

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7640697号
(P7640697)

(45)発行日 令和7年3月5日(2025.3.5)

(24)登録日 令和7年2月25日(2025.2.25)

(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 Z	
C 2 2 C 38/04 (2006.01)	C 2 2 C 38/04		
C 2 2 C 38/14 (2006.01)	C 2 2 C 38/14		
C 2 1 D 8/02 (2006.01)	C 2 1 D 8/02	B	

請求項の数 9 (全16頁)

(21)出願番号	特願2023-533348(P2023-533348)	(73)特許権者	522492576
(86)(22)出願日	令和3年12月3日(2021.12.3)		ポスコ カンパニー リミテッド
(65)公表番号	特表2023-551880(P2023-551880 A)		大韓民国 キョンサンブクード ポハンーシ ナムーグ ドンヘアノーロ 6 2 6 1
(43)公表日	令和5年12月13日(2023.12.13)	(74)代理人	100083806
(86)国際出願番号	PCT/KR2021/018203		弁理士 三好 秀和
(87)国際公開番号	WO2022/124704	(74)代理人	100111235
(87)国際公開日	令和4年6月16日(2022.6.16)		弁理士 原 裕子
審査請求日	令和5年5月31日(2023.5.31)	(74)代理人	100195257
(31)優先権主張番号	10-2020-0172031		弁理士 大淵 一志
(32)優先日	令和2年12月10日(2020.12.10)	(72)発明者	ヤン、 ホンーソク
(33)優先権主張国・地域又は機関	韓国(KR)		大韓民国 3 7 8 7 7 キョンサンブクード ポハンーシ ナムーグ ドンヘアノーロ 6 2 6 2 ポハン アイアン アンド ステイル ワークス 気付
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 真空列車チューブ用熱延鋼板及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

重量％で、炭素（C）：0.03～0.25％、シリコン（Si）：1.5～2.5％、及びマンガン（Mn）：0.8～1.8％を含み、残りはFe及びその他の不可避不純物からなり、

フェライト及びパーライト複合組織を微細組織として有し、

下記の関係式1～関係式3を満たし、

前記フェライトの平均結晶粒サイズ（D）は10～30μmである、真空列車チューブ用熱延鋼板。

【関係式1】

$$350 \leq 11 + 394 \times D^{(-0.5)} + 448 \times [C] + 94 \times [Si] + 69 \times [Mn]$$

【関係式2】

$$100 \leq 186 - 210 \times D^{(-0.5)} - 121 \times [C] - 13.2 \times [Si] + 13.7 \times [Mn]$$

【関係式3】

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

前記関係式1～前記関係式3において、Dは前記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ（μm）を意味し、[C]、[Si]及び[Mn]は、それぞれ前記熱延鋼板の炭素（C）、シリコン（Si）及びマンガン（Mn）の含量（重量％）を意味する。

【請求項 2】

前記熱延鋼板は下記の関係式 4 を満たす、請求項 1 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板。

【関係式 4】

$$303.78 - 85.22 \times \ln(D) > 27$$

前記関係式 4 において、D は前記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ (μm) を意味する。

【請求項 3】

前記熱延鋼板の微細組織は、60～90 面積% のフェライト、10～40 面積% のパーライト及びその他の不可避組織からなる、請求項 1 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板。

【請求項 4】

前記熱延鋼板に不可避に含まれるチタン (Ti)、ニオブ (Nb) 及びバナジウム (V) の合計含量は 0.01% 未満 (0% を含む) である、請求項 1 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板。

【請求項 5】

前記熱延鋼板の降伏強度は 350 MPa 以上であり、

前記熱延鋼板の -20℃ 基準のシャルピー衝撃エネルギーは 27 J 以上であり、

前記熱延鋼板を長さ×幅×厚さが 80×20×2 mm の試験片に加工した後、曲げ振動モード (flexural vibration mode) で 1650 Hz の周波数に対して測定した振動減衰比は 100×10^{-6} 以上であり、

電気比抵抗は $30 \times 10^{-8} \Omega m$ 以上である、請求項 1 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板。

【請求項 6】

前記熱延鋼板の厚さは 10 mm 以上である、請求項 1 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板。

【請求項 7】

重量% で、炭素 (C) : 0.03～0.25%、シリコン (Si) : 1.5～2.5%、及びマンガン (Mn) : 0.8～1.8% を含み、残りは Fe 及びその他の不可避不純物からなるスラブを 1100℃～1300℃ の加熱温度 (T_1) で加熱する段階と、

前記加熱されたスラブを 900℃～1000℃ の仕上げ圧延温度 (T_2) で熱間圧延して熱延鋼板を提供する段階と、

前記熱延鋼板を 600℃～700℃ の巻取温度 (T_3) で巻き取る段階と、を含み、かつ

前記加熱温度 (T_1)、仕上げ圧延温度 (T_2) 及び巻取温度 (T_3) は、下記の関係式 5 を満たす、請求項 1 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法。

【関係式 5】

$$1 \leq 0.0284 \times [T_1] + 0.071 \times [T_2] + 0.045 \times [T_3] - 131 \leq 3$$

前記関係式 5 において、 $[T_1]$ 、 $[T_2]$ 及び $[T_3]$ は、それぞれスラブ加熱温度 (T_1 、℃)、仕上げ圧延温度 (T_2 、℃) 及び巻取温度 (T_3 、℃) を意味する。

【請求項 8】

前記スラブに不可避に含まれるチタン (Ti)、ニオブ (Nb) 及びバナジウム (V) の合計含量は 0.01% 未満 (0% を含む) である、請求項 7 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法。

【請求項 9】

前記スラブは、下記の関係式 3 を満たす、請求項 7 に記載の真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法。

【関係式 3】

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

前記関係式 3 において、 $[C]$ 、 $[Si]$ 及び $[Mn]$ は、それぞれ前記熱延鋼板の炭素 (C)、シリコン (Si) 及びマンガン (Mn) の含量 (重量%) を意味する。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱延鋼板及びその製造方法に関し、詳細には、降伏強度、振動減衰比、電気比抵抗及び低温韌性に優れ、真空列車チューブ用に好適な物性を有する熱延鋼板及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

真空列車、いわゆるハイパーチューブ列車(hyper tube train)は、真空のチューブ内で磁気浮上した列車が移動するシステムである。真空列車は、列車走行時の主要エネルギー損失の原因である空気やトラックとの摩擦がないため、超高速運転が可能である。エネルギー損失が少ないため、航空機に比べて93%の省エネが可能であり、環境に優しい次世代の交通手段として脚光を浴びながら、世界中で活発な研究が行われている。

【0003】

超高速真空列車に用いられる真空チューブは、その構造及び素材がシステムの性能やコストに影響を与える。現在、真空列車のチューブ素材として研究される材料は主に3つある。その一つはコンクリートである。コンクリートチューブはコスト面では有利であるが、約10m長さの個々のチューブを互いにつなぐ接合は難しい。また、コンクリート内部の気孔により、真空を実現したときに外部の気体がチューブの内部に侵入し、真空度が容易に崩れるという欠点がある。多くの研究が行われている他の素材の一つは、炭素繊維などの複合物質である。炭素繊維などの複合物質は軽量かつ高性能であるが、高いコストが最も大きな欠点として挙げられる。

【0004】

現在、真空列車チューブ用素材として最も有力な素材は鉄鋼である。鉄鋼は低コストで大量生産が可能な素材である。鉄鋼は高い剛性及び強度を有し、加工が容易な素材である。また、チューブ間又はチューブに付属品を接合する時に組み立てたり溶接しやすい素材であり、真空を維持する際にアウトガス率も適正な素材でもある。但し、超高速真空列車は現行の高速列車に比べて著しく速い速度で運行されるため、乗客及び周辺施設の安全性が最優先に考えられるべきである。現在は、超高速真空列車の安全基準すら確立されていない状況であり、超高速真空列車の安全を確保するためのチューブ用素材の開発も不十分な状況である。また、真空列車も時代的な流れに適合するように高効率性が保障される必要がある一方で、真空列車のエネルギー効率性を最大限にするためのチューブ用素材に対する開発もまた不十分な状況である。

【0005】

よって、真空列車チューブ用に好適な加工性及びアウトガス率を有しながらも、安全性の確保及び高効率化が可能な真空列車チューブ用素材の開発が急務とされているのが実情である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】韓国登録特許第10-2106353号公報(2020.05.04.公告)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の一側面によれば、降伏強度、振動減衰比、電気比抵抗及び低温韌性に優れ、真空列車チューブ用に好適な物性を有する熱延鋼板及びその製造方法を提供することができる。

【0008】

本発明の課題は、上述した内容に限定されない。通常の技術者であれば、本明細書の全

10

20

30

40

50

体的な内容から本発明のさらなる課題を理解する上で何ら困難がない。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板は、重量%で、炭素（C）：0.03～0.25%、シリコン（Si）：1.5～2.5%、マンガン（Mn）：0.8～1.8%、残りのFe及びその他の不可避不純物を含み、フェライト及びパーライト複合組織を微細組織として有し、下記の関係式1～関係式3を満たすことができる。

【0010】

〔関係式1〕

$$350 \leq 11 + 394 \times D^{(-0.5)} + 448 \times [C] + 94 \times [Si] + 69 \times [Mn] \quad 10$$

【0011】

〔関係式2〕

$$100 \leq 186 - 210 \times D^{(-0.5)} - 121 \times [C] - 13.2 \times [Si] + 13.7 \times [Mn]$$

【0012】

〔関係式3〕

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

上記の関係式1～関係式3において、Dは上記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ（μm）を意味し、[C]、[Si]及び[Mn]はそれぞれ上記熱延鋼板の炭素（C）、シリコン（Si）及びマンガン（Mn）の含量（重量%）を意味する。

【0013】

上記熱延鋼板は、下記の関係式4を満たすことができる。

【0014】

〔関係式4〕

$$303.78 - 85.22 \times \ln(D) > 27$$

上記関係式4において、Dは上記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ（μm）を意味する。

【0015】

上記熱延鋼板の微細組織は、60～90面積%のフェライト、10～40面積%のパーライト及びその他の不可避組織からなることができる。

【0016】

上記熱延鋼板に不可避に含まれるチタン（Ti）、ニオブ（Nb）及びバナジウム（V）の合計含量は0.01%未満（0%を含む）であってもよい。

【0017】

上記フェライトの平均結晶粒サイズ（D）は10～30μmであってもよい。

【0018】

上記熱延鋼板の降伏強度は350MPa以上であり、上記熱延鋼板の-20℃基準のシャルピー衝撃エネルギーは27J以上であり、上記熱延鋼板を長さ×幅×厚さが80×20×2mmの試験片に加工した後、曲げ振動モード（flexural vibration mode）で1650Hzの周波数に対して測定した振動減衰比が 100×10^{-6} 以上であり、電気比抵抗は $30 \times 10^{-8} \Omega m$ 以上であることができる。

【0019】

上記熱延鋼板の厚さは10mm以上であってもよい。

【0020】

本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法は、重量%で、炭素（C）：0.15～0.25%、シリコン（Si）：0.3～1.3%、マンガン（Mn）：1.0～2.0%、残りのFe及びその他の不可避不純物を含むスラブを1100℃～1300℃の加熱温度（T₁）で加熱する段階と、上記加熱されたスラブを900℃～1000℃の仕上げ圧延温度（T₂）に熱間圧延して熱延鋼板を提供する段階と、上記熱延鋼

10

20

30

40

50

板を600℃～700℃の巻取温度（ T_3 ）で巻き取る段階と、を含み、かつ上記加熱温度（ T_1 ）、仕上げ圧延温度（ T_2 ）及び巻取温度（ T_3 ）は、下記の関係式5を満たすことができる。

【0021】

〔関係式5〕

$$1 \leq 0.0284 \times [T_1] + 0.071 \times [T_2] + 0.045 \times [T_3] - 131 \leq 3$$

上記関係式5において、 $[T_1]$ 、 $[T_2]$ 及び $[T_3]$ は、それぞれスラブ加熱温度（ T_1 、℃）、仕上げ圧延温度（ T_2 、℃）及び巻取温度（ T_3 、℃）を意味する。

【0022】

上記スラブに不可避に含まれるチタン（ Ti ）、ニオブ（ Nb ）及びバナジウム（ V ）の合計含量は0.01%未満（0%を含む）であってもよい。

【0023】

上記スラブは、下記の関係式3を満たすことができる。

【0024】

〔関係式3〕

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

上記関係式3において、 $[C]$ 、 $[Si]$ 及び $[Mn]$ は、それぞれ上記熱延鋼板の炭素（ C ）、シリコン（ Si ）及びマンガン（ Mn ）の含量（重量%）を意味する。

【0025】

上記課題の解決手段は、本発明の特徴を全て列挙したものではなく、本発明の様々な特徴及びそれに伴う利点及び効果は、以下の具体的な実現例及び実施例を参照してより詳細に理解することができる。

【発明の効果】

【0026】

本発明の一側面によれば、降伏強度、振動減衰比、電気抵抗及び低温靱性に優れ、真空列車チューブ用に好適な物性を有する熱延鋼板及びその製造方法を提供することができる。

【0027】

本発明の効果は上述した事項に限定されるものではなく、通常の技術者が本明細書に記載の事項から合理的に類推可能な事項を含むものと解釈されることができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】試験片1の微細組織の観察に用いられた光学顕微鏡写真である。

【図2】既存の構造用鋼材であるEN-S355の光学顕微鏡写真である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

本発明は、真空列車チューブ用熱延鋼板及びその製造方法に関するものであって、以下では、本発明の好ましい実施形態について説明する。本発明の実施形態は様々な形態に変形することができ、本発明の範囲は以下で説明される実施形態に限定されるものと解釈されてはならない。本実施形態は、当該発明が属する技術分野において通常の知識を有する者に本発明をさらに詳細にするために提供されるものである。

【0030】

真空列車は、真空または亜真空状態のチューブの中を走る列車であって、現在、開発の初期段階にある次世代の運送手段である。真空列車は、車輪と軌道との間の摩擦抵抗を除去し、空気の抵抗を最小化するため、高速化及び高効率性を効果的に達成することができる運送手段である。但し、超高速で運行する真空列車の特性上、真空列車の安全性が十分に確保されない場合、大事故が発生するおそれがある。特に、真空チューブが構造的に破損または崩壊する場合だけでなく、チューブの一部の形状に変形が発生した場合にも超大惨事を誘発するおそれがあるため、真空列車用のチューブ用素材には、より厳しい安全性

10

20

30

40

50

が求められる。本発明の発明者が鋭意研究を行った結果、真空列車の安全性を確保するためには、真空チューブ用素材として、次のような物性が重要であることが分かった。

【0031】

安全性を確保するために、真空チューブ用素材に要求される最初の物性は高強度特性である。真空列車は真空チューブの内部を通過して移動するため、真空チューブ用素材は構造体として十分な強度を有することが要求される。また、真空チューブは、内部が真空または亜真空状態に維持される必要があるため、内部と外部の圧力差によってチューブの形状が変形しないように十分な高強度特性を有することが要求される。

【0032】

安全性を確保するために、真空チューブ用素材に要求される二番目の物性は振動減衰能である。真空列車は、数人～数十人が搭乗したポッド（pod）が数十秒～数分の間隔で真空チューブの内部を通過するようになる。先行ポッド（pod）が通過した後、後行ポッド（pod）の通過時に真空チューブ内で振動が増幅されて共鳴が発生することがあり、深刻な場合はチューブの破損まで誘発することがある。したがって、一定レベル以上の振動減衰比を有する素材を真空チューブに適用した場合、先行ポッド（pod）の通過後、チューブ内の振動を効果的に減少させることができ、真空列車の安全性に効果的に寄与することができる。

【0033】

安全性を確保するために、真空チューブ用素材に要求される三番目の物性は低温靱性である。真空列車は極地または深海でも運行されることがある。鉄鋼素材は、低温または極低温の環境でより容易に破損する傾向を有するため、鉄鋼素材を真空チューブに適用する場合、安全性を確保するために一定レベル以上の低温靱性を有することが要求される。

【0034】

また、近年、世界的に環境にやさしい運送手段に対する需要が急増している傾向にあるため、真空チューブ列車もエネルギー効率性を最大限にする必要がある。常電導吸引式（electromagnetic suspension, EMS）方式は電磁石間の引力を利用して列車を浮上させる方式であり、超伝導反発式（electrodynami c suspension, EDS）方式は超伝導体と磁石間の斥力を利用して列車を浮上させる方式である。このうち、EDS方式を利用する場合、EMS方式に比べて周囲に強力な磁場を形成することができる。チューブ内を列車が通過する場合、磁場に变化が発生してチューブに誘導電流を形成させ、それによってエネルギー損失が発生する可能性がある。したがって、チューブ素材の電気抵抗を高めてこのようなエネルギー損失を減らす必要があり、エネルギー効率性を確保するために一定レベル以上の電気比抵抗（ ρ ）を有する必要がある。

【0035】

本発明の発明者は、鋭意研究により、鋼板の合金組成の含量及び微細組織を厳密に制御し、優れた降伏強度、振動減衰比、電気比抵抗及び低温靱性を両立させることができることを認知し、本発明を導出するに至った。

【0036】

以下、本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板についてより詳細に説明する。

【0037】

本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板は、重量%で、炭素（C）：0.03～0.25%、シリコン（Si）：1.5～2.5%、マンガン（Mn）：0.8～1.8%、残りのFe及びその他の不可避不純物を含み、フェライト及びパーライト複合組織を微細組織として有し、下記の関係式1～関係式3を満たすことができ、追加的に下記の関係式4をさらに満たすことができる。

【0038】

【関係式1】

$$350 \leq 11 + 394 \times D^{(-0.5)} + 448 \times [C] + 94 \times [Si] + 69 \times [Mn]$$

10

20

30

40

50

【0039】

〔関係式2〕

$$100 \leq 186 - 210 \times D^{(-0.5)} - 121 \times [C] - 13.2 \times [Si] + 13.7 \times [Mn]$$

【0040】

〔関係式3〕

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

【0041】

〔関係式4〕

$$303.78 - 85.22 \times \ln(D) > 27$$

上記関係式1～関係式4において、Dは上記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ(μm)を意味し、[C]、[Si]及び[Mn]はそれぞれ上記熱延鋼板の炭素(C)、シリコン(Si)及びマンガン(Mn)の含量(重量%)を意味する。

【0042】

以下、本発明の熱延鋼板に含まれる鋼組成についてより詳細に説明する。以下、特に断りのない限り、各元素の含量を示す%は重量を基準とする。

【0043】

炭素(C)：0.03～0.25%

炭素(C)は鋼板の強度に非常に大きな影響を及ぼす成分である。本発明は、構造体が要求する強度を確保するために0.03%以上の炭素(C)を含むことができる。好ましい炭素(C)含量の下限は0.05%であってもよく、より好ましい炭素(C)含量の下限は0.07%であってもよい。一方、炭素(C)の含量が過剰な場合、素材の靱性が低下し、溶接性が低下し、降伏比が上昇する可能性がある。また、炭素(C)の含量が過剰な場合、結晶粒の粗大化に困難が伴うため、本発明は炭素(C)含量の上限を0.25%に制限することができる。好ましい炭素(C)含量の上限は0.2%であってもよく、より好ましい炭素(C)含量の上限は0.15%であってもよい。

【0044】

シリコン(Si)：1.5～2.5%

シリコン(Si)は、製鋼段階で酸素と結合してスラグを形成するため、酸素と共に除去される傾向がある。また、シリコン(Si)は、素材の強度及び電気抵抗の向上にも効果的に寄与する成分でもある。したがって、本発明は、このような効果のために1.5%以上のシリコン(Si)を含むことができる。好ましいシリコン(Si)含量の下限は1.6%であってもよく、より好ましいシリコン(Si)含量の下限は1.8%であってもよい。一方、シリコン(Si)の含量が過剰な場合、表面スケールの脱落を妨げて製品の表面品質を低下させることがある。また、シリコン(Si)の含量が過度な場合、母材及び溶接部の低温靱性が低下し、素材の使用時に破壊の危険性を高めるため、本発明はシリコン(Si)の含量を2.5%以下に制限することができる。好ましいシリコン(Si)含量の上限は2.3%であってもよく、より好ましいシリコン(Si)含量の上限は2.0%であってもよい。

【0045】

マンガン(Mn)：0.8～1.8%

マンガン(Mn)は鋼の強度及び硬化能を向上させる成分である。したがって、本発明は、このような効果を確保するために0.8%以上のマンガン(Mn)を含むことができる。好ましいマンガン(Mn)含量の下限は1.0%であってもよく、より好ましいマンガン(Mn)含量の下限は1.1%であってもよい。一方、マンガンMnの含量が過度な場合、中心部の偏析により材質ばらつきが発生し、クラック(crack)伝播抵抗性が低下する可能性がある。また、マンガン(Mn)の含量が過度な場合、鋼の靱性が低下する可能性があるため、本発明はマンガン(Mn)の含量を1.8%以下に制限することができる。好ましいマンガン(Mn)含量の上限は1.6%であってもよく、より好ましいマンガン(Mn)含量の上限は1.5%であってもよい。

10

20

30

40

50

【0046】

本発明の熱延鋼板は、前述の成分以外に、残りのFe及びその他の不可避不純物を含むことができる。但し、通常の製造過程では、原料又は周囲環境から意図しない不純物が不可避に混入することがあるため、これを全面的に排除することはできない。これらの不純物は、本技術分野において通常の知識を有する者であれば、誰でも分かるものであるため、本明細書では、そのすべての内容を特に言及しない。さらに、前述の成分以外に、有効な成分の更なる添加が全面的に排除されるものではない。

【0047】

本発明の熱延鋼板は、チタン(Ti)、ニオブ(Nb)及びバナジウム(V)の添加を積極的に抑制し、これらの成分が不可避に含まれても、その合計含量を0.01%未満(0%を含む)に制限することができる。チタン(Ti)、ニオブ(Nb)及びバナジウム(V)は代表的な析出強化元素であって、微細炭窒化物を生成して鋼の強度向上に効果的に寄与する成分である。但し、チタン(Ti)、ニオブ(Nb)及びバナジウム(V)は、鋼の微細組織を過度に微細化して振動減衰能の確保に不利に作用するため、本発明はこれらの成分を積極的に抑制しようとする。また、チタン(Ti)、ニオブ(Nb)及びバナジウム(V)は高価な成分であり、経済性の観点からも好ましくない。本発明は、これら成分を人為的に添加せず、不可避に添加される場合であっても、これら成分の合計含量を0.01%未満に積極的に抑制することができる。好ましいこれら成分の合計含量は0.005%以下であってもよく、より好ましくは、これら成分の合計含量は0%であってもよい。

【0048】

本発明の一側面による熱延鋼板は、微細組織としてフェライト及びパーライトからなる複合組織を有することができる。本発明は、ベイナイト及びマルテンサイトなどの低温組織の生成を積極的に抑制することができる。ベイナイト及びマルテンサイトなどの低温組織は高い強度を有し、降伏比が低く、構造用材料として優れた物性を発揮することができる。但し、本発明の一例による真空列車チューブ用熱延鋼板は、厚さが10mm以上のレベルと厚いため、低温組織を導入しても鋼板の厚さ方向に物性ばらつきが発生する可能性がある。これは、鋼板の表面にのみ低温組織が形成され、鋼板の中心部までの十分な低温組織の生成が困難であるためである。

【0049】

したがって、本発明は、物性ばらつきを低減するために鋼板の微細組織をフェライト及びパーライトからなる複合組織で構成し、ベイナイト及びマルテンサイトなどの低温組織は不可避に形成されても、その分率を1面積%以下(0%を含む)に積極的に抑制することができる。物性確保の観点から、フェライトの分率は60~90面積%であってもよく、パーライトの分率は10~40面積%であってもよい。

【0050】

目的とする降伏強度、振動減衰比及び低温靱性を同時に確保するために、本発明はフェライトの平均結晶粒サイズを一定範囲に制限することができる。結晶粒サイズが大きくなるほど、振動減衰比の確保に有利であるため、本発明はフェライトの平均結晶粒サイズを10μm以上に制限することができる。好ましい平均結晶粒サイズは10μm超過であってもよく、より好ましい平均結晶粒サイズは15μm以上であってもよい。一方、結晶粒のサイズが過度に大きくなる場合、素材の強度及び低温靱性が低下するため、本発明は、フェライトの平均結晶粒サイズを30μm以下に制限することができる。好ましい平均結晶粒サイズの上限は25μmであってもよい。

【0051】

本発明の発明者は、真空列車チューブ用素材の安定性及びエネルギー効率性の確保方案について鋭意研究を行った結果、本発明のような低合金系鋼板において、炭素(C)、シリコン(Si)及びマンガン(Mn)の含量とフェライトの平均結晶粒サイズを一定範囲に制御する場合、降伏強度、振動減衰比及び電気抵抗の同時確保が可能であることを認知し、以下の関係式1~関係式3を導出するに至った。

【0052】

【関係式1】

$$350 \leq 11 + 394 \times D^{(-0.5)} + 448 \times [C] + 94 \times [Si] + 69 \times [Mn]$$

【0053】

【関係式2】

$$100 \leq 186 - 210 \times D^{(-0.5)} - 121 \times [C] - 13.2 \times [Si] + 13.7 \times [Mn]$$

【0054】

【関係式3】

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

上記関係式1～関係式3において、Dは上記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ(μm)を意味し、[C]、[Si]及び[Mn]はそれぞれ上記熱延鋼板の炭素(C)、シリコン(Si)及びマンガン(Mn)の含量(重量%)を意味する。

【0055】

本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、関係式1～3を同時に満たすため、目的とする降伏強度、振動減衰比及び電気比抵抗性を同時に確保することができる。

【0056】

また、本発明の発明者は、本発明の成分系を有する鋼板において、フェライトの平均結晶粒サイズを一定範囲に制御する場合、低温靱性の確保が可能であることを認知し、以下の関係式4を追加的に導出することができた。

【0057】

【関係式4】

$$303.78 - 85.22 \times \ln(D) > 27$$

上記関係式4において、Dは、上記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ(μm)を意味する。

【0058】

本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、追加的に関係式4をさらに満たすため、目的とする低温靱性を効果的に確保することができる。

【0059】

本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、350MPa以上の降伏強度及び27J以上の-20℃シャルピー衝撃エネルギーを有することができる。したがって、本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、構造材として好適な強度及び低温靱性を確保し、真空列車用チューブの構造的安全性を効果的に確保することができる。

【0060】

本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、 100×10^{-6} 以上の振動減衰比を有することができる。ここで、振動減衰比とは、長さ×幅×厚さが80×20×2mmの試験片に対して曲げ振動モード(flexural vibration mode)で打撃した後、1650Hzの周波数に対して測定した振動減衰比を意味する。本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、 100×10^{-6} 以上の振動減衰比を有するため、真空チューブ内での振動増幅を効果的に抑制することができ、振動による真空列車用チューブの破損を効果的に防止することができる。

【0061】

本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板は、 $30 \times 10^{-8} \Omega m$ 以上の電気比抵抗を有することができるため、真空列車運行時のエネルギー効率を効果的に確保することができる。

【0062】

したがって、本発明の一側面によれば、降伏強度、振動減衰比、電気比抵抗及び低温靱性に優れ、真空列車チューブ用に好適な物性を有する熱延鋼板を提供することができる。

【0063】

以下、本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法についてより詳細

10

20

30

40

50

に説明する。

【0064】

本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法は、重量%で、炭素（C）：0.03～0.25%、シリコン（Si）：1.5～2.5%、マンガン（Mn）：0.8～1.8%、残りのFe及びその他の不可避不純物を含むスラブを1100℃～1300℃の加熱温度（ T_1 ）で加熱する段階と、上記加熱されたスラブを900℃～1000℃の仕上げ圧延温度（ T_2 ）に熱間圧延して熱延鋼板を提供する段階と、上記熱延鋼板を600℃～700℃の巻取温度（ T_3 ）で巻き取る段階と、を含み、かつ上記加熱温度（ T_1 ）、仕上げ圧延温度（ T_2 ）及び巻取温度（ T_3 ）は、下記の関係式5を満たすことができる。

【0065】

〔関係式5〕

$$1 \leq 0.0284 \times [T_1] + 0.071 \times [T_2] + 0.045 \times [T_3] - 131 \leq 3$$

上記関係式5において、 $[T_1]$ 、 $[T_2]$ 及び $[T_3]$ は、それぞれスラブ加熱温度（ T_1 、℃）、仕上げ圧延温度（ T_2 、℃）及び巻取温度（ T_3 、℃）を意味する。

【0066】

鋼スラブの準備及び加熱

所定の合金組成を有する鋼スラブを準備する。本発明の鋼スラブは、前述の熱延鋼板と対応する合金組成を備えるため、鋼スラブの合金組成に対する説明は、前述した熱延鋼板の合金組成に対する説明で代替する。

【0067】

準備された鋼スラブを1100℃～1300℃の加熱温度（ T_1 ）で加熱することができる。熱間圧延時の圧延負荷を考慮して、鋼スラブは1100℃以上の温度範囲で加熱することができる。特に、本発明は一定サイズ以上の微細組織を導入しようとするため、好ましい鋼スラブの加熱温度は1200℃以上であってもよい。より好ましい鋼スラブの加熱温度は1250℃以上であってもよい。一方、鋼スラブの加熱温度が過度に高い場合、スケールの生成による表面品質の低下が懸念されるため、本発明は鋼スラブの加熱温度を1300℃以下に制限することができる。

【0068】

熱間圧延

加熱された鋼スラブを900℃～1000℃の仕上げ圧延温度（ T_2 ）に熱間圧延して熱延鋼板を提供することができる。本発明の熱間圧延によって提供される鋼板は10μm以上の厚さを有することができる。

【0069】

熱間圧延時に素材が圧延されることで結晶粒は変形するが、すぐに再結晶化される。このような過程を経ることで、粗大かつ不均一であった組織は微細化し、均質化される。熱間圧延時の重要な工程変数は、圧延が終了したときの温度である仕上げ圧延温度（Finishing Delivery Temperature, FDT）である。仕上げ圧延温度によって最終微細組織の結晶粒サイズなどを制御できるためである。本発明は、最終微細組織を一定サイズ以上のレベルに制御しようとするため、900℃以上の仕上げ圧延温度で熱間圧延を行うことができる。好ましい仕上げ圧延温度は950℃以上であってもよい。一方、仕上げ圧延温度が過度に高い場合、最終微細組織が過度に粗大に実現されることがあるため、本発明は、仕上げ圧延温度の上限を1000℃に制限することができる。

【0070】

巻取り

熱間圧延により提供された熱延鋼板は、水冷を経た後、600℃～700℃の巻取温度（ T_3 ）で巻き取られることができる。本発明は、最終組織として、フェライト及びパーライトの複合組織を実現しようとするため、600℃以上の温度範囲で巻取りを行うことができる。本発明は、一定サイズ以上の最終微細組織を実現しようとするため、650℃

10

20

30

40

50

以上の温度範囲で巻き取ることがより好ましい。但し、巻取温度が過度に高い場合、粗大な微細組織が形成されたり、表面品質が低下することがあるため、本発明は、巻取温度の上限を700℃に制限することができる。

【0071】

本発明の発明者は、最終微細組織の結晶粒サイズを制御するための技術的手段に関して鋭意研究を行い、本発明の成分系において最終微細組織の結晶粒サイズを制御するためには、鋼スラブを加熱する時の加熱温度（ T_1 ）、熱間圧延する時の仕上げ圧延温度（ T_2 ）、及び熱延鋼板を巻き取る時の巻取温度（ T_3 ）が独立して一定範囲を満たすように制御されなければならないだけでなく、これらのスラブ加熱温度（ T_1 ）、仕上げ圧延温度（ T_2 ）及び巻取温度（ T_3 ）を互いに連携して一定の範囲内で制御しなければならないことを確認し、以下の関係式5を導出するに至った。

【0072】

〔関係式5〕

$$1481 \leq 0.0284 \times [T_1] + 0.071 \times [T_2] + 0.045 \times [T_3] - 131 \leq 3$$

上記関係式5において、 $[T_1]$ 、 $[T_2]$ 及び $[T_3]$ は、それぞれスラブ加熱温度（ T_1 、℃）、仕上げ圧延温度（ T_2 、℃）及び巻取温度（ T_3 、℃）を意味する。

【0073】

したがって、本発明の一側面による真空列車チューブ用熱延鋼板の製造方法は、1100℃～1300℃の加熱温度（ T_1 ）でスラブを加熱し、900℃～1000℃の仕上げ圧延温度（ T_2 ）で熱間圧延を行い、600℃～700℃の巻取温度（ T_3 ）で熱延鋼板を巻き取るだけでなく、スラブ加熱温度（ T_1 ）、仕上げ圧延温度（ T_2 ）及び巻取温度（ T_3 ）が関係式4を満たすように工程条件を制御するため、目標とする熱延鋼板の微細組織を効果的に実現することができる。

【0074】

前述の製造方法により製造された熱延鋼板は、下記の関係式1～3を満たすことができ、追加的に下記の関係式4をさらに満たすことができる。

【0075】

〔関係式1〕

$$350 \leq 11 + 394 \times D^{(-0.5)} + 448 \times [C] + 94 \times [Si] + 69 \times [Mn]$$

【0076】

〔関係式2〕

$$100 \leq 186 - 210 \times D^{(-0.5)} - 121 \times [C] - 13.2 \times [Si] + 13.7 \times [Mn]$$

【0077】

〔関係式3〕

$$30 \leq 9.5 + 5.2 \times [C] + 5.8 \times [Mn] + 13.1 \times [Si]$$

【0078】

〔関係式4〕

$$303.78 - 85.22 \times \ln(D) > 27$$

上記の関係式1～関係式4において、 D は上記熱延鋼板のフェライトの平均結晶粒サイズ（ μm ）を意味し、 $[C]$ 、 $[Si]$ 及び $[Mn]$ はそれぞれ上記熱延鋼板の炭素（C）、シリコン（Si）及びマンガン（Mn）の含量（重量%）を意味する。

【0079】

また、前述の製造方法により製造された熱延鋼板は、350MPa以上の降伏強度及び27J以上の-20℃シャルピー衝撃エネルギーを有するだけでなく、長さ×幅×厚さが80×20×2mmの試験片を準備して曲げ振動モード（flexural vibration mode）で1650Hzの周波数に対して測定した振動減衰比が100×10⁻⁶以上のレベルであり、電気比抵抗が30×10⁻⁸Ωm以上のレベルを満たすことがで

きる。

【0080】

したがって、本発明の一側面によれば、降伏強度、振動減衰比、電気比抵抗及び低温靱性に優れ、真空列車チューブ用に好適な物性を有する熱延鋼板の製造方法を提供することができる。

【実施例】

【0081】

以下、具体的な実施例を挙げて、本発明の真空列車チューブ用熱延鋼板及びその製造方法についてより詳細に説明する。以下の実施例は、本発明の理解のためのものであり、本発明の権利範囲を特定するためのものではないことに留意する必要がある。本発明の権利範囲は、特許請求の範囲に記載された事項、及びそれにより合理的に類推される事項によって決定されることができる。

【0082】

（実施例）

以下の表1の合金組成を備える厚さ250mmの鋼スラブを準備した後、表2の工程条件を適用して厚さ15mmの熱延鋼板を製造した。以下の表1に記載されていない合金成分は不純物及び残部Feを意味し、「－」の表示は誤差範囲内で0wt%に近接した場合を意味する。

【0083】

【表1】

鋼種	合金組成 (wt%)					
	C	Si	Mn	Ti	Nb	V
A	0.07	2.0	1.3	－	－	－
B	0.1	1.8	1.5	－	－	－
C	0.07	1.8	1.1	－	0.045	－
D	0.11	1.0	0.8	－	－	－
E	0.02	0.5	1.1	－	－	－
F	0.3	2.0	1.1	－	－	－

【0084】

【表2】

試験片 No.	鋼種	工程条件			関係式 5
		スラブ 加熱温度 (T_1 , °C),	仕上げ 圧延温度 (T_2 , °C)	巻取温度 (T_3 , °C)	
1	A	1250	950	650	1.2
2	A	1200	900	650	-3.8
3	A	1300	1000	750	10.7
4	B	1200	950	680	1.1
5	C	1250	950	660	1.2
6	D	1250	960	650	1.9
7	E	1250	950	650	1.2
8	F	1250	950	650	1.2

【0085】

各試験片の微細組織及び機械的物性を分析して表3に記載し、各試験片の関係式1～関係式4を満足するか否かを表3に併せて記載した。微細組織は、ナイトル（Nitral）エッチング法で各試験片をエッチングした後、500倍率の光学顕微鏡を用いて測定した。フェライトの結晶粒サイズはASTM E112に従って測定した。図1は、試験片1の微細組織の観察に用いられた光学顕微鏡写真である。

【0086】

KS B 0802及びKS B 0810に従って機械的物性を測定し、測定された降伏強度、降伏比及び -21°C でのシャルピー衝撃靱性を表3に併せて記載した。電気比抵抗は、KS C IEC 60404に従って測定し、その値を表3に記載した。

【0087】

振動減衰比は、長さ×幅×厚さが $80 \times 20 \times 2\text{ mm}$ の試験片を準備した後、IMCEのRFDA LTV800を使用して常温で測定した。曲げ振動モード（flexural vibration mode）で打撃した後、当該試験片の振動モードのうち1stモードに該当する1650 Hz領域の振動減衰比を測定して分析し、その結果を表3に記載した。

【0088】

【表3】

試験片 No.	鋼種	微細組織	フェライトの平均結晶粒サイズ (D, μm)	式 1	式 2	式 3	式 4	振動減衰比 ($\times 10^{-6}$)	降伏強度 (MPa)	電気比抵抗 ($\times 10^{-8} \Omega\text{m}$)	シャルピーエネルギー (J, @ -21°C)
1	A	F+P	20	408.2	122.0	43.6	48.5	122	405	44	39
2	A	F+P	9	452.4	98.9	43.6	116.5	96	425	45	82
3	A	F+P	35	386.7	133.4	43.6	0.8	132	358	43	2
4	B	F+P	22	412.5	125.9	42.3	40.4	130	410	42	41
5	C	F+P	8	426.8	94.6	39.8	126.6	95	430	38	35
6	D	F+P	24	289.9	127.6	27.8	32.9	132	290	28	31
7	E	F+P	22	320.9	134.1	35.6	40.4	132	322	36	37
8	F	F+P	21	495.3	92.5	43.6	44.3	95	470	79	41

【0089】

表1～表3に記載されたように、本発明の合金組成、工程条件及び関係式1～4を満たす試験片は、350 MPa以上の降伏強度、27 J以上の -20°C シャルピー衝撃エネルギー、 $30 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ 以上の電気比抵抗及び 100×10^{-6} 以上の振動減衰比を同時に満たす。これに対し、本発明が制限する条件のうちいずれか一つ以上を満たさない試験片は、350 MPa以上の降伏強度、27 J以上の -20°C シャルピー衝撃エネルギー、 $30 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ 以上の電気比抵抗及び 100×10^{-6} 以上の振動減衰比を同時に満たさないことが分かる。

【0090】

また、従来材との比較のために、既存の構造用鋼材であるEN-S355についても同じ条件で試験を行い、EN-S355の場合、同じ条件で測定された振動減衰比は 60×10^{-6} のレベルに過ぎないことが確認できた。図2は、光学顕微鏡を用いて撮影したEN-S355の微細組織の観察に用いられた写真である。

【0091】

したがって、本発明の一側面によれば、降伏強度、振動減衰比、電気比抵抗及び低温靱性に優れ、真空列車チューブ用に好適な物性を有する熱延鋼板及びその製造方法を提供す

ることができる。

【 0 0 9 2 】

以上のように、実施例を挙げて本発明を詳細に説明したが、これと異なる形態の実施例も可能である。よって、以下に記載された特許請求の範囲の技術的思想及び範囲は実施例に限定されない。

10

20

30

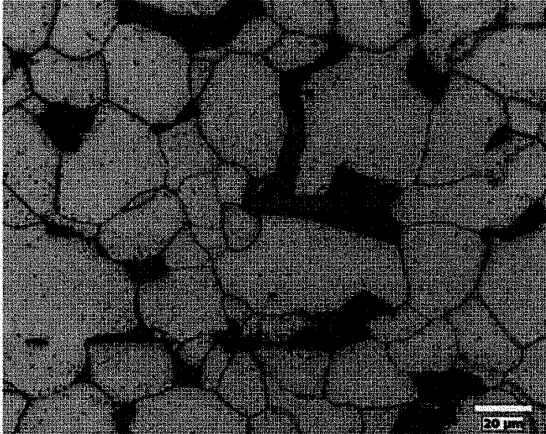
40

50

【図面】

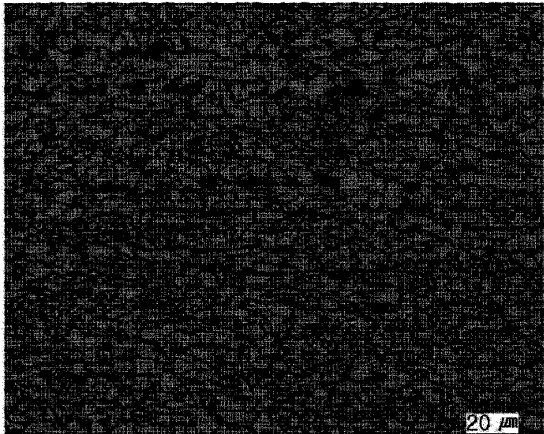
【図 1】

[図1]



【図 2】

[図2]



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 キム、 ハク-ジュン
大韓民国 37877 キョンサンブクド ポハン-シ ナム-グ ドンヘアン-ロ 6262 ポハ
ン アイアン アンド スティール ワークス 気付
- (72)発明者 キム、 ハン-スン
大韓民国 06194 ソウル カンナム-グ テヘラン-ロ 440 ポスコ センター
- (72)発明者 ラ、 スン-ミン
ドイツ国 65760 エシュボルン メルゲンサレラリ 10-12
- (72)発明者 チョ、 ウ-ヨン
大韓民国 21985 インチョン ヨンス-グ ソンドクァハク-ロ 100 ポスコ
- 審査官 鈴木 葉子
- (56)参考文献 特開2013-122072 (JP, A)
国際公開第2020/039979 (WO, A1)
特開平11-152544 (JP, A)
特開2000-169935 (JP, A)
特開2012-012623 (JP, A)
特開2007-291511 (JP, A)
特開2006-124773 (JP, A)
国際公開第2020/169411 (WO, A1)
中国特許出願公開第107697080 (CN, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 38/00-38/60
C21D 8/00-8/10