

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7226571号
(P7226571)

(45)発行日 令和5年2月21日(2023.2.21)

(24)登録日 令和5年2月13日(2023.2.13)

(51)国際特許分類	F I		
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 2 Z	
C 2 2 C 38/46 (2006.01)	C 2 2 C 38/46		
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60		
C 2 1 D 8/10 (2006.01)	C 2 1 D 8/10	D	
C 2 1 D 9/08 (2006.01)	C 2 1 D 9/08	E	
請求項の数 4 (全19頁)			

(21)出願番号	特願2021-549667(P2021-549667)	(73)特許権者	000001258
(86)(22)出願日	令和3年6月10日(2021.6.10)		J F E スチール株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/022014		東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(87)国際公開番号	WO2022/009598	(74)代理人	100184859
(87)国際公開日	令和4年1月13日(2022.1.13)		弁理士 磯村 哲朗
審査請求日	令和3年8月24日(2021.8.24)	(74)代理人	100123386
(31)優先権主張番号	特願2020-116091(P2020-116091)		弁理士 熊坂 晃
(32)優先日	令和2年7月6日(2020.7.6)	(74)代理人	100196667
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 坂井 哲也
		(74)代理人	100130834
			弁理士 森 和弘
		(72)発明者	加茂 祐一
			東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
			J F E スチール株式会社内
		(72)発明者	柚賀 正雄
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 ステンレス継目無鋼管およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量％で、
C：0．06％以下、
Si：1．0％以下、
Mn：0．01％以上0．90％以下、
P：0．05％以下、
S：0．005％以下、
Cr：15．70％以上18．00％以下、
Mo：1．60％以上3．80％以下、
Cu：1．10％以上4．00％以下、
Ni：3．0％以上6．0％以下、
Al：0．10％以下、
N：0．10％以下、
O：0．010％以下、
V：0．180％以上1．000％以下
を含有し、
かつC、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、およびNが以下の式（1）を満足し、
残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有し、
体積率で、30％以上のマルテンサイト相、5％以上60％以下のフェライト相、およ

び40%以下の残留オーステナイト相を含む組織を有し、

降伏強さが758MPa以上である、ステンレス継目無鋼管。

$13.0 - 5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N)$
50.0 (1)

ここで、C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、およびN：各元素の含有量（質量%）であり、含有しない場合はゼロとする。

【請求項2】

前記マルテンサイト相が体積率で40%以上、前記残留オーステナイト相が体積率で30%以下であり、降伏強さが862MPa以上である、請求項1に記載のステンレス継目無鋼管。

10

【請求項3】

前記成分組成に加えてさらに、質量%で、下記A群～D群のうちから選ばれた1群または2群以上を含有する、請求項1または2に記載のステンレス継目無鋼管。

記

A群：W：3.0%以下

B群：Nb：0.10%未満

C群：B：0.010%以下、Ta：0.3%以下、Ti：0.3%以下、Zr：0.3%以下のうちから選ばれた1種または2種以上

D群：Ca：0.01%以下、REM：0.3%以下、Mg：0.01%以下、Sn：1.0%以下、Sb：1.0%以下のうちから選ばれた1種または2種以上

20

【請求項4】

請求項1～3のいずれか1項に記載のステンレス継目無鋼管の製造方法であって、前記成分組成を有する鋼管素材を、加熱温度：1100～1350の範囲の温度で加熱し、熱間加工を施して継目無鋼管とし、

次いで、前記継目無鋼管を加熱温度：850～1150の範囲の温度に再加熱し、空冷以上の冷却速度で50以下の冷却停止温度まで冷却する焼入れ処理を施し、その後、焼戻し温度：500～650の範囲の温度に加熱する焼戻処理を施す、ステンレス継目無鋼管の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、油井およびガス井（以下、単に油井と称する）での利用に好適な、ステンレス継目無鋼管に関する。本発明は、とくに炭酸ガス（CO₂）、塩素イオン（Cl⁻）を含む高温の厳しい腐食環境下や、硫化水素（H₂S）を含む環境下等における耐食性、および高温での強度を向上させたステンレス継目無鋼管に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、近い将来に予想されるエネルギー資源の枯渇という観点から、従来、省みられなかったような、高深度の油田や炭酸ガスを含む環境下、およびサワー環境と呼ばれる硫化水素を含む環境下など、厳しい腐食環境の油井の開発が盛んに行われている。このような環境下で使用される油井用鋼管には、高強度かつ高い耐食性を有することが要求される。

40

【0003】

従来から、CO₂およびCl⁻等を含む環境下にある油田およびガス田では、採掘に使用する油井用鋼管として13Crマルテンサイト系ステンレス鋼管が一般的に使用されてきた。しかし、最近では、更なる高温（200までの高温）の油井の開発が進められ、13Crマルテンサイト系ステンレス鋼管では耐食性が不足する場合があった。このような環境下でも使用できる、高い耐食性を有する油井用鋼管が要望されている。

【0004】

このような要望に対し、例えば、特許文献1～特許文献5に挙げる技術がある。特許文献1には、質量%で、C：0.05%以下、Si：1.0%以下、Mn：0.01～1.0

50

0 %、P : 0 . 0 5 % 以下、S : 0 . 0 0 2 % 未満、Cr : 1 6 ~ 1 8 %、Mo : 1 . 8 ~ 3 %、Cu : 1 . 0 ~ 3 . 5 %、Ni : 3 . 0 ~ 5 . 5 %、Co : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 %、Al : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 %、O : 0 . 0 5 % 以下、及び、N : 0 . 0 5 % 以下を含有し、Cr、Ni、Mo、Cuが特定の関係を満足する組成を有する油井用ステンレス鋼が記載されている。

【 0 0 0 5 】

また、特許文献 2 には、質量 % で、C : 0 . 0 5 % 以下、Si : 1 . 0 % 以下、Mn : 0 . 1 ~ 0 . 5 %、P : 0 . 0 5 % 以下、S : 0 . 0 0 5 % 未満、Cr : 1 5 . 0 % 超え 1 9 . 0 % 以下、Mo : 2 . 0 % 超え 3 . 0 % 以下、Cu : 0 . 3 ~ 3 . 5 %、Ni : 3 . 0 % 以上 5 . 0 % 未満、W : 0 . 1 ~ 3 . 0 %、Nb : 0 . 0 7 ~ 0 . 5 %、V : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 %、Al : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 %、N : 0 . 0 1 0 ~ 0 . 1 0 0 %、O : 0 . 0 1 % 以下を含有し、Nb、Ta、C、N、Cuが特定の関係を満足する組成を有し、さらに体積率で、4 5 % 以上の焼炭マルテンサイト相と、2 0 ~ 4 0 % のフェライト相と、1 0 % 超え 2 5 % 以下の残留オーステナイト相と、からなる組織を有する、油井用高強度ステンレス継目無鋼管が記載されている。これにより、降伏強さ (Y S) 8 6 2 M P a 以上の強度と、CO₂、Cl⁻、H₂Sを含む高温の厳しい腐食環境においても十分な耐食性を示す油井用高強度ステンレス継目無鋼管を得られるとしている。

10

【 0 0 0 6 】

また、特許文献 3 には、質量 % で、C : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 5 %、Si : 0 . 0 5 ~ 0 . 5 0 %、Mn : 0 . 2 0 ~ 1 . 8 0 %、P : 0 . 0 3 0 % 以下、S : 0 . 0 0 5 % 以下、Cr : 1 2 . 0 ~ 1 7 . 0 %、Ni : 4 . 0 ~ 7 . 0 %、Mo : 0 . 5 ~ 3 . 0 %、Al : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 %、V : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 %、Co : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 %、N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 5 %、O : 0 . 0 1 0 % 以下を含有し、Cr、Ni、Mo、Cu、C、Si、Mn、Nが特定の関係を満足する組成を有する油井用高強度ステンレス継目無鋼管が記載されている。

20

【 0 0 0 7 】

また、特許文献 4 には、質量 % で、C : 0 . 0 5 % 以下、Si : 0 . 5 % 以下、Mn : 0 . 1 5 ~ 1 . 0 %、P : 0 . 0 3 0 % 以下、S : 0 . 0 0 5 % 以下、Cr : 1 4 . 5 ~ 1 7 . 5 %、Ni : 3 . 0 ~ 6 . 0 %、Mo : 2 . 7 ~ 5 . 0 %、Cu : 0 . 3 ~ 4 . 0 %、W : 0 . 1 ~ 2 . 5 %、V : 0 . 0 2 ~ 0 . 2 0 %、Al : 0 . 1 0 % 以下、N : 0 . 1 5 % 以下を含有し、C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、N、Wが特定の関係を満足する組成を有し、さらに体積率で、主相としてマルテンサイト相を 4 5 % 超、第二相としてフェライト相を 1 0 ~ 4 5 %、残留オーステナイト相を 3 0 % 以下含有する組織を有する、油井用高強度ステンレス継目無鋼管が記載されている。これにより、降伏強さ (Y S) 8 6 2 M P a 以上の強度と、CO₂、Cl⁻、H₂Sを含む高温の厳しい腐食環境においても十分な耐食性を示す油井用高強度ステンレス継目無鋼管を得られるとしている。

30

【 0 0 0 8 】

また、特許文献 5 には、質量 % で、C : 0 . 0 5 % 以下、Si : 0 . 5 % 以下、Mn : 0 . 1 5 ~ 1 . 0 %、P : 0 . 0 3 0 % 以下、S : 0 . 0 0 5 % 以下、Cr : 1 4 . 5 ~ 1 7 . 5 %、Ni : 3 . 0 ~ 6 . 0 %、Mo : 2 . 7 ~ 5 . 0 %、Cu : 0 . 3 ~ 4 . 0 %、W : 0 . 1 ~ 2 . 5 %、V : 0 . 0 2 ~ 0 . 2 0 %、Al : 0 . 1 0 % 以下、N : 0 . 1 5 % 以下、B : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 0 0 % を含有し、C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、N、Wが特定の関係を満足する組成を有し、さらに体積率で、主相としてマルテンサイト相を 4 5 % 超、第二相としてフェライト相を 1 0 ~ 4 5 %、残留オーステナイト相を 3 0 % 以下含有する組織を有する、油井用高強度ステンレス継目無鋼管が記載されている。これにより、降伏強さ (Y S) 8 6 2 M P a 以上の強度と、CO₂、Cl⁻、H₂Sを含む高温の厳しい腐食環境においても十分な耐食性を示す油井用高強度ステンレス継目無鋼管を得られるとしている。

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

50

【 0 0 0 9 】

【文献】国際公開第 2 0 1 3 / 1 4 6 0 4 6 号

国際公開第 2 0 1 7 / 1 3 8 0 5 0 号

国際公開第 2 0 1 7 / 1 6 8 8 7 4 号

国際公開第 2 0 1 8 / 0 2 0 8 8 6 号

国際公開第 2 0 1 8 / 1 5 5 0 4 1 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

前述したように、更なる高温での油井の開発が進められることにより、油井用鋼管には、高強度と、高温で、かつ、 CO_2 および Cl^- を含む厳しい腐食環境下における優れた耐炭酸ガス腐食性と、さらに、優れた耐硫化物応力割れ性（耐 SSC 性）を兼備することが要望されるようになっている。

10

【 0 0 1 1 】

また、高温で使用される場合には、高温での強度（高温強度）も求められることがある。具体的には、室温における降伏応力（0.2%耐力）に対する200における降伏応力（0.2%耐力）の割合が0.85以上であることを求められることがある。

【 0 0 1 2 】

特許文献1～5には、耐食性を改善したステンレス鋼が開示されているが、高温での耐食性と、高い耐硫化物応力割れ性と、高い高温強度とを兼備することが十分なされない場合があった。

20

【 0 0 1 3 】

本発明は、このような従来技術の問題を解決するものであり、降伏強さ：758 MPa（110 ksi）以上という高強度、優れた耐食性、ならびに優れた高温強度を有するステンレス継目無鋼管およびその製造方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 4 】

なお、ここでいう「優れた耐食性」とは、「優れた耐炭酸ガス腐食性」および「優れた耐硫化物応力割れ性」を有する場合をいうものとする。

【 0 0 1 5 】

ここでいう「優れた耐炭酸ガス腐食性」とは、オートクレーブ中に保持された試験液：20質量% NaCl水溶液（液温：200、30気圧の CO_2 ガス雰囲気）中に、試験片を浸漬し、浸漬時間を336時間として実施した際の腐食速度が0.127 mm/y以下の場合をいうものとする。

30

【 0 0 1 6 】

また、ここでいう「優れた耐硫化物応力割れ性」とは、オートクレーブ中に保持された試験液：0.165質量% NaCl水溶液（液温：25、0.99気圧の CO_2 ガス、0.01気圧の H_2S 雰囲気）に、酢酸+酢酸ナトリウムを加えてpH：3.0に調整した水溶液中に試験片を浸漬し、降伏応力の90%を負荷した状態で720時間晒し、試験後に試験片に破断および割れを生じていない場合をいうものとする。

【 0 0 1 7 】

また、ここでいう「優れた高温強度」とは、JIS Z 2241の規定に準拠した引張試験、およびJIS G 0567の規定に準拠した高温引張試験を実施し、室温における降伏応力（0.2%耐力）に対する200における降伏応力（0.2%耐力）の割合が0.85以上である場合をいうものとする。

40

なお、上記した各試験の方法は、後述する実施例においても詳述している。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 8 】

本発明者らは、上記した目的を達成するために、ステンレス鋼の高温強度、耐食性に及ぼす各種要因について鋭意検討した。その結果、Vを所定量以上含有させることで、優れた高温強度が得られた。また、Cr、Mo、Cuを所定量以上含有させることに加えてM

50

n含有量を一定量以下とすることで、優れた耐食性（優れた耐炭酸ガス腐食性および優れた耐硫化物応力割れ性）が得られた。

【0019】

本発明は、かかる知見に基づき、さらに検討を加えて完成されたものである。すなわち、本発明の要旨はつぎのとおりである。

[1] 質量%で、

C：0.06%以下、

Si：1.0%以下、

Mn：0.01%以上0.90%以下、

P：0.05%以下、

S：0.005%以下、

Cr：15.70%以上18.00%以下、

Mo：1.60%以上3.80%以下、

Cu：1.10%以上4.00%以下、

Ni：3.0%以上6.0%以下、

Al：0.10%以下、

N：0.10%以下、

O：0.010%以下、

V：0.120%以上1.000%以下

を含有し、

かつC、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、およびNが以下の式(1)を満足し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有し、

体積率で、30%以上のマルテンサイト相、60%以下のフェライト相、および40%以下の残留オーステナイト相を含む組織を有し、

降伏強さが758MPa以上である、ステンレス継目無鋼管。

記

$$13.0 - 5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N) \geq 50.0 \quad (1)$$

ここで、C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、およびN：各元素の含有量（質量%）であり、含有しない場合はゼロとする。

[2] 前記マルテンサイト相が体積率で40%以上、前記残留オーステナイト相が体積率で30%以下であり、降伏強さが862MPa以上である、[1]に記載のステンレス継目無鋼管。

[3] 前記成分組成に加えてさらに、質量%で、下記A群～D群のうちから選ばれた1群または2群以上を含有する、[1]または[2]に記載のステンレス継目無鋼管。

A群：W：3.0%以下

B群：Nb：0.10%未満

C群：B：0.010%以下、Ta：0.3%以下、Co：1.5%以下、Ti：0.3%以下、Zr：0.3%以下のうちから選ばれた1種または2種以上

D群：Ca：0.01%以下、REM：0.3%以下、Mg：0.01%以下、Sn：1.0%以下、Sb：1.0%以下のうちから選ばれた1種または2種以上

[4] [1]～[3]のいずれか1つに記載のステンレス継目無鋼管の製造方法であって、

前記成分組成を有する鋼管素材を、加熱温度：1100～1350の範囲の温度で加熱し、熱間加工を施して継目無鋼管とし、

次いで、前記継目無鋼管を加熱温度：850～1150の範囲の温度に再加熱し、空冷以上の冷却速度で50以下の冷却停止温度まで冷却する焼入れ処理を施し、

その後、焼戻し温度：500～650の範囲の温度に加熱する焼戻処理を施す、ステンレス継目無鋼管の製造方法。

【発明の効果】

【 0 0 2 0 】

本発明によれば、降伏強さ：758 MPa (1 1 0 k s i) 以上という高強度と、優れた耐食性と、優れた高温強度とを有するステンレス継目無鋼管およびその製造方法が得られる。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、本発明について詳細に説明する。

【 0 0 2 2 】

本発明のステンレス継目無鋼管は、質量%で、C：0.06%以下、Si：1.0%以下、Mn：0.01%以上0.90%以下、P：0.05%以下、S：0.005%以下、Cr：15.70%以上18.00%以下、Mo：1.60%以上3.80%以下、Cu：1.10%以上4.00%以下、Ni：3.0%以上6.0%以下、Al：0.10%以下、N：0.10%以下、O：0.010%以下、V：0.120%以上1.000%以下を含有し、かつC、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、およびNが以下の式(1)を満足し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有し、体積率で、30%以上のマルテンサイト相、60%以下のフェライト相、および40%以下の残留オーステナイト相を含む組織を有し、降伏強さが758 MPa以上である。

$$13.0 - 5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N) \geq 50.0 \quad (1)$$

ここで、C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、およびN：各元素の含有量(質量%)であり、含有しない場合はゼロとする。

【 0 0 2 3 】

まず、本発明のステンレス継目無鋼管の成分組成の限定理由について説明する。以下、とくに断らない限り、「質量%」は単に「%」で記す。

【 0 0 2 4 】

C：0.06%以下

Cは、製鋼過程で不可避に含有される元素である。0.06%を超えてCを含有すると、耐食性が低下する。このため、C含有量は0.06%以下とする。C含有量は、好ましくは0.05%以下であり、より好ましくは0.04%以下であり、さらに好ましくは0.03%以下である。脱炭コストを考慮すると、C含有量の好ましい下限は0.002%であり、より好ましくは0.003%以上である。

【 0 0 2 5 】

Si：1.0%以下

Siは、脱酸剤として作用する元素である。しかしながら、1.0%を超えてSiを含有すると、熱間加工性、耐食性が低下する。このため、Si含有量は1.0%以下とする。Si含有量は、好ましくは0.7%以下であり、より好ましくは0.5%以下であり、さらに好ましくは0.4%以下である。脱酸効果が得られれば良いので特に下限は設けないが、十分な脱酸効果を得る目的から、Si含有量は、好ましくは0.03%以上であり、より好ましくは0.05%以上である。

【 0 0 2 6 】

Mn：0.01%以上0.90%以下

Mnは、脱酸材および脱硫材として作用し、熱間加工性を向上させる元素である。脱酸素、脱硫の効果を得るとともに、強度を向上させるためには、Mn含有量は0.01%以上とする。一方、0.90%を超えてMnを含有すると耐硫化物応力割れ性が低下する。このため、Mn含有量は0.01%以上0.90%以下とする。Mn含有量は、好ましくは0.03%以上であり、より好ましくは0.05%以上である。また、Mn含有量は、好ましくは0.7%以下であり、より好ましくは0.5%以下であり、さらに好ましくは0.4%以下である。

【 0 0 2 7 】

P：0.05%以下

Pは、耐炭酸ガス腐食性および耐硫化物応力割れ性を低下させる元素であり、本発明ではできるだけ低減することが好ましいが、0.05%以下であれば許容できる。このため、P含有量は0.05%以下とする。P含有量は、好ましくは0.04%以下であり、より好ましくは0.03%以下であり、さらに好ましくは0.02%以下である。

【0028】

S：0.005%以下

Sは、熱間加工性を著しく低下させ、熱間造管工程の安定操業を阻害する元素である。また、Sは、鋼中では硫化物系介在物として存在し、耐硫化物応力割れ性を低下させる。そのため、Sはできるだけ低減することが好ましいが、0.005%以下であれば許容できる。このため、S含有量は0.005%以下とする。S含有量は、好ましくは0.004%以下であり、より好ましくは0.003%以下であり、さらに好ましくは0.002%以下である。

10

【0029】

Cr：15.70%以上18.00%以下

Crは、鋼管表面の保護皮膜を形成して耐食性向上に寄与する元素であり、Cr含有量が15.70%未満では、所望の耐炭酸ガス腐食性および耐硫化物応力割れ性を確保することができない。このため、15.70%以上のCrの含有を必要とする。一方、18.00%を超えるCrの含有は、フェライト分率が高くなりすぎて、所望の強度を確保できなくなる。このため、Cr含有量は15.70%以上18.00%以下とする。Cr含有量は、好ましくは16.00%以上であり、より好ましくは16.30%以上である。また、Cr含有量は、好ましくは17.50%以下であり、より好ましくは17.00%以下である。

20

【0030】

Mo：1.60%以上3.80%以下

Moは、鋼管表面の保護皮膜を安定化させて、Cl⁻や低pHによる孔食に対する抵抗性を増加させ、耐炭酸ガス腐食性および耐硫化物応力割れ性を高める。所望の耐食性を得るためには、1.60%以上のMoを含有する必要がある。一方、3.80%を超えてMoを添加するとフェライト分率が高くなりすぎて、所望の強度を確保できなくなる。このため、Mo含有量は1.60%以上3.80%以下とする。Mo含有量は、好ましくは1.80%以上であり、より好ましくは2.00%以上である。また、Mo含有量は、好ましくは3.5%以下であり、より好ましくは3.0%以下であり、さらに好ましくは2.8%以下である。

30

【0031】

Cu：1.10%以上4.00%以下

Cuは、鋼管表面の保護皮膜を強固にし、耐炭酸ガス腐食性および耐硫化物応力割れ性を高める効果を有する。所望の強度および耐食性、特に耐炭酸ガス腐食性を得るためには、1.10%以上のCuを含有する必要がある。一方、含有量が多すぎれば鋼の熱間加工性が低下するため、Cu含有量は4.00%以下とする。このため、Cu含有量は1.10%以上4.00%以下とする。Cu含有量は、好ましくは1.80%以上であり、より好ましくは2.00%以上である。また、Cu含有量は、好ましくは3.20%以下であり、より好ましくは3.00%以下であり、さらに好ましくは2.7%以下である。

40

【0032】

Ni：3.0%以上6.0%以下

Niは、固溶強化により鋼の強度を増加させるとともに、鋼の靱性を向上させる。油井管に求められる靱性を確保するためには、3.0%以上のNiの含有が必要である。一方、6.0%超えのNiの含有は、マルテンサイト相の安定性が低下し、強度が低下する。このため、Ni含有量は3.0%以上6.0%以下とする。Ni含有量は、好ましくは3.5%以上であり、より好ましくは4.0%以上であり、さらに好ましくは4.5%以上である。また、Ni含有量は、好ましくは5.5%以下であり、より好ましくは5.2%以下である。

50

【 0 0 3 3 】

A 1 : 0 . 1 0 % 以下

A 1 は、脱酸剤として作用する元素である。しかしながら、0 . 1 0 % を超えて A 1 を含有すると、耐食性が低下する。このため、A 1 含有量は 0 . 1 0 % 以下とする。A 1 含有量は、好ましくは 0 . 0 7 % 以下であり、より好ましくは 0 . 0 5 % 以下であり、さらに好ましくは 0 . 0 4 % 以下である。脱酸効果が得られれば良いので特に下限は設けないが、十分な脱酸効果を得る目的から、A 1 含有量は、好ましくは 0 . 0 0 5 % 以上であり、より好ましくは 0 . 0 1 % 以上である。

【 0 0 3 4 】

N : 0 . 1 0 % 以下

N は製鋼過程で不可避に含有される元素であるが、鋼の強度を高める元素でもある。しかしながら、0 . 1 0 % を超えて N を含有すると、窒化物を形成して耐食性を低下させる。このため、N 含有量は 0 . 1 0 % 以下とする。N 含有量は、好ましくは 0 . 0 8 % 以下であり、より好ましくは 0 . 0 5 % 以下であり、さらに好ましくは 0 . 0 3 % 以下である。N 含有量の下限値は特に設けないが、極度の N 含有量の低減は製鋼コストの増大を招く。そのため、N 含有量は、好ましくは 0 . 0 0 2 % 以上であり、より好ましくは 0 . 0 0 3 % 以上である。

【 0 0 3 5 】

O : 0 . 0 1 0 % 以下

O (酸素) は、鋼中では酸化物として存在するため、各種特性に悪影響を及ぼす。このため、本発明では、できるだけ低減することが望ましい。とくに、O 含有量が 0 . 0 1 0 % を超えると、熱間加工性、耐食性が低下する。このため、O 含有量は 0 . 0 1 0 % 以下とする。O 含有量は、好ましくは 0 . 0 0 5 % 以下である。

【 0 0 3 6 】

V : 0 . 1 2 0 % 以上 1 . 0 0 0 % 以下

V は、高温強度を向上させる、本発明において重要な元素である。V は炭窒化物を形成し、析出強化により室温のみならず高温においても高強度が得られる。所望の高温強度を得るためには、V を 0 . 1 2 0 % 以上含有する。一方、V を 1 . 0 0 0 % 超えて含有させても効果が飽和する。よって、本発明では、V 含有量を 0 . 1 2 0 % 以上 1 . 0 0 0 % 以下とする。また、V 含有量は、好ましくは 0 . 1 8 0 % 以上であり、より好ましくは 0 . 2 5 0 % 以上であり、さらに好ましくは 0 . 3 0 0 % 以上である。また、V 含有量は、好ましくは 0 . 5 0 0 % 以下であり、より好ましくは 0 . 4 0 0 % 以下であり、さらに好ましくは 0 . 3 0 0 % 以下である。

【 0 0 3 7 】

本発明では、上記成分組成を満足すると共に、さらに C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、および N が次の (1) 式を満足するように含有する。

$$13.0 \quad - 5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N) \quad 50.0 \quad (1)$$

ここで、C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo、Cu、および N : 各元素の含有量 (質量%) であり、含有しない場合はゼロとする。

(1) 式の「 $- 5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N)$ 」(以下、単に「(1) 式の中央の多項式」、あるいは「中央値」とも記す) は、フェライト相の生成傾向を示す指数として求めたものである。(1) 式に示された合金元素を (1) 式が満足するように調整して含有すれば、マルテンサイト相とフェライト相、あるいはさらに残留オーステナイト相からなる複合組織を安定して実現することができる。なお、(1) 式に記載される合金元素を含有しない場合には、(1) 式の中央の多項式の値は、当該元素の含有量を零% として扱うものとする。

【 0 0 3 8 】

上記の (1) 式の中央の多項式の値が、13 . 0 未満であると、熱間加工温度域においてフェライト相が少なくなり、製造時の歩留まりを低下させる。一方、上記の (1) 式の

10

20

30

40

50

中央の多項式の値が、50.0 超えであると、フェライト相が体積率で60%を超え、所望の強度を確保できなくなる。このため、本発明で規定する(1)式は、下限となる左辺値を13.0とし、上限となる右辺値を50.0とする。本発明で規定する(1)式の下限となる左辺値は、好ましくは15.0であり、より好ましくは20.0である。また、上記右辺値は、好ましくは45.0であり、より好ましくは40.0である。すなわち、(1)式の中央の多項式の値は、13.0以上とし、50.0以下とする。好ましくは、15.0以上とし、45.0以下とする。より好ましくは、20.0以上とし、40.0以下とする。

【0039】

本発明では、上記した成分組成以外の残部は、Feおよび不可避免的不純物からなる。

10

【0040】

以上の必須元素で、本発明のステンレス継目無鋼管は目的とする特性が得られる。本発明では、特性をさらに向上させることを目的として、必要に応じて、上記した基本の成分組成に加えてさらに、下記の選択元素(W、Nb、B、Ta、Co、Ti、Zr、Ca、REM、Mg、Sn、Sb)を1種または2種以上含有してもよい。

【0041】

具体的には、本発明では、上記した成分組成に加えて、W：3.0%以下を含有することができる。

また、本発明では、上記した成分組成に加えて、Nb：0.10%未満を含有することができる。

20

さらに、本発明では、上記した成分組成に加えて、B：0.010%以下、Ta：0.3%以下、Co：1.5%以下、Ti：0.3%以下およびZr：0.3%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することができる。

さらに、本発明では、上記した成分組成に加えて、Ca：0.01%以下、REM：0.3%以下、Mg：0.01%以下、Sn：1.0%以下およびSb：1.0%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することができる。

【0042】

W：3.0%以下

Wは、鋼の強度向上に寄与するとともに、鋼管表面の保護皮膜を安定化させて、耐炭酸ガス腐食性および耐硫化物応力割れ性を高めることができる元素である。Wは、Moと複合して含有することにより、とくに耐食性を顕著に向上させる。Wは、上記の効果をj得るため、必要に応じて含有することができる。一方、3.0%を超えてWを含有しても効果が飽和する。このため、Wを含有する場合、W含有量は3.0%以下とすることが好ましい。W含有量は、より好ましくは1.5%未満であり、さらに好ましくは1.0%以下である。また、Wを含有させる場合には、W含有量は、より好ましくは0.05%以上であり、さらに好ましくは0.10%以上である。

30

【0043】

Nb：0.10%未満

Nbは、強度を増加させる元素であるとともに、耐食性を向上させる元素であり、必要に応じて含有することができる。一方、0.10%以上のNbを含有させると、所望の高温強度を得られない場合がある。このため、Nbを含有する場合、Nb含有量は0.10%未満とすることが好ましい。Nb含有量は、より好ましくは0.05%以下であり、さらに好ましくは0.03%以下である。また、Nb含有量は、より好ましくは0.005%以上であり、さらに好ましくは0.010%以上である。

40

【0044】

B：0.010%以下

Bは、強度を増加させる元素であり、必要に応じて含有することができる。また、Bは熱間加工性の改善にも寄与し、造管過程において亀裂や割れの発生が抑制する効果も有する。一方、0.010%を超えてBを含有させても、熱間加工性の改善効果がほぼ現出しなくなるだけではなく、低温靱性が低下する。このため、Bを含有する場合、B含有量は

50

0.010%以下とすることが好ましい。B含有量は、より好ましくは0.008%以下であり、さらに好ましくは0.007%以下である。また、B含有量は、より好ましくは0.0005%以上であり、さらに好ましくは0.0010%以上である。

【0045】

Ta: 0.3%以下

Taは、強度を増加させる元素であるとともに、耐食性を向上させる元素であり、必要に応じて含有することができる。このような効果を得るためには、0.001%以上のTaを含有することが好ましい。一方、Taは0.3%を超えて含有させても効果が飽和する。このため、Taを含有する場合には、Ta含有量を0.3%以下に限定することが好ましい。Ta含有量は、より好ましくは0.25%以下、さらに好ましくは0.06%以下、より好ましくは0.050%以下、さらに好ましくは0.025%以下である。より好ましくは、0.005%以上である。

10

【0046】

Co: 1.5%以下

Coは、強度を増加させる元素であり、必要に応じて含有することができる。Coは、上記した効果に加えて、耐食性を改善する効果も有する。このような効果を得るためには、Coを0.0005%以上含有することが好ましい。Co含有量は、より好ましくは0.005%以上であり、さらに好ましくは0.010%以上である。一方、Coを1.5%を超えて含有させても効果が飽和する。このため、Coを含有する場合には、Co含有量を1.5%以下に限定することが好ましい。Co含有量は、より好ましくは0.150%未満である。

20

【0047】

Ti: 0.3%以下

Tiは、強度を増加させる元素であり、必要に応じて含有することができる。このような効果を得るためには、Tiを0.0005%以上含有することが好ましい。一方、Tiを0.3%を超えて含有すると、靱性が低下する。このため、Tiを含有する場合には、Ti含有量を0.3%以下に限定することが好ましい。

【0048】

Zr: 0.3%以下

Zrは、強度を増加させる元素であり、必要に応じて含有することができる。Zrは、上記した効果に加えて、耐硫化物応力割れ性を改善する効果も有する。このような効果を得るためには、Zrを0.0005%以上含有することが好ましい。一方、Zrを0.3%を超えて含有させても効果が飽和する。このため、Zrを含有する場合には、Zr含有量を0.3%以下に限定することが好ましい。

30

【0049】

Ca: 0.01%以下

Caは、硫化物の形態制御を介して耐硫化物応力割れ性の改善に寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。このような効果を得るためには、Caを0.0005%以上含有することが好ましい。一方、Caを0.01%を超えて含有しても、効果が飽和し、含有量に見合う効果が期待できなくなる。このため、Caを含有する場合には、Ca含有量を0.01%以下に限定することが好ましい。

40

【0050】

REM: 0.3%以下

REM(希土類金属)は、硫化物の形態制御を介して耐硫化物応力割れ性の改善に寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。このような効果を得るためには、REMを0.0005%以上含有することが好ましい。一方、REMを0.3%を超えて含有しても、効果が飽和し、含有量に見合う効果が期待できなくなる。このため、REMを含有する場合には、REM含有量を0.3%以下に限定することが好ましい。

なお、本発明というREMとは、原子番号21番のスカンジウム(Sc)と原子番号39番のイットリウム(Y)及び、原子番号57番のランタン(La)から71番のルテチウ

50

μ (L u) までのランタノイドである。本発明における R E M 濃度とは、上述の R E M から選択された 1 種または 2 種以上の元素の総含有量である。

【 0 0 5 1 】

M g : 0 . 0 1 % 以下

M g は、耐食性を向上させる元素であり、必要に応じて含有できる。このような効果を得るためには、M g を 0 . 0 0 0 5 % 以上含有することが好ましい。一方、M g を 0 . 0 1 % を超えて含有しても、効果が飽和し、含有量に見合う効果が期待できなくなる。このため、M g を含有する場合には、M g 含有量を 0 . 0 1 % 以下に限定することが好ましい。

【 0 0 5 2 】

S n : 1 . 0 % 以下

S n は、耐食性を向上させる元素であり、必要に応じて含有できる。このような効果を得るためには、S n を 0 . 0 0 1 % 以上含有することが好ましい。一方、S n を 1 . 0 % を超えて含有しても、効果が飽和し、含有量に見合う効果が期待できなくなる。このため、S n を含有する場合には、S n 含有量を 1 . 0 % 以下に限定することが好ましい。

【 0 0 5 3 】

S b : 1 . 0 % 以下

S b は、耐食性を向上させる元素であり、必要に応じて含有できる。このような効果を得るためには、S b を 0 . 0 0 1 % 以上含有することが好ましい。一方、S b を 1 . 0 % を超えて含有しても、効果が飽和し、含有量に見合う効果が期待できなくなる。このため、S b を含有する場合には、S b 含有量を 1 . 0 % 以下に限定することが好ましい。

【 0 0 5 4 】

次に、本発明のステンレス継目無鋼管の組織の限定理由について説明する。

【 0 0 5 5 】

本発明のステンレス継目無鋼管は、上記した成分組成を有し、体積率で、30 % 以上のマルテンサイト相と、60 % 以下のフェライト相と、40 % 以下の残留オーステナイト相とを含む組織を有する。

【 0 0 5 6 】

本発明のステンレス継目無鋼管では、所望の強度を確保するために、マルテンサイト相を体積率で 30 % 以上とする。マルテンサイト相は、好ましくは 40 % 以上とする。マルテンサイト相は、好ましくは 70 % 以下とし、より好ましくは 65 % 以下とする。

【 0 0 5 7 】

また、本発明では、体積率で 60 % 以下のフェライト相を含む。フェライト相を含有すると、硫化物応力割れの進展を抑制でき、優れた耐食性が得られる。一方、体積率で 60 % を超えて多量のフェライト相が析出すると、所望の強度を確保できなくなる場合がある。好ましくは、フェライト相は体積率で 5 % 以上である。より好ましくは 10 % 以上である。また、好ましくは、フェライト相は体積率で 50 % 以下である。より好ましくは 45 % 以下である。

【 0 0 5 8 】

さらに、本発明では、マルテンサイト相とフェライト相に加えて、体積率で 40 % 以下のオーステナイト相 (残留オーステナイト相) を含む。残留オーステナイト相の存在により、延性、靱性が向上する。一方、体積率で 40 % を超える多量のオーステナイト相が析出すると、所望の強度を確保できなくなる。このため、残留オーステナイト相は体積率で 40 % 以下とする。好ましくは、残留オーステナイト相は体積率で 5 % 以上である。また、好ましくは、残留オーステナイト相は体積率で 35 % 以下である。さらに好ましくは、残留オーステナイト相は体積率で 30 % 以下である。

【 0 0 5 9 】

ここで、本発明のステンレス継目無鋼管の上記の組織の測定は、次の方法で行うことができる。まず、組織観察用試験片をピレラ試薬 (ピクリン酸、塩酸およびエタノールをそれぞれ 2 g、10 m l および 100 m l の割合で混合した試薬) で腐食して走査型電子顕微鏡 (倍率 : 1000 倍) で組織を撮像し、画像解析装置を用いて、フェライト相の組織

10

20

30

40

50

分率（面積率（％））を算出する。この面積率をフェライト相の体積率（％）と定義する。

【 0 0 6 0 】

そして、X線回折用試験片を、管軸方向に直交する断面（C断面）が測定面となるように、研削および研磨し、X線回折法を用いて残留オーステナイト（ ）相の組織分率を測定する。残留オーステナイト相の組織分率は、 の（ 2 2 0 ）面、 （フェライト）の（ 2 1 1 ）面、の回折X線積分強度を測定し、次式を用いて換算する。

$$（体積率） = 100 / (1 + (I_{R} / I_{F}))$$

ここで、 I_{F} : の積分強度、 R : の結晶学的理論計算値、 I_{R} : の積分強度、 R : の結晶学的理論計算値とする。

【 0 0 6 1 】

また、上記測定方法により求めたフェライト相および残留 相以外の残部を、マルテンサイト相の分率とする。

【 0 0 6 2 】

以下に、本発明のステンレス継目無鋼管の好適な製造方法について説明する。

【 0 0 6 3 】

上記した成分組成の溶鋼を、転炉等の常用の溶製方法で溶製し、連続鋳造法、造塊 - 分塊圧延法等、通常の方法でピレット等の鋼管素材とすることが好ましい。熱間加工前の鋼管素材の加熱温度は、好ましくは 1 1 0 0 ~ 1 3 5 0 である。これにより、造管の際の熱間加工性と最終製品の低温靱性との両立が可能である。

ついで、得られた鋼管素材に対して、通常公知の造管方法である、マンネスマン - プラグミル方式、あるいはマンネスマン - マンドレルミル方式の造管工程を用いて、熱間加工して造管し、所望寸法の上記した組成を有する継目無鋼管とする。熱間加工後には、冷却処理を施してよい。この冷却処理（冷却工程）は、とくに限定する必要はない。上記した本発明の成分組成範囲であれば、熱間加工後、空冷程度の冷却速度で室温まで冷却することが好ましい。

【 0 0 6 4 】

本発明では、得られた継目無鋼管に対して、さらに焼入れ処理と焼戻処理とからなる熱処理を施す。

【 0 0 6 5 】

焼入れ処理は、加熱温度： 8 5 0 ~ 1 1 5 0 の範囲の温度に再加熱したのち、空冷以上の冷却速度で冷却する処理とする。この時の冷却停止温度は、継目無鋼管の表面温度で 5 0 以下である。

【 0 0 6 6 】

加熱温度が 8 5 0 未満では、マルテンサイトからオーステナイトへの逆変態が起こらず、また冷却時にオーステナイトからマルテンサイトへの変態が起こらず、所望の強度を確保できない。一方、加熱温度が 1 1 5 0 を超えて高温となると、結晶粒が粗大化する。このため、焼入れ処理の加熱温度は 8 5 0 ~ 1 1 5 0 の範囲の温度とする。好ましくは、焼入れ処理の加熱温度は 9 0 0 以上である。好ましくは、焼入れ処理の加熱温度は 1 1 0 0 以下である。また、冷却停止温度は 5 0 超えであると、オーステナイトからマルテンサイトへの変態が十分に起こらず、残留オーステナイト分率が過剰となる。そのため、本発明では、焼入れ処理における冷却での冷却停止温度は 5 0 以下とする。ここで、「空冷以上の冷却速度」とは、 0 . 0 1 / s 以上である。

【 0 0 6 7 】

また、焼入れ処理において、均熱時間は、肉厚方向における温度を均一化し、材質の変動を防止するために、 5 ~ 3 0 分とすることが好ましい。

【 0 0 6 8 】

焼戻処理は、焼入れ処理を施された継目無鋼管に、焼戻し温度： 5 0 0 ~ 6 5 0 に加熱する処理とする。また、この加熱の後、放冷することができる。

【 0 0 6 9 】

焼戻し温度が 5 0 0 未満では、低温すぎて所望の焼戻効果が期待できなくなる。一方

10

20

30

40

50

、焼戻し温度が650 を超える高温では、金属間化合物が析出し、優れた低温靱性が得られなくなる。このため、焼戻し温度は500～650 の範囲の温度とする。好ましくは、焼戻し温度は520 以上である。好ましくは、焼戻し温度は630 以下である。

【0070】

また、焼戻処理において、保持時間（均熱保持時間）は、肉厚方向における温度を均一化し、材質の変動を防止するために、5～90分とすることが好ましい。

【0071】

上記した熱処理（焼入れ処理および焼戻処理）を施すことにより、継目無鋼管の組織は、所定の体積率で特定されるマルテンサイト相とフェライト相と残留オーステナイト相とを含む組織となる。これにより、所望の強度と、優れた耐食性とを有するステンレス継目無鋼管とすることができる。

10

【0072】

以上、本発明により得られるステンレス継目無鋼管は、降伏強さが758MPa以上となる高強度鋼管であり、優れた耐食性と高温強度を有する。好ましくは、降伏強さは862MPa以上である。好ましくは、降伏強さは1034MPa以下である。本発明のステンレス継目無鋼管は、油井用ステンレス継目無鋼管（油井用高強度ステンレス継目無鋼管）とすることができる。

【実施例】

【0073】

以下、実施例に基づき、さらに本発明について説明する。なお、本発明は以下の実施例に限定されない。

20

【0074】

表1-1および表1-2に示す成分組成の溶鋼を用いて、鋼管素材を鋳造した。その後、鋼管素材を加熱し、モデルシームレス圧延機を用いる熱間加工により造管し、外径83.8mm×肉厚12.7mmの継目無鋼管とし、空冷した。このとき、熱間加工前の鋼管素材の加熱温度は1250 とした。

【0075】

得られた継目無鋼管から、試験片素材を切り出し、加熱温度960 に再加熱し、均熱保持時間を20分とし、30 の冷却停止温度まで、冷却（水冷）する焼入れ処理を施した。そして、さらに加熱温度（焼戻し温度）575 にて均熱保持時間を20分、または加熱温度（焼戻し温度）525 にて均熱保持時間を20分、または加熱温度（焼戻し温度）620 にて均熱保持時間40分とし、その後、空冷する焼戻処理を施した。焼入れ処理時の水冷での冷却速度は11 /sであり、焼戻処理時の空冷（放冷）での冷却速度は、0.04 /sであった。なお、表1-1および表1-2の空欄は、意図的に添加しないことを表しており、含有しない（0%）の場合だけでなく、不可避免的に含有する場合も含む。

30

【0076】

40

【表 1 - 1】

鋼 No.	成分組成 (質量%)														式(1) (*3)		備考
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	Al	N	O	V	その他	中央値	適合	
A	0.017	0.36	0.261	0.012	0.0009	17.03	2.77	2.15	4.87	0.026	0.020	0.001	0.283		28.6	○	発明鋼
B	0.010	0.26	0.331	0.019	0.0010	16.98	2.47	2.77	4.15	0.022	0.019	0.002	0.332		30.5	○	発明鋼
C	0.013	0.28	0.384	0.018	0.0013	17.26	2.75	3.16	4.99	0.027	0.017	0.002	0.369		28.0	○	発明鋼
D	0.059	0.30	0.271	0.014	0.0012	17.40	2.41	2.43	5.28	0.027	0.020	0.003	0.293		18.5	○	発明鋼
E	0.018	0.92	0.221	0.016	0.0015	16.49	2.54	2.82	5.14	0.026	0.010	0.003	0.316		25.4	○	発明鋼
F	0.011	0.33	0.837	0.017	0.0012	16.96	2.39	1.86	4.14	0.027	0.012	0.002	0.220		31.0	○	発明鋼
G	0.011	0.25	0.023	0.017	0.0010	16.62	2.61	3.13	4.23	0.025	0.015	0.001	0.313		29.0	○	発明鋼
H	0.008	0.32	0.148	0.049	0.0015	16.80	2.35	3.05	4.50	0.023	0.018	0.001	0.193		27.3	○	発明鋼
I	0.010	0.31	0.190	0.019	0.0041	16.74	2.48	1.85	4.95	0.025	0.016	0.004	0.325		26.3	○	発明鋼
J	0.014	0.26	0.283	0.015	0.0015	17.95	2.53	2.80	4.75	0.025	0.011	0.004	0.296		32.4	○	発明鋼
K	0.013	0.32	0.310	0.016	0.0014	15.76	2.56	1.86	5.39	0.029	0.022	0.002	0.272		18.0	○	発明鋼
L	0.008	0.29	0.203	0.014	0.0011	17.04	3.73	3.18	4.79	0.026	0.015	0.004	0.310		35.6	○	発明鋼
M	0.009	0.32	0.183	0.014	0.0010	17.32	1.66	2.68	4.53	0.027	0.022	0.004	0.189		25.3	○	発明鋼
N	0.011	0.30	0.234	0.013	0.0015	16.70	2.90	3.81	4.20	0.024	0.018	0.001	0.200		30.5	○	発明鋼
O	0.018	0.29	0.259	0.015	0.0010	16.80	2.32	3.15	5.09	0.025	0.012	0.004	0.300		22.0	○	発明鋼
P	0.017	0.23	0.374	0.015	0.0012	16.74	2.33	1.18	4.27	0.026	0.012	0.003	0.330		28.6	○	発明鋼
Q	0.012	0.36	0.171	0.016	0.0010	16.93	2.53	2.75	5.86	0.023	0.012	0.004	0.300		21.4	○	発明鋼
T	0.014	0.30	0.261	0.015	0.0009	16.91	3.27	2.26	3.14	0.026	0.018	0.002	0.320		41.6	○	発明鋼
U	0.015	0.29	0.374	0.016	0.0010	16.54	3.00	2.78	4.53	0.089	0.013	0.004	0.282		29.0	○	発明鋼
V	0.018	0.29	0.259	0.015	0.0010	16.80	2.32	2.80	5.09	0.025	0.085	0.003	0.279		17.6	○	発明鋼
W	0.011	0.31	0.206	0.014	0.0008	16.96	2.48	3.16	5.38	0.024	0.015	0.009	0.321		23.2	○	発明鋼
X	0.011	0.27	0.333	0.015	0.0008	16.76	2.23	2.07	5.51	0.024	0.014	0.002	0.913		20.8	○	発明鋼
Y	0.008	0.36	0.150	0.016	0.0006	16.52	3.24	3.18	4.82	0.025	0.011	0.003	0.389		30.2	○	発明鋼
Z	0.010	0.32	0.258	0.015	0.0011	16.77	2.36	1.92	5.46	0.026	0.017	0.002	0.127		22.4	○	発明鋼
AA	0.012	0.35	0.288	0.017	0.0009	17.02	2.80	1.87	5.47	0.026	0.020	0.002	0.185		26.2	○	発明鋼
AB	0.002	0.90	0.267	0.015	0.0010	17.78	3.78	1.82	4.29	0.018	0.006	0.001	0.335		49.1	○	発明鋼
AC	0.034	0.06	0.426	0.015	0.0008	16.01	1.79	2.65	4.72	0.027	0.007	0.003	0.379		13.4	○	発明鋼
AD	0.005	0.30	0.380	0.016	0.0010	16.63	2.54	2.88	5.22	0.026	0.017	0.001	0.330	W:1.41	23.7	○	発明鋼
AE	0.008	0.29	0.253	0.016	0.0013	16.55	2.55	1.81	4.46	0.022	0.017	0.002	0.282	Nb:0.07	28.7	○	発明鋼

(*1) 上記成分以外の残部は、Feおよび不可選の不純物である。

(*2) 下線は発明範囲外である。

(*3) 式(1): $13.0 \leq -5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N) \leq 50.0$

【 0 0 7 7 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

鋼 No.	成分組成 (質量%)											式(1) (*3)		備考
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	Al	N	O	V	
AF	0.009	0.24	0.240	0.013	0.0014	16.70	2.53	3.00	4.11	0.027	0.020	0.003	0.282	中央値
AG	0.014	0.23	0.374	0.014	0.0011	17.32	3.23	3.07	4.22	0.028	0.015	0.003	0.250	適合
AH	0.013	0.30	0.160	0.017	0.0007	17.01	2.58	3.19	4.56	0.027	0.015	0.003	0.262	○
AI	0.010	0.30	0.381	0.015	0.0014	16.93	2.36	2.39	4.15	0.027	0.014	0.002	0.328	○
AJ	0.012	0.30	0.282	0.015	0.0012	16.44	2.86	2.79	4.83	0.027	0.016	0.001	0.379	○
AK	0.008	0.36	0.150	0.016	0.0006	16.52	3.24	3.18	4.82	0.025	0.011	0.003	0.338	○
AL	0.014	0.27	0.285	0.016	0.0008	16.96	3.11	2.76	4.54	0.024	0.011	0.002	0.214	○
AM	0.011	0.28	0.247	0.016	0.0012	16.64	2.47	3.12	5.31	0.028	0.015	0.002	0.259	○
AN	0.012	0.25	0.408	0.014	0.0012	16.79	2.45	2.45	4.37	0.025	0.016	0.003	0.231	○
AO	0.066	0.33	0.248	0.015	0.0015	17.19	3.00	2.67	4.98	0.027	0.012	0.002	0.255	○
AP	0.008	1.28	0.302	0.015	0.0006	16.51	3.15	1.98	4.34	0.024	0.016	0.003	0.366	○
AQ	0.005	0.30	0.928	0.016	0.0010	16.63	2.54	2.88	5.22	0.026	0.017	0.001	0.322	○
AR	0.014	0.29	0.289	0.056	0.0012	16.53	2.77	1.83	5.17	0.027	0.020	0.002	0.240	○
AS	0.014	0.29	0.330	0.016	0.0058	16.60	2.65	2.58	4.63	0.028	0.021	0.003	0.240	○
AT	0.017	0.28	0.402	0.016	0.0014	18.13	3.24	3.12	4.64	0.027	0.014	0.003	0.399	○
AU	0.012	0.28	0.294	0.017	0.0009	15.52	2.66	2.08	4.77	0.027	0.018	0.003	0.224	○
AV	0.014	0.30	0.280	0.017	0.0007	17.36	4.03	2.55	4.30	0.023	0.017	0.003	0.249	○
AW	0.009	0.25	0.364	0.014	0.0010	16.50	1.47	1.93	5.23	0.024	0.014	0.003	0.181	○
AX	0.014	0.32	0.330	0.016	0.0010	16.85	2.99	1.02	5.40	0.027	0.021	0.002	0.350	○
AY	0.014	0.30	0.297	0.015	0.0012	17.36	2.70	3.16	6.17	0.024	0.014	0.003	0.209	○
AZ	0.011	0.26	0.388	0.013	0.0008	16.64	2.51	3.08	5.14	0.131	0.013	0.003	0.216	○
BA	0.012	0.26	0.262	0.017	0.0011	17.04	2.76	1.84	4.41	0.028	0.115	0.001	0.398	○
BB	0.014	0.36	0.274	0.016	0.0013	16.60	2.44	2.43	4.58	0.025	0.014	0.013	0.266	○
BC	0.014	0.27	0.265	0.016	0.0008	16.96	3.11	2.76	4.54	0.024	0.011	0.002	0.098	○
BD	0.004	0.92	0.299	0.017	0.0014	17.93	3.78	1.80	3.89	0.019	0.014	0.002	0.197	×
BE	0.017	0.28	0.350	0.016	0.0010	16.50	2.55	1.65	4.12	0.025	0.013	0.003	0.383	○
BF	0.014	0.30	0.253	0.016	0.0007	16.85	2.53	1.88	4.56	0.026	0.014	0.002	0.251	○
BG	0.012	0.25	0.240	0.015	0.0009	17.36	2.58	3.00	4.35	0.025	0.022	0.002	0.183	○
BH	0.011	0.32	0.374	0.013	0.0014	16.64	2.36	3.07	4.83	0.025	0.019	0.002	0.153	○

(*)1 上記成分以外の残部は、Feおよび不可避的不純物である。

(*)2 下線は発明範囲外である。

(*)3 式(1): $13.0 \leq -5.9 \times (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo + 0.2Cu + 11N) \leq 50.0$

【0078】

得られた熱処理済みの試験片素材（継目無鋼管）から、各試験片を採取し、組織観察、引張試験、高温引張試験、および耐食性試験を実施した。試験方法はつぎの通りとした。

【0079】

(1) 組織観察

得られた熱処理済み試験材から、管軸方向に直交する断面が観察面となるように組織観察用試験片を採取した。得られた組織観察用試験片をピレラ試薬（ピクリン酸、塩酸およびエタノールをそれぞれ2g、10mlおよび100mlの割合で混合した試薬）で腐食して走査型電子顕微鏡（倍率：1000倍）で組織を撮像し、画像解析装置を用いて、フ

10

20

30

40

50

フェライト相の組織分率（面積率（％））を算出した。この面積率をフェライト相の体積率（％）とした。

【 0 0 8 0 】

また、得られた熱処理済み試験材から、X線回折用試験片を採取し、管軸方向に直交する断面（C断面）が測定面となるように、研削および研磨し、X線回折法を用いて残留オーステナイト（ ）相の組織分率を測定した。残留オーステナイト相の組織分率は、 の（ 2 2 0 ）面、（フェライト）の（ 2 1 1 ）面、の回折X線積分強度を測定し、次式を用いて換算した。

$$(\text{体積率}) = 100 / (1 + (I_{\text{R}} / I_{\text{F}}))$$

ここで、 I_{F} : の積分強度、 R : の結晶学的理論計算値、 I_{R} : の積分強度、 R : の結晶学的理論計算値とする。

なお、マルテンサイト相の分率は、フェライト相および、残留 相以外の残部である。

【 0 0 8 1 】

（ 2 ）引張試験

得られた熱処理済み試験材から、管軸方向が引張方向となるように棒状試験片を採取し、JIS Z 2241（2011年）の規定に準拠して引張試験を実施し、降伏応力（ Y_S ）を0.2％耐力として求めた。ここでは、降伏強さ Y_S が758MPa以上のものを高強度であるとして合格とし、758MPa未満のものは不合格とした。

【 0 0 8 2 】

（ 3 ）高温引張試験

得られた熱処理済み試験材から、管軸方向が引張方向となるように棒状試験片を採取し、JIS G 0567（2012年）の規定に準拠して200 における引張試験を実施し、降伏応力（ Y_S ）を0.2％耐力として求めた。ここでは、同一の鋼に対して同じ熱処理を施し、（ 2 ）の引張試験で得られた降伏応力（0.2％耐力）に対する200 の0.2％耐力の割合が0.85以上である場合を合格とし、0.85未満のものは不合格とした。

【 0 0 8 3 】

（ 4 ）耐食性試験（耐炭酸ガス腐食性試験および耐硫化物応力割れ試験）

得られた熱処理済み試験材から、厚さが3mm、幅が30mm、長さが40mmのサイズの腐食試験片を機械加工によって作製した。該腐食試験片を用いて、腐食試験を実施し、耐炭酸ガス腐食性を評価した。

【 0 0 8 4 】

耐炭酸ガス腐食性を評価する腐食試験は、オートクレーブ中に保持された試験液：20質量％NaCl水溶液（液温：200 、30気圧のCO₂ガス雰囲気）中に、上記腐食試験片を浸漬し、浸漬期間を14日間（336時間）として実施した。試験後の試験片について、重量を測定し、腐食試験前後の重量減から計算した腐食速度を求めた。腐食速度が0.127mm/y以下のものを合格とし、0.127mm/y超えのものを不合格とした。

【 0 0 8 5 】

さらに、得られた試験片素材から、丸棒状の試験片（直径：3.81mm）を機械加工によって作製し、耐硫化物応力割れ試験（耐SSC(Sulfide Stress Cracking)試験）を実施した。

【 0 0 8 6 】

耐SSC試験は、オートクレーブ中に保持された試験液：0.165質量％NaCl水溶液（液温：25 、0.99気圧のCO₂ガス、0.01気圧のH₂S雰囲気）に、酢酸＋酢酸ナトリウムを加えてpH：3.0に調整した水溶液中に試験片を浸漬し、降伏応力の90％を負荷した状態で720時間晒し、試験後の試験片について破断または割れの有無を観察した。破断も割れも無いものを合格（表2 - 1および表2 - 2では記号「 」で示す）とし、破断または割れ有のものを不合格（表2 - 1および表2 - 2では記号「 x 」で示す）とした。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

得られた結果を表 2 - 1 および表 2 - 2 に示す。

【 0 0 8 8 】

【表 2 - 1】

鋼 No.	鋼管 No.	焼戻し温度 (°C)	均熱保持時間 (分)	組織(体積%)			降伏強さ YS(MPa)	高温強度 (*2)	腐食 速度 (mm/y)	耐SSC性	備考
				M (*1)	F (*1)	A (*1)					
A	1	575	20	53	34	13	929	0.87	0.028	○	本発明例
A	2	620	40	35	36	29	802	0.86	0.030	○	本発明例
B	3	575	20	58	31	11	944	0.88	0.026	○	本発明例
B	4	620	40	37	33	30	827	0.87	0.022	○	本発明例
C	5	575	20	50	32	18	915	0.86	0.025	○	本発明例
C	6	620	40	34	35	31	793	0.90	0.029	○	本発明例
D	7	575	20	44	29	27	880	0.89	0.106	○	本発明例
E	8	575	20	57	32	11	935	0.89	0.058	○	本発明例
F	9	575	20	54	24	22	961	0.90	0.027	○	本発明例
G	10	575	20	60	33	7	888	0.90	0.025	○	本発明例
H	11	575	20	62	30	8	948	0.86	0.079	○	本発明例
I	12	575	20	60	32	8	956	0.89	0.025	○	本発明例
J	13	575	20	47	32	21	893	0.88	0.020	○	本発明例
K	14	575	20	70	24	6	996	0.88	0.098	○	本発明例
L	15	575	20	42	34	24	870	0.90	0.021	○	本発明例
M	16	575	20	61	28	11	959	0.87	0.079	○	本発明例
N	17	575	20	56	32	12	936	0.88	0.016	○	本発明例
O	18	575	20	60	29	11	921	0.88	0.019	○	本発明例
P	19	575	20	62	34	4	937	0.90	0.037	○	本発明例
Q	20	575	20	50	31	19	887	0.88	0.023	○	本発明例
T	21	575	20	53	34	13	927	0.87	0.031	○	本発明例
U	22	575	20	56	30	14	936	0.86	0.062	○	本発明例
V	23	575	20	53	28	19	923	0.90	0.069	○	本発明例
W	24	575	20	53	31	16	924	0.89	0.070	○	本発明例
X	25	575	20	60	27	13	944	0.88	0.028	○	本発明例
Y	26	575	20	61	28	11	947	0.90	0.036	○	本発明例
Z	27	575	20	40	47	13	875	0.85	0.027	○	本発明例
AA	28	575	20	69	24	7	991	0.89	0.025	○	本発明例
AB	29	575	20	40	56	4	947	0.88	0.027	○	本発明例
AC	30	575	20	69	25	6	963	0.88	0.031	○	本発明例
AD	31	575	20	56	33	11	945	0.90	0.031	○	本発明例
AE	32	575	20	52	31	17	919	0.90	0.026	○	本発明例

下線は発明範囲外である。

(*1) M: マルテンサイト相、F: フェライト相、A: 残留オーステナイト相

(*2) 高温強度は、室温での降伏応力(0.2%耐力)に対する、200°Cでの降伏応力(0.2%耐力)の割合を示す。

【 0 0 8 9 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 2】

鋼 No.	鋼管 No.	焼戻し温度 (°C)	均熱保持時間 (分)	組織(体積%)			降伏強さ YS(MPa)	高温強度 (*2)	腐食 速度 (mm/y)	耐SSC性	備考
				M (*1)	F (*1)	A (*1)					
AF	33	575	20	46	36	18	901	0.89	0.024	○	本発明例
AG	34	575	20	56	30	14	928	0.90	0.027	○	本発明例
AH	35	575	20	62	31	7	954	0.88	0.024	○	本発明例
AI	36	575	20	55	33	12	936	0.87	0.027	○	本発明例
AJ	37	575	20	52	33	15	923	0.90	0.025	○	本発明例
AK	38	575	20	55	31	14	918	0.90	0.023	○	本発明例
AL	39	575	20	55	31	14	936	0.89	0.027	○	本発明例
AM	40	575	20	51	32	17	922	0.88	0.024	○	本発明例
AN	41	575	20	58	33	9	945	0.90	0.026	○	本発明例
P	42	525	20	66	34	0	942	0.90	0.035	○	本発明例
AO	43	575	20	42	28	30	869	0.88	0.136	×	比較例
AP	44	575	20	56	34	10	932	0.90	0.138	×	比較例
AQ	45	575	20	62	28	10	946	0.90	0.085	×	比較例
AR	46	575	20	60	31	9	940	0.89	0.151	×	比較例
AS	47	575	20	37	37	26	956	0.90	0.076	×	比較例
AT	48	575	20	29	55	16	731	0.88	0.015	○	比較例
AU	49	575	20	42	36	22	867	0.88	0.156	×	比較例
AV	50	575	20	29	46	25	740	0.90	0.018	○	比較例
AW	51	575	20	55	30	15	891	0.90	0.154	×	比較例
AX	52	575	20	46	31	23	899	0.89	0.135	×	比較例
AY	53	575	20	29	28	43	719	0.90	0.026	○	比較例
AZ	54	575	20	53	29	18	909	0.88	0.159	×	比較例
BA	55	575	20	60	29	11	947	0.87	0.152	×	比較例
BB	56	575	20	58	31	11	949	0.90	0.137	×	比較例
BC	57	575	20	53	32	15	946	0.73	0.045	○	比較例
BD	58	575	20	20	63	17	658	0.85	0.037	○	比較例
BE	59	575	20	56	29	15	897	0.88	0.035	○	本発明例
BF	60	575	20	52	30	18	888	0.87	0.039	○	本発明例
BG	61	575	20	61	27	12	925	0.86	0.027	○	本発明例
BH	62	575	20	64	22	14	941	0.86	0.040	○	本発明例

下線は発明範囲外である。

(*1) M: マルテンサイト相、F: フェライト相、A: 残留オーステナイト相

(*2) 高温強度は、室温での降伏応力(0.2%耐力)に対する、200°Cでの降伏応力(0.2%耐力)の割合を示す。

【0090】

表 2 - 1 および表 2 - 2 に示すように、本発明例は、いずれも、降伏強さ YS : 758 MPa 以上の高強度と、CO₂、Cl⁻ を含む 200 という高温の腐食環境下における優れた耐食性(耐炭酸ガス腐食性)と、優れた耐硫化物応力割れ性と、優れた高温強度とを有するステンレス継目無鋼管であった。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

審査官 岡田 眞理

- (56)参考文献 国際公開第2013/146046(WO,A1)
国際公開第2011/136175(WO,A1)
国際公開第2018/131340(WO,A1)
特表2018-524472(JP,A)
特開2017-039998(JP,A)
国際公開第2015/178022(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 38/00 - 38/60
C21D 8/10
C21D 9/08