.055	0.009	0.000	0.0020	0.0029	0.0007	0.000	0.000	Ti:0.17	8.7	不適合
ζ	0.180	1.22	1.02	0.040	0.016	0.050	0.0040	0.0042	00025	0.000	0.000	—	22.7	不適合

【００４７】

【表２】

No.	鋼	ミクロ組織分率		引張特性				限界	vE_{-20}		備考
		フェライト*（面積%）	Cが0.4質量%以上に濃化した第2相（面積%）	YS（MPa）	TS（MPa）	YR（—）	EL（%）	拡管率（%）	母材部（J/cm^2）	溶接部（J/cm^2）	
1	A	89	3.5	496	620	0.80	28	50	129	119	本発明例
2	B	89	4.6	524	647	0.81	26	49	125	118	本発明例
3	C	84	8.0	511	623	0.82	27	49	125	118	本発明例
4	D	90	1.2	507	667	0.76	27	49	122	115	本発明例
5	E	81	10.1	709	824	0.86	22	46	113	104	本発明例
6	F	96	0.1	536	654	0.82	26	49	120	114	本発明例
7	G	78	11.2	653	742	0.88	23	47	117	109	本発明例
8	H	89	6.2	586	751	0.78	25	48	116	106	本発明例
9	I	93	0.2	511	691	0.74	27	49	119	110	本発明例
10	J	91	0.9	529	575	0.92	26	49	123	118	本発明例
11	K	90	7.4	571	649	0.88	25	48	127	116	本発明例
12	L	91	5.3	486	565	0.86	28	50	126	107	本発明例
13	M	95	0.0	388	485	0.80	27	44	120	110	比較例
14	N	68	15.0	578	722	0.80	18	36	85	74	比較例
15	O	55	0.0	527	613	0.86	18	42	119	95	比較例
16	P	88	3.2	508	605	0.84	22	34	108	86	比較例
17	Q	95	0.0	370	425	0.87	27	43	126	97	比較例
18	R	57	0.0	542	713	0.76	19	34	95	89	比較例
19	S	85	2.4	435	512	0.85	27	43	99	94	比較例
20	T	86	2.7	526	598	0.88	24	39	105	80	比較例
21	U	76	5.3	523	630	0.83	24	40	107	88	比較例
22	V	82	4.2	510	622	0.82	21	38	102	87	比較例
23	W	87	5.3	564	656	0.86	22	41	105	86	比較例
24	X	87	4.1	460	548	0.84	20	40	91	90	比較例
25	Y	76	5.5	638	701	0.91	23	39	107	94	比較例
26	Z	80	3.3	566	674	0.84	24	43	110	106	比較例
27	α	62	8.6	570	712	0.80	21	40	110	94	比較例
28	β	66	5.3	495	627	0.79	26	39	107	87	比較例
29	γ	71	3.9	530	639	0.83	24	41	118	114	比較例
30	δ	77	3.8	629	715	0.88	21	40	107	103	比較例
31	ε	81	2.6	537	639	0.84	22	39	102	89	比較例
32	ζ	67	5.9	567	659	0.86	19	37	89	78	比較例

*：ポリゴナルフェライト、アシキュラーフェライト、ウィッドマンステッテンフェライトの総称

【００４８】

【表３】

No.	鋼	鋼帯の熱間圧延製造条件						溶接部のオンライン熱処理条件			製品管体寸法		備考
		スラブ加熱温度 (℃)	スラブ均熱時間 (分)	全圧下率 (%)	仕上げ圧延温度 (℃)	750~600℃間の冷却時間 (s)	巻取温度 (℃)	加熱温度 (℃)	冷却速度 (℃/s)	冷却終了温度 (℃)	外径 (mm)	肉厚 (mm)	
33	C	1320	60	96.8	890	8	500	940	30	250	203.2	8.0	比較例
34	C	1250	60	96.8	900	8	550	920	40	210	203.2	8.0	本発明例
35	C	1140	60	96.8	810	10	480	880	50	300	203.2	8.0	比較例
36	C	1230	20	96.8	770	5	380	860	30	350	203.2	8.0	比較例
37	C	1180	70	98.4	850	7	360	780	8	440	203.2	8.0	比較例
38	C	1290	40	96.8	830	9	400	800	8	420	203.2	8.0	本発明例
39	C	1270	90	92.8	880	12	420	840	8	300	203.2	18.0	比較例
40	C	1240	80	96.8	850	12	500	910	100	200	203.2	8.0	本発明例
41	C	1200	40	96.8	730	8	580	940	110	20	203.2	8.0	比較例
42	C	1230	60	96.8	840	7	570	930	120	50	203.2	8.0	本発明例
43	C	1220	50	96.8	890	5	400	920	100	80	203.2	8.0	本発明例
44	C	1270	50	96.8	900	3	490	900	100	100	203.2	8.0	比較例
45	B	1250	60	96.8	850	6	620	930	60	150	203.2	8.0	比較例
46	B	1240	40	96.8	810	7	460	860	60	470	203.2	8.0	本発明例
47	B	1260	50	96.8	790	9	250	820	60	300	203.2	8.0	比較例
48	B	1280	60	97.6	870	10	320	1020	7	380	114.3	6.0	比較例
49	B	1250	40	97.6	850	7	390	900	7	400	114.3	6.0	本発明例
50	B	1280	50	97.6	860	8	400	700	7	490	114.3	6.0	比較例
51	B	1260	60	96.8	880	7	520	960	300	300	203.2	8.0	本発明例
52	B	1260	60	96.8	880	7	520	970	20	200	203.2	8.0	本発明例**
53	B	1260	60	96.8	880	7	520	960	3	200	203.2	8.0	比較例
54	B	1240	40	97.6	880	10	450	760	15	650	114.3	6.0	比較例
55	B	1240	50	97.6	850	10	500	780	15	400	114.3	6.0	本発明例
56	B	1290	60	97.6	840	12	590	900	15	300	114.3	6.0	本発明例
57	B	1230	55	96.8	850	8	500	940*	115*	80*	203.2	8.0	本発明例*
58	B	1230	55	96.8	850	8	500	940***	115***	80***	203.2	8.0	本発明例***
59	C	1250	60	96.8	900	8	550	920	40	210	203.2	8.0	本発明例****
60	C	1250	60	96.8	900	8	550	920	40	210	203.2	8.0	本発明例*****

*: 全管熱処理
**: 溶接部を380℃で焼戻し
***: 全管熱処理後380℃で焼戻し
****: レーザ溶接
*****: TIG溶接

【００４９】

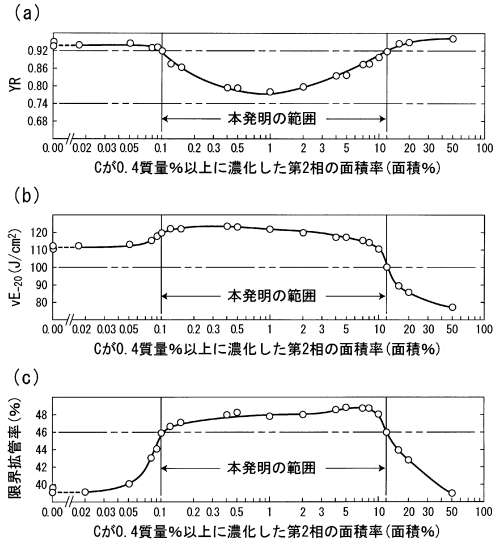
【表４】

No.	鋼	ミクロ組織分率		引張特性				限界拡管率	$_vE_{-20}$		備考
		フェライト*	Cが0.4質量%以上に濃化した第2相	YS	TS	YR	EL		母材部	溶接部	
		(面積%)	(面積%)	(MPa)	(MPa)	(—)	(%)	(%)	(J/cm^2)	(J/cm^2)	
33	C	83	5.4	518	629	0.82	25	44	117	106	比較例
34	C	87	8.6	520	632	0.82	27	49	123	117	本発明例
35	C	85	4.7	514	614	0.84	25	43	120	115	比較例
36	C	84	4.7	519	611	0.85	25	42	119	114	比較例
37	C	90	5.9	592	630	0.94	24	46	121	114	比較例
38	C	86	8.0	515	632	0.81	27	49	120	117	本発明例
39	C	80	3.4	443	615	0.72	24	45	98	96	比較例
40	C	86	9.0	521	640	0.81	27	49	124	117	本発明例
41	C	90	5.0	615	654	0.94	23	40	95	94	比較例
42	C	88	8.2	530	624	0.85	27	49	122	118	本発明例
43	C	84	9.6	569	632	0.90	25	47	117	114	本発明例
44	C	74	13.0	619	658	0.94	23	42	96	94	比較例
45	B	86	0.0	530	570	0.93	26	44	106	102	比較例
46	B	90	5.2	530	652	0.81	26	49	126	119	本発明例
47	B	76	0.0	622	669	0.93	22	42	97	94	比較例
48	B	83**	0.6**	521	640	0.81	26	47	120	86	比較例
49	B	89**	5.5**	514	635	0.81	26	49	124	120	本発明例
50	B	82**	0.0**	517	632	0.82	26	47	124	84	比較例
51	B	82**	11.0**	518	640	0.81**	26**	46	121	103	本発明例
52	B	88**	2.3**	520	642	0.81	27	48	123	120	本発明例***
53	B	85**	0.0**	386**	482**	0.80	26	46	122	95	比較例
54	B	72**	14.0**	518	643	0.81	26	42	120	87	比較例
55	B	88**	6.9**	520	648	0.80	26	48	120	118	本発明例
56	B	90**	5.7**	513	638	0.80	27	49	122	120	本発明例
57	B	74	0.3	547	675	0.81	24	51	128	124	本発明例****
58	B	74	0.3	534	668	0.80	25	52	132	126	本発明例*****
59	C	87	8.6	500	625	0.80	27	49	121	103	本発明例&
60	C	87	8.6	501	622	0.81	27	49	122	107	本発明例&&

*: ポリゴナルフェライト、アシキュラーフェライト、ウィッドマンステッテンフェライトの総称
**: 溶接部
***: 溶接部を380℃で焼戻し
****: 全管熱処理
*****: 全管熱処理後380℃で焼戻し
&: レーザ溶接
&&: TIG溶接

10 20 30

【図１】


(a)
YR
0.92
0.86
0.80
0.74
0.68
本発明の範囲
0.00 0.02 0.03 0.05 0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 3 5 10 20 30 50 100
Cが0.4質量%以上に濃化した第2相の面積率(面積%)
(b)
vE-20 (J/cm²)
120
110
100
90
80
本発明の範囲
0.00 0.02 0.03 0.05 0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 3 5 10 20 30 50 100
Cが0.4質量%以上に濃化した第2相の面積率(面積%)
(c)
限界拡管率(%)
48
46
44
42
40
本発明の範囲
0.00 0.02 0.03 0.05 0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 3 5 10 20 30 50 100
Cが0.4質量%以上に濃化した第2相の面積率(面積%)

フロントページの続き

(51)Int.Cl. FI
C21D 8/02 (2006.01) C21D 8/02 B

(72)発明者 木村 光男
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者 松岡 才二
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者 田中 全人
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者 河端 良和
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥスチール株式会社内

審査官 佐藤 陽一

(56)参考文献 国際公開第２００６／１３２４４１（WO，Ａ１）
特開昭６３－２２７７１５（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２０２１２８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００９／０１４２３８（WO，Ａ１）
国際公開第２００９／０５７３９０（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ２２Ｃ ３８／００－３８／６０
Ｃ２１Ｄ ９／０８