

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4502010号  
(P4502010)

(45) 発行日 平成22年7月14日(2010.7.14)

(24) 登録日 平成22年4月30日(2010.4.30)

(51) Int.Cl.		F I	
C 2 2 C	38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 1 Z
C 2 1 D	8/10	(2006.01)	C 2 1 D 8/10 B
C 2 2 C	38/58	(2006.01)	C 2 2 C 38/58
C 2 1 D	9/08	(2006.01)	C 2 1 D 9/08 E

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-532120 (P2007-532120)	(73) 特許権者	000002118 住友金属工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(86) (22) 出願日	平成18年8月22日(2006.8.22)	(74) 代理人	100081352 弁理士 広瀬 章一
(86) 国際出願番号	PCT/JP2006/316395	(72) 発明者	近藤 邦夫 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内
(87) 国際公開番号	W02007/023804	(72) 発明者	荒井 勇次 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内
(87) 国際公開日	平成19年3月1日(2007.3.1)	(72) 発明者	久宗 信之 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内
審査請求日	平成20年2月15日(2008.2.15)		
(31) 優先権主張番号	特願2005-240069 (P2005-240069)		
(32) 優先日	平成17年8月22日(2005.8.22)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラインパイプ用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:0.02~0.08%、Si:0.5%以下、Mn:2.0~3.0%、Al:0.001~0.10%、Mo:0.4%超~1.2%、N:0.002~0.015%、CaおよびREMの1種または2種の合計:0.0002~0.007%、Cr:0~1.0%、Ti:0~0.05%、Ni:0~2.0%、Nb:0~0.04%、V:0~0.2%、Cu:0~1.5%、B:0~0.01%、Mg:0~0.007%、残部:Feおよび不純物からなり、不純物中のPが0.05%以下、Sが0.005%以下、Oが0.005%以下であり、次式を満足する化学組成を有することを特徴とする、ラインパイプ用継目無鋼管:

$$1.0 [Mn] \times [Mo] \leq 2.6$$

式中、[Mn]および[Mo]はそれぞれMnおよびMoの質量%での含有量に等しい数値を意味する。

【請求項2】

前記化学組成が、質量%で、Cr:0.02~1.0%、Ti:0.003~0.05%、Ni:0.02~2.0%、Nb:0.003~0.04%、V:0.003~0.2%、Cu:0.02~1.5%、B:0.0002~0.01%、およびMg:0.0002~0.007%よりなる群から選ばれた1種または2種以上の元素を含有する請求項1に記載のラインパイプ用継目無鋼管。

【請求項3】

請求項1または2に記載の化学組成を有する鋼片から、熱間加工により継目無鋼管を造管し、この鋼管に焼入れおよび焼戻しを施すことからなる、ラインパイプ用継目無鋼管の製造方法。

## 【請求項4】

熱間加工により造管された継目無鋼管を一旦冷却し、その後に加熱して焼入れを行う請求項3に記載の方法。

## 【請求項5】

熱間加工により造管された継目無鋼管に直ちに焼入れを施す、請求項3に記載の方法。

## 【請求項6】

焼戻しを550 ~ 700 の範囲内の温度で行う請求項3に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、強度、靱性、耐食性、溶接性に優れたラインパイプ用継目無鋼管とその製造方法に関する。本発明に係る継目無鋼管は、API（米国石油協会）規格に規定されるX80級以上の強度、具体的には、X80級（降伏強度551 MPa以上）、X90級（降伏強度620 MPa以上）、またはX100級（降伏強度689 MPa以上）の強度を、良好な靱性と耐食性と共に有する、ラインパイプ用の高強度、高靱性、厚肉継目無鋼管であり、特に海底フローライン用鋼管またはライザー用鋼管として好適である。

10

## 【背景技術】

## 【0002】

陸上や水深ほぼ500メートルまでのいわゆる浅海に位置する油田の石油、天然ガス資源が近年枯渇しつつあるので、例えば海面下1000~3000メートルといういわゆる深海の海底油田の開発が活発になっている。深海油田では、海底に設置された油井、天然ガス井の坑口から、洋上のプラットフォームまで、フローラインやライザーと呼ばれる鋼管を用いて原油や天然ガスを輸送する必要がある。

20

## 【0003】

深海に敷設されたフローラインまたはライザーを構成する鋼管の内部には、深い地層圧が加わった高圧の内部流体圧がかかり、また操業停止時には深海の海水圧の影響を受ける。ライザーを構成する鋼管は、さらに波浪による繰り返し歪みの影響も受ける。

## 【0004】

ここで、フローラインとは、地上もしくは海底面の地勢に沿って敷設された輸送用鋼管であり、ライザーとは海底面から海上のプラットフォームまで立ち上がった輸送用鋼管である。深海油田で用いる場合には、これらの鋼管は通常30 mm以上の肉厚が必要と言われており、実際にも40~50 mmの厚肉管が使用されるのが一般的である。これからも過酷な条件で使用される部材であることがわかる。

30

## 【0005】

図1は、ライザーおよびフローラインの海中における配置例を模式的に示す説明図である。図中、海底10に設けられた坑口12とその直上の海面13上に設けられたプラットフォーム14との間はトップテンションライザー16によって連結されている。一方、図示しない遠方にある坑口からは、これに連結され、海底上に設置されたフローライン18がプラットフォーム14の近くまで延設されており、このフローライン18の端部は、プラットフォーム近傍から立ち上がったスチールカテナリーライザー20によってプラットフォーム14に連結されている。

40

## 【0006】

このようなライザーおよびフローラインの使用環境は過酷であり、例えば、温度は177、内圧は1400気圧以上に達するといわれている。従って、ライザーやフローラインに用いる鋼管はそのような過酷な使用環境に耐えなければならない。しかも、ライザーの場合、波浪による曲げ圧力を受けるため、そのような外部からの影響にも耐えなければならない。

## 【0007】

従って、ライザーおよびフローラインには、高強度で高靱性の鋼管が望まれる。また、高い信頼性を確保するため、溶接鋼管ではなく、継目無鋼管が用いられている。

50

溶接鋼管の分野では、既にX80級を超える強度の鋼管を製造する技術が開示されている。例えば特許文献1（特開平9-41074号公報）に、API規格のX100級（降伏強度689 MPa以上）超の鋼が開示されている。溶接鋼管は、鋼板をまず製造し、その鋼板を丸めて溶接し、鋼管とする。鋼板の製造段階で強度、靱性等の主要な性能を付与する目的で、鋼板の圧延時に加工熱処理を施すことによって、そのミクロ組織をコントロールすることが適用されてきた。特許文献1でも、鋼板の熱間圧延時に加工熱処理を施し、そのミクロ組織を、加工フェライトを含有するようにコントロールすることによって、溶接後の鋼管の性能を確保する。従って、特許文献1に開示される技術は、制御圧延による加工熱処理が容易な鋼板の圧延プロセスでのみ実現でき、従って溶接鋼管には適用できるが、継目無鋼管には適用できない。

10

## 【0008】

継目無鋼管に限ると、近年X80級の継目無鋼管が開発されつつある。継目無鋼管では、溶接鋼管で開発された加工熱処理を利用する上記技術は適用困難であるから、基本的に造管後の熱処理によって性能を確保する必要がある。例えば、特許文献2（特開2001-288532号公報）に、X80級（降伏強度551 MPa以上）の継目無鋼管を製造する技術が開示されている。しかし、その技術は、特許文献2の実施例に記載されているように、本質的に焼入れ性がよい薄肉（肉厚11.1 mm）の継目無鋼管で検討されているにすぎない。従って、ここに開示された技術を用いても、ライザーやフローラインとして実際に使用されている厚肉（肉厚40～50 mm程度）の継目無鋼管を製造する場合は、そのような厚肉鋼管では特に中心部の焼入れ時の冷却速度が遅くなるため、十分な強度と靱性が確保できないという問題がある。

20

## 【発明の開示】

## 【0009】

本発明は、上記の問題を解決することを目指したものであり、具体的には、特に肉厚の大きい継目無鋼管で高強度と安定した靱性と良好な耐食性を確保できるラインパイプ用継目無鋼管とその製造方法を提供することを目的とする。

## 【0010】

従来のラインパイプ用鋼に関しては、例えば下記に示すC当量式といわれる、CE(IIW)式またはPcm式により強度が予測できることが知られており、これらの式を参考にして、強度を調整して材質設計を行ってきた。

30

## 【0011】

$$CE(IIW) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

$$Pcm = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

しかし、従来のラインパイプ用鋼では上記数式が成り立つものの、近年更なる高強度が要求されるライザーやフローラインとして使用するための肉厚30 mmを超える厚肉鋼管用材料では、上記式が参考にならず、上記の式で高強度となる筈の材質でも、特に靱性の低下が著しい場合があることが判明した。すなわち、単純にC当量式に記載の合金元素を添加して、高強度を確保するだけでは不十分であり、靱性を改善することが必要となる。

## 【0012】

本発明者らは、厚肉の継目無鋼管の靱性を支配する因子について解析した。その結果、特に厚肉で強度と靱性を確保するためには、C含有量を低く抑えるとともに、CaまたはREMの添加を必須とし、さらに、質量%で、Mn添加量とMo添加量の積が0.8以上であることが重要であるということが判明した。さらに、必要により、Cr、Ti、Ni、Nb、V、Cu、B、Mgの1種または2種以上を添加することができるが、それらについても特定の範囲内に調整することが重要である。

40

## 【0013】

本発明における高強度での靱性改善効果が発現される機構は不明であるが、現時点で考えられる機構は次の通りである。但し、本発明はこの機構に拘束されるものではない。

Mnは、鋼の焼き入れ性を向上させ、厚肉材の中央部まで微細な変態組織を形成するのを助長して、強度と靱性を向上させる働きがある。一方、鋼の焼戻し軟化抵抗を高めるMoを

50

添加すると、同じ目標強度を得る場合でもより高い焼戻し温度が設定できるため、鋼の靱性が大きく向上する。MnとMoの上記効果は単独添加でも得られる。しかし、MnとMoと一緒にあるレベル以上で添加すると、鋼の焼き入れ性の向上と高温焼戻し性の効果とが相乗して、厚肉の継目無鋼管において、従来は到達できなかったレベルの高強度と高靱性が得られるようになる。Mnレベルが従来より高くなると、靱性および耐食性を低下させるMnSが析出し易いが、Ca、REMを添加して、MnSの析出を防止し、さらにC含有量を低下させて炭化物の析出量を低減することにより、靱性と耐食性をさらに向上させることができる。

#### 【0014】

上記化学組成を有する素材を用いた場合には、造管後に焼き入れと焼き戻しを含む製造方法が、高強度で高靱性の厚肉の継目無鋼管を得るのに好適である。

10

本発明に係るラインパイプ用継目無鋼管は、質量%で、C：0.02～0.08%、Si：0.5%以下、Mn：2.0～3.0%、Al：0.001～0.10%、Mo：0.4%超～1.2%、N：0.002～0.015%、さらに、CaおよびREMの1種または2種：合計で0.0002～0.007%を含有し、残部はFeおよび不純物からなり、不純物中のPが0.05%以下、Sが0.005%以下、Oが0.005%以下であり、次式：

$$1.0 \text{ [Mn]} \times \text{[Mo]} \quad 2.6$$

(式中、[Mn]および[Mo]はそれぞれMnおよびMoの質量%での含有量に等しい数値)を満足する化学組成を有することを特徴とする。

#### 【0015】

前記化学組成は、下記から選ばれた1種または2種以上の元素(含有量は質量%を意味する)をさらに含有しうる：

20

Cr：1.0%以下、Ti：0.05%以下、Ni：2.0%以下、Nb：0.04%以下、V：0.2%以下、Cu：1.5%以下、B：0.01%以下、Mg：0.007%以下。

#### 【0016】

本発明はまた、ラインパイプ用継目無鋼管の製造方法に関する。

1態様において、本発明の方法は、上記化学組成を有する鋼片から、熱間加工により継目無鋼管を造管し、形成された鋼管を一旦冷却し、その後に加熱して、焼入れおよび焼き戻しを施すことからなる。

#### 【0017】

別の態様において、本発明の方法は、上記化学組成を有する鋼片から、熱間加工により継目無鋼管を造管した後、形成された鋼管に直ちに焼入れを施し、さらに焼戻しことからなる。

30

#### 【0018】

本発明によれば、継目無鋼管の化学組成、つまり鋼組成とその製造方法を上述のように規定することによって、特に厚さ30 mm以上という肉厚の厚い継目無鋼管において、焼入れ・焼戻しの熱処理だけで、X80級(降伏強度551 MPa以上)、X90級(降伏強度620 MPa以上)、X100級(降伏強度689 MPa以上)の高強度を有し、しかも靱性と耐食性に優れたラインパイプ用継目無鋼管が製造可能となる。

#### 【0019】

ここで用いた「ラインパイプ」とは、原油、天然ガス等の流体の輸送用に用いる管構造物であって、陸上はもとより、海上、海中において使用されるものである。本発明に係る継目無鋼管は、前述のフローライン、ライザー等の海上、海中で使用されるラインパイプに特に適しているが、用途はそれに制限されるものではない。

40

#### 【0020】

本発明に係る継目無鋼管の形状、寸法は特に制限されないが、継目無鋼管の製造工程に起因する制限があり、外径の最大は500 mm程度、最小は150 mm程度が普通である。本発明の効果は、特に肉厚が30 mm以上で発揮されるが、それに制限されるわけではない。

#### 【0021】

本発明の継目無鋼管は、特に海底フローライン用として、より厳しい深海に敷設可能である。従って、本発明は、エネルギーの安定供給に大きく貢献する。ライザー管や深海に

50

敷設されるフローラインに使用する場合には、継目無鋼管の肉厚を30 mm以上とすることが好ましい。肉厚の上限は特に制限はないが、通常は60 mm以下であろう。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明にかかる継目無鋼管の一つの用途を示す模式的説明図である。

【図2】実施例の結果に基づいて[Mn] × [Mo]の値と強度および靱性との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

本発明において鋼管の化学組成を上述のように規定した理由を述べる。なお、前記のとおり、化学成分の含有量（濃度）を表す「%」は「質量%」を意味する。

C：0.02～0.08%

Cは、鋼の強度を確保するための重要な元素である。鋼の焼入れ性を高めて厚肉材で十分な強度を得るために、C含有量を0.02%以上とする。一方、その含有量が0.08%を超えると靱性が低下する。そのため、C含有量を0.02～0.08%とする。厚肉材で強度を確保する観点から望ましいC含有量の下限は0.03%、より好ましい下限は0.04%である。C含有量のより好ましい上限は0.06%である。

【0024】

Si：0.5%以下

Siは、製鋼における脱酸剤としての作用を有するので、添加は必要であるが、その含有量はなるべく少ない方がよい。その理由は、ラインパイプを連結するための周溶接時に溶接熱影響部の鋼の靱性を大幅に低下させるからである。Si含有量が0.5%を超えると、大入熱溶接時の熱影響部の靱性が著しく低下するので、脱酸剤として添加するSi量を0.5%以下とする。Si含有量は好ましくは0.3%以下、より好ましくは0.15%以下である。

【0025】

Mn：1.5～3.0%

Mnは、鋼の焼入れ性を高めて、厚肉材でも中心まで強化すると同時に、靱性を高めるために、多量の含有が必要である。その含有量が1.5%未満ではこれらの効果が得られず、3.0%を超えると、耐HIC（耐水素誘起割れ）特性が低下するので、1.5～3.0%とする。Mn含有量の下限は好ましくは1.8%、より好ましくは2.0%、さらに好ましくは2.1%である。また、後述するように、MnはMoとの複合添加効果で高強度高靱性を得るので、Mo添加量を考慮したMnの添加が必要である。

【0026】

Al：0.001～0.10%

Alは製鋼における脱酸剤として添加する。この効果を得るためその含有量が0.001%以上となるように添加する。一方、Al含有量が0.10%を超えると、鋼中の介在物がクラスタ状になって鋼の靱性を劣化させ、また、管端のベベル面加工時に表面欠陥が多発するようになる。そのため、Al含有量は0.001～0.10%とする。表面欠陥を防止する観点からは、Al含有量の上限をさらに制限することが望ましく、好ましい上限は0.05%、より好ましい上限は0.03%である。脱酸を十分行って、靱性を向上させるための好ましいAl含有量の下限は0.010%である。本発明のAl含有量とは、酸可溶Al（所謂「sol.Al」）を指す。

【0027】

Mo：0.4%超～1.2%

Moは、特に冷却速度が遅い条件においても鋼の焼入れ性を高める効果があり、厚肉材でも中心まで強化すると同時に、鋼の焼き戻し軟化抵抗を高めて、その高温焼き戻し可能とすることにより、靱性を向上させる点で、本発明において重要な元素である。これらの効果を得るためには、0.4%を超えるMo含有量が必要である。Mo含有量の好ましい下限は0.5%、より好ましい下限は0.6%である。しかし、Moは高価な元素であるのと、1.2%程度でその効果が飽和するので、1.2%をMo含有量の上限とする。さらに、後述するように、MoはMnとの複合添加効果で高強度高靱性を得るので、Mn添加量を考慮したMoの添加が必要で

10

20

30

40

50

ある。

【 0 0 2 8 】

N : 0.002 ~ 0.015 %

Nは、鋼の焼入れ性を高めて厚肉材で十分な強度を得るために0.002%以上含有させる。一方、N含有量が0.015%を超えると鋼の靱性が低下するので、N含有量を0.002~0.015%とする。

【 0 0 2 9 】

Ca、REMの少なくとも1種：合計0.0002~0.007%

これらの元素は、介在物の形態制御により鋼の靱性、耐食性を改善する目的と、鋳込み時のノズル詰まりを抑制して鋳込み特性を改善する目的で添加する。これらの効果を得るために、CaおよびREMから選ばれた少なくとも1種を合計0.0002%以上含有させる。一方、これらの元素の合計含有量が0.007%を超えると、上記の効果が飽和して、それ以上の効果が発揮されないばかりではなく、介在物がクラスター化し易くなり、逆に鋼の靱性、耐HIC特性の低下を招く。従って、上記元素は少なくとも1種を合計含有量が0.0002~0.007%、好ましくは0.0002~0.005%となるように添加する。REMとは、ランタノイド元素、YおよびScの17元素の総称であり、本発明にあってはその少なくとも1種含有されるときその合計量をもってREM含有量とする。

10

【 0 0 3 0 】

本発明のラインパイプ用継目無鋼管は、上記成分を含有し、残部はFeと不純物からなる。ただし、不純物中のP、S、Oは下記のように各含有量の上限を抑える。

20

P : 0.05%以下

Pは、鋼の靱性を低下させる不純物元素であり、その含有量は可及的に少なくするのが好ましい。その含有量が0.05%を超えると、靱性が著しく低下するので、Pの許容上限を0.05%とする。P含有量は0.02%以下が好ましく、0.01%以下がさらに好ましい。

【 0 0 3 1 】

S : 0.005%以下

Sも、鋼の靱性を低下させる不純物元素であり、可及的に少なくするのが好ましい。その含有量が0.005%を超えると、靱性が著しく低下するので、Sの許容上限を0.005%とする。S含有量は0.003%以下にするのが好ましく、0.001%以下がさらに好ましい。

【 0 0 3 2 】

O : 0.005%以下

Oも、鋼の靱性を低下させる不純物元素であり、可及的に少なくするのが好ましい。その含有量が0.005%を超えると、靱性が著しく低下するので、O含有量の許容上限を0.005%とする。O含有量は0.003%以下が好ましく、0.002%以下がさらに好ましい。

30

【 0 0 3 3 】

本発明のラインパイプ用継目無鋼管の化学組成においては、上記の個々の元素の含有量の規定に加えて、MnとMoは次式を満たすように調整する：

$$0.8 \quad [Mn] \times [Mo] \quad 2.6$$

但し、[Mn]および[Mo]は、それぞれMnおよびMoの含有量を質量%で表した数字である。

【 0 0 3 4 】

MnとMoの含有量が、上に規定したそれぞれの含有量の範囲内であって、かつ上記数式を満たすことにより、本発明で目標とする高強度かつ高靱性の継目無鋼管を得ることが可能となる。[Mn] × [Mo]の値は、一般に大きい方が強度と靱性が高くなるので、好ましくは0.9以上、より好ましくは1.0以上、さらに好ましくは1.1以上である。[Mn] × [Mo]の値が2.6を越えると、靱性がかえって低下し始めるので、上限を2.6とする。

40

【 0 0 3 5 】

本発明のラインパイプ用継目無鋼管は、上記の成分組成に、以下から選ばれた1種または2種以上の元素を必要により添加することによって、さらに高強度、高靱性、および/または高耐食性を得ることができる。

【 0 0 3 6 】

50

Cr : 1.0% 以下

Crは、添加しなくてもよいが、鋼の焼入れ性を向上させて、厚肉材で鋼の強度を向上させるために添加してもよい。しかし、その含有量が過剰になると、却って靱性が低下するので、Crを添加する場合の含有量を1.0%以下とする。下限は特に制限はないが、その効果が特に顕著になるのはCrを0.02%以上含有させた場合である。添加する場合のCr含有量の好ましい下限は0.1%、より好ましい下限は0.2%である。

【 0 0 3 7 】

Ti : 0.05% 以下

Tiは、添加しなくてもよいが、連続鑄造時に表面欠陥を防止する作用と、高強度化作用、結晶粒微細化作用のために添加できる。Ti含有量が0.05%を超えると、靱性が低下するので、その上限を0.05%とする。Ti含有量の下限は特に制限はないが、その効果を得るためには、好ましくは0.003%以上である。

10

【 0 0 3 8 】

Ni : 2.0% 以下

Niは、添加しなくてもよいが、鋼の焼入れ性を向上させて、厚肉材で鋼の強度を向上させるとともに、靱性を向上させるために添加できる。しかし、Niは高価な元素であり、また過剰に含有させてもその効果が飽和するので、添加する場合、その含有量の上限を2.0%とする。Ni含有量の下限は特に制限はないが、その効果は0.02%以上の含有で特に顕著になる。

【 0 0 3 9 】

20

Nb : 0.04% 以下

Nbは、添加しなくてもよいが、高強度化作用と、結晶粒微細化作用を得るために添加できる。Nb含有量が0.04%を超えると、靱性が低下するので、添加する場合、その上限を0.04%とする。Nb含有量の下限は特に制限はないが、その効果を得るためには0.003%以上の添加が好ましい。

【 0 0 4 0 】

V : 0.2% 以下

Vは、強度と靱性のバランスで含有量を決定する元素である。他の合金元素で十分強度が得られる場合は、V無添加の方が良好な靱性が得られる。強度向上元素としてVを添加する場合は、0.003%以上の含有量とするのが望ましい。一方、V含有量が0.2%を超えると靱性が大きく低下するので、添加する場合は、V含有量の上限を0.2%とする。

30

【 0 0 4 1 】

Cu : 1.5% 以下

Cuは添加しなくてもよいが、耐HIC特性を向上させる目的で添加してもよい。耐HIC特性改善の効果が発現する最少のCu含有量は0.02%である。一方、1.5%を超えてCuを添加しても効果が飽和するので、添加する場合、Cu含有量は0.02~1.5%とするのがよい。

【 0 0 4 2 】

B : 0.01% 以下

Bは、添加しなくてもよいが、添加すると微量であっても鋼の焼入れ性を向上させるので、より高強度が必要な場合に添加すると有効である。上記の効果を得るには、0.0002%以上のBの含有が望ましい。しかし、過剰の添加は、靱性を低下させるので、Bを添加する場合には、その含有量は0.01%以下とする。

40

【 0 0 4 3 】

Mg : 0.007% 以下

Mgは、添加しなくてもよいが、添加すると微量であっても鋼の靱性を向上させるので、特に溶接部の靱性を確保したい場合に添加すると有効である。上記の効果を得るには、0.0002%以上のMgの含有が望ましい。しかし、過剰の添加はかえって靱性を低下させるので、Mgを添加する場合には、その含有量は0.007%以下とする。

【 0 0 4 4 】

次に、本発明に係るラインパイプ用継目無鋼管の製造方法について説明する。本発明に

50

あつては、製造方法それ自体は特に制限されることなく、慣用の継目無鋼管の製造方法を採用できる。本発明では、特に肉厚30 mm以上の鋼管に焼入れ、焼き戻し処理を行うことにより、高強度と高靱性と高耐食性が得られる。以下に、本発明における製造方法に関する好適な製造条件について説明する。

【0045】

継目無鋼管の造管：

上記化学組成を有するように調整した溶鋼を、例えば連続鑄造方法により断面が丸形状の鑄片を製造して、それをそのまま圧延素材（ピレット）として使用するか、或いは断面が角形状の鑄片を製造し、これから圧延により断面が丸形状のピレットを得る。得られたピレットに、熱間で穿孔、延伸および定径圧延を行って、継目無鋼管を造管する。

10

【0046】

このときの製造条件は、通常の熱間加工による継目無鋼管の製造条件と同様でよく、本発明において特に制限はない。しかし、介在物の形態制御によりその後の熱処理時の焼入れ性の確保を図るために、熱間穿孔時の加熱温度は1150 以上、圧延終了温度は1100 以下の条件で造管を行うのが好ましい。

【0047】

造管後の熱処理：

造管により製造された継目無鋼管に、焼入れおよび焼き戻しの熱処理を施す。焼入れの方法は、形成された高温の鋼管を一旦冷却してから、再加熱し、急冷して焼入れする方法と、造管直後に鋼管の保有する熱を利用して、再加熱無しに急冷して焼入れする方法のどちらでも良い。

20

【0048】

焼入れ前に鋼管を一旦冷却する場合は、冷却終了温度は規定されない。室温まで放冷した後、再加熱して焼入れしたり、変態する500 程度まで冷却から再加熱して焼入れしたり、再加熱炉までの運搬中の冷却後、直ちに再加熱炉で加熱して焼入れしても良い。再加熱温度は、880 ~1000 が好ましい。

【0049】

焼入れ後の焼き戻しは550 ~700 の温度で行うことが好ましい。本発明では、鋼の化学組成が比較的多量のMoを含有するため、鋼の焼き戻し軟化抵抗が高く高温焼き戻しが可能であり、それにより靱性の向上を図ることができる。この効果を生かすには、600 以上の温度で焼き戻しを行うことが好ましい。好ましい焼き戻し温度は600~650 である。

30

【0050】

このようにして、本発明によれば、厚肉でもX80級以上の高強度と、優れた靱性、耐食性を有するラインパイプ用継目無鋼管を安定して製造することができる。この継目無鋼管は、深海でのラインパイプ用、すなわち、ライザーやフローラインに用いることができ、その実用上の効果は大きい。

【0051】

次の実施例は本発明の効果を例証するものであり、本発明はそれにより何らの制限も受けない。

【実施例】

40

【0052】

表1に示す化学組成を有する断面が丸形状のピレット（圧延素材）を、通常の溶製、鑄造、そして鑄片の粗圧延によって用意した。得られたピレットに、マンネスマン - マンドレル方式の造管設備によって、熱間での穿孔、延伸および定径圧延による造管加工を行い、寸法：外径219.1 mm×肉厚40 mmの継目無鋼管を製造した。この時の熱間穿孔時の加熱温度は1150~1270 の範囲であり、定径圧延での圧延終了温度は表2に示す通りであった。

【0053】

得られた鋼管に表2に示す条件で焼入れ、焼き戻しを行なった。表2の冷却終了温度と再加熱温度の欄に温度の値が記載されている場合は、圧延終了後の鋼管を冷却し、再加熱し

50

て焼入れを行ったことを意味する。一方、表2の冷却終了温度と再加熱温度の欄が「-」である場合は、圧延終了後の鋼管を直ちに焼入れしたことを意味する。焼入れは水冷により行った。焼戻しは、加熱炉に装入し、指定温度で15分間均熱保持することにより行った。

【0054】

得られた鋼管の強度、靱性および耐食性を次のようにして試験した。それらの試験結果も表2に示す。

強度は、鋼管から採取されたJIS 12号引張試験片を用いて、JIS Z 2241に準じて引張試験を行い、降伏強度（YS）を測定することにより評価した。

【0055】

靱性はシャルピー試験で求めた破面遷移温度により評価した。試験は、JIS Z 2202の4号試験片に準じて、鋼管の肉厚中央の長手方向から採取された幅10 mm×厚さ10 mm、Vノッチ深さ2 mmの衝撃試験片を用いて行った。破面遷移温度が低いほど靱性が高い。

【0056】

耐食性は、常圧でH<sub>2</sub>Sを飽和させた5%NaCl水溶液に0.5%CH<sub>3</sub>COOH（酢酸）を添加した液[いわゆるNACE（National Association of Corrosion Engineers）溶液、温度25℃、pH = 2.7~4.0]を試験液とする試験で求めた耐硫化物応力割れ性（耐SSC性）により評価した。各鋼管の肉厚中央の長手方向から採取された、肉厚2 mm、幅10 mm、長さ100 mmの短冊状4点曲げ試験片3枚を、これにその降伏応力の90%の応力を負荷しながら、試験液に720時間浸漬し、浸漬後における試験片の割れの有無により耐SSC性を評価した。

【0057】

表2には、試験片ごとに割れがある場合を「×」、割れが無い場合を「○」で示す。3枚の試験片がすべて割れ無しであった場合は「○○○」で、3枚の試験片がすべて割れた場合は「×××」である。

【0058】

10

20

鋼の化学組成 (質量%; 残部:Feおよび不純物、下記成分中のP, S, Oは不純物)

鋼 No.	鋼の化学組成 (質量%; 残部:Feおよび不純物、下記成分中のP, S, Oは不純物)										[Mn] x [Mo]		備考								
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O	Cr		Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg	
1	0.06	0.28	2.16	0.021	0.008	0.0006	0.64	0.0031	0.0023	-	0.0023	0.20	0.0081	-	0.011	0.05	0.30	0.0014	0.0038	1.38	発明鋼
2	0.05	0.17	1.95	0.027	0.006	0.0013	0.55	0.0045	0.0015	-	0.0021	0.15	-	-	-	0.12	0.30	-	-	1.07	発明鋼
3	0.03	0.25	2.01	0.025	0.004	0.0006	0.80	0.0034	0.0017	-	0.0017	0.49	-	-	0.015	-	0.32	-	0.0027	1.61	発明鋼
4	0.05	0.35	2.82	0.021	0.005	0.0012	0.55	0.0032	0.0012	-	0.0017	0.43	0.0060	-	-	-	0.12	-	0.0012	1.55	発明鋼
5	0.03	0.17	2.66	0.022	0.008	0.0012	0.46	0.0039	0.0025	-	0.0028	0.22	-	-	0.018	0.11	0.25	0.0014	-	1.22	発明鋼
6	0.05	0.12	2.46	0.028	0.005	0.0010	0.66	0.0041	0.0022	-	0.0027	0.23	0.0139	0.19	-	0.11	0.30	0.0015	0.0021	1.62	発明鋼
7	0.06	0.17	1.86	0.019	0.006	0.0009	0.71	0.0059	0.0018	-	0.0011	0.49	0.0073	-	-	0.07	-	0.0007	0.0010	1.32	発明鋼
8	0.04	0.40	2.48	0.027	0.014	0.0013	0.47	0.0057	0.0011	-	0.0018	0.11	0.0086	0.29	-	-	0.27	-	-	1.17	発明鋼
9	0.07	0.23	2.73	0.017	0.008	0.0006	0.44	0.0034	0.0012	-	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	1.20	発明鋼
10	0.06	0.10	2.52	0.025	0.015	0.0009	0.50	0.0057	0.0024	-	0.0027	0.22	0.0147	-	0.013	0.07	-	0.0016	0.0031	1.26	発明鋼
11	0.04	0.25	2.94	0.026	0.008	0.0013	0.61	0.0059	0.0017	-	0.0025	0.49	-	-	0.013	0.10	-	0.0017	0.0022	1.79	発明鋼
12	0.06	0.26	2.06	0.023	0.017	0.0009	0.65	0.0043	0.0015	-	0.0019	0.21	-	-	0.022	0.08	-	0.0013	-	1.34	発明鋼
13	0.04	0.31	1.77	0.024	0.018	0.0014	0.67	0.0040	0.0018	-	0.0017	0.39	-	-	0.009	0.09	-	-	-	1.19	発明鋼
14	0.05	0.18	2.67	0.029	0.019	0.0010	0.75	0.0057	0.0009	-	0.0011	0.11	0.0125	0.30	-	0.08	0.31	-	0.0016	2.00	発明鋼
15	0.07	0.33	2.59	0.027	0.006	0.0013	0.62	0.0050	0.0022	-	0.0028	0.18	0.0112	0.21	0.022	-	0.21	0.0009	-	1.61	発明鋼
16	0.05	0.18	2.58	0.015	0.016	0.0013	0.67	0.0038	0.0026	-	0.0023	0.43	0.0117	0.28	-	-	0.38	-	0.0015	1.73	発明鋼
17	0.07	0.29	1.83	0.022	0.018	0.0016	0.64	0.0049	0.0025	-	0.0024	0.33	0.0089	-	0.012	-	-	-	-	1.17	発明鋼
18	0.07	0.29	2.63	0.026	0.017	0.0008	0.57	0.0057	0.0017	-	0.0030	0.35	0.0097	0.15	-	-	-	-	-	1.50	発明鋼
19	0.05	0.34	2.12	0.020	0.006	0.0013	0.61	0.0044	0.0018	-	0.0013	0.48	-	-	-	0.12	-	-	0.0011	1.29	発明鋼
20	0.07	0.21	1.71	0.021	0.005	0.0007	0.64	0.0059	0.0016	-	0.0013	0.40	0.0142	-	0.018	-	0.25	-	0.0019	1.09	発明鋼
21	0.06	0.14	2.86	0.016	0.012	0.0008	0.74	0.0057	0.0027	-	0.0027	0.27	0.0091	-	-	0.10	-	-	-	2.12	発明鋼
22	0.05	0.16	2.06	0.020	0.007	0.0013	0.70	0.0036	0.0008	-	0.0026	0.12	0.0098	-	0.009	-	-	0.0034	-	1.44	発明鋼
23	0.07	0.24	2.48	0.017	0.006	0.0005	0.50	0.0033	0.0017	-	0.0021	0.23	0.0079	-	-	0.09	0.37	-	-	1.24	発明鋼
24	0.04	0.21	2.25	0.018	0.007	0.0010	0.41	0.0055	0.0027	-	0.0028	0.26	0.0070	-	-	-	-	0.0008	0.0038	0.92	発明鋼
25	0.04	0.11	1.96	0.028	0.010	0.0006	0.53	0.0051	0.0011	-	0.0021	0.38	0.0093	-	-	0.07	-	0.0037	-	1.04	発明鋼
26	0.06	0.37	2.21	0.018	0.018	0.0006	0.60	0.0049	0.0023	0.0007	0.0021	0.31	0.0139	0.13	-	0.10	0.17	-	-	1.33	発明鋼
27	0.04	0.27	1.65	0.017	0.008	0.0008	0.54	0.0049	0.0027	-	0.0027	0.27	0.0064	0.13	0.009	0.11	0.14	0.0015	-	0.89	発明鋼
28	0.06	0.29	2.08	0.021	0.017	0.0011	0.57	0.0057	0.0015	-	0.0016	0.13	-	-	0.015	0.06	-	0.0012	-	1.19	発明鋼
29	0.06	0.19	1.96	0.017	0.004	0.0010	0.53	0.0039	0.0026	-	0.0012	-	-	-	-	-	-	-	-	1.04	発明鋼
30	0.05	0.40	2.30	0.021	0.006	0.0013	0.44	0.0058	0.0015	-	0.0023	0.38	0.0146	0.26	0.009	-	-	0.0019	0.0035	1.01	発明鋼
31	0.06	0.13	2.88	0.024	0.008	0.0016	0.48	0.0045	0.0013	-	0.0011	0.42	-	-	0.007	-	-	-	0.0035	1.38	発明鋼
32	0.04	0.29	2.66	0.020	0.010	0.0015	0.60	0.0044	0.0021	-	0.0011	0.48	0.0073	-	0.019	-	-	0.0008	-	1.60	発明鋼
33	0.04	0.12	2.98	0.015	0.013	0.0007	0.50	0.0031	0.0009	-	0.0019	0.12	0.0145	-	0.017	-	0.32	-	-	1.49	発明鋼
34	0.06	0.11	2.83	0.026	0.017	0.0011	0.56	0.0057	0.0014	-	0.0010	0.33	-	-	-	0.07	-	0.0013	0.0036	1.58	発明鋼
35	0.06	0.27	2.17	0.027	0.010	0.0013	0.58	0.0036	0.0018	-	0.0012	0.21	0.0125	-	-	0.11	0.21	0.0018	-	1.26	発明鋼
36	0.07	0.12	2.10	0.021	0.013	0.0004	0.70	0.0048	0.0026	-	0.0024	0.48	0.0091	0.36	0.017	-	0.25	-	0.0035	1.47	発明鋼
37	0.06	0.15	1.67	0.024	0.015	0.0009	0.59	0.0047	0.0008	-	0.0020	0.49	0.0101	0.13	-	-	-	-	0.0036	0.99	発明鋼

【 表 1 - 2 】

鋼の化学組成 (質量%; 残部:Feおよび不純物、下記成分中のP, S, Oは不純物)

鋼 No.	鋼の化学組成 (質量%; 残部:Feおよび不純物、下記成分中のP, S, Oは不純物)													[Mn] × [Mo]	備考						
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O	Cr	Ti			Ni	Nb	V	Cu	B	Mg
38	0.07	0.24	1.91	0.020	0.011	0.0015	0.59	0.0042	0.0021	-	0.0013	-	-	-	0.08	-	0.0005	-	1.13	発明鋼	
39	0.07	0.18	1.66	0.026	0.013	0.0012	0.69	0.0047	0.0010	-	0.0027	0.41	0.0096	0.12	-	-	0.12	0.0018	-	1.15	発明鋼
40	0.04	0.15	1.83	0.021	0.013	0.0008	0.53	0.0035	0.0025	-	0.0011	0.34	0.0113	0.19	0.025	0.05	-	0.0015	0.0035	0.97	発明鋼
41	0.06	0.31	2.95	0.019	0.009	0.0005	0.77	0.0054	0.0024	-	0.0017	0.25	0.0087	0.26	-	0.06	-	0.0014	0.0034	2.27	発明鋼
42	0.05	0.24	2.39	0.020	0.016	0.0007	0.44	0.0060	0.0027	0.0018	0.0012	0.18	-	-	-	-	0.12	0.0007	0.0022	1.05	発明鋼
43	0.06	0.20	1.74	0.024	0.014	0.0005	0.72	0.0033	0.0011	-	0.0018	0.28	-	-	0.08	0.30	-	0.0014	-	1.25	発明鋼
44	0.03	0.32	1.92	0.023	0.015	0.0007	0.43	0.0042	0.0025	-	0.0016	0.25	-	-	0.023	-	0.30	0.0019	-	0.83	発明鋼
45	0.04	0.29	2.86	0.023	0.017	0.0010	0.60	0.0056	0.0015	0.0016	0.0016	0.30	0.0065	0.31	0.013	0.10	-	-	0.0011	1.72	発明鋼
46	0.06	0.20	1.65	0.023	0.006	0.0009	0.64	0.0054	0.0008	-	0.0022	0.37	0.0088	0.08	0.022	-	0.29	-	-	1.06	発明鋼
47	0.04	0.15	2.83	0.023	0.007	0.0012	0.73	0.0046	0.0013	-	0.0017	0.21	0.0053	0.36	0.012	0.06	-	-	-	2.07	発明鋼
48	0.04	0.19	2.71	0.023	0.013	0.0005	0.79	0.0037	0.0024	-	0.0021	0.10	0.0092	-	0.17	0.08	0.14	-	-	2.14	発明鋼
49	0.04	0.11	3.00	0.026	0.008	0.0009	0.71	0.0057	0.0028	-	0.0029	0.33	0.0096	0.20	0.015	-	-	-	-	2.13	発明鋼
50	0.06	0.15	2.08	0.030	0.013	0.0015	0.57	0.0037	0.0027	-	0.0010	0.37	0.0079	0.31	0.015	-	-	0.0016	-	1.19	発明鋼
51	0.04	0.22	1.91	0.017	0.004	0.0011	0.46	0.0058	0.0023	-	0.0021	0.14	-	-	-	-	-	0.0006	-	0.88	発明鋼
52	0.06	0.35	1.87	0.018	0.005	0.0016	0.59	0.0050	0.0023	-	0.0020	0.43	-	-	0.07	0.13	0.0013	-	-	1.10	発明鋼
53	0.07	0.39	1.77	0.020	0.014	0.0012	0.76	0.0037	0.0015	-	0.0013	0.26	-	-	0.09	-	-	-	-	1.35	発明鋼
54	0.04	0.36	2.38	0.016	0.011	0.0007	0.49	0.0047	0.0026	-	0.0017	0.42	0.0111	-	-	-	0.28	-	-	1.17	発明鋼
55	0.04	0.35	1.79	0.017	0.005	0.0013	0.61	0.0046	0.0010	-	0.0012	0.30	-	0.008	-	-	-	0.0013	-	1.09	発明鋼
56	0.07	0.22	2.03	0.030	0.014	0.0013	0.75	0.0054	0.0022	-	0.0026	0.36	0.0108	0.10	0.016	0.13	0.23	-	0.0007	1.52	発明鋼
57	0.06	0.29	2.71	0.022	0.007	0.0016	0.76	0.0052	0.0027	-	0.0021	0.44	0.0133	-	-	-	-	-	0.0013	2.06	発明鋼
58	0.07	0.32	1.84	0.017	0.011	0.0006	0.70	0.0058	0.0021	-	0.0029	0.49	0.0110	0.09	0.020	0.09	0.11	0.0008	0.0013	1.29	発明鋼
59	0.04	0.13	2.63	0.023	0.018	0.0012	0.60	0.0038	0.0008	-	0.0014	0.46	-	-	-	-	0.32	0.0006	-	1.58	発明鋼
60	0.04	0.20	1.63	0.017	0.012	0.0013	0.73	0.0041	0.0015	-	0.0028	0.13	0.0129	-	0.019	0.11	-	-	-	1.19	発明鋼
61	0.04	0.38	2.33	0.015	0.008	0.0011	0.61	0.0057	0.0015	-	0.0012	0.35	0.0133	-	-	0.12	-	0.0008	-	1.42	発明鋼
62	0.07	0.29	2.71	0.029	0.018	0.0014	0.56	0.0040	0.0017	0.0015	0.0025	0.13	-	-	-	-	0.29	-	-	1.52	発明鋼
63	0.05	0.22	1.82	0.024	0.007	0.0004	0.45	0.0038	0.0013	-	0.0017	0.36	-	0.025	-	-	-	-	-	0.82	発明鋼
64	0.06	0.16	1.69	0.026	0.011	0.0015	0.64	0.0036	0.0027	-	0.0013	0.47	0.0069	-	0.018	-	-	0.0017	0.0035	1.08	発明鋼
65	0.04	0.29	2.69	0.028	0.014	0.0006	0.80	0.0059	0.0017	-	0.0025	0.34	-	-	0.014	-	-	0.0012	0.0029	2.15	発明鋼
66	0.03	0.18	1.67	0.026	0.015	0.0013	0.71	0.0030	0.0013	-	0.0013	0.23	-	-	0.010	0.11	0.36	-	0.0021	1.19	発明鋼
67	0.03	0.28	1.96	0.025	0.010	0.0013	0.63	0.0039	0.0012	-	0.0023	0.32	-	-	-	-	-	-	-	1.23	発明鋼
68	0.03	0.18	1.98	0.021	0.011	0.0012	0.57	0.0046	0.0027	-	0.0029	0.50	0.0086	-	-	-	-	-	-	1.13	発明鋼
69	0.03	0.35	2.98	0.020	0.016	0.0011	0.72	0.0054	0.0017	-	0.0018	0.37	-	-	-	0.11	0.22	0.0019	0.0007	2.15	発明鋼
70	0.03	0.29	2.19	0.030	0.007	0.0009	0.71	0.0053	0.0016	-	0.0029	0.15	-	-	0.024	0.12	0.19	-	-	1.55	発明鋼
71	0.05	0.31	2.86	0.017	0.007	0.0007	0.45	0.0050	0.0027	-	0.0018	0.26	0.0124	0.23	0.022	0.07	0.39	-	-	1.29	発明鋼
72	0.04	0.24	1.79	0.016	0.008	0.0016	0.78	0.0038	0.0015	-	0.0019	0.39	0.0134	-	-	-	0.11	0.0006	0.0020	1.40	発明鋼
73	0.04	0.20	1.63	0.020	0.013	0.0006	0.54	0.0032	0.0012	-	0.0016	0.49	0.0066	0.11	-	0.07	-	-	0.0012	0.88	発明鋼
74	0.04	0.31	1.78	0.022	0.014	0.0007	0.46	0.0053	0.0023	0.0027	0.0023	0.10	0.0131	0.21	0.024	0.10	-	0.0013	-	0.82	発明鋼

【 0 0 6 0 】

10

20

30

40

【 表 1 - 3 】

鋼の化学組成 (質量%; 残部:Feおよび不純物、下記成分中のP, S, Oは不純物)

鋼 No.	鋼の化学組成 (質量%; 残部:Feおよび不純物、下記成分中のP, S, Oは不純物)													[Mn] x [Mo]	備考							
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O	Cr	Ti			Ni	Nb	V	Cu	B	Mg	
75	0.04	0.33	1.65	0.023	0.018	0.0004	0.69	0.0044	0.0026	-	0.0026	0.26	0.0084	0.27	-	0.13	0.24	0.0006	-	1.14	発明鋼	
76	0.06	0.33	1.71	0.019	0.012	0.0014	0.64	0.0040	0.0026	-	0.0027	0.16	-	-	-	-	-	-	0.0018	-	1.09	発明鋼
77	0.04	0.31	2.93	0.025	0.015	0.0015	0.69	0.0031	0.0024	-	0.0025	0.23	0.0076	-	-	0.12	0.22	0.0015	0.0008	-	2.02	発明鋼
78	0.04	0.22	2.80	0.017	0.008	0.0005	0.44	0.0055	0.0022	-	0.0019	0.10	0.0098	-	-	0.12	0.24	0.0014	-	-	1.23	発明鋼
79	0.06	0.10	2.19	0.017	0.008	0.0007	0.55	0.0053	0.0012	-	0.0026	0.40	0.0072	-	-	-	0.36	0.0006	-	-	1.20	発明鋼
80	0.08	0.25	2.42	0.015	0.005	0.0012	0.47	0.0049	0.0022	-	0.0015	0.43	0.0101	0.26	-	-	-	0.0014	-	-	1.14	発明鋼
81	0.06	0.27	2.50	0.021	0.004	0.0013	0.77	0.0038	0.0018	-	0.0019	0.32	-	-	0.008	0.12	0.13	0.0011	0.0014	-	1.93	発明鋼
82	0.05	0.16	2.64	0.022	0.006	0.0008	0.64	0.0053	0.0021	-	0.0015	0.16	0.0082	-	-	0.06	0.12	-	0.0037	-	1.69	発明鋼
83	0.04	0.18	1.71	0.026	0.011	0.0013	0.58	0.0037	0.0023	-	0.0015	0.41	0.0084	-	-	-	0.37	0.0008	0.0036	-	0.99	発明鋼
84	0.07	0.23	1.92	0.028	0.007	0.0009	0.75	0.0059	0.0012	-	0.0011	0.16	0.0101	-	-	-	-	0.0018	-	-	1.44	発明鋼
85	0.05	0.25	2.60	0.029	0.013	0.0011	0.72	0.0037	0.0012	-	0.0027	0.38	0.0143	-	-	0.12	-	0.0019	-	-	1.87	発明鋼
86	0.04	0.20	1.93	0.023	0.006	0.0013	0.63	0.0044	0.0025	0.0022	0.0025	0.16	0.0071	0.17	0.026	-	-	-	0.0035	-	1.22	発明鋼
87	0.06	0.12	1.77	0.019	0.010	0.0012	0.58	0.0036	0.0017	-	0.0016	0.15	0.0128	0.33	-	0.12	-	0.0012	-	-	1.03	発明鋼
88	0.05	0.10	2.53	0.026	0.017	0.0009	0.64	0.0052	0.0011	-	0.0019	0.37	0.0075	-	-	0.06	0.39	-	0.0029	-	1.62	発明鋼
89	0.07	0.13	2.08	0.020	0.018	0.0012	0.58	0.0059	0.0025	-	0.0020	0.48	-	-	0.010	-	-	-	-	-	1.21	発明鋼
90	0.07	0.30	2.65	0.020	0.006	0.0009	0.77	0.0036	0.0025	-	0.0016	0.41	-	-	0.017	-	0.24	0.0015	0.0015	-	2.04	発明鋼
91	0.06	0.23	2.94	0.024	0.005	0.0014	0.79	0.0031	0.0018	-	0.0023	0.44	0.0067	0.15	-	-	-	0.0014	0.0023	-	2.32	発明鋼
92	0.05	0.28	2.02	0.022	0.009	0.0009	0.76	0.0044	0.0013	-	0.0014	0.28	0.0144	0.35	-	0.08	-	-	-	-	1.54	発明鋼
93	0.03	0.35	2.93	0.029	0.012	0.0016	0.64	0.0041	0.0024	-	0.0019	0.32	-	-	-	-	-	0.0008	0.0039	-	1.88	発明鋼
94	0.05	0.12	2.16	0.022	0.015	0.0010	0.59	0.0051	0.0023	-	0.0012	0.30	0.0075	-	-	-	0.38	0.0012	-	-	1.27	発明鋼
95	0.07	0.30	2.85	0.028	0.015	0.0009	0.53	0.0048	0.0021	-	0.0020	0.15	-	-	-	-	0.28	-	0.0016	-	1.51	発明鋼
96	0.06	0.32	2.14	0.020	0.016	0.0008	0.68	0.0057	0.0009	-	0.0026	0.36	0.0095	-	-	0.07	-	-	0.0031	-	1.46	発明鋼
97	0.03	0.38	1.85	0.019	0.014	0.0012	0.68	0.0056	0.0028	-	0.0015	0.20	0.0080	0.14	-	-	0.12	0.0010	0.0006	-	1.26	発明鋼
98	0.05	0.36	2.13	0.023	0.013	0.0008	0.68	0.0045	0.0010	-	0.0022	0.43	0.0094	0.07	0.024	-	0.31	0.0006	0.0033	-	1.45	発明鋼
99	0.12	0.14	2.51	0.022	0.008	0.0010	0.51	0.0040	0.0016	-	0.0023	0.33	0.0080	0.28	-	-	-	-	-	-	1.28	比較鋼
100	0.04	0.62	2.01	0.016	0.011	0.0005	0.56	0.0047	0.0026	-	0.0015	0.21	0.0089	-	-	-	-	-	-	-	1.13	比較鋼
101	0.06	0.31	1.01	0.024	0.006	0.0014	0.81	0.0056	0.0011	-	0.0013	0.26	0.0081	-	-	-	-	-	-	-	0.82	比較鋼
102	0.05	0.14	2.24	0.122	0.011	0.0014	0.72	0.0050	0.0009	0.0027	0.0013	0.49	0.0088	-	-	-	-	-	-	-	1.61	比較鋼
103	0.05	0.35	2.13	0.028	0.066	0.0008	0.44	0.0041	0.0016	-	0.0028	0.38	0.0091	-	-	-	-	-	-	-	0.94	比較鋼
104	0.04	0.16	1.90	0.023	0.010	0.0072	0.68	0.0047	0.0026	-	0.0025	0.32	0.0075	0.09	-	-	-	-	-	-	1.29	比較鋼
105	0.07	0.29	2.47	0.026	0.009	0.0007	0.37	0.0037	0.0021	-	0.0024	0.15	0.0076	0.19	-	-	-	-	-	-	0.91	比較鋼
106	0.05	0.31	1.79	0.021	0.016	0.0016	0.77	0.0258	0.0028	-	0.0019	0.25	0.0085	-	-	-	-	-	-	-	1.38	比較鋼
107	0.03	0.18	2.39	0.019	0.011	0.0013	0.77	0.0035	-	-	0.0022	0.34	0.0083	-	-	-	-	-	-	-	1.84	比較鋼
108	0.05	0.18	2.98	0.016	0.015	0.0012	0.68	0.0045	0.0010	-	0.0081	0.49	0.0084	-	-	-	-	-	-	-	2.03	比較鋼
109	0.07	0.42	1.57	0.025	0.022	0.0014	0.42	0.0048	0.0015	-	0.0018	0.53	0.0072	0.75	-	-	0.64	-	-	-	0.66	比較鋼
110	0.07	0.34	1.53	0.022	0.023	0.0014	0.42	0.0052	0.0017	-	0.0021	0.39	0.0083	0.48	-	-	0.32	-	-	-	0.64	比較鋼
111	0.03	0.25	1.60	0.026	0.020	0.0015	0.41	0.0049	0.0013	-	0.0015	0.30	0.0087	0.24	-	-	-	-	-	-	0.66	比較鋼

10

20

30

40

【 0 0 6 1 】

50

【表 2 - 1】

鋼 No.	圧延終了温度(°C)	冷却終了温度(°C)	再加熱温度(°C)	焼き戻し温度(°C)	降伏強度(MPa)	シャルピー破面遷移温度(°C)	耐SSC性	
1	1050	900	920	630	642	-65	〇〇〇	発明例
2	950	900	920	630	615	-62	〇〇〇	発明例
3	950	—	—	630	686	-76	〇〇〇	発明例
4	1050	900	920	610	732	-66	〇〇〇	発明例
5	1000	950	980	630	662	-56	〇〇〇	発明例
6	1050	900	920	630	694	-61	〇〇〇	発明例
7	950	900	920	630	633	-64	〇〇〇	発明例
8	1050	室温	920	630	615	-76	〇〇〇	発明例
9	1000	950	980	630	676	-60	〇〇〇	発明例
10	1050	900	920	630	694	-62	〇〇〇	発明例
11	1050	—	—	610	752	-65	〇〇〇	発明例
12	1000	—	—	630	616	-73	〇〇〇	発明例
13	950	900	920	630	644	-67	〇〇〇	発明例
14	1050	900	920	630	736	-67	〇〇〇	発明例
15	950	900	920	630	691	-70	〇〇〇	発明例
16	1000	室温	920	610	730	-67	〇〇〇	発明例
17	950	900	920	630	611	-63	〇〇〇	発明例
18	950	900	920	630	691	-63	〇〇〇	発明例
19	1000	950	980	630	682	-64	〇〇〇	発明例
20	1000	—	—	630	610	-73	〇〇〇	発明例
21	1050	900	920	630	764	-74	〇〇〇	発明例
22	1050	900	920	630	600	-70	〇〇〇	発明例
23	950	900	920	630	700	-64	〇〇〇	発明例
24	950	室温	920	630	610	-64	〇〇〇	発明例
25	1000	950	980	630	631	-61	〇〇〇	発明例
26	1050	—	—	630	685	-69	〇〇〇	発明例
27	1050	900	920	640	584	-64	〇〇〇	発明例
28	950	900	920	640	596	-75	〇〇〇	発明例
29	1050	900	920	640	565	-75	〇〇〇	発明例
30	1050	900	920	630	628	-61	〇〇〇	発明例
31	1000	950	980	610	710	-54	〇〇〇	発明例
32	1000	室温	920	610	713	-65	〇〇〇	発明例
33	1050	900	920	610	715	-65	〇〇〇	発明例
34	1050	900	920	630	756	-57	〇〇〇	発明例
35	950	—	—	630	666	-52	〇〇〇	発明例
36	1000	—	—	630	719	-63	〇〇〇	発明例
37	950	900	920	630	615	-65	〇〇〇	発明例
38	1000	950	980	630	609	-67	〇〇〇	発明例
39	1050	室温	920	630	628	-66	〇〇〇	発明例
40	950	900	920	630	608	-58	〇〇〇	発明例
41	950	900	920	630	761	-78	〇〇〇	発明例
42	950	900	920	630	637	-54	〇〇〇	発明例
43	1050	—	—	630	612	-78	〇〇〇	発明例
44	1000	950	980	630	600	-61	〇〇〇	発明例
45	1050	900	920	610	762	-58	〇〇〇	発明例
46	1000	室温	920	630	638	-65	〇〇〇	発明例
47	950	室温	920	600	749	-67	〇〇〇	発明例
48	1000	950	980	630	719	-69	〇〇〇	発明例
49	950	900	920	630	757	-69	〇〇〇	発明例
50	1050	900	920	630	630	-64	〇〇〇	発明例
51	1050	900	920	640	558	-69	〇〇〇	発明例
52	1050	900	920	630	647	-54	〇〇〇	発明例
53	1000	—	—	630	610	-69	〇〇〇	発明例
54	1050	—	—	630	678	-53	〇〇〇	発明例
55	1050	—	—	630	565	-78	〇〇〇	発明例
56	950	900	920	630	721	-54	〇〇〇	発明例

10

20

30

40

【表 2 - 2】

鋼 No.	圧延終了温度(°C)	冷却終了温度(°C)	再加熱温度(°C)	焼き戻し温度(°C)	降伏強度(MPa)	シャルピー破面遷移温度(°C)	耐SSC性	
57	1000	950	980	630	736	-77	〇〇〇	発明例
58	950	900	920	630	673	-66	〇〇〇	発明例
59	1050	900	920	630	717	-57	〇〇〇	発明例
60	1050	900	920	630	596	-65	〇〇〇	発明例
61	950	900	920	630	659	-61	〇〇〇	発明例
62	950	900	920	630	712	-68	〇〇〇	発明例
63	1050	—	—	630	587	-68	〇〇〇	発明例
64	950	900	920	630	611	-75	〇〇〇	発明例
65	1000	室温	920	620	721	-75	〇〇〇	発明例
66	1000	950	980	630	607	-77	〇〇〇	発明例
67	950	900	920	630	607	-67	〇〇〇	発明例
68	1050	—	—	630	620	-62	〇〇〇	発明例
69	1050	900	920	610	788	-69	〇〇〇	発明例
70	1000	950	980	630	640	-74	〇〇〇	発明例
71	950	900	920	630	748	-51	〇〇〇	発明例
72	1000	950	980	630	627	-70	〇〇〇	発明例
73	950	900	920	630	617	-52	〇〇〇	発明例
74	1000	室温	920	640	561	-76	〇〇〇	発明例
75	950	900	920	630	637	-64	〇〇〇	発明例
76	950	900	920	630	591	-66	〇〇〇	発明例
77	1050	900	920	610	741	-66	〇〇〇	発明例
78	1050	900	920	630	684	-49	〇〇〇	発明例
79	1000	950	980	630	672	-59	〇〇〇	発明例
80	950	—	—	630	712	-55	〇〇〇	発明例
81	950	900	920	630	700	-66	〇〇〇	発明例
82	950	900	920	630	708	-67	〇〇〇	発明例
83	1050	900	920	630	623	-65	〇〇〇	発明例
84	1050	900	920	630	608	-76	〇〇〇	発明例
85	1000	950	980	600	744	-72	〇〇〇	発明例
86	950	900	920	630	611	-78	〇〇〇	発明例
87	950	室温	920	630	624	-67	〇〇〇	発明例
88	1000	—	—	630	723	-59	〇〇〇	発明例
89	1000	950	980	630	636	-62	〇〇〇	発明例
90	1050	900	920	600	758	-66	〇〇〇	発明例
91	1000	950	980	600	769	-69	〇〇〇	発明例
92	1000	950	980	630	669	-77	〇〇〇	発明例
93	950	900	920	630	697	-69	〇〇〇	発明例
94	1050	—	—	630	636	-70	〇〇〇	発明例
95	950	900	920	630	695	-54	〇〇〇	発明例
96	1050	室温	920	630	693	-58	〇〇〇	発明例
97	1000	950	980	640	579	-76	〇〇〇	発明例
98	1050	900	920	630	673	-68	〇〇〇	発明例
99	1000	950	980	630	707	12	〇〇〇	比較例
100	1000	950	980	630	588	-30	〇〇〇	比較例
101	1050	900	920	630	495	-45	〇〇〇	比較例
102	950	900	920	630	671	-21	〇〇〇	比較例
103	1050	900	920	630	612	-18	×××	比較例
104	1050	900	920	630	639	-4	×××	比較例
105	950	900	920	590	626	-21	〇〇×	比較例
106	1050	900	920	630	599	-36	〇〇〇	比較例
107	1050	900	920	630	678	5	×××	比較例
108	1050	900	920	630	741	21	〇〇〇	比較例
109	1050	900	920	630	669	-12	〇〇〇	比較例
110	1050	900	920	630	617	-33	〇〇〇	比較例
111	1050	900	920	600	557	-46	〇〇〇	比較例

10

20

30

40

表 2 の鋼No.1 ~ 98に示す結果から分かるように、発明例の鋼管はAPI規格X80級（降伏強度551 MPa以上）~ X100級（降伏強度689 MPa以上）に相当する高強度を示し、同時に韌性に優れ（シャルピー破面遷移温度が - 50 以下）で、耐食性にも優れている（耐SSC性が全例で「○○○」）。

【 0 0 6 4 】

一方、表 2 の鋼No. 99 ~ 108は化学組成が本発明の範囲を外れた比較例であり、強度、韌性、耐食性の少なくとも一つの性能が劣っている。

鋼No.109 ~ 111は、各元素の含有量は本発明の範囲であるが、 $[Mn] \times [Mo]$ の値が本発明で規定する下限の0.8より小さい比較例である。図 2 に、このときの強度と韌性を、発明例の強度と韌性の結果と合わせてプロットして得たグラフを示す。この図の縦軸の韌性を表示する破面遷移温度では、図の上に行くほど（温度が高くなるほど）韌性が低くなることに留意されたい。

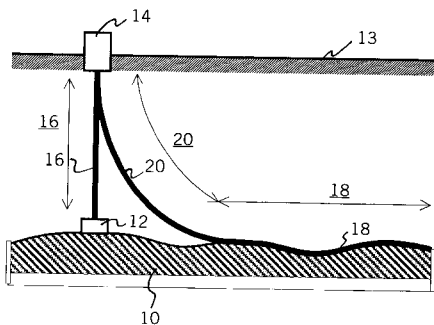
10

【 0 0 6 5 】

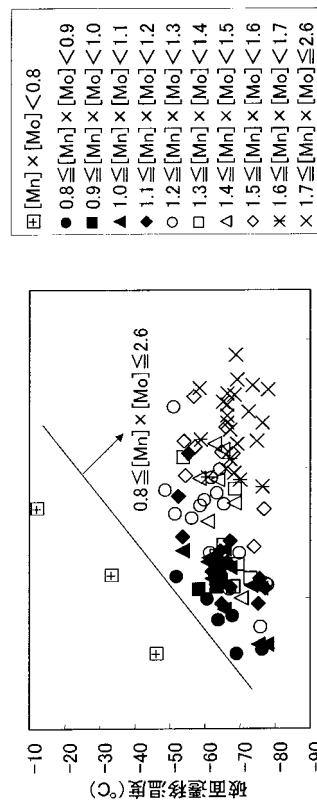
一般に強度と破面遷移温度の関係はこの図では右上がりの直線の関係となり、強度が増大すると韌性は低下する。ところが、 $[Mn] \times [Mo]$ の値が大きくなるに従って、プロットが図の右側にシフトし、韌性を低下させずに強度が増大し、韌性とのバランスを保持したまま高強度化することができるようになる。つまり、強度と韌性のバランスが $[Mn] \times [Mo]$ により支配されていることがこの図から分かる。 $[Mn] \times [Mo]$ が0.8に達していない鋼No.109 ~ 111は、発明例に比べて、同じ強度での韌性が著しく低くなり、強度と韌性のバランスが悪い。

20

【 図 1 】



【 図 2 】



---

フロントページの続き

審査官 河野 一夫

(56)参考文献 特開2004-124158(JP,A)  
特開平09-235617(JP,A)  
特開2000-169913(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
C22C 1/00 - 49/14  
C21D 8/10  
C21D 9/08