

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-196703

(P2016-196703A)

(43) 公開日 平成28年11月24日(2016.11.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 2 A	4 K O 3 2
C 2 2 C 38/38 (2006.01)	C 2 2 C 38/38	
C 2 2 C 38/58 (2006.01)	C 2 2 C 38/58	
C 2 1 D 8/02 (2006.01)	C 2 1 D 8/02 D	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2016-62107 (P2016-62107)	(71) 出願人	000006655 新日鐵住金株式会社
(22) 出願日	平成28年3月25日 (2016. 3. 25)		東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(31) 優先権主張番号	特願2015-76293 (P2015-76293)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(32) 優先日	平成27年4月2日 (2015. 4. 2)	(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(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	100187702 弁理士 福地 律生
		(74) 代理人	100172269 弁理士 ▲徳▼永 英男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極低温用高Mn鋼材

(57) 【要約】

【課題】母材及び溶接熱影響部の靱性に優れた、極低温用高Mn鋼材の提供。

【解決手段】 C : 0.001 ~ 0.80%、Mn : 15.0 ~ 35.0%、S : 0.0001 ~ 0.01%、Cr : 0.01 ~ 10.0%、Ti : 0.001 ~ 0.05%、N : 0.0001 ~ 0.10%、O : 0.001 ~ 0.010%を含有し、P : 0.02%以下に制限し、更に、Si : 0.001 ~ 5.0%、Al : 0.001 ~ 5.0%の一方又は両方を含有し、更に、Mg : 0.01%以下、Ca : 0.01%以下、REM : 0.01%以下の1種又は2種以上を合計で0.0002%以上含有し、 $30C + 0.5Mn + Ni + 0.8Cr + 1.2Si + 0.8Mo \leq 25 \cdots$ (式1)、 $O/S \leq 1 \cdots$ (式2)を満足し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、オーステナイトの体積率が95%以上であり、前記オーステナイトの結晶粒径が20 ~ 200 μmであり、前記オーステナイトの結晶粒界における炭化物被覆率が50%以下であることを特徴とする極低温用高Mn鋼材。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、

C : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 8 0 %、
 Mn : 1 5 . 0 ~ 3 5 . 0 %、
 S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 %、
 Cr : 0 . 0 1 ~ 1 0 . 0 %、
 Ti : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %、
 N : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 1 0 %、
 O : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 %

10

を含有し、

P : 0 . 0 2 % 以下、

に制限し、更に、

Si : 0 . 0 0 1 ~ 5 . 0 %、
 Al : 0 . 0 0 1 ~ 5 . 0 %

の一方又は両方を含有し、更に、

Mg : 0 . 0 1 % 以下、
 Ca : 0 . 0 1 % 以下、
 REM : 0 . 0 1 % 以下

の 1 種又は 2 種以上を合計で 0 . 0 0 0 2 % 以上含有し、

20

$30C + 0.5Mn + Ni + 0.8Cr + 1.2Si + 0.8Mo$ 25 . . .

(式 1)

O/S 1 . . . (式 2)

を満足し、残部が Fe 及び不可避免的不純物からなり、

オーステナイトの体積率が 95% 以上であり、

前記オーステナイトの結晶粒径が 20 ~ 200 μm であり、

前記オーステナイトの結晶粒界における炭化物被覆率が 50% 以下である

ことを特徴とする極低温用高 Mn 鋼材。

ただし、Ni、Si、Mo を含まない場合、上記 (式 1) ではこれらの項を 0 とする。

30

【請求項 2】

更に、質量%で、

Nb : 0 . 0 5 % 以下、
 Ta : 0 . 0 5 % 以下、
 Zr : 0 . 0 5 % 以下、
 V : 0 . 1 0 % 以下

の 1 種又は 2 種類以上を含有することを特徴とする請求項 1 に記載の極低温用高 Mn 鋼材

。

【請求項 3】

更に、質量%で、

Cu : 3 . 0 % 以下、
 Ni : 3 . 0 % 以下、
 Co : 3 . 0 % 以下、
 Mo : 3 . 0 % 以下、
 W : 3 . 0 % 以下

40

の 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 に記載の極低温用高 Mn 鋼材。

【請求項 4】

更に、質量%で、

B : 0 . 0 1 0 % 以下

を含有することを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載の極低温用高 Mn 鋼材。

50

【請求項5】

更に、C、Si、Mn、P、S、Al、N、Cr、Cu、Ni、Co、Mo、Wの含有量が、

$$CI = -2C + 0.8Si - 0.2Mn + 3.3Cr + 9(Mo + W/2) + 1.5(Cu + Ni + Co) + 60N + 0.8Al - 90P - 90S - 6.5 \dots \quad (\text{式3})$$

を満足することを特徴とする請求項1～4の何れか1項に記載の極低温用高Mn鋼材。

ただし、Cu、Ni、Co、Mo、Wを含まない場合、上記(式3)ではこれらの項を0とする。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、液化天然ガス(LNG)、液体水素、液体ヘリウムなどの液化ガスの貯蔵容器など、極低温環境での使用に適する高Mn鋼材に関する。

【背景技術】

【0002】

液化天然ガス(沸点: -164)、液体水素(沸点: -249)、液体ヘリウム(沸点: -269)など、極低温環境下で使用可能な材料として、従来からSUS304等のNi-Cr系オーステナイト合金や9%Ni鋼板などが使用されてきた。しかし、Niを多量に含有する合金鋼はコストが高いため、NiをMnに置き換えた高Mn系オーステナイト合金が提案されている(例えば、特許文献1～4、参照)。

20

【0003】

特許文献1ではCrを0.3%以下に制限した高Mn鋼が、特許文献2では10%以上のCrを含有する高Mn鋼が提案されている。更に、特許文献3では、Cuの添加による炭化物生成の抑制と、溶接部の冷却速度の下限値の規制が提案されている。また、特許文献4では、 $0.01 \sim 0.25\%$ のC、 $15 \sim 40\%$ のMnを含有し、 $X = 30 \times P + 50 \times (S + N) + 300 \times O$ で表わされるパラメータが3.0%以下を満足することによって極低温においても高強度と高靱性を有する高Mn鋼が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献1】特開昭47-154号公報

【特許文献2】特開昭59-104455号公報

【特許文献3】国際公開第2013/100614号

【特許文献4】特開2007-126715号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一般に、鋼の靱性を高めるには、結晶粒径の微細化が有効である。しかし、結晶粒界にCr炭化物やセメンタイトなどの炭化物が生成する場合、結晶粒径を微細化すると、破壊の起点が増加し、また、亀裂が伝播し易くなるため、必ずしも低温靱性が向上しない場合がある。一方で、鋼材に溶接が施される際に溶接熱影響部(HAZ)の結晶粒径が粗大化すると、溶接継手の低温靱性が低下する。

40

【0006】

本発明はこのような実情に鑑み、母材及び溶接熱影響部の靱性に優れた、極低温用高Mn鋼材を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、結晶粒界に生成する炭化物が破壊の起点や亀裂の伝播の経路とならないように、オーステナイト粒径を適切なサイズに制御するものである。そして、本発明は、合金

50

元素の添加量やバランス、更には、O量及びS量を適正に制御し、Mg、Ca、REMの1種又は2種以上を添加することにより、ピンニング効果を利用して、オーステナイト粒径を適正に制御し、HAZの結晶粒径の粗大化の抑制をも可能にするものである。本発明の要旨は以下のとおりである。

【0008】

(1) 質量%で、

C : 0.001 ~ 0.80%、

Mn : 15.0 ~ 35.0%、

S : 0.0001 ~ 0.01%、

Cr : 0.01 ~ 10.0%、

Ti : 0.001 ~ 0.05%、

N : 0.0001 ~ 0.10%、

O : 0.001 ~ 0.010%

を含有し、

P : 0.02%以下、

に制限し、更に、

Si : 0.001 ~ 5.0%、

Al : 0.001 ~ 5.0%

の一方又は両方を含有し、更に、

Mg : 0.01%以下、

Ca : 0.01%以下、

REM : 0.01%以下

の1種又は2種以上を合計で0.0002%以上含有し、

$30C + 0.5Mn + Ni + 0.8Cr + 1.2Si + 0.8Mo$ 25 . . .

(式1)

O/S 1 . . . (式2)

を満足し、残部がFe及び不可避的不純物からなり、

オーステナイトの体積率が95%以上であり、

前記オーステナイトの結晶粒径が20 ~ 200 μm であり、

前記オーステナイトの結晶粒界における炭化物被覆率が50%以下である

ことを特徴とする極低温用高Mn鋼材。

ただし、Ni、Si、Moを含まない場合、上記(式1)ではこれらの項を0とする。

【0009】

(2) 更に、質量%で、

Nb : 0.05%以下、

Ta : 0.05%以下、

Zr : 0.05%以下、

V : 0.10%以下

の1種又は2種類以上を含有することを特徴とする上記(1)に記載の極低温用高Mn鋼材。

(3) 更に、質量%で、

Cu : 3.0%以下、

Ni : 3.0%以下、

Co : 3.0%以下、

Mo : 3.0%以下、

W : 3.0%以下

の1種又は2種以上を含有することを特徴とする上記(1)又は(2)に記載の極低温用高Mn鋼材。

(4) 更に、質量%で、

B : 0.010%以下

を含有することを特徴とする上記(1)～(3)の何れかに記載の極低温用高Mn鋼材。
(5)更に、C、Si、Mn、P、S、Al、N、Cr、Cu、Ni、Co、Mo、Wの含有量が、

$$CI = -2C + 0.8Si - 0.2Mn + 3.3Cr + 9(Mo + W/2) + 1.5(Cu + Ni + Co) + 60N + 0.8Al - 90P - 90S - 6.5 \dots \text{(式3)}$$

を満足することを特徴とする上記(1)～(4)の何れかに記載の極低温用高Mn鋼材。

ただし、Cu、Ni、Co、Mo、Wを含まない場合、上記(式3)ではこれらの項を0とする。

【発明の効果】

10

【0010】

本発明によれば、母材及び溶接熱影響部の韌性に優れた極低温用高Mn鋼材を提供することが可能になる。具体的には、引張強さが800MPa以上の高強度で、150000J/cm程度までの大入熱溶接が可能で、-164以下、更には-269以下の極低温における各使用温度で100J以上のシャルピー吸収エネルギーを有し、好ましくは優れた耐食性をも具備する、極低温用高Mn鋼材の提供が可能になり、本発明は産業上の貢献が極めて顕著である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

結晶構造が体心立方構造(bcc)である鋼材は、例えば、マイナス数10度程度の低温で脆性破壊するため、極低温での使用には適していない。したがって、極低温用鋼材には、例えば、-196以下の温度で、結晶構造が面心立方構造(fcc)であるオーステナイトを安定に維持できることが求められる。これは、オーステナイトが不安定であると、極低温でマルテンサイトに変態し、韌性が低下することがあるためである。本発明者らは、極低温でオーステナイトを維持できるように安定化させるには、C、Mn、Ni、Cr、Si、Moの添加が有効であり、下記(式1)を満足する必要があるという知見を得た。

20

$$30C + 0.5Mn + Ni + 0.8Cr + 1.2Si + 0.8Mo - 25 \dots \text{(式1)}$$

【0012】

30

また、韌性を向上させるためには、オーステナイト粒径を制御することが重要である。オーステナイト粒径が大きすぎると、オーステナイト粒界への応力集中が発生し、粒界を起点として破壊が生じる。また、通常、オーステナイト粒径の微細化は韌性の向上に有効であるが、オーステナイトの結晶粒界に、硬質のCr炭化物やセメントイトが生成すると、細粒化によって破壊の発生起点が増加し、また、亀裂の伝播が促進され、韌性が低下する場合がある。本発明者らの検討により、極低温韌性を確保するには、オーステナイト粒径を20～200μmにする必要があることがわかった。

【0013】

更に、極低温用鋼材を用いて液化ガスの貯蔵容器などを製造する際には溶接が施される。特に、溶接の効率を高めるために大入熱溶接を行うと、溶接熱影響部(HAZ)は1400に加熱され、結晶粒が粗大化し、韌性が低下する。母材の結晶粒径の微細化やHAZの結晶粒径の粗大化の抑制には、高温で安定な微細な粒子を利用するピン止め効果が有効である。

40

大入熱HAZの粒径の粗大化を抑制するためには、Mg、Ca、REMの1種又は2種以上を添加して、鋼中に微細な酸化物や酸硫化物を生成させることが有効である。しかし、本発明者らは、O量に対してS量が過剰になると、酸硫化物の熱的安定性が低下し、高温に加熱されたHAZのオーステナイトの粒成長を抑制し得る有効なピン止め粒子とならないため、下記(式2)を満足する必要があるという知見を得た。

$$O/S < 1 \dots \text{(式2)}$$

【0014】

50

以下、本発明を詳細に説明する。まず、鋼材の各組成を限定した理由について説明する。

【0015】

C : 0.001 ~ 0.80%

Cは、オーステナイトを安定化させ、強度を高める重要な元素であり、0.001%以上を添加する。好ましくは、C量を0.01%以上、より好ましくは0.05%以上、更に好ましくは0.10%以上とする。常温での強度が求められる場合、好適なC量は0.20%以上である。一方、C量が多すぎると、延性破壊の起点となるCr炭化物やセメントタイトの析出により、韌性が低下するため、上限を0.80%以下とする。好ましくはC量を0.70%以下、より好ましくは0.60%以下、更に好ましくは0.50%以下とする。

10

【0016】

Mn : 15.0 ~ 35.0%

Mnは、オーステナイトを安定化させるために、15.0%以上を添加する。好ましくはMn量を17.0%以上、より好ましくは20.0%以上、更に好ましくは22.0%以上とする。一方、Mn量が35.0%を超えると、鋼材の耐食性の低下や溶接時のヒューム発生を招き、また、熱間加工性が低下して鋼材の表面に割れを生じる場合があるため、Mn量の上限を35.0%以下とする。好ましくはMn量を33.0%以下、より好ましくは30.0%以下とする。

20

【0017】

Cr : 0.01 ~ 10.0%

Crは、オーステナイトを安定化させ、耐食性の向上に寄与し、また、固溶強化によって鋼材の強度を高める元素であり、0.01%以上を添加する。好ましくはCr量を0.10%以上、より好ましくは0.50%以上、更に好ましくは1.0%以上とする。一方、Cr量が10.0%を超えると、Cr炭化物を形成して韌性を劣化させるため、上限を10.0%以下とする。好ましくはCr量を8.0%以下、より好ましくは6.0%以下、更に好ましくは5.0%以下とする。また、Cr炭化物の析出による応力腐食割れ(SCC)を抑制するためには、 $Cr = 0.3 / C + 2$ を満足するように添加することが好ましい。

30

【0018】

Ti : 0.001 ~ 0.05%

Tiは、鋼中のNとTiNを形成する元素であり、TiNは、Ca、Mg、REMの酸化物や酸硫酸物を析出核として生成する。Ca、Mg、REMの酸化物や酸硫酸物とTiNとの複合析出物は、熱的安定性に優れ、HAZの粒径の粗大化抑制に寄与する。このような効果を得るには、0.001%以上のTiを添加することが必要である。好ましくはTi量を0.005%以上、より好ましくは0.010%以上とする。一方、Tiを過剰に添加すると、粗大なTiNが生成して、韌性を低下させるため、Ti量の上限を0.05%以下とする。好ましくはTi量の上限を0.040%以下、より好ましくは0.030%以下、更に好ましくは0.025%以下とする。

40

【0019】

N : 0.0001 ~ 0.10%

Nは、Ca、Mg、REMの酸化物や酸硫酸物とTiNとの複合析出物を形成させて、HAZ韌性を向上させるために、含有量を0.0001%以上とする。また、Nは、オーステナイトの安定化や、特に低温での強化に有効な元素であり、好ましくはN量を0.0010%以上、より好ましくは0.0020%以上、更に好ましくは0.0030%以上とする。一方、N量が0.10%を超えると、強度の上昇や窒化物の影響により、韌性が劣化するため、上限を0.10%以下とする。好ましくはN量を0.03%以下とする。

【0020】

O : 0.001 ~ 0.010%

Oは、Ca、Mg、REMの酸化物や酸硫酸物を形成する元素であり、含有量を0.0

50

0.1%以上とする。一方、O量が0.010%を超えると、介在物による靱性の劣化が顕著になるため、上限を0.010%以下とする。好ましくはO量を0.0070%以下、より好ましくは0.0050%以下、更に好ましくは0.0030%以下とする。

【0021】

S : 0.0001 ~ 0.01% 以下

Sは不純物であり、含有量が過剰であると、MnSが起点となって延性破壊を助長し、靱性を低下させるため、S量を0.01%以下に制限する。また、S量が過剰であると、Ca、Mg、REMの酸硫化物に過剰にSが固溶して熱的安定性が低下する場合があるため、上限を0.005%以下に制限することが好ましい。より好ましくはS量を0.003%以下、更に好ましくは0.002%以下とする。S量の下限值は、製鋼コストの観点から0.0001%とする。

10

【0022】

P : 0.02% 以下

Pは不純物であり、含有量が過剰であると結晶粒界にPが偏析し、粒界脆化によって靱性が低下するため、P量を0.02%以下に制限する。P量は0.015%以下が好ましく、より好ましくは0.010%以下、更に好ましくは0.008%以下とする。

【0023】

Si、Al : それぞれ0.001 ~ 5.0%

Si及びAlは、通常、脱酸元素として添加したり、強化のために添加することが多いが、本発明では、Cr炭化物やセメントの生成を抑制するために一方又は両方を添加する。Si及びAlの添加による炭化物の生成の抑制は、本発明者らが得た新たな知見であり、効果を得るために、Si量、Al量の下限を何れも0.001%以上とする。好ましくは、Si量、Al量を単独で、又は、両方の合計で、0.01%以上とする。一方、Si量、Al量の上限は、粗大な介在物の生成による靱性の低下を防止するため、何れも5.0%以下とする。Si量、Al量の好ましい上限は、何れも2.0%以下であり、より好ましくは1.0%以下、更に好ましくは0.05%以下とする。

20

【0024】

Mg、Ca、REM : それぞれ0.01% 以下で、合計で0.0002% 以上

Mg、Ca、REMは、微細な酸化物や酸硫化物を形成し、母材やHAZの結晶粒径の粗大化を抑制する重要な元素であり、1種又は2種以上を添加する。効果を得るために、Mg量、Ca量、REM量を単独で、又は、2種以上の合計で、0.0002%以上とする。好ましくは0.0005%以上、より好ましくは0.0010%以上とする。一方、Mg量、Ca量、REM量の上限は、粗大な介在物の生成による靱性の低下を防止するため、何れも0.010%以下とする。Mg量、Ca量、REM量の好ましい上限は、何れも0.0070%以下であり、より好ましくは0.0050%以下、更に好ましくは0.0040%以下とする。

30

【0025】

更に、強度を向上させるため、必要に応じて、Nb、Ta、Zr、Vの1種又は2種以上を含有させることができる。

【0026】

Nb、Ta、Zr : それぞれ0.05% 以下、V : 0.10% 以下

Nb、Ta、Zr、Vは、炭化物や窒化物を形成し、析出強化によって強度の向上に寄与する元素であり、1種又は2種以上を添加することが好ましい。このうち、Zrは、鋼中にTiNと同様に、Ca、Mg、REMの酸化物や酸硫化物とZrNとの複合析出物を形成して、HAZの粒径の粗大化の抑制にも寄与する。Nb量、Ta量、Zr量、V量の下限は、何れも、0.005%以上が好ましい。一方、Nb量、Ta量、Zr量は0.05%、V量は0.10%を超えると、析出物の粗大化によって靱性が低下することがあるため、Nb量、Ta量、Zr量は何れも0.05%以下、V量は0.10%以下が好ましい。

40

【0027】

50

更に、オーステナイトの安定性を高め、粒界へのCr炭化物やセメンタイトの析出を抑制するために、必要に応じて、Cu、Ni、Co、Mo、Wの1種又は2種以上を含有させることができる。

【0028】

Cu : 3 . 0 % 以下

Cuは、オーステナイトの安定化や強化、更にはCr炭化物やセメンタイトの析出の抑制に寄与する元素であり、0 . 0 1 %以上の添加が好ましい。より好ましくはCu量を0 . 1 0 %以上とする。一方、Cu量が3 . 0 %を超えると熱間加工性が劣化することがあるため、上限は3 . 0 %以下が好ましい。より好ましくはCu量を1 . 0 %以下とする。

【0029】

Ni、Co : それぞれ3 . 0 % 以下

Ni及びCoは、オーステナイトの安定化や強化、更にはCr炭化物やセメンタイトの析出の抑制に寄与する元素であり、何れも0 . 0 1 %以上の添加が好ましい。より好ましくはNi量、Co量を、何れも0 . 1 0 %以上とする。一方、Ni、Coを過剰に添加すると、マルテンサイトが生成し易くなり、溶接部の靱性や透磁率が劣化する恐れがあるため、Ni量、Co量を何れも3 . 0 %以下とすることが好ましい。より好ましくは、Ni量、Co量を何れも1 . 0 %以下とする。

【0030】

Mo、W : それぞれ3 . 0 % 以下

Mo及びWは、オーステナイトの安定化や強化、更にはCr炭化物やセメンタイトの析出の抑制に寄与する元素であり、何れも0 . 0 1 %以上の添加が好ましい。より好ましくはMo量、W量を、何れも0 . 1 0 %以上とする。一方、Mo、Wを過剰に添加しても効果は飽和するので、コストの観点から、Mo量、W量を何れも3 . 0 %以下とすることが好ましい。より好ましくは、Mo量、W量を何れも1 . 0 %以下、更に好ましくは0 . 8 0 %以下とする。

【0031】

B : 0 . 0 1 0 % 以下

Bは、オーステナイト粒界に偏析し、粒界破壊を防止して靱性や耐力を向上させる元素であり、0 . 0 0 0 2 %以上の添加が好ましい。より好ましくは、B量を0 . 0 0 0 3 %以上、更に好ましくは0 . 0 0 1 0 %以上とする。一方、Bを過剰に含有すると、靱性が低下することがあるため、B量は0 . 0 1 %以下が好ましい。より好ましくはB量を0 . 0 0 5 %以下とする。

【0032】

必須的に含有されるC、Mn、Cr、更に、選択的に含有されるSi、Ni、Moは、オーステナイトを安定化させるために、含有量が下記(式1)を満足するように添加することが必要である。下記(式1)は、実験によって、元素と極低温でのオーステナイト量との関係から求められたものである。Si、Ni、Moを含まない場合は、含有量を0として計算する。

$$30C + 0.5Mn + Ni + 0.8Cr + 1.2Si + 0.8Mo \quad 25 \quad \dots$$

(式1)

【0033】

Mg、Ca、REMの酸硫化物の熱的安定性を高め、高温に加熱されたHAZのオーステナイトの粒成長を抑制するためには、下記(式2)を満足することが必要である。(式2)は、実験によって、Mg、Ca、REMの酸化物及び酸硫化物によるHAZの粒径の粗大化の抑制の効果と、S量及びO量との関係から求めたものである。

$$O/S \quad 1 \quad \dots \quad (\text{式2})$$

【0034】

上述の元素のうち、炭化物の形成傾向やCrの保護性酸化膜の生成状態などを通じて、Crを含有する高Mnオーステナイト鋼材の耐食性の改善に有効な元素と悪影響を及ぼす元素とがある。大気暴露(1年)における腐食減量の大小をもとに各元素の効果を定量化

10

20

30

40

50

し、得られた耐食性指標 (Corrosion Index : CI) を 6.5 以上、好ましくは 11.5 以上とすれば、鋼材の腐食を顕著に抑制することができ、特に、大気暴露 (60 日) でもほぼ発錆しない優れた耐食性が得られる。CI を求める下記 (式 3) では、係数の符号がプラスの元素は耐食性を向上させ、係数の符号がマイナスの元素は耐食性を低下させることを意味する。また、係数の大きさは、影響の大きさを表している。

$$CI = -2C + 0.8Si - 0.2Mn + 3.3Cr + 9(Mo + W/2) + 1.5(Cu + Ni + Co) + 60N + 0.8Al - 90P - 90S \dots \quad (\text{式 3})$$

ただし、Cu、Ni、Co、Mo、W を含まない場合、上記 (式 3) ではこれらの項を 0 とする。

【0035】

次に、本発明の極低温用高 Mn 鋼材の金属組織について説明する。

本発明の極低温用高 Mn 鋼材の金属組織は、極低温環境での脆性破壊を防止するため、オーステナイトの体積率を 95% 以上とする。オーステナイトの残部は、フェライト、マルテンサイト、ベイナイト、パーライトなどであるが、何れも極低温環境では脆化するため、5% 未満に制限することが好ましい。オーステナイトの体積率は 100% でもよい。オーステナイトの体積率は、光学顕微鏡による金属組織の観察の他、X 線回折法や磁気誘導法によって測定することができる。

【0036】

オーステナイトの結晶粒径は、極低温環境での靱性を確保するため、200 μm 以下とする。好ましくは 150 μm 以下とする。一方、オーステナイトの結晶粒径が小さすぎる場合、結晶粒界に析出した硬質の Cr 炭化物やセメンタイトが破壊の発生起点になり、また、亀裂の伝播を促進させるため、オーステナイトの結晶粒径を 20 μm 以上とする。好ましくは 50 μm 以上とする。オーステナイトの結晶粒径は光学顕微鏡を用いた組織観察によって求めることができる。

【0037】

オーステナイトの結晶粒界に存在する炭化物が近接している場合、炭化物の間や周囲に亀裂が生じたり、結晶粒界を亀裂が伝播し易くなり、靱性が低下する。したがって、靱性の低下を抑制するためには、炭化物によるオーステナイトの結晶粒界の被覆率 (粒界炭化物被覆率) を 50% 以下に制御することが好ましい。炭化物粒界被覆率は低いほど好ましいが、1% 以上であっても、5% 以上であってもよい。オーステナイトの粒界炭化物被覆率は透過型電子顕微鏡を用いた組織観察によって求めることができる。

【0038】

次に、本発明の極低温用高 Mn 鋼材の製造方法について説明する。

一般に、高 Mn 鋼は炭素鋼や低合金鋼に比べて熱間加工性が劣るため、適正な条件で圧延を行うことが好ましい。適正な条件から外れると、鋼片若しくは鋼塊又は鋼板の表面に割れが生じるので、歩留の低下を招く場合がある。鋼片又は鋼塊は、常法によって溶製し、鑄造することによって得られる。

【0039】

鋼片又は鋼塊の加熱温度は、1000 未満では、圧延時の変形抵抗が大きく、圧延機への負荷が過大になるため 1000 以上が好ましい。一方、1250 を超えて高温に加熱すると、表面の酸化による歩留まりの低下が懸念されるため、加熱温度の上限は 1250 以下が好ましい。

【0040】

鋼片又は鋼塊を加熱した後、熱間圧延を施す。結晶粒径を微細化するには、1100 以下での累積圧下率を高めて再結晶を促進させることが必要であり、好ましくは 1100 から仕上温度までの累積圧下率を 30% 以上とする。熱間圧延の仕上温度は、オーステナイトの結晶粒径を過剰に微細化させず、20 μm 以上にするために、950 以上が好ましい。

【0041】

熱間圧延ままで極低温用高 Mn 鋼材を使用する場合は、熱間圧延後に強制冷却を施すこ

10

20

30

40

50

とが好ましい。熱間圧延後、Cr炭化物やセメンタイトの析出を抑制し、低温靱性を高めるためには、500～900の温度範囲の冷却速度を高めることが有効である。そのため、熱間圧延の終了後、900以上の温度から水冷等による強制冷却を行うことが好ましく、冷却速度は3/s以上が好ましい。強制冷却の停止温度は、600が好ましく、より好ましくは500とする。

熱間圧延後に強制冷却を施さない場合は、溶体化処理を施すことが好ましい。溶体化処理では、熱間圧延によって析出したCr炭化物やセメンタイトを鋼中に固溶させるために、加熱温度を950～1250とし、900以上の温度から冷却速度を3/s以上とし、600以下の温度まで冷却することが好ましい。

【実施例】

10

【0042】

以下、実施例により、本発明を更に詳しく説明する。

表1に示す化学組成を有する鋼片を用い、表2に示す製造条件で高Mn鋼材を製造した。それぞれの鋼材(母材)の金属組織を光学顕微鏡で観察し、オーステナイトの体積率(体積率)、結晶粒径(粒径)を測定した。また、炭化物(Cr炭化物及びセメンタイト)は透過型電子顕微鏡により10000倍の倍率にて20視野観察し、オーステナイトの粒界炭化物被覆率を測定した。また、炭化物の円相当径を測定し、各炭化物の体積を算出して体積率を求めた。

【0043】

【表 1 - 1】

表 1

鋼

化学成分 (質量%)

鋼 No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al	Ca	Mg	REM	N	O	Nb	Ta	Zr	V	Cu	Ni	Co	Mo	W	B	Ca+Mg+REM	式1	式2	式3
1	0.001	0.8	35	0.005	0.001	10	0.01	0.03		0.0023	0.0010	0.02	0.0015											0.0033	26	1.5	27.3
2	0.03	0.8	35	0.005	0.001	10	0.01	0.03		0.0023		0.02	0.0015											0.0023	27	1.5	27.3
3	0.1	0.8	35	0.005	0.001	7.5	0.01	0.03		0.0023		0.1	0.0015											0.0023	27	1.5	23.7
4	0.2	0.8	30	0.005	0.001	7.5	0.01	0.03	0.0020	0.0023		0.002	0.0015											0.0043	28	1.5	18.6
5	0.2	0.8	30	0.005	0.001	7.5	0.01	0.03			0.0030	0.002	0.0015											0.0030	28	1.5	18.6
6	0.4	0.8	28	0.005	0.001	5	0.01	0.03		0.0023		0.002	0.0015											0.0023	31	1.5	10.3
7	0.4	0.8	28	0.005	0.001	5	0.01	0.03	0.0030			0.002	0.0015											0.0030	31	1.5	10.3
8	0.6	0.8	25	0.005	0.001	3	0.01	0.03		0.0023		0.002	0.0015											0.0023	34	1.5	3.9
9	0.8	0.8	25	0.005	0.001	3	0.01	0.03		0.0023		0.002	0.0015											0.0023	40	1.5	3.5
10	0.2	0.6	30	0.005	0.0008	6	0.015	0.03		0.0023		0.004	0.0015											0.0023	27	1.9	13.6
11	0.2	0.6	32	0.005	0.0008	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0010	0.004	0.0015		0.015									0.0043	28	1.9	13.2
12	0.2	0.6	34	0.005	0.0008	6	0.015	0.03		0.0023		0.004	0.0015				1	0.5						0.0023	29	1.9	15.1
13	0.2	0.6	34	0.005	0.0008	6	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	29	2.3	12.8
14	0.2	0.6	30	0.005	0.0008	6	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018	0.05			0.05							0.0027	27	2.3	13.6
15	0.2	0.6	30	0.005	0.0008	8	0.015	0.03		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	3.1	20.2
16	0.2	0.6	30	0.005	0.0008	8	0.015	0.03		0.0038		0.004	0.0025	0.01	0.01						2.5		0.002	0.0038	30	3.1	42.7
17	0.2	0.6	30	0.005	0.0008	8	0.015	0.03		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	3.1	20.2
18	0.2	0.6	30	0.005	0.0005	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	5.0	22.4
19	0.2	0.6	30	0.005	0.001	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	2.5	22.4
20	0.2	0.6	30	0.01	0.0024	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	1.0	21.8
21	0.2	0.6	30	0.02	0.0024	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	1.0	20.9
22	0.2	0.6	30	0.005	0.0024	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	1.0	22.2
23	0.2	0.6	30	0.005	0.0024	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	1.0	22.2
24	0.2	0.6	30	0.005	0.0024	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	1.0	22.2
25	0.2	0.6	30	0.005	0.0024	8	0.015	0.03		0.0038		0.04	0.0025											0.0038	28	1.0	22.2
26	0.2	0.6	32	0.005	0.003	8	0.015	0.03		0.0038		0.09	0.0025											0.0038	28	1.0	25.2
27	0.2	0.6	32	0.005	0.003	8	0.015	0.03	0.0015	0.0053	0.0020	0.004	0.0035											0.0053	29	1.2	19.6
28	0.2	0.6	32	0.005	0.003	8	0.015	0.03	0.0040			0.004	0.0035											0.0088	29	1.2	19.6
29	0.2	0.6	32	0.005	0.003	8	0.015	0.03			0.0050	0.004	0.0035											0.0040	29	1.2	19.6
30	0.2	0.6	30	0.005	0.0016	6	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018			0.008				2	2	0.5		0.0050	29	1.2	19.6
31	0.2	0.6	30	0.005	0.0016	6	0.025	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	28	1.1	36.8
32	0.2	0.6	30	0.005	0.0016	6	0.05	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	27	1.1	13.6
33	0.2	0.6	30	0.005	0.0005	8	0.015	0.03		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	5.0	20.2

式1は30C+0.5Mn+Ni+0.8Cr+1.2Si+0.8Moの計算値
式2はO/Sの計算値
式3は-2C+0.8Si-0.2Mn+3.3Cr+9(Mo+W/2)+1.5(Cu+Ni+Co)+60N+0.8Al-90P-90S(CI)の計算値

【表 1 - 2】

化学成分 (質量%)

鋼 No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al	Ca	Mg	REM	N	O	Nb	Ta	Zr	V	Cu	Ni	Co	Mo	W	B	Ca+Mg+REM	式1	式2	式3
34	0.2	0.6	0.30	0.005	0.0022	8	0.015	0.4		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	1.1	20.4
35	0.2	0.6	0.30	0.005	0.0022	8	0.015	1		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	1.1	20.9
36	0.2	0.6	0.30	0.005	0.0022	8	0.015	2		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	1.1	21.7
37	0.2	0.6	0.30	0.005	0.0022	8	0.015	5		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	28	1.1	24.1
38	0.2	0.6	0.35	0.01	0.001	2	0.012	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	26	1.8	-1.0
39	0.2	0.6	0.35	0.01	0.001	3	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	27	1.8	2.3
40	0.2	0.6	0.33	0.01	0.001	5	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	27	1.8	9.3
41	0.2	0.6	0.35	0.01	0.001	5	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	28	1.8	8.9
42	0.2	0.6	0.28	0.01	0.001	8	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	27	1.8	20.2
43	0.2	0.6	0.25	0.01	0.001	10	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	27	1.8	27.4
44	0.2	1	0.25	0.012	0.001	5	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018					0.8		2				0.0027	26	1.8	30.2
45	0.2	1	0.28	0.012	0.001	6	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018							1				0.0027	27	1.8	22.7
46	0.2	1	0.35	0.012	0.001	5	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	29	1.8	9.0
47	0.4	0.5	0.27	0.005	0.001	5	0.013	0.03		0.0018		0.006	0.0012											0.0018	30	1.2	10.5
48	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	30	1.3	10.5
49	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0020	0.0023	0.0030	0.006	0.0015			0.05								0.0023	30	1.3	10.5
50	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015	0.01	0.02		0.01							0.0023	30	1.3	10.5
51	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015	0.03			0.05				0.5			0.0023	31	1.3	15.0
52	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015					3						0.0023	30	1.3	15.0
53	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	30	1.3	10.5
54	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0038		0.006	0.0025											0.0038	30	2.1	10.5
55	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0017	5	0.005	0.03		0.0027		0.006	0.0018	0.015		0.01								0.0027	30	1.1	10.5
56	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0017	5	0.025	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	30	1.1	10.5
57	0.4	0.5	0.27	0.005	0.0017	5	0.05	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	30	1.1	10.5
58	0.4	0.5	0.30	0.005	0.0017	0.1	0.013	0.03	0.0040	0.0027	0.0020	0.006	0.0018	0.03								0.5		0.0087	28	1.1	-4.0
59	0.4	0.5	0.30	0.005	0.0017	0.5	0.013	0.03	0.0040	0.0027	0.0020	0.006	0.0018	0.03			0.03					1		0.0067	28	1.1	-0.5
60	0.4	0.5	0.30	0.005	0.0017	3	0.013	0.03		0.0027	0.0020	0.006	0.0018											0.0047	30	1.1	3.3
61	0.4	0.5	0.30	0.005	0.0017	5	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	32	1.1	9.9
62	0.4	0.5	0.30	0.005	0.0017	10	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	36	1.1	26.4
63	0.4	0.5	0.15	0.005	0.0017	5	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018	0.05			0.05		0.5		1	1		0.0027	25	1.1	27.1

式1は30C+0.5Mn+Ni+0.8Cr+1.2Si+0.8Moの計算値

式2は0/Sの計算値

式3は-2C+0.8Si-0.2Mn+3.3Cr+9(Mo+W/2)+1.5(Cu+Ni+Co)+60N+0.8Al-90P-90S(CI)の計算値

【表 1 - 3】

表 1 の続き

鋼																	化学成分 (質量%)										
No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al	Ca	Mg	REM	N	O	Nb	Ta	Zr	V	Cu	Ni	Co	Mo	W	B	Ca+Mg+REM	式1	式2	式3
64	0.4	0.5	18	0.005	0.0017	5	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018	0.05							1			0.0027	26	1.1	21.3
65	0.4	0.5	20	0.01	0.0017	5	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018	0.05										0.0027	27	1.1	11.4
66	0.4	0.5	27	0.005	0.0017	5	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	30	1.1	10.5
67	0.4	0.5	27	0.005	0.0017	5	0.013	0.03	0.0040			0.006	0.0018											0.0040	30	1.1	10.5
68	0.4	0.5	27	0.005	0.0017	5	0.013	0.03			0.0050	0.006	0.0018											0.0050	30	1.1	10.5
69	0.4	0.5	35	0.005	0.0017	1	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	31	1.1	-4.3
70	0.4	0.5	35	0.005	0.0017	2	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	32	1.1	-1.0
71	0.4	0.5	35	0.005	0.0017	5	0.013	0.03		0.0027		0.006	0.0018											0.0027	34	1.1	8.9
72	0.4	0.5	27	0.005	0.0012	5	0.013	0.8		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	30	1.3	11.1
73	0.4	1	27	0.005	0.0012	5	0.013	2		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	31	1.3	12.5
74	0.4	2	27	0.005	0.0012	5	0.013	2		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	32	1.3	13.3
75	0.4	5	27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	36	1.3	14.1
76	0.4	0.5	27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	30	1.3	10.5
77	0.4	0.5	27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	30	1.3	10.5
78	0.4	0.5	27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015											0.0023	30	1.3	10.5
79	0.6	0.2	15	0.02	0.001	3	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018	0.03			0.05				1			0.0027	29	1.8	13.2
80	0.6	0.2	20	0.02	0.001	3	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018	0.01			0.05							0.0027	31	1.8	3.2
81	0.6	0.2	25	0.02	0.001	3	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	33	1.8	2.2
82	0.6	0.2	35	0.02	0.001	2	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	37	1.8	-3.1
83	0.6	0.2	30	0.02	0.001	0.5	0.015	0.03	0.0020	0.0027		0.004	0.0018											0.0027	34	1.8	-7.0
84	0.6	0.2	28	0.02	0.001	2	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	34	1.8	-1.7
85	0.6	0.2	28	0.02	0.001	5	0.015	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	36	1.8	8.2
86	0.6	0.2	25	0.02	0.001	2	0.016	0.03		0.0020		0.004	0.0013											0.0020	32	1.3	-1.1
87	0.6	0.2	25	0.02	0.001	2	0.016	0.03		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	32	2.5	-1.1
88	0.8	0.4	15	0.01	0.0012	3	0.02	0.03		0.0027		0.004	0.0018	0.03			0.03	1						0.0027	34	1.5	6.4
89	0.8	0.4	20	0.01	0.0012	3	0.02	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	37	1.5	3.9
90	0.8	0.4	25	0.01	0.0012	3	0.02	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	39	1.5	2.9
91	0.8	0.4	35	0.01	0.0012	3	0.02	0.03	0.0030	0.0027		0.004	0.0018											0.0027	44	1.5	0.9
92	0.8	0.4	25	0.01	0.0012	0.5	0.02	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	37	1.5	-5.4
93	0.8	0.4	25	0.01	0.0012	3	0.02	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	39	1.5	2.9
94	0.8	0.4	25	0.01	0.0012	5	0.02	0.03		0.0027		0.004	0.0018											0.0027	41	1.5	9.5
95	0.8	0.4	20	0.01	0.0012	8	0.02	0.03	0.0020	0.0020		0.004	0.0013											0.0040	41	1.1	20.4
96	0.8	0.4	20	0.01	0.0012	8	0.02	0.03		0.0038		0.004	0.0025											0.0038	41	2.1	20.4

式1は30C+0.5Mn+Ni+0.8Cr+1.2Si+0.8Moの計算値
 式2は0/Sの計算値
 式3は-2C+0.8Si-0.2Mn+3.3Cr+9(Mo+W/2)+1.5(Cu+Ni+Co)+60N+0.8Al-90P-90S(GI)の計算値

【表 1 - 4】

表 1 の続き

鋼 No.	化学成分 (質量%)													式1	式2	式3											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al	Ca	Mg	REM	N	O				Nb	Ta	Zr	V	Cu	Ni	Co	Mo	W	B	Ca+Mg+REM
101	0.2	0.6	0.30	0.005	0.001	6	0.015	0.03				0.004	0.0015												27	1.5	13.6
102	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0200	0.004	0.0015			0.015								0.0233	28	1.5	13.2
103	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0200	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0233	28	1.5	13.2
104	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0200	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0233	28	1.5	13.2
105	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0043	28	1.5	13.2
106	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0043	28	1.5	13.2
107	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0043	28	1.5	13.2
108	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0043	28	1.5	13.2
109	0.2	0.6	0.32	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0010	0.0023	0.0010	0.004	0.0015			0.015								0.0043	28	1.5	13.2
110	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6	0.015	0.03		0.0008		0.004	0.0005											0.0008	29	0.5	12.8
111	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6	0.015	0.03		0.0023		0.004	0.015												29	1.5	15.1
112	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6	0.015	0.03		0.0000		0.004	0.0015											0.0200	29	1.5	15.1
113	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0020	0.0027		0.004	0.0018											0.0027	29	1.8	12.8
114	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6		0.03	0.0027			0.004	0.0018											0.0027	29	1.8	12.8
115	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6	0.1	0.03	0.0027			0.004	0.0018											0.0027	29	1.8	12.8
116	0.2	0.6	0.34	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0027			0.004	0.0018											0.0027	29	1.8	12.8
117	0.2		0.30	0.005	0.001	6	0.015		0.0027			0.2	0.0018											0.0027	29	1.8	24.6
118	0.2	0.6	0.30	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0027			0.004	0.0018	0.05			0.05							0.0027	26	1.8	13.1
119	0.2	0.6	0.30	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0027			0.004	0.0018	0.05			0.05							0.0027	33	1.8	17.9
120	0.2	0.6	0.30	0.005	0.001	6	0.015	0.03	0.0027			0.004	0.0018	0.05			0.05							0.0027	27	1.8	18.4
121	0.2	0.6	0.30	0.003	0.001	8	0.015	0.03	0.0038			0.004	0.0025	0.01	0.01									0.0038	27	0.1	18.5
122	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0038			0.004	0.0025	0.01	0.01									0.0038	30	2.5	40.5
123	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0040			0.006	0.001											0.0040	30	0.8	10.6
124	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0040			0.006	0.012											0.0040	30	10.0	10.6
125	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0001			0.006	0.0015											0.0001	30	1.3	10.6
126	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0020	0.0200	0.0030	0.006	0.0015											0.0250	30	1.3	10.6
127	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0012	15	0.013	0.03		0.0023		0.006	0.0015	0.01	0.01									0.0023	38	1.3	43.6
128	0.4	0.6	0.10	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0023			0.006	0.0015	0.03										0.0023	22	1.3	18.5
129	0.4	0.6	0.40	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0023			0.006	0.0015	0.03										0.0023	37	1.3	12.5
129	1.3	0.6	0.27	0.005	0.0012	5	0.013	0.03	0.0023			0.006	0.0015											0.0023	57	1.3	10.3
130	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0017	5	0.013	0.03	0.0027			0.006	0.0018											0.0027	30	1.1	10.6
131	0.4	0.6	0.27	0.005	0.0017	5	0.013	0.03	0.0027			0.006	0.0018											0.0027	30	1.1	10.6

式1は30C+0.5Mn+Ni+0.8Cr+1.2Si+0.8Moの計算値

式2は0/Sの計算値

式3は-2C+0.8Si-0.2Mn+3.3Cr+9(Mo+W/2)+1.5(Cu+Ni+Co)+60N+0.8Al-90P-90S(CI)の計算値

【表 2 - 1】

表 2

鋼 No.	加熱温度 ℃	スラブ厚 mm	累積圧下率 %	仕上温度 ℃	冷却開始温度 ℃	冷却速度 ℃/s	溶体化温度 ℃	溶体化冷却速度 ℃/s	板厚 mm
1	1200	200	75	955	949	10			50
2	1200	200	75	955	949	10			50
3	1200	200	75	955	949	10			50
4	1200	200	75	955	949	10			50
5	1200	200	75	955	949	10			50
6	1200	200	75	955	949	10			50
7	1200	200	75	955	949	10			50
8	1200	200	75	955	949	10			50
9	1200	200	75	955	949	10			50
10	1150	150	87	960	945	40			20
11	1150	150	87	960	945	40			20
12	1150	150	87	960	945	40			20
13	1150	150	87	960	945	40			20
14	1150	150	87	960	945	40			20
15	1150	150	87	960	945	40			20
16	1150	150	87	960	945	40			20
17	1150	150	87	960	945	40			20
18	1150	150	87	960	945	40			20
19	1150	150	87	960	945	40			20
20	1150	150	87	960	945	40			20
21	1150	150	87	960	945	40			20
22	1150	150	87	960	945		950	35	20
23	1150	150	87	960	945		1000	35	20
24	1150	150	87	960	945		1100	35	20
25	1150	150	87	960	945	40			20
26	1150	150	87	960	945	40			20
27	1150	150	87	960	945	40			20
28	1150	150	87	960	945	40			20
29	1150	150	87	960	945	40			20
30	1150	150	87	960	945	40			20
31	1150	150	87	960	945	40			20
32	1150	150	87	960	945	40			20
33	1150	150	87	960	945	40			20
34	1150	150	50	960	956	5			75
35	1150	150	50	960	956	5			75
36	1150	150	50	960	956	5			75
37	1150	150	33	960	957	3			100
38	1150	250	86	960	951	30			35
39	1150	250	86	960	951	30			35
40	1150	250	86	960	951	30			35
41	1150	250	86	960	951	30			35
42	1150	250	86	960	951	30			35
43	1150	250	86	960	951	30			35
44	1150	250	86	960	951	30			35
45	1150	250	86	960	951	30			35
46	1150	250	86	960	951	30			35
47	1150	250	86	960	951	25			35
48	1150	250	86	960	951	25			35
49	1150	250	86	960	951	25			35
50	1150	250	86	960	951	25			35
51	1150	250	86	960	951	25			35
52	1150	250	86	960	951	25			35
53	1150	250	86	960	951	25			35
54	1150	250	86	960	951	25			35
55	1150	250	86	960	951	25			35
56	1150	250	86	960	951	25			35
57	1150	250	86	960	951	25			35
58	1150	250	86	960	951	25			35
59	1150	250	86	960	951	25			35
60	1150	250	86	960	951	25			35
61	1150	250	86	960	951	25			35
62	1150	250	86	960	951	25			35
63	1150	250	86	960	951	25			35

10

20

30

40

【表 2 - 2】

表 2 の続き

鋼No.	加熱温度 ℃	スラブ厚 mm	累積圧下率 %	仕上温度 ℃	冷却開始温度 ℃	冷却速度 ℃/s	溶体化温度 ℃	溶体化冷却速度 ℃/s	板厚 mm
64	1150	250	86	960	951	25			35
65	1150	250	86	960	951	25			35
66	1150	250	86	960	951	25			35
66	1150	250	86	960	951	25			35
67	1150	250	86	960	951	25			35
68	1150	250	86	960	951	25			35
69	1150	250	86	960	951	25			35
70	1150	250	86	960	951	25			35
71	1150	250	86	960	951	25			35
72	1150	250	86	960	951	25			35
73	1150	250	86	960	951	25			35
74	1150	250	86	960	951	25			35
75	1150	250	86	960	951		950	10	35
76	1150	250	86	960	951		950	20	35
77	1150	250	86	960	951		1000	20	35
78	1000	175	86	975	963	30			25
79	1000	175	86	975	963	30			25
80	1000	175	86	975	963	30			25
81	1000	175	86	975	963	30			25
82	1000	175	86	975	963	30			25
83	1000	175	86	975	963	30			25
84	1000	175	86	975	963	30			25
85	1000	175	86	975	963	30			25
86	1000	175	86	975	963	30			25
87	1250	150	90	1000	980	50			15
88	1250	150	90	1000	980	50			15
89	1250	150	90	1000	980	50			15
90	1250	150	90	1000	980	50			15
91	1250	150	90	1000	980	50			15
92	1250	150	90	1000	980	50			15
93	1250	150	90	1000	980	50			15
94	1250	150	90	1000	980	50			15
95	1250	150	90	1000	980	50			15
101	1150	150	87	960	945	40			20
102	1150	150	87	960	945	40			20
103	1150	150	87	960	945	40			20
104	1150	150	87	960	945	40			20
105	950	150	87	960	945	40			20
106	1150	150	20	960	945	40			20
107	1150	150	87	900	885	40			20
108	1150	150	87	800	785	40			20
109	1150	150	87	960	945	1			20
110	1150	150	87	960	945	40			20
111	1150	150	87	960	945	40			20
112	1150	150	87	960	945	40			20
113	1150	150	87	960	945	40			20
114	1150	150	87	960	945	40			20
115	1150	150	87	960	945	40			20
116	1150	150	87	960	945	40			20
117	1150	150	87	960	945	40			20
118	1150	150	87	960	945	40			20
119	1150	150	87	960	945	40			20
120	1150	150	87	960	945	40			20
121	1150	150	87	960	945	40			20
122	1150	250	86	960	951	25			35
123	1150	250	86	960	951	25			35
124	1150	250	86	960	951	25			35
125	1150	250	86	960	951	25			35
126	1150	250	86	960	951	25			35
127	1150	250	86	960	951	25			35
128	1150	250	86	960	951	25			35
129	1150	250	86	960	951	25			35
130	1150	250	86	960	951		800	20	35
131	1150	250	86	960	951		1000	1	35

【 0 0 4 5 】

更に、J I S Z 2241 に準拠して室温で引張試験を行い、降伏強度 (Y S) 、引張強度 (T S) を測定した。また、J I S Z 2242 の V ノッチ試験片を用いて、液体窒素温度 (- 196) 及び液体 H e 温度 (- 269) におけるシャルピー吸収エネルギーを測定した。耐食性の評価は、200 mm x 500 mm の鋼板をエメリ 研磨し、

10

20

30

40

50

60日の大気曝露試験を行って評価した。発錆性の評価は、曝露期間が終了した後に錆が発生した面積率（発錆率）を測定し、評価した。発錆率が5%以下を大変良好（◎）、5%超～10%以下を良好（○）、10%超～25%以下をやや不良（△）、25%超を不良（×）とした。結果を表3に示す。

【0046】

【表3 - 1】

鋼No.	金属組織		炭化物		引張特性(室温)		低温靱性		割れ	曝露試験		備考
	γ体積率 %	γ粒径 μm	体積率 %	境界被覆率 %	YS MPa	TS MPa	vE ₋₁₉₆ J	vE ₋₂₆₉ J		発錆率 %	評価	
1	100	70	0.9	9	437	830	295	263	○	1.9	◎	発明鋼
2	100	70	1.1	12	460	862	286	254	○	1.9	◎	発明鋼
3	100	70	1.5	15	528	927	282	230	○	2.2	◎	発明鋼
4	100	70	2	22	428	788	246	214	○	3.0	◎	発明鋼
5	100	70	2	22	428	788	246	214	○	3.0	◎	発明鋼
6	100	70	2.4	26	448	791	201	169	○	6.1	○	発明鋼
7	100	70	2.4	26	448	791	201	169	○	6.1	○	発明鋼
8	100	70	2.3	24	472	797	161	129	○	19.3	△	発明鋼
9	100	70	2.8	29	551	885	142	110	○	21.9	△	発明鋼
10	100	70	0.8	8	438	787	254	222	○	4.4	◎	発明鋼
11	100	70	0.8	8	458	816	252	220	○	4.5	◎	発明鋼
12	100	70	0.5	5	492	861	258	226	○	3.9	◎	発明鋼
13	100	70	0.8	8	477	846	250	218	○	4.7	◎	発明鋼
14	100	70	0.8	8	588	937	239	207	○	4.4	◎	発明鋼
15	100	70	1.1	12	477	840	247	215	○	2.7	◎	発明鋼
16	100	70	1.1	12	632	995	238	206	○	1.1	◎	発明鋼
17	100	70	1.1	12	477	840	257	225	○	2.7	◎	発明鋼
18	100	70	1.1	12	520	889	243	211	○	2.4	◎	発明鋼
19	100	70	1.1	12	520	889	243	211	○	2.4	◎	発明鋼
20	100	70	1.1	12	530	899	242	210	○	2.5	◎	発明鋼
21	100	70	1.1	12	550	919	240	208	○	2.6	◎	発明鋼
22	100	80	1	12	518	883	246	214	○	2.4	◎	発明鋼
23	100	100	0.8	12	515	872	250	218	○	2.4	◎	発明鋼
24	100	120	0.7	12	512	865	254	222	○	2.4	◎	発明鋼
25	100	70	1.1	12	579	958	237	205	○	2.1	◎	発明鋼
26	100	70	1.1	12	497	869	245	213	○	2.8	◎	発明鋼
27	100	70	1.1	12	497	869	245	213	○	2.8	◎	発明鋼
28	100	70	1.1	12	497	869	245	213	○	2.8	◎	発明鋼
29	100	70	1.1	12	497	869	245	213	○	2.8	◎	発明鋼
30	100	70	0.8	8	571	919	241	209	○	1.3	◎	発明鋼
31	100	70	0.8	8	463	812	252	220	○	4.4	◎	発明鋼
32	100	70	0.8	8	526	874	245	214	○	4.4	◎	発明鋼

γ体積率はオーステナイトの体積率
γ粒径はオーステナイトの結晶粒径

10

20

30

40

【表 3 - 2】

表 3 の続き

鋼No.	金属組織		炭化物		引張特性(室温)		低温靱性		割れ	曝露試験		備考
	γ体積率 %	γ粒径 μm	体積率 %	粒界被覆率 %	YS MPa	TS MPa	vE ₋₁₉₆ J	vE ₋₂₆₉ J		発錆率 %	評価	
33	100	70	1.1	12	477	840	147	115	○	2.7	◎	発明鋼
34	100	70	2.9	37	479	842	229	197	○	2.7	◎	発明鋼
35	100	70	2.8	35	482	845	242	210	○	2.6	◎	発明鋼
36	100	70	2.5	32	487	850	264	233	○	2.5	◎	発明鋼
37	100	70	3	44	502	864	311	280	○	2.2	◎	発明鋼
38	100	70	0.2	2	421	780	260	228	○	100.0	x	発明鋼
39	100	70	0.4	4	438	805	257	225	○	37.7	x	発明鋼
40	100	70	0.7	8	458	815	253	221	○	6.9	○	発明鋼
41	100	150	0.3	8	468	811	265	233	○	7.3	○	発明鋼
42	100	70	1.2	13	468	820	246	215	○	2.7	◎	発明鋼
43	100	50	2.2	16	483	848	233	201	○	1.9	◎	発明鋼
44	100	70	0.5	5	484	805	275	243	○	1.7	◎	発明鋼
45	100	70	0.8	9	483	825	257	226	○	2.4	◎	発明鋼
46	100	70	0.7	7	482	852	259	227	○	7.2	○	発明鋼
47	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	5.9	○	発明鋼
48	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	5.9	○	発明鋼
49	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	5.9	○	発明鋼
50	100	70	1.7	17	495	832	200	168	○	5.9	○	発明鋼
51	100	180	0.6	17	587	895	207	176	○	3.9	◎	発明鋼
52	100	70	0	0	495	832	228	196	○	3.9	◎	発明鋼
53	100	70	1.7	17	465	802	212	180	○	5.9	○	発明鋼
54	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	5.9	○	発明鋼
55	100	70	1.7	17	475	812	202	170	○	6.0	○	発明鋼
56	100	70	1.7	17	495	832	200	168	○	6.0	○	発明鋼
57	100	70	1.7	17	557	895	194	162	○	6.0	○	発明鋼
58	100	22	0.1	0	435	811	188	157	○	100.0	x	発明鋼
59	100	70	0.2	2	521	842	213	181	○	100.0	x	発明鋼
60	100	60	1.2	10	458	802	207	175	○	24.0	△	発明鋼
61	100	190	0.6	17	482	804	219	187	○	6.4	○	発明鋼
62	100	70	3	35	592	979	173	141	○	2.0	◎	発明鋼
63	100	50	1.9	15	578	870	196	164	○	1.9	◎	発明鋼

γ体積率はオーステナイトの体積率
γ粒径はオーステナイトの結晶粒径

【表 3 - 3】

表 3 の続き

鋼No.	金属組織		炭化物		引張特性(室温)		低温靱性		割れ	曝露試験		備考
	γ体積率 %	γ粒径 μm	体積率 %	粒子被覆率 %	YS MPa	TS MPa	VE ₁₉₆ J	VE ₂₆₉ J		発錆率 %	評価	
64	100	70	1.7	17	527	820	197	165	○	2.5	◎	発明鋼
65	100	70	1.7	17	506	809	199	167	○	5.4	◎	発明鋼
66	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	6.0	○	発明鋼
67	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	6.0	○	発明鋼
68	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	6.0	○	発明鋼
69	100	70	0.3	3	465	814	217	185	○	100.0	x	発明鋼
70	100	70	0.7	7	485	841	212	180	○	100.0	x	発明鋼
71	100	70	1.7	17	543	920	195	163	○	7.3	○	発明鋼
72	100	70	1.4	15	469	806	221	189	○	5.5	○	発明鋼
73	100	70	0.9	10	475	816	257	226	○	4.8	◎	発明鋼
74	100	70	0.7	7	475	826	280	248	○	4.5	◎	発明鋼
75	100	70	0	0	465	845	309	277	○	4.2	◎	発明鋼
76	100	70	2.5	26	465	802	194	162	○	5.9	○	発明鋼
77	100	70	1.8	19	465	802	202	170	○	5.9	○	発明鋼
78	100	70	1.8	19	465	802	202	170	○	5.9	○	発明鋼
79	100	70	1.5	16	579	850	158	126	○	4.5	◎	発明鋼
80	100	70	1.5	16	538	833	162	130	○	24.5	△	発明鋼
81	100	70	1.5	16	517	837	164	132	○	38.1	x	発明鋼
82	100	70	1	10	596	957	162	130	○	100.0	x	発明鋼
83	100	70	0.2	2	517	844	178	146	○	100.0	x	発明鋼
84	100	70	1	10	527	854	169	137	○	100.0	x	発明鋼
85	100	70	2.6	28	586	934	146	114	○	8.0	○	発明鋼
86	100	50	1.4	10	506	832	163	131	○	100.0	x	発明鋼
87	100	50	1.4	10	506	832	163	131	○	100.0	x	発明鋼
88	100	70	1.1	12	590	872	160	128	○	10.8	△	発明鋼
89	100	70	1.8	19	539	846	152	120	○	19.7	△	発明鋼
90	100	70	1.8	19	588	919	147	115	○	28.1	△	発明鋼
91	100	70	1.8	19	686	1000	142	110	○	100.0	x	発明鋼
92	100	70	0.1	1	539	919	170	138	○	100.0	x	発明鋼
93	100	70	1.8	19	588	972	147	115	○	28.1	△	発明鋼
94	100	70	2	34	627	1052	153	122	○	6.7	○	発明鋼
95	100	70	2.8	39	637	978	135	110	○	2.7	◎	発明鋼
96	100	70	2.8	42	637	978	137	105	○	2.7	◎	発明鋼

γ体積率はオーステナイトの体積率
γ粒径はオーステナイトの結晶粒径

10

20

30

40

【表 3 - 4】

表 3 の続き

鋼No.	金属組織		炭化物		引張特性(室温)		低温靱性		割れ	曝露試験		備考
	γ体積率 %	γ粒径 μm	体積率 %	粒界被覆率 %	YS MPa	TS MPa	vE ₁₉₆ J	vE ₂₆₉ J		発錆率 %	評価	
101	100	60	0.9	8	441	795	250	219	○	4.4	◎	比較鋼
102	100	50	1.1	8	464	835	124	92	○	4.5	◎	比較鋼
103	100	50	1.1	8	464	835	124	92	○	4.5	◎	比較鋼
104	100	50	1.1	8	464	835	124	92	○	4.5	◎	比較鋼
105	100	15	3.7	8	494	937	127	95	○	4.5	◎	比較鋼
106	100	400	0.1	8	440	756	133	86	○	4.5	◎	比較鋼
107	100	10	4.2	52	509	987	130	98	○	4.5	◎	比較鋼
108	100	10	6	60	509	987	122	90	○	4.5	◎	比較鋼
109	100	70	5	70	458	816	106	74	○	4.5	◎	比較鋼
110	100	80	0.7	8	475	839	253	222	○	4.7	◎	比較鋼
111	100	65	0.8	8	479	850	108	77	○	4.7	◎	比較鋼
112	100	80	0.4	5	490	854	255	219	○	3.9	◎	比較鋼
113	100	60	0.5	5	495	869	123	92	○	3.9	◎	比較鋼
114	100	70	0.8	8	440	808	254	222	○	4.7	◎	比較鋼
115	100	70	0.8	8	690	1058	109	77	○	4.7	◎	比較鋼
116	100	70	0.8	8	708	1115	107	75	○	2.1	◎	比較鋼
117	100	70	0.9	54	588	931	131	89	○	4.6	◎	比較鋼
118	100	70	0	0	588	990	125	64	○	3.1	◎	比較鋼
119	100	70	0	0	617	966	129	97	○	3.0	◎	比較鋼
120	100	70	1.1	12	477	840	127	95	○	3.0	◎	比較鋼
121	100	70	1.1	12	682	1045	126	94	○	1.2	◎	比較鋼
122	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	5.9	○	比較鋼
123	100	70	1.7	17	465	802	83	51	○	5.9	○	比較鋼
124	100	70	1.7	17	465	802	203	171	○	5.9	○	比較鋼
125	100	70	1.7	17	465	802	83	51	○	5.9	○	比較鋼
126	100	70	5.5	52	691	1097	105	74	○	1.1	◎	比較鋼
127	91	160	0.6	17	421	645	132	101	○	3.0	◎	比較鋼
128	100	160	0.6	17	715	1086	193	161	×	4.8	◎	比較鋼
129	100	70	3.6	51	828	1209	50	18	○	6.1	○	比較鋼
130	100	75	6.2	70	464	799	132	80	○	5.9	○	比較鋼
131	100	80	5.1	60	463	796	134	82	○	5.9	○	比較鋼

γ体積率はオーステナイトの体積率
γ粒径はオーステナイトの結晶粒径

10

20

30

40

【 0 0 4 7 】

また、溶接熱影響部の金属組織及び特性を評価するため、表 4 に示す条件で、熱サイクルシミュレータにより溶接の熱サイクルを再現する熱処理を施した。オーステナイトの結晶粒径（粒径）は光学顕微鏡による組織観察によって測定した。オーステナイト粒界の炭化物被覆率、炭化物体積率は、母材と同様に、透過型電子顕微鏡を用いて求めた。また

50

、JIS Z 2242のVノッチ試験片を用いて、液体窒素温度（-196）及び液体He温度（-269）におけるシャルピー吸収エネルギーを測定した。結果を表4に示す。

【0048】

【表4-1】

表4

鋼No.	溶接熱サイクル			γ粒径 μm	炭化物		低温靱性		備考
	相当入熱 KJ/mm	ヒート温度 °C	冷却速度 °C/s		体積率 %	被覆率 %	VE ₋₁₉₆ J	VE ₋₂₆₉ J	
1	8	1400	9	170	0.4	11	296	264	発明鋼
2	8	1400	9	170	0.5	13	285	253	発明鋼
3	8	1400	9	170	0.7	17	261	229	発明鋼
4	8	1400	9	170	0.9	23	245	213	発明鋼
5	8	1400	9	160	1	23	244	213	発明鋼
6	8	1400	9	170	1.1	27	200	168	発明鋼
7	8	1400	9	160	1.1	27	199	167	発明鋼
8	8	1400	9	170	1	26	160	128	発明鋼
9	8	1400	9	170	1.2	31	141	109	発明鋼
10	3	1400	10	170	0.8	19	244	212	発明鋼
11	3	1400	10	150	0.9	19	240	208	発明鋼
12	3	1400	10	170	0.6	16	248	216	発明鋼
13	3	1400	10	150	0.9	19	238	206	発明鋼
14	3	1400	10	150	0.9	19	227	195	発明鋼
15	3	1400	10	120	1.3	23	231	199	発明鋼
16	3	1400	10	120	1.3	23	223	191	発明鋼
17	3	1400	10	120	1.3	23	241	209	発明鋼
18	3	1400	10	120	1.3	23	227	195	発明鋼
19	3	1400	10	120	1.3	23	227	195	発明鋼
20	3	1400	10	120	1.3	23	226	194	発明鋼
21	3	1400	10	120	1.3	23	224	192	発明鋼
22	3	1400	10	120	1.3	23	227	195	発明鋼
23	3	1400	10	120	1.3	23	227	195	発明鋼
24	3	1400	10	120	1.3	23	228	196	発明鋼
25	3	1400	10	120	1.3	23	221	189	発明鋼
26	3	1400	10	100	1.5	23	226	194	発明鋼
27	3	1400	10	90	1.7	23	224	192	発明鋼
28	3	1400	10	110	1.4	23	228	196	発明鋼
29	3	1400	10	120	1.3	23	229	197	発明鋼
30	3	1400	10	150	0.9	19	229	197	発明鋼
31	3	1400	10	150	0.9	19	240	208	発明鋼
32	3	1400	10	150	0.9	19	233	201	発明鋼
33	3	1400	10	120	1.3	23	231	199	発明鋼
34	15	1400	4	120	2.8	50	211	180	発明鋼
35	15	1400	4	120	2.7	48	225	193	発明鋼
36	15	1400	4	120	2.5	45	247	215	発明鋼
37	15	1400	3	120	2.4	44	307	275	発明鋼
38	3	1400	12	150	0.4	10	254	222	発明鋼
39	3	1400	12	150	0.5	12	250	218	発明鋼
40	3	1400	12	150	0.7	15	244	212	発明鋼
41	3	1400	12	150	0.7	15	243	211	発明鋼
42	3	1400	12	150	0.9	20	238	206	発明鋼
43	3	1400	12	150	1.1	24	233	201	発明鋼
44	3	1400	12	150	0.5	12	266	234	発明鋼
45	3	1400	12	150	0.7	16	249	217	発明鋼
46	3	1400	12	150	0.6	14	251	219	発明鋼
47	3	1400	12	200	0.8	24	200	168	発明鋼
48	3	1400	12	170	0.9	24	197	166	発明鋼
49	3	1400	12	150	1.1	24	196	164	発明鋼
50	3	1400	12	170	0.9	24	194	163	発明鋼
51	3	1400	12	200	0.9	24	187	156	発明鋼
52	3	1400	12	170	0.3	7	222	190	発明鋼
53	3	1400	12	170	0.9	24	206	175	発明鋼
54	3	1400	12	120	1.3	24	192	160	発明鋼
55	3	1400	12	150	1.1	24	195	163	発明鋼
56	3	1400	12	150	1.1	24	193	161	発明鋼
57	3	1400	12	150	1.1	24	186	155	発明鋼
58	3	1400	12	150	0.3	7	216	184	発明鋼
59	3	1400	12	150	0.4	8	206	174	発明鋼
60	3	1400	12	150	0.8	17	203	172	発明鋼
61	3	1400	12	200	1.1	24	198	166	発明鋼
62	3	1400	12	150	1.8	41	165	134	発明鋼
63	3	1400	12	150	0.9	21	197	165	発明鋼

10

20

30

40

50

【表 4 - 2】

表 4 の続き

鋼No.	溶接熱サイクル			γ 粒径 μm	炭化物		低温靱性		備考
	相当入熱 KJ/mm	ピーク温度 ℃	冷却速度 ℃/s		体積率 %	被覆率 %	vE ₋₁₉₆ J	vE ₋₂₆₉ J	
64	3	1400	12	150	1.1	24	189	158	発明鋼
65	3	1400	12	150	1.1	24	192	160	発明鋼
66	3	1400	12	150	1.1	24	196	164	発明鋼
67	3	1400	12	160	1	24	197	165	発明鋼
68	3	1400	12	170	0.9	24	197	166	発明鋼
69	3	1400	12	150	0.4	10	210	178	発明鋼
70	3	1400	12	150	0.6	13	204	172	発明鋼
71	3	1400	12	150	1.1	24	188	156	発明鋼
72	3	1400	12	200	0.7	21	217	186	発明鋼
73	3	1400	12	200	0.5	16	254	222	発明鋼
74	3	1400	12	200	0.5	14	276	245	発明鋼
75	3	1400	12	200	0.2	7	305	273	発明鋼
76	3	1400	12	170	0.9	24	197	166	発明鋼
77	3	1400	12	170	0.9	24	197	166	発明鋼
78	3	1400	12	170	0.9	24	197	166	発明鋼
79	5	1400	8	150	1.4	31	142	110	発明鋼
80	5	1400	8	150	1.4	31	146	114	発明鋼
81	5	1400	8	150	1.4	31	148	116	発明鋼
82	5	1400	8	150	1.1	25	146	114	発明鋼
83	5	1400	8	150	0.7	17	162	131	発明鋼
84	5	1400	8	150	1.1	25	153	121	発明鋼
85	5	1400	8	150	1.9	43	137	105	発明鋼
86	5	1400	8	200	0.8	25	159	127	発明鋼
87	5	1400	8	120	1.4	25	151	119	発明鋼
88	3	1400	9	150	1.1	25	145	114	発明鋼
89	3	1400	9	150	1.4	33	142	110	発明鋼
90	3	1400	9	150	1.4	33	137	105	発明鋼
91	3	1400	9	150	1.4	33	138	106	発明鋼
92	3	1400	9	150	0.6	14	155	124	発明鋼
93	3	1400	9	150	1.4	33	137	105	発明鋼
94	3	1400	9	150	2.1	39	139	107	発明鋼
95	3	1400	9	200	2.3	43	136	104	発明鋼
96	3	1400	9	120	2.9	48	135	101	発明鋼
101	3	1400	10	400	0.3	19	119	87	比較鋼
102	3	1400	10	150	0.9	19	119	88	比較鋼
103	3	1400	10	150	0.9	19	119	88	比較鋼
104	3	1400	10	150	0.9	19	119	88	比較鋼
106	3	1400	10	150	0.9	19	181	150	比較鋼
107	3	1400	10	445	0.9	19	123	78	比較鋼
108	3	1400	10	150	2	45	224	193	比較鋼
109	3	1400	10	150	2.2	50	219	188	比較鋼
110	3	1400	10	150	0.9	19	255	223	比較鋼
111	3	1400	10	400	0.3	19	115	83	比較鋼
112	3	1400	10	150	0.9	19	98	66	比較鋼
113	3	1400	10	600	0.2	16	100	69	比較鋼
114	3	1400	10	150	0.7	16	115	83	比較鋼
115	3	1400	10	300	0.4	19	126	94	比較鋼
116	3	1400	10	150	0.9	19	97	65	比較鋼
117	3	1400	10	150	0.9	19	95	63	比較鋼
118	3	1400	10	150	0.9	60	119	82	比較鋼
119	3	1400	10	150	0.5	11	113	60	比較鋼
120	3	1400	10	150	0.5	11	117	85	比較鋼
121	3	1400	10	500	0.3	23	128	97	比較鋼
122	3	1400	10	150	0.6	23	121	83	比較鋼
123	3	1400	12	700	0.2	24	47	15	比較鋼
124	3	1400	12	170	0.9	24	77	46	比較鋼
125	3	1400	12	500	0.3	24	64	33	比較鋼
126	3	1400	12	150	1.1	24	76	44	比較鋼
127	3	1400	12	170	2.3	59	100	68	比較鋼
128	3	1400	12	170	0.9	24	127	95	比較鋼
129	3	1400	12	170	0.9	24	187	155	比較鋼
130	3	1400	12	170	1.7	58	44	13	比較鋼
131	3	1400	12	150	1.5	34	161	129	比較鋼
132	3	1400	12	150	1.6	36	149	117	比較鋼

【 0 0 4 9 】

表 3 及び 4 から、本発明例に係る高 Mn 鋼材は、母材及び HAZ の特性に優れており、極低温材料として優れていることが分かる。これに対して、本発明で規定する条件を満足しない比較例では、強度、シャルピー特性の一方又は両方において、目的とする特性が得

10

20

30

40

50

られない。また、表 3 に示したように、表 1 に、その値を記載した C I の高い鋼材は耐食性も良好である。

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明に係る高 M n 鋼材は安価な合金成分を用い液体ヘリウム、液体水素、L N G、液体窒素など極低温で使用されるタンク等に適した鋼材として使用可能であり、高価なアルミニウム合金、N i 系オーステナイトステンレス鋼、9 % N i 鋼材の代替として使用することができるので、N i 資源の節約に貢献し、タンク建造コストの低減を可能にするものである。

フロントページの続き

(74)代理人 100140121

弁理士 中村 朝幸

(72)発明者 藤岡 政昭

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

(72)発明者 加賀谷 崇之

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

(72)発明者 星野 学

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

(72)発明者 古谷 仁志

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

Fターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA04 AA05 AA06 AA08 AA09 AA10 AA11 AA12
AA14 AA15 AA18 AA19 AA20 AA21 AA22 AA23 AA24 AA26
AA27 AA29 AA31 AA32 AA33 AA35 AA36 AA37 AA39 AA40
BA01 CA02 CA03 CB00 CC04 CD02 CD03 CD06