

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7635881号
(P7635881)

(45)発行日 令和7年2月26日(2025.2.26)

(24)登録日 令和7年2月17日(2025.2.17)

(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 1 B
C 2 1 D	8/02 (2006.01)	C 2 1 D	8/02	B
C 2 2 C	38/58 (2006.01)	C 2 2 C	38/58	
請求項の数 2 (全28頁)				
(21)出願番号	特願2024-506918(P2024-506918)	(73)特許権者	000001258	
(86)(22)出願日	令和5年11月17日(2023.11.17)		J F E スチール株式会社	
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/041423		東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号	
(87)国際公開番号	WO2024/166485	(74)代理人	100184859	
(87)国際公開日	令和6年8月15日(2024.8.15)		弁理士 磯村 哲朗	
審査請求日	令和6年2月15日(2024.2.15)	(74)代理人	100123386	
(31)優先権主張番号	特願2023-18073(P2023-18073)		弁理士 熊坂 晃	
(32)優先日	令和5年2月9日(2023.2.9)	(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	
早期審査対象出願		(74)代理人	100130834	
前置審査			弁理士 森 和弘	
		(72)発明者	松本 晃英	
			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	岩田 直道	
最終頁に続く				

(54)【発明の名称】 熱延鋼板および電縫鋼管

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

成分組成は、質量％で、
C：0.020％以上0.200％以下、
S i：0.50％以下、
M n：0.30％以上2.00％以下、
P：0.050％以下、
S：0.0200％以下、
A l：0.005％以上0.100％以下、
N：0.0100％以下を含有し、
あるいはさらに、
N b：0.080％以下、
V：0.080％以下、
T i：0.080％以下、
C u：0.50％以下、
N i：0.50％以下、
C r：0.50％以下、
M o：0.50％以下、
C a：0.0050％以下、
B：0.0050％以下、

Mg : 0 . 0 2 0 % 以下、

Zr : 0 . 0 2 0 % 以下、

REM : 0 . 0 2 0 % 以下、

Sn : 0 . 1 0 0 % 以下のうちから 1 種または 2 種以上を含み、

残部が Fe および不可避免的不純物からなり、

1 枚の鋼板を U 字型に曲げ加工した試験片が 2 枚の平板に挟圧されて実施される C 形へん平試験において、

前記曲げ加工した試験片の内側の面同士が接触する密着状態まで長さが 0 . 5 0 mm 以上である割れが発生せず、かつ

下記 (2) 式で求められる規格化変位が 0 . 2 0 ~ 0 . 3 0 の範囲において、下記 (1) 式で求められる規格化荷重 / 前記規格化変位が 1 0 0 MPa 以上であり、

板厚中央における鋼組織は、

大角粒界で囲まれた領域である結晶粒の平均結晶粒径が 1 5 . 0 μm 以下であり、

前記平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒が全結晶粒に対して面積率で 1 0 % 以上 5 0 % 以下であり、

下記 (3) 式で求められる微細粒連結度が 0 . 0 5 以上 0 . 5 0 以下であり、かつ

ベイナイトが体積率で 1 0 % 以上であり、

フェライトとベイナイトの合計が体積率で 8 0 % 以上であり、

残部はパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトのうちから選ばれた 1 種または 2 種以上の合計が体積率で 2 0 % 以下である、

熱延鋼板。

(規格化荷重 (MPa)) = (P / L) × (r / t²) × (1 - ((x₀ - x) / 2r)²)^{1/2} . . . (1)

(規格化変位) = (x₀ - x) / 2r . . . (2)

ここで、

P : 荷重 (N)

L : へん平試験片の初期長さ (mm)

r : へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径 (mm)

t : へん平試験片の初期板厚 (mm)

x₀ : 2 枚の平板間の初期の距離 (mm)

x : 2 枚の平板間の距離 (mm)

(微細粒連結度) = (平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒における大角粒界の総長さ) / (大角粒界の総長さ) . . . (3)

ただし、(3) 式の右辺の分子には、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の大角粒界の長さは含まれない。

【請求項 2】

母材部と電縫溶接部を有する電縫鋼管であって、

前記母材部の成分組成は、質量%で、

C : 0 . 0 2 0 % 以上 0 . 2 0 0 % 以下、

Si : 0 . 5 0 % 以下、

Mn : 0 . 3 0 % 以上 2 . 0 0 % 以下、

P : 0 . 0 5 0 % 以下、

S : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

Al : 0 . 0 0 5 % 以上 0 . 1 0 0 % 以下、

N : 0 . 0 1 0 0 % 以下、を含有し、

あるいはさらに、

Nb : 0 . 0 8 0 % 以下、

V : 0 . 0 8 0 % 以下、

Ti : 0 . 0 8 0 % 以下、

Cu : 0 . 5 0 % 以下、

N i : 0 . 5 0 % 以下、

C r : 0 . 5 0 % 以下、

M o : 0 . 5 0 % 以下、

C a : 0 . 0 0 5 0 % 以下、

B : 0 . 0 0 5 0 % 以下、

M g : 0 . 0 2 0 % 以下、

Z r : 0 . 0 2 0 % 以下、

R E M : 0 . 0 2 0 % 以下、

S n : 0 . 1 0 0 % 以下のうちから 1 種または 2 種以上を含み、

残部が F e および不可避免的不純物からなり、

電縫鋼管から採取したへん平試験片が 2 枚の平板に挟圧されて実施されるへん平試験において、

前記へん平試験片の内面同士が接触する密着状態まで長さが 0 . 5 0 mm 以上である割れが発生せず、かつ

下記 (2) 式で求められる規格化変位が 0 . 2 0 ~ 0 . 3 0 の範囲において、下記 (1) 式で求められる規格化荷重／前記規格化変位が 1 0 0 M P a 以上であり、

前記母材部の肉厚中央における鋼組織は、

大角粒界で囲まれた領域である結晶粒の平均結晶粒径が 1 5 . 0 μ m 以下であり、

前記平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒が全結晶粒に対して面積率で 1 0 % 以上 5 0 % 以下であり、

下記 (3) 式で求められる微細粒連結度が 0 . 0 5 以上 0 . 5 0 以下であり、かつ

ベイナイトが体積率で 1 0 % 以上であり、

フェライトとベイナイトの合計が体積率で 8 0 % 以上であり、

残部はパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトのうちから選ばれた 1 種または 2 種以上の合計が体積率で 2 0 % 以下である、

電縫鋼管。

(規格化荷重 (M P a)) = (P / L) × (r / t ²) × (1 - ((x ₀ - x) / 2 r) ²) ^{1/2} . . . (1)

(規格化変位) = (x ₀ - x) / 2 r . . . (2)

ここで、

P : 荷重 (N)

L : へん平試験片の管軸方向の初期長さ (mm)

r : へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径 (mm)

t : へん平試験片の初期板厚 (mm)

x ₀ : 2 枚の平板間の初期の距離 (mm)

x : 2 枚の平板間の距離 (mm)

(微細粒連結度) = (平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒における大角粒界の総長さ) / (大角粒界の総長さ) . . . (3)

ただし、(3) 式の右辺の分子には、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の大角粒界の長さは含まれない。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、建築構造物やラインパイプ等に好適な、電縫鋼管およびその素材となる熱延鋼板に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

建築構造物やラインパイプに用いられる電縫鋼管は、地震力等の外力を受けた際に座屈が生じると、耐力の急激な低下や破断が生じる。よって、これらの電縫鋼管においては、座屈の発生を抑制することが望ましい。

10

20

30

40

50

電縫鋼管の座屈を抑制するためには、座屈の前駆現象である鋼管断面のへん平化の抑制が有効である。

【０００３】

このような要求に対し、検討を行った例は少ないが、例えば、特許文献１には、母管となる電縫鋼管を加熱し、熱間縮径圧延を施すことにより、管長手方向の r 値を１．０以上とし、曲げ加工における座屈を抑制した鋼管が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【文献】特許第６９５４５０４号公報

10

【非特許文献】

【０００５】

【文献】小林秀敏、大久保浩、臺丸谷政志：軽金属、３９、（１９８９）、p. 8

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

特許文献１のように、鋼管の管軸方向の r 値を高くすることにより、管の周方向の変形を促進し、肉厚の変化を小さくすることで、鋼管断面のへん平化を抑制することは可能である。しかし、鋼管断面が縮径してくびれが生じ、断面積が減少するため、構造物としての耐力が低下するという問題があった。

20

【０００７】

本発明は上記の事情を鑑みてなされたものであって、耐へん平性能に優れた電縫鋼管、およびその素材として用いられる熱延鋼板を提供することを目的とする。

【０００８】

なお、本発明でいう「耐へん平性能に優れる」とは、へん平試験において電縫鋼管から採取したへん平試験片の内面同士が接触する密着状態まで長さが０．５０mm以上である割れが発生せず、かつ式（２）で求められる規格化変位が０．２０～０．３０の範囲において（下記（１）式で求められる規格化荷重／規格化変位）が１００MPa以上であることを指す。前記の電縫鋼管から採取したへん平試験片の内面同士が接触するとは、例えば電縫鋼管から採取したへん平試験片の上下方向から負荷を加えてへん平試験を行う際に、電縫鋼管から採取したへん平試験片の上側部分の内面と下側部分の内面が接触することをいう。

30

$$(\text{規格化荷重 (MPa)}) = (P / L) \times (r / t^2) \times (1 - ((x_0 - x) / 2r)^2)^{1/2} \dots (1)$$

$$(\text{規格化変位}) = (x_0 - x) / 2r \dots (2)$$

ここで、

P ：荷重（N）

L ：へん平試験片の管軸方向の初期長さ（mm）

r ：へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径（mm）

t ：へん平試験片の初期板厚（mm）

40

x_0 ：２枚の平板間の初期の距離（mm）

x ：２枚の平板間の距離（mm）

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本発明者らは鋭意検討を行った結果、電縫鋼管のミクロ組織において微細粒の割合を高くすることで、靱性を向上させて、へん平試験における割れの発生を抑制できることを知見した。一方で、微細粒の割合が高くなりすぎると延性が低下し、へん平試験において密着前に割れが発生しやすくなることも見出した。

【００１０】

また、微細粒の連結度を高くすることで、へん平試験において変位（押込み量）に対す

50

る荷重の増加量を大きくし、へん平化に対する抵抗を大きくすることができることを知見した。一方で、微細粒の連結度が高くなりすぎると延性が低下し、へん平試験において密着前に割れが発生することも見出した。

【0011】

さらに、C形へん平試験においてへん平化に対する抵抗が大きい熱延鋼板を素材として製造した電縫鋼管は、耐へん平性能に優れることも知見した。

【0012】

本発明は以上の知見に基づいて完成されたものであり、以下の[1]～[6]を提供する。

[1] 1枚の鋼板をU字型に曲げ加工した試験片が2枚の平板に挟圧されて実施されるC形へん平試験において、

前記曲げ加工した試験片の内側の面同士が接触する密着状態まで長さが0.50mm以上である割れが発生せず、かつ

下記(2)式で求められる規格化変位が0.20～0.30の範囲において、下記(1)式で求められる規格化荷重／前記規格化変位が100MPa以上である熱延鋼板。

(規格化荷重(MPa)) = $(P/L) \times (r/t^2) \times (1 - ((x_0 - x)/2r)^2)^{1/2} \dots (1)$

(規格化変位) = $(x_0 - x)/2r \dots (2)$

ここで、

P：荷重(N)

L：へん平試験片の初期長さ(mm)

r：へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径(mm)

t：へん平試験片の初期板厚(mm)

x_0 ：2枚の平板間の初期の距離(mm)

x：2枚の平板間の距離(mm)

[2] 成分組成は、質量%で、

C：0.020%以上0.200%以下、

Si：0.50%以下、

Mn：0.30%以上2.00%以下、

P：0.050%以下、

S：0.0200%以下、

Al：0.005%以上0.100%以下、

N：0.0100%以下を含有し、

あるいはさらに、

Nb：0.080%以下、

V：0.080%以下、

Ti：0.080%以下、

Cu：0.50%以下、

Ni：0.50%以下、

Cr：0.50%以下、

Mo：0.50%以下、

Ca：0.0050%以下、

B：0.0050%以下、

Mg：0.020%以下、

Zr：0.020%以下、

REM：0.020%以下、

Sn：0.100%以下のうちから1種または2種以上を含み、

残部がFeおよび不可避免的不純物からなる

[1]に記載の熱延鋼板。

[3] 板厚中央における鋼組織は、

大角粒界で囲まれた領域である結晶粒の平均結晶粒径が15.0μm以下であり、

10

20

30

40

50

前記平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒が全結晶粒に対して面積率で10%以上50%以下であり、

下記(3)式で求められる微細粒連結度が0.05以上0.50以下であり、かつ
ベイナイトが体積率で10%以上であり、

フェライトとベイナイトの合計が体積率で80%以上であり、

残部はパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトのうちから選ばれた1種または2種以上の合計が体積率で20%以下である、

[1] または [2] に記載の熱延鋼板。

(微細粒連結度) = (平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒における大角粒界の総長さ) / (大角粒界の総長さ) ... (3)

10

ただし、(3)式の右辺の分子には、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の大角粒界の長さは含まれない。

[4] 母材部と電縫溶接部を有する電縫鋼管であって、
電縫鋼管から採取したへん平試験片が2枚の平板に挟圧されて実施されるへん平試験において、

前記へん平試験片の内面同士が接触する密着状態まで長さが0.50mm以上である割れが発生せず、かつ

下記(2)式で求められる規格化変位が0.20~0.30の範囲において、下記(1)式で求められる規格化荷重/前記規格化変位が100MPa以上である電縫鋼管。

(規格化荷重(MPa)) = (P/L) × (r/t²) × (1 - ((x₀ - x) / 2r)²)^{1/2} ... (1)

20

(規格化変位) = (x₀ - x) / 2r ... (2)

ここで、

P: 荷重(N)

L: へん平試験片の管軸方向の初期長さ(mm)

r: へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径(mm)

t: へん平試験片の初期板厚(mm)

x₀: 2枚の平板間の初期の距離(mm)

x: 2枚の平板間の距離(mm)

[5] 前記母材部の成分組成は、質量%で、

30

C: 0.020%以上0.200%以下、

Si: 0.50%以下、

Mn: 0.30%以上2.00%以下、

P: 0.050%以下、

S: 0.0200%以下、

Al: 0.005%以上0.100%以下、

N: 0.0100%以下、を含有し、

あるいはさらに、

Nb: 0.080%以下、

V: 0.080%以下、

40

Ti: 0.080%以下、

Cu: 0.50%以下、

Ni: 0.50%以下、

Cr: 0.50%以下、

Mo: 0.50%以下、

Ca: 0.0050%以下、

B: 0.0050%以下、

Mg: 0.020%以下、

Zr: 0.020%以下、

REM: 0.020%以下、

50

S n : 0 . 1 0 0 % 以下のうちから 1 種または 2 種以上を含み、
残部が F e および不可避免的な不純物からなる

〔 4 〕 に記載の電縫鋼管。

〔 6 〕 前記母材部の肉厚中央における鋼組織は、
大角粒界で囲まれた領域である結晶粒の平均結晶粒径が 1 5 . 0 μ m 以下であり、
前記平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒が全結晶粒に対して面積率で 1 0 % 以上 5 0 % 以下であり、

下記 (3) 式で求められる微細粒連結度が 0 . 0 5 以上 0 . 5 0 以下であり、かつ
ベイナイトが体積率で 1 0 % 以上であり、

フェライトとベイナイトの合計が体積率で 8 0 % 以上であり、

残部はパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトのうちから選ばれた 1 種または
2 種以上の合計が体積率で 2 0 % 以下である、

〔 4 〕 または 〔 5 〕 に記載の電縫鋼管。

(微細粒連結度) = (平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒における大角粒界の総長さ) / (大角粒界の総長さ) . . . (3)

ただし、 (3) 式の右辺の分子には、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の
大角粒界の長さは含まれない。

【発明の効果】

〔 0 0 1 3 〕

本発明によれば、耐へん平性能に優れた電縫鋼管、およびその素材として用いられる熱
延鋼板を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

〔 0 0 1 4 〕

【図 1】 へん平試験における規格化荷重と規格化変位の関係の模式図である。

【図 2 (a)】 熱延鋼板の C 形へん平試験片の採取方向の様子を横から観察した図である。

【図 2 (b)】 熱延鋼板の C 形へん平試験片のへん平試験の様子を横から観察した図である。

【図 3】 電縫鋼管のへん平試験の様子を横から観察した図である。

【図 4】 電縫鋼管の電縫溶接部の管周断面の模式図である。

【発明を実施するための形態】

〔 0 0 1 5 〕

以下に、本発明の熱延鋼板および電縫鋼管並びにそれらの製造方法について説明する。

〔 0 0 1 6 〕

まず、本発明の熱延鋼板および電縫鋼管の機械的特性を限定した理由について説明する。

〔 0 0 1 7 〕

本発明の熱延鋼板は、C 形へん平試験において、曲げ加工した内側の面同士が接触する
密着状態まで長さが 0 . 5 0 mm 以上である割れが発生せず、規格化変位が 0 . 2 0 ~ 0 . 3 0 の範囲における規格化荷重 / 規格化変位の値が 1 0 0 M P a 以上であることを特徴とする。

また、本発明の電縫鋼管は、へん平試験において、電縫鋼管から採取したへん平試験片の
内面同士が接触する密着状態まで割れが発生せず、規格化変位が 0 . 2 0 ~ 0 . 3 0 の範囲における規格化荷重 / 規格化変位の値が 1 0 0 M P a 以上であることを特徴とする。

ただし、前記の規格化荷重および規格化変位は、それぞれ (1) 式および (2) 式で求められる。

(規格化荷重 (M P a)) = (P / L) × (r / t ²) × (1 - ((x ₀ - x) / 2 r) ²) ^{1 / 2} . . . (1)

(規格化変位) = (x ₀ - x) / 2 r . . . (2)

ここで、

P : 荷重 (N)

L : へん平試験片の初期長さ (mm)

10

20

30

40

50

r : へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径 (mm)

t : へん平試験片の初期板厚 (mm)

x_0 : 2 枚の平板間の初期の距離 (mm)

x : 2 枚の平板間の距離 (mm)

また、規格化変位が $0.20 \sim 0.30$ の範囲における規格化荷重／規格化変位の値は、
((規格化変位が 0.30 のときの規格化荷重) - (規格化変位が 0.20 のときの規格化荷重)) / $(0.30 - 0.20)$ により求められる。

【0018】

なお、へん平試験における密着状態まで割れが発生しないとは、電縫鋼管から採取したへん平試験片の内面同士が接触するまで割れが発生しないことを指しており、前記の電縫鋼管から採取したへん平試験片の内面同士が接触するとは、例えば電縫鋼管から採取したへん平試験片の上下方向から負荷を加えてへん平試験を行う際に、電縫鋼管から採取したへん平試験片の上側部分の内面と下側部分の内面が接触することをいう。なお、上記の割れとは、目視で確認できるサイズの割れを指している。目視で確認できるサイズとは長さが 0.50 mm 以上である。割れの長さの上限は特に限定されるものではないが、割れは直線状であるため、試験片の管軸方向の長さ以下を対象とすることが好ましい。また、長さとは割れの長手の大きさのことをいう。

【0019】

C 形へん平試験およびへん平試験においては、2 枚の平板間の距離（押込み量）に対する荷重の増加量が大きいほど、へん平化に対する抵抗が大きいものとみなすことができる。ただし同一の素材であっても、試験片の寸法や形状によって前記荷重および変位が変化するため、非特許文献 1 に記載のように (1) 式および (2) 式により、荷重および変位をそれぞれ規格化する。

【0020】

C 形へん平試験およびへん平試験においては、規格化変位が一定の値に達するまでは試験片は弾性変形し、それ以降は試験片が降伏して塑性変形も生じる。図 1 にへん平試験における規格化荷重と規格化変位の関係の模式図を示す。図 1 に示す規格化変位に伴う規格化荷重の変化を示す曲線 1 において、図 1 のように、試験片が降伏するまでの弾性域 2 では、規格化荷重と規格化変位は比例関係にある。その後、試験片が降伏して塑性域 3 に入ると、曲線の傾き（規格化荷重／規格化変位）が小さくなり、一定の傾きを保ったまま試験は進行する。その後、曲線の傾き（規格化荷重／規格化変位）が前記傾き（塑性域 3 になった後の傾き）に比べて高い値を示しながら試験は進行し、曲げ外面において割れが生じるか、または試験片の内面同士が接触（上部の内面と下部の内面が接触）して密着状態となることで、試験が終了する。以降では、試験終了時の試験片の状態のことを割れまたは密着状態 4 ともいう。

【0021】

密着状態となる前に割れが発生すると、急激な荷重低下が生じる。そのため本発明では、構造物としての安全性を確保する観点から、密着状態まで割れを発生させないことが重要となる。

【0022】

本発明では、耐へん平性能の指標として、塑性域 3 における（規格化荷重／規格化変位）を用いる。すなわち、（規格化荷重／規格化変位）が大きいほど、へん平化に対する抵抗が大きく、耐へん平性能が高い。本発明においては、特に塑性域 3 の中でも前半部分に相当する規格化変位が $0.20 \sim 0.30$ の範囲における（規格化荷重／規格化変位）を 100 MPa 以上とする。好ましくは、前記（規格化荷重／規格化変位）は 120 MPa 以上である。より好ましくは、前記（規格化荷重／規格化変位）は 140 MPa 以上である。さらに好ましくは、前記（規格化荷重／規格化変位）は 150 MPa 以上である。ただし、前記（規格化荷重／規格化変位）が 600 MPa を超えると、延性が低下するため、密着状態となる前に割れが発生しやすくなる。そのため、前記（規格化荷重／規格化変位）の値は 600 MPa 以下とすることが好ましい。より好ましくは、前記（規格化荷重

10

20

30

40

50

／規格化変位)は550MPa以下である。さらに好ましくは、前記(規格化荷重／規格化変位)の値は500MPa以下である。もっとも好ましくは、前記(規格化荷重／規格化変位)は450MPa以下である。

【0023】

なお、規格化変位の範囲を0.20～0.30としたのは、塑性域において(規格化荷重／規格化変位)の値がほぼ一定となり安定するためである。

【0024】

C形へん平試験とは、1枚の鋼板をU字型に曲げ加工した試験片が2枚の平板に挟圧されて実施される試験のことを指す。

【0025】

C形へん平試験は、熱延鋼板から幅50mm×t(t:板厚)、長さ100mmの板材を試験片の長手方向が熱延鋼板の板幅方向になるように採取し、次いで、JIS Z 2248(2006)に記載の押曲げ方法によりこれをC形試験片とした後、JIS G 3441(2021)に記載の方法により実施する。図2(a)に熱延鋼板のC形へん平試験片の採取方向の様子とC形へん平試験片とした後の様子を横から観察した図を示す。C形へん平試験片とする前の試験片は符号5A、C形へん平試験片とした後のC形へん平試験片は符号5とする。C形へん平試験片にする前後で、初期長さ、初期厚さは変化しない。C形へん平試験片(へん平試験片)5の初期長さ100とは、上述している長さ50mmを指しており、C形へん平試験片5の長さ方向は、熱延鋼板の圧延方向102である。C形へん平試験片(へん平試験片)5の初期厚さは符号101である。図2(b)に熱延鋼板のC形へん平試験片のへん平試験の様子を横から観察した図を示す。C形へん平試験とは、図2(a)、図2(b)のように、切り出した1枚の試験片5AをU字形に曲げ加工してC形へん平試験片5として、C形へん平試験片5を2枚の平板6で挟み込み、平板6と垂直方向の圧縮方向7に荷重をかけながら、上述している状態まで試験する試験方法のことである。C形へん平試験片5は押曲げにおいては、押金具の先端部の内側半径を9×t(mm)とする。C形へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径r(mm)は、(4)式のように、前記の押曲げにおける押金具の先端部の内側半径に板厚t(mm)を加えることにより求める。

$$r = 10 \times t \cdots (4)$$

へん平試験は、電縫溶接部を含む電縫鋼管から管軸方向の長さ100mmの輪切りにした試験片を管軸方向から採取し、JIS G 3441(2021)に記載の方法により実施する。ただし、へん平試験片8は図3のように、電縫溶接部9と電縫鋼管の中心10を結んだ線が圧縮方向12と平行な方向を向くように置く。へん平試験片8の曲げ外面の初期曲率半径rは、電縫鋼管の外径の1/2とする。

【0026】

また、本発明の熱延鋼板および電縫鋼管の母材部の成分組成は、質量%で、

C: 0.020%以上0.200%以下、

Si: 0.50%以下、

Mn: 0.30%以上2.00%以下、

P: 0.050%以下、

S: 0.0200%以下、

Al: 0.005%以上0.100%以下、

N: 0.0100%以下を含有し、

あるいはさらに、

Nb: 0.080%以下、

V: 0.080%以下、

Ti: 0.080%以下、

Cu: 0.50%以下、

Ni: 0.50%以下、

Cr: 0.50%以下、

10

20

30

40

50

Mo : 0.50%以下、
Ca : 0.0050%以下、
B : 0.0050%以下、
Mg : 0.020%以下、
Zr : 0.020%以下、
REM : 0.020%以下、
Sn : 0.100%以下のうちから1種または2種以上を含み、
残部がFeおよび不可避免的不純物からなることが好ましい。

【0027】

本明細書において、特に断りがない限り、鋼組成を示す「%」は「質量%」である。

10

【0028】

C : 0.020%以上0.200%以下

Cは固溶強化により鋼の強度を上昇させる元素である。また、Cは鋼の焼入れ性を向上させることで、微細粒の割合を高くして、靱性を向上させて、へん平試験における割れの発生抑制に寄与するとともに、微細粒の連結度を高くすることで、へん平化に対する抵抗を大きくすることにも寄与する元素である。このような効果を得るためには、0.020%以上のCを含有することが好ましい。より好ましくは、C含有量は0.025%以上であり、さらに好ましくは0.030%以上である。もっとも好ましくは、C含有量は0.035%以上である。しかしながら、C含有量が0.200%を超えると、硬質なパーライト、マルテンサイト、オーステナイトが過剰に生成し、延性が低下し、C形へん平試験やへん平試験において密着状態となる前に割れが発生しやすくなる。そのため、C含有量は0.200%以下が好ましい。C含有量は、より好ましくは0.180%以下である。更に好ましくは0.170%以下である。もっとも好ましくは、C含有量は0.165%以下である。

20

【0029】

Si : 0.50%以下

Siは固溶強化により鋼の強度を上昇させる元素である。このような効果を得るためには、0.02%以上のSiを含有することが好ましい。Si含有量は、より好ましくは0.05%以上であり、更に好ましくは0.08%以上である。Si含有量は、もっとも好ましくは0.10%以上である。しかし、Si含有量が0.50%を超えると、延性が低下し、へん平試験において密着状態となる前に割れが発生しやすくなる。そのため、Si含有量は0.50%以下とすることが好ましい。Si含有量は、より好ましくは0.40%以下である。更に好ましくは0.30%以下である。Si含有量は、もっとも好ましくは0.28%以下である。

30

【0030】

Mn : 0.30%以上2.00%以下

Mnは固溶強化により鋼の強度を上昇させる元素である。また、Mnは鋼の焼入れ性を向上させることで、微細粒の割合を高くして、靱性を向上させて、へん平試験における割れの発生抑制に寄与するとともに、微細粒の連結度を高くすることで、へん平化に対する抵抗を大きくすることにも寄与する元素である。このような効果を得るためには、0.30%以上のMnを含有することが好ましい。Mn含有量は、より好ましくは0.40%以上であり、更に好ましくは0.50%以上である。Mn含有量は、もっとも好ましくは0.60%以上である。しかしながら、Mn含有量が2.00%を超えると、硬質なパーライト、マルテンサイト、オーステナイトが過剰に生成し、延性が低下し、へん平試験において密着状態となる前に割れが発生しやすくなる。そのため、Mn含有量は2.00%以下とすることが好ましい。Mn含有量は、より好ましくは1.90%以下である。更に好ましくは1.80%以下である。Mn含有量は、もっとも好ましくは1.75%以下である。

40

【0031】

P : 0.050%以下

50

Pは、粒界に偏析し靱性を低下させるため、不可避免の不純物としてできるだけ低減することが好ましく、P含有量は0.050%以下の範囲内とすることが好ましい。P含有量は、より好ましくは0.040%以下であり、更に好ましくは0.030%以下である。P含有量は、もっとも好ましくは0.020%以下である。なお、特にPの下限は規定しないが、過度の低減は製錬コストの高騰を招くため、Pは0.001%以上とすることが好ましい。

【0032】

S：0.0200%以下

Sは、鋼中では通常、MnSとして存在するが、MnSは、熱間圧延工程で薄く延伸され、延性および靱性に悪影響を及ぼす。このため、本発明ではSをできるだけ低減することが好ましく、S含有量は0.0200%以下とすることが好ましい。S含有量は、より好ましくは0.0100%以下であり、更に好ましくは0.0050%以下である。S含有量は、もっとも好ましくは0.0030%以下である。なお、特にSの下限は規定しないが、過度の低減は製錬コストの高騰を招くため、Sは0.0001%以上とすることが好ましい。

【0033】

Al：0.005%以上0.100%以下

Alは、強力な脱酸剤として作用する元素である。このような効果を得るためには、0.005%以上のAlを含有することが好ましい。Al含有量は、より好ましくは0.010%以上であり、更に好ましくは0.015%以上である。Al含有量は、もっとも好ましくは0.020%以上である。しかし、Al含有量が0.100%を超えると溶接性が悪化するとともに、アルミナ系介在物が多くなり、表面性状が悪化する。このため、Al含有量は0.100%以下とすることが好ましい。Al含有量は、より好ましくは0.080%以下である。更に好ましくは0.070%以下である。Al含有量は、もっとも好ましくは0.065%以下である。

【0034】

N：0.0100%以下

Nは、不可避免の不純物であり、転位の運動を強固に固着することで延性および靱性を低下させる作用を有する元素である。本発明では、Nは不純物としてできるだけ低減することが望ましいが、Nの含有量は0.0100%までは許容できる。このため、N含有量は0.0100%以下とする。N含有量は、好ましくは0.0080%以下である。N含有量は、より好ましくは0.0070%以下である。N含有量は、更に好ましくは0.0065%以下である。N含有量は、もっとも好ましくは0.0060%以下である。下限は特に限定されるものではないが、過度の低減は精錬コストの上昇を招くため、0.0010%以上とすることが好ましい。

【0035】

本発明の電縫鋼管、および熱延鋼板は、上記の成分組成に加えて、さらに、Nb、V、Ti、Cu、Ni、Cr、Mo、Ca、B、Mg、Zr、REM、Snのうちから1種または2種以上を含有してもよい。

【0036】

Nb：0.080%以下

Nbは、鋼中で微細な炭化物、窒化物を形成することで鋼の強度向上に寄与し、また、熱間圧延中のオーステナイトの粗大化を抑制することで組織の微細化にも寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。上記した効果を得るため、Nbを含有する場合は、0.002%以上のNbを含有することが好ましい。より好ましくは、Nb含有量は0.005%以上であり、更に好ましくは0.010%以上である。Nb含有量はもっとも好ましくは0.012%以上である。しかし、Nb含有量が0.080%を超えると延性および靱性が低下する。このため、Nbを含有する場合は、Nb含有量は0.080%以下とする。より好ましくは、Nb含有量は0.070%以下である。更に好ましくは0.065%以下である。Nb含有量はもっとも好ましくは0.060%以下である。

【0037】

V : 0.080%以下

Vは、鋼中で微細な炭化物、窒化物を形成することで鋼の強度向上に寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。上記した効果を得るため、Vを含有する場合は、0.002%以上のVを含有することが好ましい。より好ましくは、V含有量は0.005%以上であり、更に好ましくは0.010%以上である。V含有量は、もっとも好ましくは0.015%以上である。しかし、V含有量が0.080%を超えると延性および靱性が低下する。このため、Vを含有する場合は、V含有量は0.080%以下とする。より好ましくは0.070%以下である。更に好ましくは0.065%以下である。V含有量は、もっとも好ましくは0.060%以下である。

10

【0038】

Ti : 0.080%以下

Tiは、鋼中で微細な炭化物、窒化物を形成することで鋼の強度向上に寄与する元素であり、また、Nとの親和性が高いため鋼中の固溶Nの低減にも寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。上記した効果を得るため、Tiを含有する場合は、0.002%以上のTiを含有することが好ましい。より好ましくは、Ti含有量は0.005%以上であり、更に好ましくは0.010%以上である。Ti含有量は、もっとも好ましくは0.012%以上である。しかし、Ti含有量が0.080%を超えると延性および靱性が低下する。このため、Tiを含有する場合は、Ti含有量は0.080%以下とする。より好ましくは、Ti含有量は0.070%以下である。更に好ましくは0.065%以下である。Ti含有量は、もっとも好ましくは0.060%以下である。

20

【0039】

Cu : 0.50%以下、Ni : 0.50%以下

Cu、Niは、固溶強化により鋼の強度を上昇させる元素であり、また、鋼の焼入れ性を高め、組織の微細化にも寄与する元素であり、必要に応じて含有することができる。上記した効果を得るため、Cuを含有する場合には、Cu含有量は0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.05%以上である。更に好ましくは0.10%以上である。上記効果を得るため、Niを含有する場合には、Ni含有量は0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.05%以上である。更に好ましくは0.10%以上である。一方、過度の含有は、延性および靱性の低下を招く恐れがある。また、硬質なパーライト、マルテンサイト、オーステナイトの過剰な生成を招く恐れがある。よって、Cuを含有する場合には、Cu含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.40%以下である。より好ましくは0.30%以下である。また、Niを含有する場合には、Ni含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.40%以下である。より好ましくは0.30%以下である。

30

【0040】

Cr : 0.50%以下、Mo : 0.50%以下

Cr、Moは、鋼の焼入れ性を高め、組織の微細化に寄与する元素であり、必要に応じて含有することができる。上記した効果を得るため、Crを含有する場合には、Cr含有量は0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.05%以上である。更に好ましくは0.10%以上である。また、上記効果を得るため、Moを含有する場合には、Mo含有量は0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.05%以上である。更に好ましくは0.10%以上である。一方、過度の含有は、硬質なパーライト、マルテンサイト、オーステナイトの過剰な生成を招く恐れがある。よって、Crを含有する場合には、Cr含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.40%以下である。より好ましくは0.30%以下である。また、Moを含有する場合には、Mo含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.40%以下である。より好ましくは0.30%以下である。

40

【0041】

Ca : 0.0050%以下

50

C a は、熱間圧延工程で薄く延伸される M n S 等の硫化物を球状化することで鋼の靱性向上に寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。上記した効果を得るため、C a を含有する場合は、0.0005%以上のC a を含有することが好ましい。より好ましくは、C a 含有量は0.0008%以上であり、更に好ましくは0.0010%以上である。C a 含有量は、もっとも好ましくは0.0015%以上である。しかし、C a 含有量が0.0050%を超えると鋼中にC a 酸化物クラスターが形成され、靱性が悪化する。このため、C a を含有する場合は、C a 含有量は0.0050%以下とする。好ましくは、C a 含有量は0.0040%以下である。より好ましくは0.0035%以下である。C a 含有量は、さらに好ましくは0.0030%以下である。

【0042】

B : 0.0050%以下

B は、変態開始温度を低下させることで組織の微細化に寄与する元素であり、必要に応じて含有できる。上記した効果を得るため、B を含有する場合は、0.0002%以上のB を含有することが好ましい。より好ましくは、B 含有量は0.0005%以上であり、更に好ましくは0.0008%以上である。B 含有量は、もっとも好ましくは0.0010%以上である。しかし、B 含有量が0.0050%を超えると延性および靱性が悪化する。このため、B を含有する場合は、B 含有量は0.0050%以下とする。より好ましくは0.0040%以下である。更に好ましくは0.0030%以下である。B 含有量は、もっとも好ましくは0.0025%以下である。

【0043】

M g : 0.020%以下、Z r : 0.020%以下、R E M : 0.020%以下

M g、Z r、およびR E M は、結晶粒微細化を通じて鋼の強度を上昇させる元素であり、必要に応じて含有することができる。M g 含有量は0%でもよいが、M g を含有する場合には、好ましい下限は、M g 含有量は0.0005%以上である。M g 含有量は、より好ましくは0.0008%以上である。Z r 含有量は0%でもよいが、Z r を含有する場合には、好ましい下限は、Z r 含有量は0.0005%以上である。Z r 含有量は、より好ましくは0.0008%以上である。R E M 含有量は0%でもよいが、R E M を含有する場合には、好ましい下限は、R E M 含有量は0.0005%以上である。R E M 含有量は、より好ましくは0.0008%以上である。一方、過度の含有は、降伏比の上昇、および相当塑性ひずみ分布の対数標準偏差の増加を招く恐れがある。よって、M g を含有する場合には、M g 含有量は0.020%以下とする。M g 含有量は、好ましくは0.010%以下である。Z r を含有する場合には、Z r 含有量は0.020%以下とする。Z r 含有量は、好ましくは0.010%以下である。R E M を含有する場合には、R E M 含有量は0.020%以下である。R E M 含有量は、好ましくは0.010%以下である。なお、ここで、R E M はS c、Y、およびランタノイド元素の合計17元素の総称である。これらの17元素のうちの1種以上を鋼に含有させることができ、R E M 含有量は、これらの元素の合計含有量を意味する。

【0044】

S n : 0.100%以下

S n は、鋼板表面の窒化または酸化によって生じる脱炭を抑制し、強度の低下を抑制する元素である。上記した効果を得るためには、0.001%以上のS n を含有することが好ましい。S n 含有量は、より好ましくは0.002%以上であり、更に好ましくは0.005%以上である。しかし過度に含有すると、鋼の延性および靱性が低下する。そのため、S n の含有量は0.100%以下とすることが好ましい。S n 含有量は、より好ましくは0.070%以下である。S n 含有量は、更に好ましくは0.040%以下である。

【0045】

残部はF e および不可避的不純物である。不可避的不純物とは、原料、製造プロセスまたは製造設備等から不可避的に混入される不純物であり、本発明の目的を阻害しない範囲で含まれることが許容される。残部における不可避的不純物としては、例えば、A s、S b、B i、C o、P b、Z n、O、T a、W、T e、H f、G e、S r、C s が挙げられ

10

20

30

40

50

る。鋼板の原料としては、鉄鉱石、還元鉄またはスクラップ等が挙げられる。

【0046】

本発明の熱延鋼板の板厚中央および電縫鋼管の母材部の肉厚中央における鋼組織は、大角粒界で囲まれた領域である結晶粒の平均結晶粒径が $15.0\mu\text{m}$ 以下であり、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒が全結晶粒に対して面積率で 10% 以上 50% 以下であり、下記(3)式で求められる微細粒連結度が 0.05 以上 0.50 以下であり、かつ、ベイナイトが体積率で 10% 以上であり、フェライトとベイナイトの合計が体積率で 80% 以上であり、残部はパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトのうちから選ばれた1種または2種以上の合計が体積率で 20% 以下であることが好ましい。

【0047】

(微細粒連結度) = (平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒における大角粒界の総長さ) / (大角粒界の総長さ) ... (3)

ただし、(3)式の右辺の分子には、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の大角粒界の長さは含まれない。

【0048】

平均結晶粒径、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率、および微細粒連結度は、SEM/EBSD法を用いて測定する。測定領域は $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 、測定ステップサイズは $0.5\mu\text{m}$ とし、5視野以上の測定値を平均する。得られたEBSDデータをもとに、結晶方位解析ソフトOIM Analysis (商標)を用いて、方位差が 15° 以上の境界を結晶粒界(大角粒界)として、粒界および粒径の分布を得る。平均結晶粒径は、測定した全面積を結晶粒数で除した値と等しい面積の円の直径(円相当径)として求める。また、微細粒連結度は、平均結晶粒径以上の粒径を有する結晶粒を除いた領域(つまり、平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒のみ)における大角粒界の総長さ、および全ての大角粒界の総長さをそれぞれ算出し、これらの比として求める。ただし、平均結晶粒径以上の粒径を有する結晶粒を除いた領域における大角粒界には、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の大角粒界は含まれない。なお、平均結晶粒径、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率、および微細粒連結度の算出においては、結晶粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下の結晶粒は測定ノイズとして除外する。

【0049】

平均結晶粒径が大きくなると、靱性が低下し、へん平試験において割れが発生しやすくなる。また、(規格化荷重/規格化変位)の値が低下する場合もある。そのため、平均結晶粒径は $15.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。平均結晶粒径は、より好ましくは $12.0\mu\text{m}$ 以下である。さらに好ましくは、 $10.0\mu\text{m}$ 以下である。平均結晶粒径は、もっとも好ましくは $9.0\mu\text{m}$ 以下である。なお、平均結晶粒径が小さくなると延性が低下し、へん平試験において割れが発生しやすくなることから、平均結晶粒径は $2.0\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。より好ましくは、 $3.0\mu\text{m}$ 以上である。平均結晶粒径は、さらに好ましくは $3.5\mu\text{m}$ 以上である。

【0050】

平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率が低くなると、平均結晶粒径以下の微細粒の連結度が低くなり、へん平化に対する抵抗が小さくなる場合がある。また、靱性が低下し、へん平試験において割れが発生しやすくなる。そのため、上記面積率は 10% 以上であることが好ましい。上記面積率はより好ましくは 12% 以上である。さらに好ましくは、 15% 以上である。上記面積率が 50% 超であると、微細粒の連結度が高くなり、延性が低下し、へん平試験において割れが発生しやすくなる。そのため、上記面積率は 50% 以下であることが好ましい。上記面積率はより好ましくは 45% 以下である。さらに好ましくは、 40% 以下である。上記面積率はもっとも好ましくは 35% 以下である。

【0051】

微細粒連結度が低くなると、粗大粒同士の連結度が高くなり、粗大粒におけるひずみ同士が連結しやすくなる。粗大粒は軟質であり、粒内には比較的大きいひずみが発生するため、それらが連結すると応力集中が発生し、へん平化に対する抵抗が小さくなる場合があ

10

20

30

40

50

る。そのため、微細粒連結度は0.05以上であることが好ましい。より好ましくは、0.10以上である。微細粒連結度は、さらに好ましくは0.11以上である。微細粒連結度は、もっとも好ましくは0.12以上である。微細粒連結度が高くなると、硬質な微細粒が母相として働いたため、延性が低下し、へん平試験において割れが発生しやすくなる。そのため、微細粒連結度は0.50以下であることが好ましい。微細粒連結度は、より好ましくは0.47以下である。さらに好ましくは、0.40以下である。微細粒連結度は、もっとも好ましくは0.35以下である。

【0052】

フェライトは軟質な組織である。また、ベイナイトはフェライトよりも硬質であり、パーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトよりも軟質な組織であり、強度、延性、10 韌性の観点からベイナイトの組織制御が重要となる。

【0053】

ベイナイトの体積率が小さくなると、軟質なフェライトの割合が高くなり、強度が低下する。また、(規格化荷重/規格化変位)の値が低下する場合もある。そのため、ベイナイトは体積率で10%以上とすることが好ましい。ベイナイトは体積率で12%以上とすることがより好ましい。さらに好ましくは20%以上である。ベイナイトは体積率で25%以上とすることがもっとも好ましい。上限は特に限定されるものではないが、延性が低下するという理由から75%以下であることが好ましい。

【0054】

フェライトとベイナイトの合計が体積率で小さくなると、硬質なパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトの割合が高くなり、延性および韌性が低下する。そのため、フェライトとベイナイトの合計の体積率は80%以上であることが好ましい。より好ましくは85%以上である。フェライトとベイナイトの合計の体積率は、さらに好ましくは88%以上である。20

また、上記の理由から硬質なパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトの合計は体積率で20%以下であることが好ましい。

一方、硬質なパーライト、マルテンサイトおよびオーステナイトの合計が1%未満になると延性が低下するため、フェライトとベイナイトの合計は体積率で、99%以下であることが好ましい。より好ましくは98%以下である。さらに好ましくは97%以下である。

【0055】

オーステナイトを除く上記の各種組織は、オーステナイト粒界またはオーステナイト粒内の変形帯を核生成サイトとする。熱間圧延において、オーステナイトの再結晶が生じにくい低温での圧下量を大きくすることで、オーステナイトに多量の転位を導入してオーステナイトを微細化し、かつ粒内に多量の変形帯を導入することができる。これにより、核生成サイトの面積が増加して核生成頻度が高くなり、鋼組織を微細化することができる。30

【0056】

ここで、鋼組織の観察は、以下に記載の方法で行うことができる。まず、組織観察用の試験片を、観察面が熱延鋼板の圧延方向および板厚方向の両方に平行な断面かつ板厚中央部、並びに電縫鋼管の管軸方向および肉厚方向の両方に平行な断面かつ肉厚中央部となるように採取し、研磨した後、ナイタール腐食して作製する。組織観察は、光学顕微鏡(倍率:1000倍)または走査型電子顕微鏡(SEM、倍率:1000倍)を用いて、板厚(または肉厚)中央部における組織を観察し、撮像する。次に、得られた光学顕微鏡像およびSEM像から、ベイナイトおよび残部(フェライト、パーライト、マルテンサイト、オーステナイト)の面積率を求める。各組織の面積率は、5視野以上で観察を行い、各視野で得られた値の平均値として算出する。なお、本発明では、組織観察により得られる面積率を、各組織の体積率とする。各組織であるか否かの判断は下記内容に沿って実施している。40

【0057】

フェライトは、拡散変態による生成物のことであり、転位密度が低くほぼ回復した組織を呈する。ポリゴナルフェライトおよび擬ポリゴナルフェライトがこれに含まれる。光学50

顕微鏡またはSEMでセメンタイトが観察されず、かつ下部組織であるラス構造が観察されない領域をフェライトと判断している。

【0058】

ベイナイトは、転位密度が高いラス状のフェライトとセメンタイトの複相組織である。光学顕微鏡またはSEMでセメンタイトが分散し、または下部組織であるラス構造が観察される領域をベイナイトと判断している。

【0059】

パーライトは、鉄と鉄炭化物の共析組織（フェライト＋セメンタイト）であり、線状のフェライトとセメンタイトが交互に並んだラメラ状の組織を呈する。SEMで上記のように観察される領域をパーライトと判断している。

【0060】

マルテンサイトは、転位密度が非常に高いラス状の低温変態組織である。SEM像では、フェライトやベイナイトと比較して明るいコントラストを示す。

【0061】

なお、光学顕微鏡像およびSEM像ではマルテンサイトとオーステナイトの識別が難しいため、得られるSEM像からマルテンサイトあるいはオーステナイトとして観察された組織の面積率を測定し、その測定値から後述する方法で測定するオーステナイトの体積率を差し引いた値を、マルテンサイトの体積率とする。

【0062】

オーステナイトはfcc相であり、オーステナイトの体積率の測定は、転位密度の測定に用いた試験片と同様の方法で作製した試験片を用いて、X線回折により行う。得られたfcc鉄の(200)、(220)、(311)面とbcc鉄の(200)、(211)面の積分強度からオーステナイトの体積率を求める。

【0063】

次に、本発明の一実施形態における熱延鋼板および電縫鋼管の製造方法を説明する。

【0064】

本発明の熱延鋼板は、特に製造条件を下記に限定されるわけではないが、例えば、上記した成分組成を有する鋼素材を、加熱温度：1100℃以上1300℃以下に加熱した後、900℃以上1100℃以下の平均冷却速度：0.5℃/s以上3.0℃/s以下、仕上圧延終了温度：750℃以上850℃以下、かつ、仕上圧延における合計圧下率：45%以上75%以下である熱間圧延を施し、次いで、仕上圧延終了温度から冷却停止温度までの板厚中心の平均冷却速度：5℃/s以上40℃/s以下、仕上圧延終了から冷却停止までの最低冷却速度：2℃/s以上、冷却停止温度：400℃以上650℃以下であり、仕上圧延終了から冷却停止までの連続空冷時間：15s以下、合計空冷時間：50s以下、である冷却を施し、コイル状に巻取ることにより製造される。

【0065】

また、本発明の電縫鋼管は、前記熱延鋼板を冷間ロール成形により円筒状に成形し、電縫溶接することにより製造される。

【0066】

なお、以下の製造方法の説明において、温度に関する「℃」表示は、特に断らない限り、鋼素材や鋼板（熱延板）の表面温度とする。これらの表面温度は、放射温度計等で測定することができる。また、鋼板板厚中心の温度は、鋼板断面内の温度分布を伝熱解析により計算し、その結果を鋼板の表面温度によって補正することで求めることができる。また、「熱延鋼板」には、熱延板、熱延鋼帯も含むものとする。

【0067】

本発明において、鋼素材（鋼スラブ）の溶製方法は特に限定されず、転炉、電気炉、真空溶解炉等の公知の溶製方法のいずれもが適合する。鑄造方法も特に限定されないが、連続鑄造法等の公知の鑄造方法により、所望寸法に製造される。なお、連続鑄造法に代えて、造塊－分塊圧延法を適用しても何ら問題はない。溶鋼にはさらに、取鍋精錬等の二次精錬を施してもよい。

10

20

30

40

50

【0068】

次いで、得られた鋼素材（鋼スラブ）を加熱し、次いで熱間圧延を施し、次いで冷却を施し、次いでコイル状に巻取り熱延鋼板とする。

【0069】

加熱温度が低いと、被圧延材の変形抵抗が大きくなり圧延が困難となる。このため、加熱温度は 1100°C 以上が好ましい。より好ましくは 1120°C 以上である。さらに好ましくは 1130°C 以上である。もっとも好ましくは 1150°C 以上である。一方、加熱温度が高いと、オーステナイト粒が粗大化し、後の圧延（粗圧延、仕上圧延）において微細なオーステナイト粒が得られず、最終製品の平均結晶粒径が大きくなる。このため、熱間圧延工程における加熱温度は、 1300°C 以下とすることが好ましい。より好ましくは 1280°C 以下である。さらに好ましくは 1270°C 以下である。もっとも好ましくは 1250°C 以下である。

10

【0070】

なお、本発明では、鋼スラブ（スラブ）を製造した後、一旦室温まで冷却し、その後再度加熱する従来法に加え、室温まで冷却しないで、温片のまま加熱炉に装入する、あるいは、わずかの保熱を行った後に直ちに圧延する、これらの直送圧延の省エネルギープロセスも問題なく適用できる。

【0071】

900°C 以上 1100°C 以下の平均冷却速度が小さいと、オーステナイトが粗大化し、最終製品の平均結晶粒径が大きくなる。このため、 900°C 以上 1100°C 以下の平均冷却速度は $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とすることが好ましい。より好ましくは $0.8^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。さらに好ましくは $0.9^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。もっとも好ましくは $1.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。一方、前記平均冷却速度が大きいと、オーステナイトの再結晶が不十分となり、粗大なオーステナイトが残存し、最終製品において粗大な結晶粒が混在した鋼組織となる。その結果、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率が低くなる。このため、 900°C 以上 1100°C 以下の平均冷却速度は $3.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下とすることが好ましい。より好ましくは $2.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。さらに好ましくは $2.4^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。もっとも好ましくは $2.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。

20

【0072】

仕上圧延終了温度が低いと、仕上圧延中に鋼板表面温度がフェライト変態開始温度以下になり、多量の加工フェライトが生成し、延性が低下する。そのため、仕上圧延終了温度は、 750°C 以上とすることが好ましい。より好ましくは 770°C 以上である。さらに好ましくは 780°C 以上である。一方、仕上圧延終了温度が高いと、微細なオーステナイト粒が得られなくなり、平均結晶粒径が大きくなる。そのため、仕上圧延終了温度は、 850°C 以下とすることが好ましい。より好ましくは 830°C 以下である。さらに好ましくは 820°C 以下である。

30

【0073】

仕上圧延における合計圧下率が低いと、熱間圧延工程において十分な加工ひずみを導入することができないため、最終製品の平均結晶粒径が大きくなる。そのため、仕上圧延における合計圧下率は 45% 以上とすることが好ましい。仕上圧延における合計圧下率は、より好ましくは 50% 以上である。仕上圧延における合計圧下率は、さらに好ましくは 52% 以上である。仕上圧延における合計圧下率は、もっとも好ましくは 54% 以上である。一方、仕上圧延における合計圧下率が高いと、平均結晶粒径が小さくなる。また、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率が高くなる。このため、仕上圧延における合計圧下率は 75% 以下が好ましい。より好ましくは 70% 以下である。仕上圧延における合計圧下率は、さらに好ましくは 68% 以下である。仕上圧延における合計圧下率は、もっとも好ましくは 66% 以下である。

40

【0074】

上記した仕上圧延における合計圧下率とは、仕上圧延における各圧延パスの圧下率の合計をさす。

50

【0075】

仕上板厚は、必要圧下率の確保や鋼板温度管理の観点より、5 mm以上とすることが好ましい。仕上げ板厚は、より好ましくは6 mm以上である。さらに好ましくは7 mm以上である。また、仕上げ板厚は40 mm以下とすることが好ましい。仕上げ板厚は、より好ましくは35 mm以下である。さらに好ましくは30 mm以下である。

【0076】

熱間圧延後、熱延板に冷却を施す。

【0077】

仕上圧延終了温度から冷却停止温度までの板厚中心の平均冷却速度が低いと、組織が粗大化し、最終製品の平均結晶粒径が大きくなる。また、ベイナイト分率が低くなる。そのため、平均冷却速度は $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とすることが好ましい。より好ましくは $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。さらに好ましくは $12^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。もっとも好ましくは $15^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。一方、板厚中心の平均冷却速度が高いと、マルテンサイトの分率が高くなり、延性が低下する。そのため、平均冷却速度は $40^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下とすることが好ましい。より好ましくは $35^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。さらに好ましくは $33^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。もっとも好ましくは $30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。

10

【0078】

仕上圧延終了から冷却停止までの板厚中心の最低冷却速度が低いと、組織が粗大化し、平均結晶粒径が大きくなる。また、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率が低くなる。また、ベイナイト分率が低くなる。そのため、最低冷却速度は $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とすることが好ましい。より好ましくは $3^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。さらに好ましくは $4^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。もっとも好ましくは $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。上限は特に限定されるものではないが、最低冷却速度は $15^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下であることが好ましい。より好ましくは $12^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。さらに好ましくは $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。もっとも好ましくは $8^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。なお、最低冷却速度は、仕上圧延終了から冷却停止までの時間を3 sずつの区間に分割し、それぞれの区間において平均冷却速度を算出し、それらの最小値として求められる。

20

【0079】

仕上圧延終了から冷却停止までの連続空冷時間が長いと、フェライトおよびベイナイトが過剰に粒成長し、組織が粗大化し、最終製品の平均結晶粒径が大きくなる。また、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率が低くなる。また、ベイナイト分率が低くなる場合がある。そのため、前記の連続空冷時間は15 s以下とすることが好ましい。より好ましくは14 s以下である。さらに好ましくは12 s以下である。もっとも好ましくは11 s以下である。前記の連続空冷時間は短いほど好ましいが、6 s未満になると連続空冷時間の短縮に対する微細化の効果が小さくなり、設備負荷が増大するのみとなるため、前記の連続空冷時間は6 s以上とすることが好ましい。より好ましくは7 s以上である。さらに好ましくは8 s以上である。仕上げ圧延終了から冷却停止までの間、空冷と水冷を使って冷却を行っている。

30

【0080】

仕上圧延終了から冷却停止までの合計空冷時間が長いと、フェライトおよびベイナイトが過剰に粒成長し、組織が粗大化し、最終製品の平均結晶粒径が大きくなる。また、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率が低くなる。また、ベイナイト分率が低くなる場合がある。そのため、前記の合計空冷時間は50 s以下とすることが好ましい。より好ましくは45 s以下である。さらに好ましくは40 s以下である。もっとも好ましくは38 s以下である。前記の連続空冷時間は短いほど好ましいが、10 s未満になると合計空冷時間の短縮に対する微細化の効果が小さくなり、設備負荷が増大するのみとなるため、前記の合計空冷時間は10 s以上とすることが好ましい。より好ましくは12 s以上である。さらに好ましくは15 s以上である。

40

【0081】

冷却停止温度が低いと、マルテンサイトの分率が高くなり、延性が低下する。そのため、冷却停止温度は 400°C 以上とすることが好ましい。より好ましくは 420°C 以上であ

50

る。さらに好ましくは450℃以上である。もっとも好ましくは470℃以上である。一方、冷却停止温度が高いと、ベイナイトの分率が低くなる。そのため、冷却停止温度は650℃以下とすることが好ましい。より好ましくは620℃以下である。さらに好ましくは600℃以下である。もっとも好ましくは580℃以下である。

【0082】

なお、本発明の電縫鋼管では、溶接部の介在物密度を低くするため、溶接部（電縫溶接部）の溶融凝固部の管周方向の幅が、管全厚にわたり1μm以上であることが好ましい。また、溶接部（電縫溶接部）の溶融凝固部の管周方向の幅が、管全厚にわたり1000μm以下であることが好ましい。

【0083】

また、電縫鋼管の外径は、80mm以上であることが好ましい。また前記外径は800mm以下であることが好ましい。電縫鋼管の肉厚は3mm以上であることが好ましい。また、前記肉厚は40mm以下であることが好ましい。

【0084】

ここで、腐食液は鋼成分、鋼管の種類に応じて適切なものを選択すればよい。図4に電縫鋼管の電縫溶接部の管周断面の模式図を示す。溶融凝固部15は、腐食後の前記断面を図4に模式で示すように、図4において母材部13および熱影響部14と異なる組織形態やコントラストを有する領域として視認できる。例えば、炭素鋼および低合金鋼の電縫鋼管の溶融凝固部15は、ナイタールで腐食した前記断面において、光学顕微鏡で白く観察される領域として特定できる。また、炭素鋼および低合金鋼のUOE鋼管の溶融凝固部15は、ナイタールで腐食した前記断面において、光学顕微鏡でセル状またはデンドライト状の凝固組織を含有する領域として特定できる。

【実施例】

【0085】

以下、実施例に基づいてさらに本発明を詳細に説明する。なお、本発明は以下の実施例に限定されない。

【0086】

表1に示す成分組成を有する溶鋼を溶製し、スラブ（鋼素材）とした。得られたスラブを表2に示す条件の熱間圧延工程および冷却工程、さらに巻取工程を施して、表2に示す仕上板厚（mm）の熱延鋼板とした。

【0087】

巻取工程後、熱延鋼板をロール成形により円筒状の丸型鋼管に成形し、その突合せ部分を電縫溶接した。その後、丸型鋼管の上下左右に配置したロールにより縮径を加え、表4に示す外径（mm）および肉厚（mm）の電縫鋼管を得た。

【0088】

表3、4にそれぞれ示す得られた熱延鋼板および電縫鋼管から試験片を採取して、以下に示すC形へん平試験、へん平試験、平均結晶粒径測定、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率測定、微細粒連結度測定、組織観察を実施した。各種の試験片は、熱延鋼板においては幅方向中央の板厚中央から、電縫鋼管においては電縫溶接部から管周方向に90°離れた母材部の板厚中央からそれぞれ採取した。

【0089】

〔C形へん平試験〕

C形へん平試験は、熱延鋼板から全厚、幅50×t（t：板厚）、長さ100mmの板材（試験片）を試験片の長手方向が熱延鋼板の板幅方向になるように採取し、次いで、JIS Z 2248（2006）に記載の押曲げ方法によりこれをC形試験片とした後、JIS G 3441（2021）に記載の方法により実施した。押曲げにおいては、押金具の先端部の内側半径を9×tとした。へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径rは、（4）式のように、押曲げにおける押金具の先端部の内側半径に板厚を加えることにより求めた。

$$r = 10 \times t \cdots (4)$$

10

20

30

40

50

密着状態で曲げ外面に長さが0.50mm以上の亀裂が生じていた場合は割れ有り、曲げ外面に亀裂が生じていなかった場合は割れ無しとした。

【0090】

〔へん平試験〕

へん平試験は、電縫溶接部を含む電縫鋼管から長さ100mmの輪切りにした試験片を管軸方向から採取し、JIS G 3441(2021)に記載の方法により実施した。ただし、試験片は図3のように、溶接部が圧縮方向を向くように置いた。へん平試験片の曲げ外面の初期曲率半径 r は、電縫鋼管の外径の $1/2$ とした。密着状態で管の外面に長さが0.50mm以上の亀裂が生じていた場合は割れ有り、管の外面に亀裂が生じていなかった場合は割れ無しとした。

10

【0091】

〔平均結晶粒径測定〕

平均結晶粒径は、測定用の試験片を、測定面が熱延鋼板の圧延方向および板厚方向の両方に平行な断面、並びに電縫鋼管の管軸方向および肉厚方向の両方に平行な断面となるようにそれぞれ採取し、鏡面研磨した後、SEM/EBSD法を用いて測定した。結晶粒径は、隣接する結晶粒の間の方位差を求め、方位差が 15° 以上の境界を結晶粒界として、方位差が 15° 以上で囲まれた領域を1結晶粒として測定した。得られた結晶粒界から粒径の算術平均を求めて、平均結晶粒径とした。加速電圧は15kV、測定領域は $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 、測定ステップサイズは $0.5\mu\text{m}$ とし、5視野以上の測定値を平均した。得られたEBSDデータをもとに、結晶方位解析ソフトOIM Analysis(商標)を用いて、方位差が 15° 以上の境界を結晶粒界(大角粒界)として、粒界および粒径の分布を得た。粒径および平均結晶粒径は、測定した全面積を結晶粒数で除した値と等しい面積の円の直径(円相当径)として求めた。なお、平均結晶粒径の算出においては、結晶粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下の結晶粒は測定ノイズとして除外した。

20

【0092】

〔平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率測定〕

前記により得られた平均結晶粒径および粒径分布から求めた。平均結晶粒径以下の各結晶粒について、その円相当径から面積を算出し、平均結晶粒径以下の結晶粒の面積の合計を算出し、それを測定領域の面積で除して求めた。なお、平均結晶粒径以下の粒径を有する結晶粒の面積率の算出においては、結晶粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下の結晶粒は測定ノイズとして除外した。

30

【0093】

〔微細粒連結度〕

微細粒連結度は、平均結晶粒径以上の粒径を有する結晶粒を除いた領域における大角粒界の総長さ、および全結晶粒の大角粒界の総長さをそれぞれ算出し、これらの比として求めた。ただし、上述している(3)式の右辺の分子に記載の平均結晶粒径未満の粒径を有する結晶粒における大角粒界の総長さには、平均結晶粒径未満の結晶粒と平均結晶粒径以上の結晶粒の間の大角粒界の長さは含まれない。

なお、微細粒連結度の算出においては、結晶粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下の結晶粒は測定ノイズとして除外した。

40

【0094】

〔組織観察〕

組織観察用の試験片は、観察面が熱延鋼板の圧延方向および板厚方向の両方に平行な断面、並びに電縫鋼管の管軸方向および肉厚方向の両方に平行な断面となるようにそれぞれ採取し、鏡面研磨した後、ナイタールで腐食して作製した。組織観察は、光学顕微鏡(倍率:1000倍)または走査型電子顕微鏡(SEM、倍率:1000倍)を用いて、熱延鋼板の板厚中央位置、並びに電縫鋼管の肉厚中央位置における組織を観察し、撮像した。SEMの観察は、加速電圧15kVで実施した。得られた光学顕微鏡像およびSEM像から、ベイナイトおよび残部(フェライト、パーライト、マルテンサイト、オーステナイト)の面積率を求めた。各組織の面積率は、5視野以上で観察を行い、各視野で得られた値

50

の平均値として算出した。ここでは、組織観察により得られた面積率を、各組織の体積率とした。

【0095】

上記からフェライト、パーライト、マルテンサイトの判断は実施形態で記載した方法で実施している。

【0096】

オーステナイトの体積率の測定は、X線回折により行った。熱延鋼板の板厚中央および電縫鋼管の肉厚中央の測定用の試験片は、回折面が熱延鋼板の板厚中央および電縫鋼管の肉厚中央となるようにそれぞれ研削した後、化学研磨をして表面加工層を除去して作製した。測定にはMoのK α 線を使用し、fcc鉄の(200)、(220)、(311)面とbcc鉄の(200)、(211)面の積分強度からオーステナイトの体積率を求めた。

10

【0097】

得られた結果を表3および4に示す。

【0098】

20

30

40

50

【表 1】

成分組成 (質量%)																				
No	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Nb	V	Ti	Cu	Ni	Cr	Mo	Ca	B	Mg	Zr	REM	Sn
1	0.048	0.11	0.92	0.007	0.0012	0.027	0.0035	0.054	0.022	0.035	-	-	-	-	0.0034	-	-	-	0.011	-
2	0.048	0.11	0.92	0.007	0.0012	0.027	0.0035	0.054	0.022	0.035	-	-	-	-	0.0034	-	-	-	0.011	-
3	0.048	0.11	0.92	0.007	0.0012	0.027	0.0035	0.054	0.022	0.035	-	-	-	-	0.0034	-	-	-	0.011	-
4	0.073	0.26	1.95	0.021	0.0060	0.042	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.073	0.26	1.95	0.021	0.0060	0.042	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.189	0.03	1.73	0.015	0.0085	0.049	0.0040	-	-	-	0.34	0.28	-	-	-	-	-	-	-	0.031
7	0.189	0.03	1.73	0.015	0.0085	0.049	0.0040	-	-	-	0.34	0.28	-	-	-	-	-	-	-	0.031
8	0.142	0.21	1.48	0.004	0.0006	0.035	0.0044	0.039	-	0.023	-	-	0.15	0.23	-	-	-	0.009	-	-
9	0.023	0.46	1.97	0.013	0.0024	0.022	0.0026	-	-	0.019	-	-	-	-	-	0.0023	0.015	-	-	-
10	0.023	0.46	1.97	0.013	0.0024	0.022	0.0026	-	-	0.019	-	-	-	-	-	0.0023	0.015	-	-	-
11	0.154	0.20	1.35	0.015	0.0034	0.026	0.0017	-	-	0.072	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0.065	0.35	1.81	0.024	0.0046	0.025	0.0040	-	0.076	0.012	-	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0.041	0.16	1.48	0.021	0.0008	0.035	0.0036	-	-	0.011	-	-	0.43	-	-	-	-	-	-	-
14	0.044	0.22	1.55	0.013	0.0042	0.034	0.0030	-	-	0.025	-	-	-	-	0.0019	0.0046	-	-	-	-
15	0.053	0.27	1.79	0.021	0.0030	0.037	0.0026	0.025	-	0.027	-	0.23	-	-	0.0025	-	-	-	-	-
16	0.114	0.09	1.47	0.005	0.0008	0.019	0.0034	0.043	0.020	0.013	-	-	-	-	-	-	-	-	0.052	-
17	0.080	0.22	1.39	0.004	0.0018	0.037	0.0040	0.017	0.031	0.009	0.15	0.18	0.09	0.03	0.0023	0.0011	0.005	0.004	0.010	0.025
18	0.025	0.27	1.42	0.043	0.0038	0.037	0.0048	0.078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0.133	0.17	1.28	0.039	0.0036	0.043	0.0040	-	0.076	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0.149	0.12	0.76	0.021	0.0065	0.049	0.0026	-	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	0.067	0.12	1.83	0.041	0.0078	0.033	0.0023	-	-	-	-	0.47	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0.024	0.16	1.65	0.019	0.0017	0.024	0.0038	-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-	-
23	0.080	0.09	1.72	0.004	0.0065	0.039	0.0029	-	-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-
24	0.162	0.17	0.37	0.012	0.0016	0.025	0.0036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.098

成分組成は、上記以外は残部Feおよび不可避免的不純物である。

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

50

【表 2】

No	加熱工程	熱間圧延工程			冷却工程				仕上板厚 (mm)	
	加熱温度 (℃)	900℃以上1100℃以下の 平均冷却速度 (℃/s)	仕上圧延 終了温度 (℃)	仕上圧延における 合計圧下率 (%)	平均冷却 速度 (℃/s)	最低 冷却速度 (℃/s)	連続 空冷時間 (s)	合計 空冷時間 (s)		冷却停止 温度 (℃)
1	1180	1.8	760	61	16	4	6	19	540	20
2	1180	2.7	830	57	22	3	16	43	620	16
3	1180	0.7	790	63	8	1	11	32	530	9
4	1200	0.9	810	56	9	6	8	21	510	28
5	1200	1.3	770	68	14	4	13	53	640	17
6	1230	1.0	770	49	23	4	7	16	470	25
7	1150	1.5	830	60	38	3	9	38	380	12
8	1180	1.1	820	73	37	5	6	25	600	6
9	1200	2.4	800	58	18	4	7	30	570	22
10	1150	1.2	840	77	16	2	12	15	450	16
11	1200	1.9	790	55	16	4	11	33	550	16
12	1200	2.2	780	50	24	3	8	22	560	16
13	1320	2.9	820	62	22	5	13	15	630	25
14	1200	1.5	780	66	44	5	5	24	380	12
15	1160	1.1	840	48	30	1	19	37	560	16
16	1250	2.9	800	79	35	5	14	45	410	12
17	1200	1.5	810	49	24	6	7	18	530	16
18	1180	2.9	820	73	9	5	11	45	480	22
19	1280	0.6	780	55	13	9	9	32	550	25
20	1200	1.7	770	59	37	7	13	40	500	16
21	1190	2.3	820	72	32	7	7	21	550	19
22	1210	2.0	810	50	27	5	5	20	490	25
23	1220	0.9	810	58	11	9	14	18	620	28
24	1170	2.0	820	58	19	5	7	39	610	22

【 0 1 0 0 】

10

20

30

40

50

鋼板 No.	熱延鋼板の鋼組織							熱延鋼板のC形へん平試験結果		備考
	平均結晶 粒径 (μm)	平均結晶粒径以下の粒径を 有する結晶粒の面積率 (%)	微細粒 連結度	F分率 (%)	B分率 (%)	F+B分率 (%)	残留 組織	密着状態までの 割れ発生有無	規格化荷重 ／規格化変位 (MPa)	
1	6.0	17	0.28	23	74	97	M	無	243	本発明例
2	8.9	22	0.15	83	8	91	P	無	81	比較例
3	15.2	18	0.29	65	23	88	P	有	96	比較例
4	11.9	46	0.08	78	12	90	P,M	無	244	本発明例
5	8.8	19	0.35	61	23	84	P	無	77	比較例
6	5.4	12	0.47	17	64	81	P,M	無	346	本発明例
7	4.9	33	0.30	15	63	78	M,A	有	291	比較例
8	8.1	35	0.11	82	3	85	P	無	118	本発明例
9	5.8	23	0.45	48	44	92	M,A	無	169	本発明例
10	6.3	53	0.53	45	50	95	M	有	225	比較例
11	5.8	26	0.16	43	48	91	P	無	188	本発明例
12	5.5	18	0.11	34	61	95	P,M	無	194	本発明例
13	15.4	32	0.23	85	13	98	M	無	112	本発明例
14	4.2	43	0.30	6	69	75	M	無	105	本発明例
15	6.1	7	0.24	48	36	84	M	無	154	本発明例
16	5.1	44	0.52	46	41	87	M	無	129	本発明例
17	5.3	17	0.18	36	54	90	M	無	286	本発明例
18	4.8	30	0.16	82	15	97	M	無	172	本発明例
19	5.4	18	0.37	70	19	89	P,M	無	181	本発明例
20	5.7	25	0.40	35	58	93	P,M	無	128	本発明例
21	6.9	41	0.22	41	49	90	M	無	201	本発明例
22	5.7	32	0.16	44	39	83	M	無	182	本発明例
23	7.8	40	0.31	44	51	95	P,M	無	281	本発明例
24	4.9	32	0.27	70	25	95	P,M	無	271	本発明例

・F分率はフェライトの体積率、B分率はペイナイトの体積率、F+B分率はフェライトとペイナイトの体積率の合計をそれぞれ表す。

・残留組織は、P:パーライト、M:マルテンサイト、A:オーステナイトをそれぞれ表す。

・下線は発明の範囲外を示す。

【表 4】

鋼管 No.	電縫鋼管の寸法		電縫鋼管の母材部の鋼組織								電縫鋼管のへん平試験結果		備考
	外径 (mm)	肉厚 (mm)	平均結晶 粒径 (μm)	平均結晶粒径以下の粒 径を有する結晶粒の面 積率 (%)	微細粒 連結度	F分率 (%)	B分率 (%)	F+B分率 (%)	残部組織	密着状態までの 割れ発生有無	規格化荷重 ／規格化変位 (MPa)		
1	610	20	5.9	20	0.29	21	73	94	M	無	166	本発明例	
2	500	16	8.7	16	0.11	81	9	90	P	無	94	比較例	
3	250	9	15.4	25	0.36	68	20	88	P	有	91	比較例	
4	600	28	12.0	44	0.07	79	14	93	P,M	無	335	本発明例	
5	500	17	8.7	8	0.33	60	25	85	P	無	80	比較例	
6	550	25	5.5	13	0.48	19	64	83	P,M	無	269	本発明例	
7	500	12	5.0	37	0.31	16	61	77	M,A	有	297	比較例	
8	150	6	8.2	38	0.15	77	4	81	P	無	241	本発明例	
9	400	22	6.0	22	0.42	41	49	90	M,A	無	158	本発明例	
10	500	16	6.0	51	0.54	52	45	97	M	有	202	比較例	
11	500	16	5.7	27	0.22	44	48	92	P	無	303	本発明例	
12	550	16	5.4	13	0.15	32	64	96	P,M	無	208	本発明例	
13	600	25	15.3	34	0.21	86	12	98	M	無	120	本発明例	
14	400	12	4.2	40	0.30	9	67	76	M	無	123	本発明例	
15	500	16	6.0	8	0.25	48	40	88	M	無	124	本発明例	
16	500	12	5.2	44	0.51	44	44	88	M	無	142	本発明例	
17	500	16	5.3	20	0.16	42	50	92	M	無	292	本発明例	
18	610	22	5.0	31	0.16	86	13	99	M	無	249	本発明例	
19	610	25	5.4	20	0.39	76	15	91	P,M	無	291	本発明例	
20	550	16	5.6	20	0.38	41	55	96	P,M	無	214	本発明例	
21	600	19	7.0	44	0.24	42	46	88	M	無	207	本発明例	
22	600	25	5.8	35	0.14	42	39	81	M	無	203	本発明例	
23	610	28	7.4	37	0.33	44	52	96	P,M	無	241	本発明例	
24	550	22	5.2	32	0.25	72	27	99	P,M	無	255	本発明例	

・F分率はフェライトの体積率、B分率はペイナイトの体積率、F+B分率はフェライトとペイナイトの体積率の合計をそれぞれ表す。

・残部組織は、P:パーライト、M:マルテンサイト、A:オーステナイトをそれぞれ表す。

・下線は発明の範囲外を示す。

【0102】

表3および4中、No.1、4、6、8、9、11～24の熱延鋼板および電縫鋼管は本発明例であり、No.2、3、5、7、10の熱延鋼板および電縫鋼管は比較例である。

【0103】

本発明例の熱延鋼板は、いずれもC形へん平試験において、密着状態まで長さが0.50mm以上である割れが発生せず、規格化変位が0.20～0.30の範囲における（規格化荷重／規格化変位）の値が100MPa以上であった。

【0104】

本発明例の電縫鋼管は、いずれもへん平試験において、密着状態まで長さが0.50mm以上である割れが発生せず、規格化変位が0.20～0.30の範囲における（規格化

10

20

30

40

50

荷重／規格化変位)の値が100MPa以上であった。

【符号の説明】

【0105】

- 1 規格化変位に伴う規格化荷重の変化を示す曲線
- 2 弾性域
- 3 塑性域
- 4 割れまたは密着状態
- 5 A 試験片
- 5 C形へん平試験片(へん平試験片)
- 6 平板
- 7 圧縮方向
- 8 へん平試験片
- 9 電縫溶接部
- 10 電縫鋼管の中心
- 11 平板
- 12 圧縮方向
- 13 母材部
- 14 熱影響部
- 15 溶融凝固部
- 100 試験片の初期長さL
- 101 試験片の初期板厚t
- 102 熱延鋼板の圧延方向

10

20

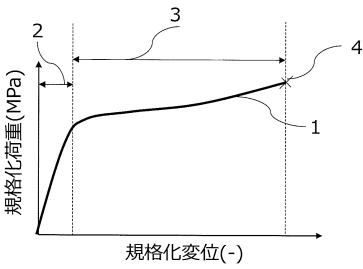
30

40

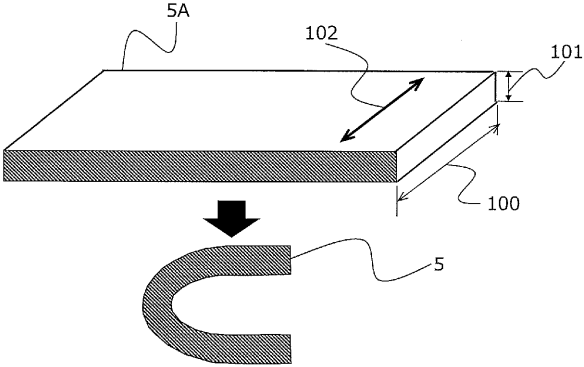
50

【図面】

【図 1】

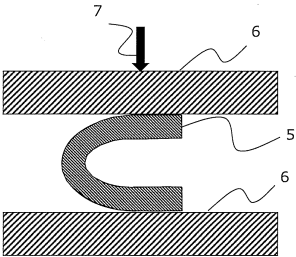


【図 2 (a)】

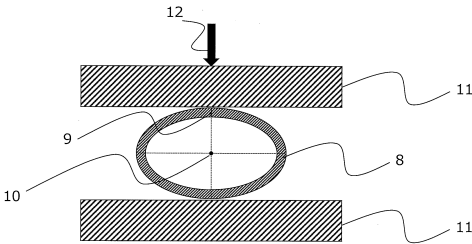


10

【図 2 (b)】

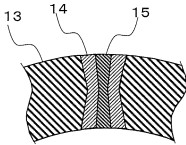


【図 3】



20

【図 4】



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 ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者 井手 信介
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥスチール株式会社内
審査官 川村 裕二
(56)参考文献 特開２００８－２０８４１７（ＪＰ，Ａ）
特表２０１８－５０６６４２（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０２１／０８５０３６（ＷＯ，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ２２Ｃ ３８／００－３８／６０
Ｃ２１Ｄ １／００－１１／００