

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/202405 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/18 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
C21D 9/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/001010
- (22) 国際出願日: 2024年1月16日(16.01.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-049057 2023年3月24日(24.03.2023) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 安藤 佳祐(ANDO Keisuke); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E

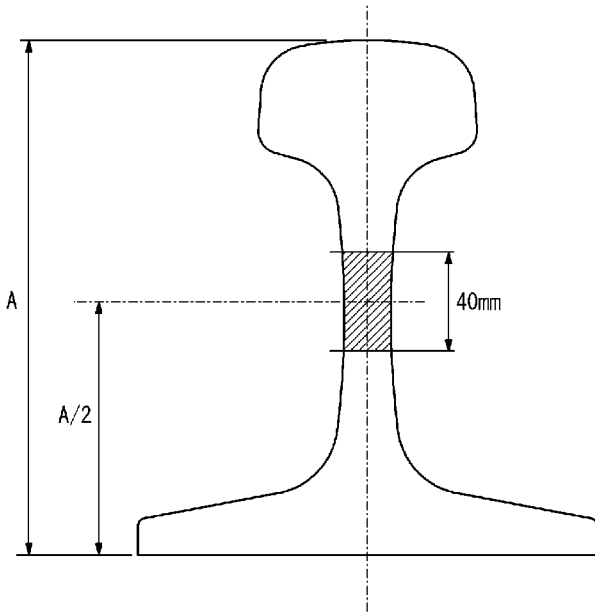
スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).
本庄 稔(HONJO Minoru); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 杉村 憲司 (SUGIMURA Kenji); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目2番1号 霞が関コモンゲート西館36階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: RAIL AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: レールおよびその製造方法



(57) Abstract: Provided is a rail excellent in breakage resistance of a rail web. This rail has the composition containing C: 0.70-1.20% by mass, Si: 0.10-1.20% by mass, Mn: 0.10-1.80% by mass, P: 0.035% by mass or less, S: 0.020% by mass or less and Cr: 0.05-1.80% by mass with the balance being Fe and inevitable impurities. When the Vickers hardness at a depth of 0.5 mm from the surface of the rail web is measured in the range of ± 17.5 mm above and below the central position of the rail height, the average of the Vickers hardness is Hv 280 or more and the standard deviation is 5 or less.

(57) 要約: レール腹部の耐折損性に優れたレールを提供する。C: 0.70~1.20質量%、Si: 0.10~1.20質量%、Mn: 0.10~1.80質量%、P: 0.035質量%以下、S: 0.020質量%以下、およびCr: 0.05~1.80質量%を含有し、残部がFeおよび不可避の不純物からなる成分組成を有し、レール腹部の表面から深さ0.5mmの位置におけるビッカース硬さを、レール高さ中央位置より上下に ± 17.5 mmの範囲について測定したとき、ビッカース硬さの平均値がHv280以上であり、標準偏差が5以下である、レールである。



WO 2024/202405 A1

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： レールおよびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、レールおよびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 鉍石の運搬等を主体とする高軸重鉄道では、貨車の車軸にかかる荷重は客車に比べて遥かに高く、レールの使用環境も過酷である。そのため、使用されるレールには、従来より、耐摩耗性重視の観点から主としてパーライト組織を有する鋼が使用されてきた。

[0003] 近年においては、鉄道による輸送の効率化のために貨車への積載重量のさらなる増加が進められている。加えて、輸送力の増強により、レールを通過する車輪の数も増加している。

[0004] 車輪の通過によって、曲線区間に敷設された外軌レールの腹部には繰り返しの曲げ応力が加わる。この結果、腹部折損に伴うレールの交換頻度が年々増加する傾向にある。そのため、レール腹部の耐折損性を向上させたレール鋼が求められるようになってきている。

[0005] 前述した背景の下、レール腹部に着目した様々な研究が行われている。例えば、特許文献1には、腹部を15°C/sec以上の冷却速度で急冷したのち、250～450°Cの温度に冷却に冷却停止し、ベイナイト変態が30%以上になったところで、Ms点以下まで冷却してマルテンサイト組織を得ることで腹部を高靱性の焼戻しマルテンサイト組織とする方法が開示されている。

[0006] 特許文献2には、頭頂から上首部または腹部まで高圧の気体もしくは含水気体で冷却することにより圧縮の残留応力を付与し、軌条締結部の耐破壊特性を向上させる、軌条の製造方法が開示されている。

[0007] 特許文献3には、所定の成分組成を有し、レール柱部の断面の金属組織の90面積%以上がパーライト組織であり、前記レール柱部の前記断面の硬さの最小値がHv300以上であり、前記レール柱部の前記断面の硬さの最大

値と前記最小値との差がHv40以下である、腹部の耐疲労損傷性に優れたレールが開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開昭62-99438号公報
特許文献2：特開昭59-47326号公報
特許文献3：国際公開第2020/189232

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] しかしながら、上記従来技術には、未だ解決すべき以下のような問題があった。特許文献1の開示技術は、ベイナイト変態が始まるまで温度を保持する必要があるため、生産能率が低い。また、特許文献2の開示技術は、頭部の耐摩耗性/耐疲労損傷性を得ることが最重要であるため、所望の腹部のき裂進展抑止能力が得られるとは限らず、製造条件によってはき裂感受性の高いマルテンサイト組織を生成する可能性がある。さらに、特許文献3に記載の技術についても、成分と製造条件の組み合わせによっては表層硬さにばらつきが生じる場合があり、腹部の耐折損性が十分であるとは言い難い。
- [0010] 本発明は上述した問題を有利に解決すべくなされたもので、レール腹部の耐折損性に優れたレールをその製造方法とともに提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0011] 本発明者らは、上記の課題を解決するため、C、Si、MnおよびCrの含有量を変化させたレールを作製し、レール腹部の硬さや三点曲げ特性を鋭意調査した。その結果、腹部表層硬さを一定値以上確保し、さらに前記位置における硬さのばらつきを厳密に制御することで、優れた耐折損性が得られることを見出した。
- [0012] 本発明は、上記の知見に立脚するものであり、その要旨構成は次のとおり

である。

[1] C : 0.70~1.20質量%、

Si : 0.10~1.20質量%、

Mn : 0.10~1.50質量%、

P : 0.035質量%以下、

S : 0.020質量%以下、および

Cr : 0.05~1.80質量%を含有し、

残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有し、

レール腹部の表面から深さ0.5mmの位置におけるビッカース硬さを、レール高さ中央位置より上下に±17.5mmの範囲について測定したとき、ビッカース硬さの平均値がHv280以上であり、標準偏差が5以下である、
レール。

[2] 前記成分組成が、さらに、

V : 0.30質量%以下、

Cu : 1.0質量%以下、

Ni : 1.0質量%以下、

Nb : 0.05質量%以下、

Mo : 2.0質量%以下、

Al : 0.07質量%以下、

W : 1.0質量%以下、

Co : 1.0質量%以下、

B : 0.005質量%以下、

Ti : 0.05質量%以下、

Sb : 0.05質量%以下、

Mg : 0.01質量%以下、

Ca : 0.02質量%以下、および

Sn : 0.05質量%以下

からなる群より選ばれる少なくとも1種を含有する、 [1] のレール。

[3] [1] 又は [2] のレールの製造方法であって、

[1] 又は [2] に記載の成分組成を有する鋼素材を熱間圧延してレールを製造するにあたり、熱間圧延後の冷却が、レール腹部について、レール高さ中央位置、レール高さ中央位置より20mm上方の位置およびレール高さ中央位置より20mm下方の位置の各位置における、750℃以上の冷却開始温度から450~600℃の冷却停止温度までの平均冷却速度が0.4~5.0℃/secであり、かつ各位置における平均冷却速度の差が0.5℃/sec以内となるように行われる、レールの製造方法。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、レール腹部の耐疲折損性に優れたレールをその製造方法とともに提供することができる。本発明のレールは、高軸重鉄道用レールの高寿命化や鉄道事故防止に寄与するものであり、産業上有益である。本発明のレールの製造方法は、本発明のレールを安定的に製造することができ、産業上有益である。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]レール断面図である。

[図2]レール腹部のビッカース硬さ測定用試験片を採取する位置を示す図である。

[図3]レールの腹部の冷却方法を示す模式図である。

[図4]レール腹部の三点曲げ試験用試験片を採取する位置を示す図である。

[図5]レール腹部の三点曲げ試験用試験片の形状を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0015] <レールの部位>

はじめに、図1のレール断面図を参照して、本発明のレールの各部位の呼称を説明する。図1に示されるレール1において、11はレール頭部、12はレール腹部、13はレール足部を示す。以下において、レール頭部、レール腹部、レール足部は、それぞれ、頭部、腹部、足部ということもある。

[0016] <レールの成分組成>

次に、本発明のレールの鋼の成分組成について説明する。以下の説明における「%」は、特に断らない限り「質量%」を表すものとする。

[0017] C : 0.70~1.20%

Cはパーライト組織の強度、すなわち耐折損性を確保するための必須元素である。C含有量が0.70%未満では、優れた耐折損性を得ることが難しい。また、C含有量が1.20%を超えると、熱間圧延後の冷却中に多量の初析セメンタイトがオーステナイト粒界に生成し、耐折損性の低下を招く。なお、初析セメンタイトは、C含有量が1.20%以下の場合にも存在するが、生成する量が微量であるため、耐折損性への影響は軽微である。これらの点から、C含有量は0.70~1.20%の範囲とし、好ましくは0.70~0.89%の範囲であり、より好ましくは0.70~0.85%の範囲である。

[0018] Si : 0.10~1.20%

Siは、脱酸剤としての効果に加え、パーライト平衡変態温度を上昇させ、ラメラ間隔を細かくすることにより、パーライト組織の強化すなわち耐折損性の向上に寄与する元素である。この点から、Si含有量は0.10%以上である必要があるが、1.20%を超えると表層部にベイナイトやマルテンサイト組織が生じ易くなるため、硬さのばらつきが助長され、その結果、耐折損性が低下する。さらにSiの酸化物が増加するため、溶接性も劣化する。これらの点から、Si含有量は0.10~1.20%の範囲とし、好ましくは0.15~1.10%の範囲であり、より好ましくは0.20~1.00%の範囲である。

[0019] Mn : 0.10~1.50%

Mnは、パーライト変態温度を低下させてラメラ間隔を細かくすることにより、パーライト組織の強化すなわち耐折損性の向上に寄与する元素である。Mn含有量が0.10%未満では、十分な効果が得られない。一方、Mn含有量が1.50%を超えると表層部にベイナイトやマルテンサイト組織が生じ易くなるため、硬さのばらつきが助長され、その結果、耐折損性が低下する。さらに、Mnは、共析点を低C側へ移動させる作用を有するため、過度の添加は初析セメンタイトの生成を助長し、耐折損性の低下を招く。これらの点から、Mn含有

量は0.10～1.50%の範囲とし、好ましくは0.20～1.40%の範囲であり、より好ましくは0.30～1.30%での範囲である。

[0020] P : 0.035%以下

Pは、0.035%を超える量で含有させると耐折損性および延性を劣化させる。したがって、P含有量は0.035%以下とし、好ましくは0.020%以下である。P含有量の下限は特に限定されず0%であってもよいが、工業的には0%超となるのが通例であり、P含有量を過度に低下させることは精錬コストの増加を招く。経済性の観点からは、P含有量を0.001%以上とすることが好ましい。

[0021] S : 0.020%以下

Sは、主にA系介在物の形態で鋼中に存在する元素であるが、S含有量が0.020%を超えると、この介在物量が著しく増加すると同時に粗大な介在物を生成するため、耐折損性および延性の悪化を招く。したがって、S含有量は0.020%以下とし、好ましくは0.015%以下であり、より好ましくは0.010%以下である。S含有量の下限は、特に限定されず0%であってもよいが、工業的には0%超となるのが通例であり、S含有量を過度に低下させることは精錬コストの増加を招く。経済性の観点からは、S含有量を0.0005%以上とすることが好ましい。

[0022] Cr : 0.05～1.80%

Crは、パーライト平衡変態温度を上昇させ、ラメラ間隔を細かくすることにより、パーライト組織の強化すなわち耐折損性の向上に寄与する元素である。Cr含有量が0.05%未満では、十分な効果が得られない。一方、Cr含有量が1.80%を超えると鋼の焼入れ性が高くなり、表層部にベイナイトやマルテンサイト組織が生じ易くなるため、硬さのばらつきが助長され、その結果、耐折損性が低下する。これらの点から、Cr含有量は0.05～1.80%の範囲とし、好ましくは0.10～1.60%の範囲であり、より好ましくは0.15～1.40%の範囲である。

[0023] 本発明で用いられるレールの成分組成は、上記の必須成分に加えて、以下の中から選ばれる少なくとも1種を任意に含有していてもよい。

V : 0.30質量%以下、Cu : 1.0質量%以下、Ni : 1.0質量%以下、Nb : 0.05質量%以下、Mo : 2.0質量%以下、Al : 0.07質量%以下、W : 1.0質量%以下、Co : 1.0質量%以下、B : 0.005質量%以下、Ti : 0.05質量%、Sb : 0.05質量%以下、Mg : 0.01質量%以下、Ca : 0.02質量%以下、およびSn : 0.05質量%以下。

以下、上記の任意元素について理由を説明する。

[0024] V : 0.30%以下

Vは、鋼中で炭窒化物を形成して基地中へ分散析出して耐折損性を向上させる元素である。V含有量が0.30%を超えると、耐折損性や延性の劣化に加え、合金コスト、すなわちレールの製造コストも増加する。これらの点から、成分組成がVを含有する場合、V含有量は0.30%を上限とすることが好ましい。耐折損性を向上させる効果を発現させる点から、V含有量は0.001%以上であることが好ましい。V含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.15%の範囲である。

[0025] Cu : 1.0%以下

Cuは、Crと同様に固溶強化により鋼のさらなる高強度化を図ることができる元素である。Cu含有量が1.0%を超えるとCu割れが生じ易くなるため、成分組成がCuを含有する場合は、Cu含有量は1.0%以下であることが好ましい。Cu含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.5%である。

[0026] Ni : 1.0%以下

Niは、延性を劣化することなく鋼の高強度化を図ることができる元素である。また、Cuと複合添加することによりCu割れを抑制することができるため、成分組成がCuを含有する場合にはNiも含有することが望ましい。ただし、Ni含有量が1.0%を超えると鋼の焼入れ性がより上昇し、マルテンサイトやベイナイトの生成量が多くなり、耐折損性が低下する。これらの点から、成分組成がNiを含有する場合は、Ni含有量は1.0%以下であることが好ましい。Ni含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.5%である。

[0027] Nb : 0.05%以下

Nbは、レールを成形するための熱間圧延中および熱間圧延後に、鋼中のCと結び付いて炭化物として析出し、パーライトコロニーサイズの微細化に有効に作用し、その結果、耐折損性や耐摩耗性、耐疲労損傷性、延性を大きく向上させ、レールの長寿命化に大きく寄与する元素である。ただし、Nb含有量が0.05%を超えても、各特性の向上効果が飽和し、含有量上昇に見合う効果が得られない。これらの点から、成分組成がNbを含有する場合、Nb含有量の上限は0.05%であることが好ましい。レールの長寿命化に対して十分な効果を得る点からは、Nb含有量は0.001%以上であることが好ましい。Nb含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.03%である。

[0028] Mo : 2.0%以下

Moは、固溶強化によりさらなる鋼の高強度化を図ることができる元素である。また、Moは、共析点を高C側へ移動させる作用を有するため、初析セメントタイトの生成を抑制する作用も有する。ただし、Mo含有量が2.0%を超えると、鋼中に生ずるベイナイト量が多くなり、耐折損性が低下する。これらの点から、成分組成がMoを含有する場合は、Mo含有量は2.0%以下であることが好ましい。高強度化の点から、Mo含有量は0.001%以上であることが好ましい。Mo含有量のより好ましい範囲は、0.001~1.0%である。

[0029] Al : 0.07%以下

Alは、脱酸剤として添加することができる元素である。Al含有量が0.07%を超えると、Alの有する高い酸素との結合力のため、鋼中に酸化物系介在物が多量に生成し、その結果、鋼の耐折損性や延性が低下する。そのため、成分組成がAlを含有する場合、Al含有量は0.07%以下であることが好ましい。Al含有量の下限は特に限定されないが、脱酸のためには0.001%以上であることが好ましい。Al含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.03%である。

[0030] W : 1.0%以下

Wは、レール形状への成形を行う熱間圧延中および熱間圧延後に炭化物として析出し、析出強化によりレールの強度や耐折損性を向上させる元素である。W含有量が1.0%を超えると鋼中にマルテンサイトが生成し、その結果、耐

折損性が低下する。これらの点から、成分組成がWを含有する場合、W含有量は1.0%以下であることが好ましい。W含有量の下限は特に限定されないが、上記の強度や耐折損性を向上させる作用を発現させるためには0.001%以上であることが好ましい。W含有量のより好ましい範囲は0.001~0.5%である。

[0031] Co : 1.0%以下

Coは、パーライト平衡変態温度を上昇させ、ラメラ間隔を細かくすることにより、さらなる鋼の高強度化を図ることができる元素である。また、Coは、初析セメンタイトの析出を抑制する作用も有する。Co含有量が1.0%を超えると鋼中にマルテンサイトが生成し、その結果、耐折損性が低下する。これらの点から、成分組成がCoを含有する場合、Co含有量は1.0%以下であることが好ましい。Co含有量の下限は特に限定されないが、高強度化のためには0.001%以上であることが好ましい。Co含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.5%である。

[0032] B : 0.005%以下

Bは、レール形状への成形を行う熱間圧延中および熱間圧延後に、鋼中で窒化物として析出し、析出強化により鋼の強度や耐折損性を向上させる元素である。B含有量が0.005%を超えるとマルテンサイトが生成し、その結果、耐折損性が低下する。これらの点から、成分組成がBを含有する場合、B含有量は0.005%以下であることが好ましい。B含有量の下限は特に限定されないが、上記の強度や耐折損性を向上させる作用を発現させるためには0.001%以上であることが好ましい。B含有量のより好ましくは0.001~0.003%である。

[0033] Ti : 0.05%以下

Tiは、レール形状への成形を行う熱間圧延中および熱間圧延後に、炭化物、窒化物または炭窒化物として鋼中で析出し、析出強化により鋼の強度や耐折損性を向上させる元素である。Ti含有量が0.05%を超えると、粗大な炭化物、窒化物または炭窒化物が生成し、その結果、耐折損性が低下する。これらの点から、成分組成がTiを含有する場合、Ti含有量は0.05%以下であることが好ましい。Ti含有量の下限は特に限定されないが、上記の強度や耐折損

性を向上させる作用を発現させるためには0.001%以上であることが好ましい。Ti含有量のより好ましい範囲は、0.001~0.03%である。

[0034] Sb : 0.05%以下

Sbは、熱間圧延前にレール鋼素材を加熱炉で再加熱する際に、その再加熱中の鋼の脱炭を防止するという顕著な効果を有する元素である。Sb含有量が0.05%を超えると、耐折損性および靱性に悪影響を及ぼすため、成分組成がSbを含有する場合、Sb含有量は0.05%以下であることが好ましい。Sb含有量の下限は特に限定されないが、脱炭層を軽減する効果を発現させるためには0.01%以上であることが好ましい。Sb含有量のより好ましい範囲は0.001~0.03%である。

[0035] Mg : 0.01%以下

Mgは、酸素と結合しMgOを析出してさらなる高強度化を図るための元素である。Mg含有量が0.01%を超えると、MgOの増加により鋼の耐折損性および靱性に悪影響を及ぼすため、成分組成がMgを含有する場合、Mg含有量は0.01%以下であることが好ましい。Mg含有量の下限は特に限定されないが、上記強度を向上させる作用を発現させるためには0.001%以上であることが好ましい。Mg含有量のより好ましい範囲は0.001~0.005%である。

[0036] Ca : 0.02%以下

Caは、酸素と結合しCaOを析出してさらなる高強度化を図るための元素である。Ca含有量が0.02%を超えると、CaOの増加により鋼の耐折損性および靱性に悪影響を及ぼすため、成分組成がCaを含有する場合、Ca含有量は0.02%以下であることが好ましい。Ca含有量の下限は特に限定されないが、上記強度を向上させる作用を発現させるためには0.001%以上であることが好ましい。Ca含有量のより好ましい範囲は0.001~0.01%である。

[0037] Sn : 0.05%以下

Snは、熱間圧延前にレール鋼素材を加熱炉で再加熱する際に、その再加熱中の鋼の脱炭を防止するという顕著な効果を有する元素である。Sn含有量が0.05%を超えると、鋼の延性および靱性に悪影響を及ぼすため、成分組成がSn

を含有する場合、Sn含有量は0.05%以下であることが好ましい。Sn含有量の下限は特に限定されないが、脱炭層を軽減する効果を発現させるためには0.01%以上であることが好ましい。Sn含有量のより好ましい範囲は0.001~0.01%である。

[0038] 本発明のレールの鋼の成分組成において、上記の必須成分および任意成分の残部はFeおよび不可避免的不純物からなる。ここで、不可避免的不純物としては、N、O等が挙げられ、Nは0.008%まで、Oは0.004%まで許容できる。なお、原料、資材、製造設備等の状況によっては、N、O以外の不純物が不可避免的に鋼中に混入することがある。原料としては、鉄鉱石、還元鉄、スクラップ等が挙げられる。本発明の目的を阻害しない範囲であれば、上記不純物の混入も許容される。N、O以外の不純物としては、Pb、Zr、Bi、Zn、Se、As、Te、Tl、Cd、Hf、Ag、Hg、Ga、Ge、REM等が挙げられる。

[0039] <レールのミクロ組織>

本発明のレールは、パーライト系レールであり、レールのミクロ組織は、面積率で95%以上がパーライトである。パーライト以外の残部組織は、合計面積率で5%以下であれば、耐疲労き裂伝播特性に大きな影響を及ぼさないため許容される。残部組織としては、例えば、フェライト、初析セメントライト、ベイナイトおよびマルテンサイトが挙げられる。

[0040] <ビッカース硬さ>

本発明では、成分組成が単に上記の範囲を満足するだけでは不十分で、優れた腹部の耐折損性を得るためには、レール腹部について、レール高さ中央位置より上下にそれぞれ17.5mmの範囲（合計で35mmの範囲）において、当該箇所の表面から深さ0.5mmの位置におけるビッカース硬さHvを所定の範囲に制御することが重要である。すなわち、上記箇所のビッカース硬さの平均値を280以上、その標準偏差を5以下とする。耐折損性の向上効果を安定的が得られる点から、上記箇所の平均ビッカース硬さはHv300以上、かつ、標準偏差を4以下とすることが好ましい。

[0041] 図2において、レール高さは、足部の底面から頭頂部までの長さAで表され

ており、レール高さ中央位置は、レール高さAの中央位置（A/2位置）である。レール高さ中央位置より上下にそれぞれ17.5mmの範囲（合計で35mmの範囲）は、図2において斜線が付されている領域内にある。本発明のビッカース硬さは、例えば押圧荷重98Nで、当該箇所の表面から深さ方向に0.5mmの位置で、レール高さ中央位置より上下にそれぞれ17.5mmの範囲（合計で35mmの範囲）について、レール上部から下部に向かって1mmピッチで測定することができる。

[0042] なお、レール高さ中央位置より上下にそれぞれ17.5mmの範囲（合計で35mmの範囲）の硬さを所定の範囲とすることは、以下の理由による。

[0043] 前述のとおり、曲線区間に敷設された外軌レールの腹部には繰り返しの「曲げ応力」が加わる。一方で、レール腹部のレール高さ中央から上下方向17.5mm以内の範囲に、ロールマークや刻印が付与されている。本発明者らは、「曲げ応力」が加わった場合に、このロールマーク又は刻印の一部が、応力集中源となり、この部分から折損が発生することを突き止めた。本発明は、この知見に基づくものであり、レール腹部について、レール高さ中央から上下方向17.5mmの範囲の硬さを、所定の範囲に制御するものである。

[0044] このように、レール腹部のパーライト組織の強化に加え、レール腹部の表層部の硬さのばらつきを厳密に制御することで、局所軟化部への応力集中を抑制することが可能となり、レール腹部の耐折損性が大幅に向上する。優れたレール腹部の耐折損性は、レール一般に要求される特性であって、例えば直線区間に用いられるレール、レール腹部にロールマークや刻印が付与されていないレールの高寿命化や鉄道事故防止にも有効である。

[0045] <レールの形状>

本発明のレールの形状は特に限定されず、JIS E 1101:2001やBS EN13674-1:2011やAmerican Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA)などに記載のレールの形状とすることができる。

[0046] <レールの製造方法>

本発明のレールの製造方法について説明する。本発明のレールは、上述し

た成分組成を有する鋼素材に対して、下記の処理を順次施すことにより製造することができる。

[0047] レール素材として用いる鋼素材は、上述したレールの成分組成を有するものであり、任意の方法で製造できる。一般的には、鑄造、特に連続鑄造により前記鋼素材を製造することが好ましい。

[0048] (1)熱間圧延

鋼素材を加熱したのち、熱間圧延してレールの形状とすることができる。

[0049] (加熱温度)

熱間圧延に先立って施す鋼素材の加熱では、加熱温度は1350℃以下にすることが好ましい。加熱温度が1350℃を超えると、過度の昇温によって鋼素材が部分的に熔融し、レール内部に欠陥が発生するおそれがある。一方、加熱温度の下限は特に限定されないが、圧延時の変形抵抗を低減するため、1150℃以上とすることが好ましい。

[0050] (圧延仕上げ温度)

熱間圧延は、圧延仕上げ温度が850℃以上であることが好ましい。圧延仕上げ温度が850℃より低い場合、オーステナイト低温域にて圧延が行われることになり、オーステナイト結晶粒に加工歪が導入されるため、加速冷却により生成するパーライト組織の硬さにばらつきが生じやすくなる。そのため、圧延仕上げ温度は850℃以上にすることが好ましい。圧延仕上げ温度の上限は特に限定されないが、旧オーステナイト粒径が極端に粗大化すると、耐折損性や靱性が低下してしまうため、1050℃以下にすることが好ましい。ここで、圧延仕上げ温度は、最終圧延ミル入側におけるレール腹部中央部の表面温度であり、放射温度計で測定可能である。

[0051] その他の熱間圧延の条件は特に限定されない。

[0052] (2)加速冷却

熱間圧延後に冷却することによりレールを得ることができる。冷却においてレール腹部に対して加速冷却を行う。その際、レール高さをAとしたときに、レール高さ中央位置 (A/2位置)、レール高さ中央位置より20mm上方の位置

(上部20mm位置) およびレール高さ中央位置より20mm下方の位置(下部20mm位置)の各位置における、750°C以上の冷却開始温度から450~650°Cの冷却停止温度までの平均冷却速度を0.4~5.0°C/secとして、かつ、これら3つの位置における平均冷却速度の差が0.5°C/sec以内となるように制御する。

- [0053] 加速冷却の方法は特に限定されず、例えばオンライン熱処理設備を用いた冷却で実行することができる。冷却媒体は特に限定されず、空気、スプレー水、ミスト等から選択される1種以上を用いることができるが、空気を用いることが好ましい。
- [0054] この加速冷却において、レール高さ中央位置(A/2位置)、レール高さ中央位置より上下にそれぞれ20mmの位置(上部20mm位置および下部20mm位置)の平均冷却速度のいずれかが0.4°C/sec未満の場合、腹部表層のラメラ間隔が粗大化することに加え、初析セメンタイトが生成し易くなるため、耐折損性が低下する。加えて、低温域での冷却時間が増大するため生産性が低下し、レールの製造コストが増加するおそれがある。そのため、上記3つの位置における平均冷却速度は各々0.4°C/sec以上とし、好ましくは1.0°C/sec以上である。一方、上記3つの位置における平均冷却速度のいずれかが5.0°C/secを超える場合は、ベイナイトやマルテンサイト組織が生成し、耐折損性が低下する。そのため、上記範囲における平均冷却速度は各々5.0°C/sec以下とし、好ましくは4.0°C/sec以下である。
- [0055] さらに、上記3つの位置での平均冷却速度の差が0.5°C/secを超える場合、レール腹部表層の硬さのばらつきが大きくなるため、曲げ応力負荷時に局所軟化部での応力集中が起こり易くなり、耐折損性が低下する。そのため、上記3つの位置での平均冷却速度の差は0.5°C/sec以内とし、好ましくは0.3°C/sec以内である。3つの位置での平均冷却速度の差は、3つの位置での平均冷却速度のうち、一番大きな平均冷却速度と一番小さな平均冷却速度の差である。
- [0056] ここで、レール高さ中央位置(A/2位置)、上部20mm位置および下部20mm位置の平均冷却速度の制御について説明する。A/2位置に対して、A/2位置より

上部側および下部側は、熱の流入に関し、それぞれレール頭部および足部からの輻射熱と熱伝導の影響を受けやすい。A/2位置、上部20mm位置および下部20mm位置の3つの位置における平均冷却速度を適切な範囲内（0.4～5.0°C/sec）に制御し、かつ3つの位置での平均冷却速度の差を一定の範囲内（0.5°C/sec以内）に制御すれば、A/2位置より上下にそれぞれ20mmの範囲内（合計40mmの範囲内）における平均冷却速度が適切で、かつ均一となっているものと推測されている。

[0057] A/2位置に対し、A/2位置の上部側およびA/2位置の下部側の加速冷却を適切に強化することにより、上記3つの位置における平均冷却速度の差を安定して0.5°C/sec以内にすることができる。

[0058] 例えば、ノズルを、高さ方向に3段に、それぞれA/2位置、A/2位置の上部側、下部側を直射するように設置し、レールの温度と形状に合わせて、3つの位置の噴射量や冷却媒体の種類を変動させることができる。例えば、図3に示すようにエアノズルを3段に設置し、上部20mm位置の噴射量を最も多くし、下部20mm位置の噴射量を2番目の流量とし、A/2位置の噴射量を最も少ない量に設定することができる。

[0059] 加速冷却において平均冷却速度を決める上での温度は、A/2位置、上部20mm位置および下部20mm位置の表面温度を代表温度としている。これらは、放射温度計で測定可能である。ここで、冷却開始温度は、加速冷却開始時点の前記レール腹部の表面温度を放射温度計で測定した温度とし、冷却停止温度は、加速冷却停止後（復熱前）の前記レール腹部の表面温度を放射温度計で測定した温度とする。

[0060] 本発明の製造方法においては、熱間圧延後、レール腹部の表面温度について、上記の条件を満たすように冷却することが重要であり、この条件を満たせば、レールの他の部分（レール頭部、レール足部など）の冷却方法は特に限定されない。レール頭部および足部は放冷却してもよく、あるいは加速冷却を実施してもよい。

[0061] (3)その他

冷却後のレール材は、公知の処理に付してもよく、例えば冷間でローラー矯正を行ってもよい。

実施例

[0062] 以下、実施例に従って、本発明をより具体的に説明するが、本発明は実施例によって制限を受けるものではなく、本発明の趣旨に適合し得る範囲内で適宜変更することも可能であり、これらはいずれも本発明の技術的範囲に含まれる。

[0063] 表1に示す成分組成を有する鋼素材について、表2に示す条件で、鋼素材を加熱して熱間圧延を行い、熱間圧延後に加速冷却して、JIS E1101に準拠した60kgレール材を製造した。平均冷却速度は、冷却開始から冷却停止までの間の温度変化を単位時間(秒)あたりに換算して冷却速度(°C/sec)とした。なお、冷却停止後は放冷した。

実施例では、レールの腹部の加速冷却について、図3に示したエアノズルを用いて行い、冷却速度を変える場合には、その噴射空気量を適宜、変更した。比較例の試験No. 34では、図3に示したエアノズルの内、A/2高さに設置した1組のエアノズルのみを用いて加速冷却を行った。

加速冷却開始時点および停止時点で、レールの腹部の高さ方向の温度分布が測定できる2次元の放射温度計を用いて、A/2位置、上部20mm位置および下部20mm位置の表面温度を測定し、これら3つの位置における平均冷却速度を算出した。

[0064]

[表1]

No.	成分組成(質量%)																備考				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	Ni	Nb	Mo	Al	W	Co	B	Ti		Sb	Mg	Ca	Sn
1	0.78	0.46	1.48	0.011	0.003	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.85	1.02	0.43	0.014	0.005	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.82	0.15	0.20	0.013	0.007	1.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1.18	0.11	0.58	0.010	0.006	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.80	0.21	0.75	0.012	0.004	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.73	1.17	1.09	0.018	0.005	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.75	0.63	0.15	0.010	0.019	0.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.81	0.92	0.61	0.013	0.010	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.90	0.50	0.25	0.009	0.007	1.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.84	0.26	0.52	0.014	0.004	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.71	0.35	0.88	0.034	0.003	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0.83	0.43	0.70	0.011	0.003	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0.78	0.19	0.15	0.009	0.005	1.75	0.04	-	-	0.021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0.75	0.26	0.34	0.010	0.003	0.96	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0.73	0.34	0.29	0.012	0.004	0.77	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0.80	0.82	1.00	0.018	0.006	0.42	-	0.29	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.78	0.45	0.23	0.013	0.005	0.55	-	0.47	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0.75	0.38	0.16	0.011	0.003	0.26	-	0.95	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0.77	0.20	0.25	0.012	0.004	0.34	-	-	0.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0.80	0.51	0.33	0.009	0.005	0.79	-	-	0.048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	0.75	0.36	0.26	0.016	0.004	0.74	-	-	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0.74	0.15	0.56	0.011	0.003	0.45	-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.71	0.12	0.18	0.012	0.005	0.30	-	-	1.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	0.89	0.59	0.45	0.015	0.003	0.22	-	-	0.035	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0.83	0.43	0.92	0.010	0.006	0.53	-	-	0.088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0.79	0.47	0.26	0.009	0.004	0.48	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	0.77	0.20	0.39	0.018	0.005	0.24	-	-	-	0.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0.81	0.56	0.54	0.012	0.005	0.31	-	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-
29	0.83	0.62	0.12	0.015	0.007	0.25	-	-	-	-	-	-	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0.75	0.28	0.19	0.014	0.004	0.22	-	-	-	-	-	-	0.86	-	-	-	-	-	-	-	-
31	0.81	1.02	0.20	0.013	0.006	0.77	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.03	-	-	-	-	-	-
32	0.82	0.72	0.48	0.010	0.005	0.69	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.05	-	-	-	-	-	-
33	0.77	0.40	0.11	0.012	0.007	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-
34	0.80	0.23	0.67	0.011	0.011	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-	-
35	0.78	0.46	1.12	0.014	0.005	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	-	-	-	-
36	0.82	0.69	0.39	0.013	0.004	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	-	-	-
37	0.80	0.51	0.84	0.016	0.006	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	-	-
38	0.77	0.40	0.11	0.012	0.007	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.018	-	-
39	0.81	0.81	0.20	0.018	0.005	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-
40	0.88	0.23	0.45	0.015	0.006	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-
41	1.28	0.95	0.86	0.013	0.010	1.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	0.72	0.08	0.23	0.011	0.005	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	0.99	1.28	0.60	0.012	0.013	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	0.74	0.11	0.09	0.018	0.003	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	1.05	0.74	1.57	0.010	0.009	0.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	0.83	0.68	0.98	0.038	0.004	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	0.78	0.26	1.25	0.014	0.022	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	0.70	0.15	0.33	0.019	0.005	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	1.12	0.53	0.99	0.025	0.011	1.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

適合鋼

比較鋼

表1

[0065]

* 残部はFeおよび不可避の不純物である。
 ** 下線は適用範囲外を示す。

[表2]

表2

試験 No.	鋼 No.	製造条件								調査結果			備考
		加熱温度 [°C]	圧延仕上げ 温度[°C]	冷却開始 温度[°C]	冷却停止 温度[°C]	平均冷却速度[°C/sec]			平均冷却 速度の差 [°C/sec]	ビッカース硬さHv		三点曲げ 試験 ^{※2}	
						A/2位置 ^{※1}	20mm 上部位置	20mm 下部位置		平均値	標準偏差		
1	1	1250	880	750	530	3.4	3.5	3.2	0.3	385	3	優	発 明 例
2	2	1300	910	810	560	1.7	1.5	1.7	0.2	378	3	優	
3	3	1275	860	780	520	0.6	0.5	0.6	0.1	384	2	優	
4	4	1250	920	830	540	2.2	2.3	2.0	0.3	412	4	優	
5	5	1300	870	800	560	1.8	1.8	1.6	0.2	307	2	優	
6	6	1250	890	770	450	2.8	2.8	2.3	0.5	359	5	優	
7	7	1200	970	840	650	4.2	4.0	4.2	0.2	340	2	優	
8	8	1275	890	760	590	1.3	1.3	1.3	0.0	327	1	優	
9	9	1300	870	780	540	2.1	2.2	1.9	0.3	403	4	優	
10	10	1250	910	800	560	4.7	4.8	4.4	0.4	365	5	優	
11	11	1225	850	760	530	1.1	1.1	1.0	0.1	282	2	優	
12	12	1250	900	800	540	3.5	3.2	3.5	0.3	374	3	優	
13	13	1275	910	790	530	1.5	1.6	1.5	0.1	396	3	優	
14	14	1300	930	780	550	2.4	2.5	2.3	0.2	410	3	優	
15	15	1275	900	800	560	1.2	1.2	1.1	0.1	384	1	優	
16	16	1250	890	810	520	2.0	2.1	1.9	0.2	395	2	優	
17	17	1225	860	770	580	2.2	2.3	2.0	0.3	403	4	優	
18	18	1250	890	800	600	0.9	0.9	0.9	0.0	415	2	優	
19	19	1275	920	810	610	1.4	1.5	1.4	0.1	434	2	優	
20	20	1250	900	790	560	3.6	3.7	3.4	0.3	429	3	優	
21	21	1225	970	820	600	0.9	0.9	0.8	0.1	380	2	優	
22	22	1250	920	830	580	3.3	3.5	3.1	0.4	448	5	優	
23	23	1275	900	770	630	1.0	1.1	1.0	0.1	436	2	優	
24	24	1250	930	780	540	1.7	1.8	1.5	0.3	346	3	優	
25	25	1300	880	800	550	2.2	2.3	2.2	0.1	367	2	優	
26	26	1250	920	810	570	1.3	1.3	1.3	0.0	370	1	優	
27	27	1275	910	790	600	2.2	2.3	2.0	0.3	409	3	優	
28	28	1250	900	780	580	1.8	2.0	1.7	0.3	388	3	優	
29	29	1250	920	800	570	2.2	2.1	2.0	0.2	405	2	優	
30	30	1225	860	770	590	1.2	1.4	1.0	0.4	421	5	優	
31	31	1175	900	800	550	3.2	3.3	2.9	0.4	400	4	優	
32	32	1250	930	840	570	1.6	1.8	1.5	0.3	379	3	優	
33	33	1325	890	810	530	2.5	2.5	2.3	0.2	299	2	優	
34	34	1250	860	750	550	0.9	0.9	0.8	0.1	337	2	優	
35	35	1250	910	840	560	3.1	3.0	2.9	0.2	385	2	優	
36	36	1275	900	780	590	1.6	1.6	1.4	0.2	312	3	優	
37	37	1250	880	760	550	1.9	1.9		1.8	349	2	優	
38	38	1300	890	770	530	2.5	2.5	2.3	0.2	301	2	優	
39	39	1250	900	790	580	2.3	2.4	2.0	0.4	326	4	優	
40	<u>40</u>	1225	860	790	620	0.8	0.8	0.6	0.2	<u>246</u>	2	不良	
41	<u>41</u>	1250	940	830	500	3.8	3.9	3.4	0.5	<u>462</u>	<u>2</u>	不良	
42	<u>42</u>	1250	900	800	640	1.3	1.1	1.2	0.2	<u>253</u>	2	不良	
43	<u>43</u>	1300	970	850	490	4.4	4.5	4.1	0.4	438	<u>2</u>	不良	
44	<u>44</u>	1225	850	760	550	1.4	1.4	1.3	0.1	<u>255</u>	2	不良	
45	<u>45</u>	1250	950	840	500	3.4	3.6	3.1	0.5	449	<u>2</u>	不良	
46	<u>46</u>	1200	900	770	560	2.1	2.0	1.8	0.3	360	2	不良	
47	<u>47</u>	1300	920	790	550	2.4	2.5	2.2	0.3	357	4	不良	
48	<u>48</u>	1250	880	800	600	0.5	0.5	0.5	0.0	<u>244</u>	1	不良	
49	<u>49</u>	1275	900	810	510	4.2	4.0	4.2	0.2	442	<u>2</u>	不良	
50	5	1250	900	780	600	0.4	<u>0.3</u>	0.4	0.1	<u>278</u>	2	不良	
51	3	1225	920	770	500	5.0	4.9	5.2	0.3	420	<u>2</u>	不良	
52	8	1275	880	790	530	2.2	1.8	1.6	<u>0.6</u>	349	<u>2</u>	不良	

※ 下線は適用範囲外を示す。
 ※1 Aはレール高さを示す(A/2はレール高さ中央位置に対応)。
 ※2 優:2本とも未破断、不良:少なくとも1本が破断

[0066] 得られたレールはパーライト系レールである。各レールについて、腹部のビッカース硬さおよび三点曲げ特性を評価した。表2に試験結果を示す。以下にそれぞれの評価内容について詳細に説明する。

[0067] <ビッカース硬さ>

加速冷却完了後のレール先端部を切断後、レール腹部から、図2に示すレール高さ中央位置（A/2位置）より上下にそれぞれ20mmの範囲内（合計40mmの範囲内）の部分、レール腹部表面を含むようにして採取し、ビッカース硬さ測定用試験片とした。試験片を樹脂に埋込み、鏡面研磨を施し、レール腹部表面から深さ0.5mmの位置におけるビッカース硬さを、レール高さ中央位置（A/2位置）から上下方向にそれぞれ17.5mmとなる範囲（合計で35mmの範囲）について、荷重98Nでレール上部から下部に向かって1mmピッチで36点測定した。次いで、得られた各ビッカース硬さから平均値および標準偏差を求めた。

[0068] <三点曲げ特性>

レール腹部から、図4に示すように、レール高さ中央位置（A/2位置）より上方に17.5mmの位置および下方に17.5mmの位置の2か所から、レール腹部表面を含むようにして、試験片を採取した。試験片の形状は、図5に示すとおりであり、長さL=100mm、幅H=10mm、厚さB=10mmである。試験片のうちレール腹部表面に相当する面には、長さLの中央L/2部分にノッチを形成した。ノッチ部の深さN=0.5mm、ノッチ部の幅C=1.0mmであって、ノッチ部の底部は曲率半径R=0.5mmとした。

試験片を、支点間距離50mm、曲率半径17mmの支点の上に、ノッチ部を下にした状態でセットし、曲率半径16mmの圧子を用いて、ノッチ部の反対側より押し込み速度=0.1mm/secで曲げ歪みを付与した。上記2か所から採取した試験片について試験を行い、1.0mmの変位量において両者とも未破断の場合、レール腹部の耐折損性に優れると評価した。

[0069] 表2に示すように、発明例のレール材の試験結果（表2中の試験No.1~39）は、レール腹部の表層の硬さのばらつきが小さく、いずれも良好な三点曲げ特性を示した。一方、レール材の成分組成が本発明の条件を満足しないか、あるいは本発明の範囲外の製造方法を適用しなかった比較例（表2中の試験No.40~52）は、三点曲げ試験において所定の変位量に達する前に破断した。

産業上の利用可能性

[0070] 本発明によれば、レール腹部の耐折損性に優れたレールをその製造方法とともに提供することができる。本発明のレールは、高軸重鉄道用レールの高寿命化や鉄道事故防止に寄与するものであり、産業上有益である。本発明のレールの製造方法は、本発明のレールを安定的に製造することができ、産業上有益である。

符号の説明

- [0071] 1 レール
- 1 1 レール頭部（頭部）
 - 1 2 レール腹部（腹部）
 - 1 3 レール足部（足部）

請求の範囲

[請求項1]

C : 0.70~1.20質量%、
Si : 0.10~1.20質量%、
Mn : 0.10~1.50質量%、
P : 0.035質量%以下、
S : 0.020質量%以下、および
Cr : 0.05~1.80質量%を含有し、
残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有し、
レール腹部の表面から深さ0.5mmの位置におけるビッカース硬さを
、レール高さ中央位置より上下に±17.5mmの範囲について測定したと
き、ビッカース硬さの平均値がHv280以上であり、標準偏差が5以下で
ある、
レール。

[請求項2]

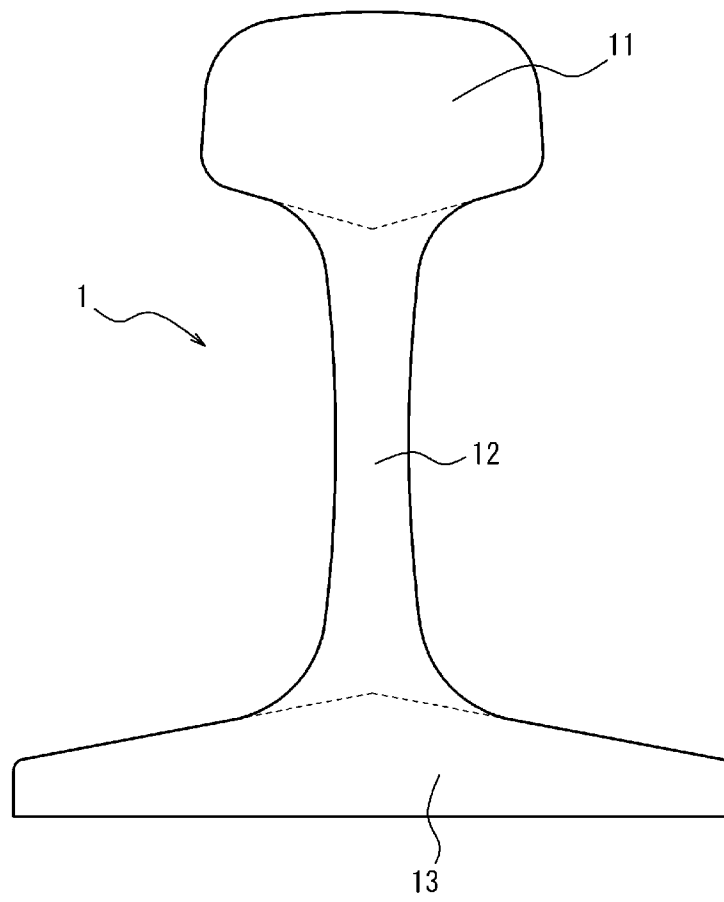
前記成分組成が、さらに、
V : 0.30質量%以下、
Cu : 1.0質量%以下、
Ni : 1.0質量%以下、
Nb : 0.05質量%以下、
Mo : 2.0質量%以下、
Al : 0.07質量%以下、
W : 1.0質量%以下、
Co : 1.0質量%以下、
B : 0.005質量%以下、
Ti : 0.05質量%以下、
Sb : 0.05質量%以下、
Mg : 0.01質量%以下、
Ca : 0.02質量%以下、および
Sn : 0.05質量%以下

からなる群より選ばれる少なくとも1種を含有する、請求項1に記載のレール。

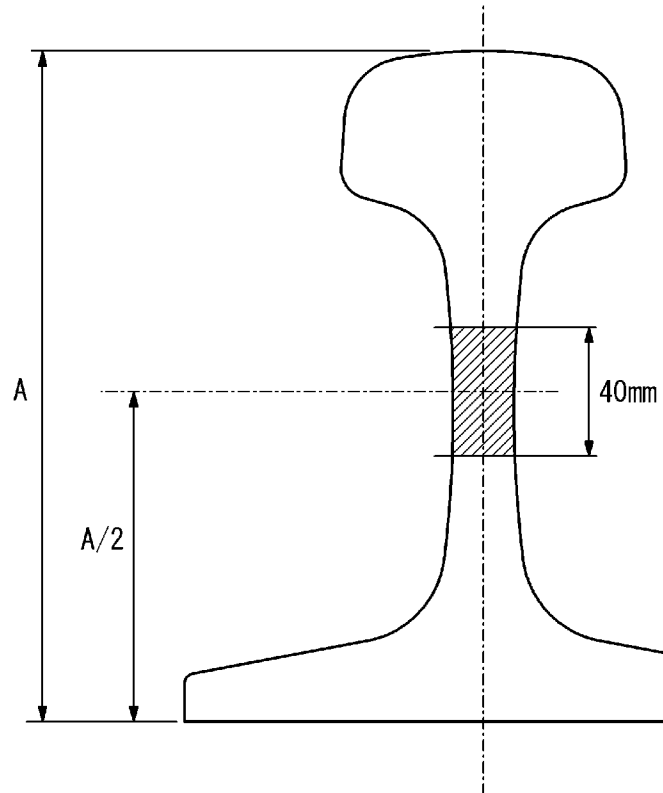
[請求項3]

請求項1又は2に記載のレールの製造方法であって、
請求項1又は2に記載の成分組成を有する鋼素材を熱間圧延してレールを製造するにあたり、熱間圧延後の冷却が、レール腹部について、レール高さ中央位置、レール高さ中央位置より20mm上方の位置およびレール高さ中央位置より20mm下方の位置の各位置における、750℃以上の冷却開始温度から450～650℃の冷却停止温度までの平均冷却速度が0.4～5.0℃/secであり、かつ各位置における平均冷却速度の差が0.5℃/sec以内となるように行われる、
レールの製造方法。

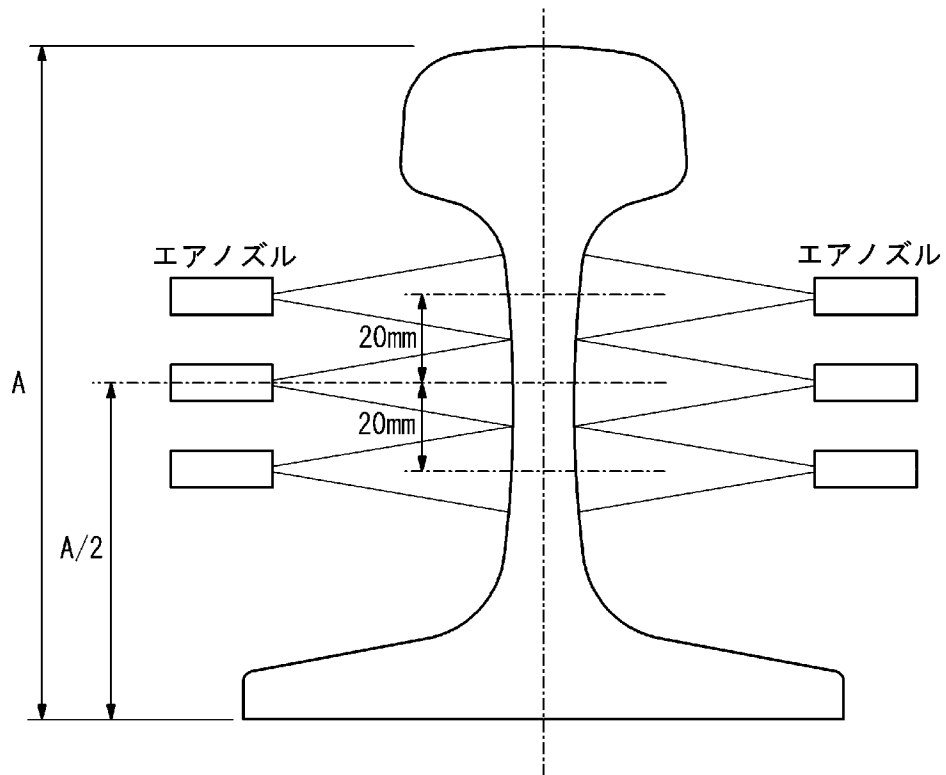
[図1]



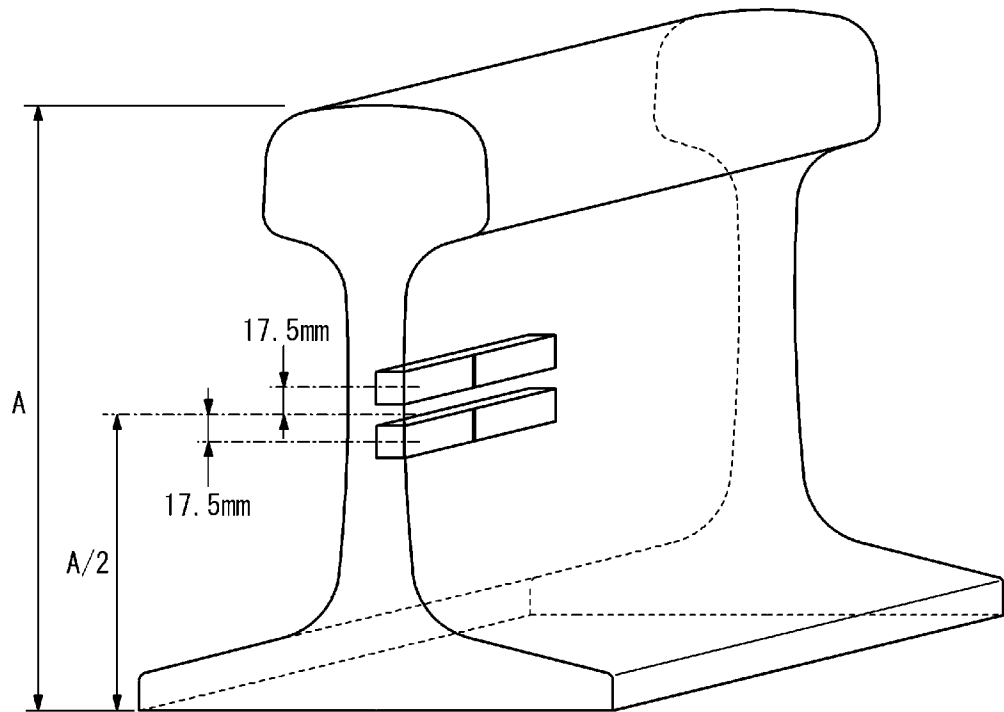
[図2]



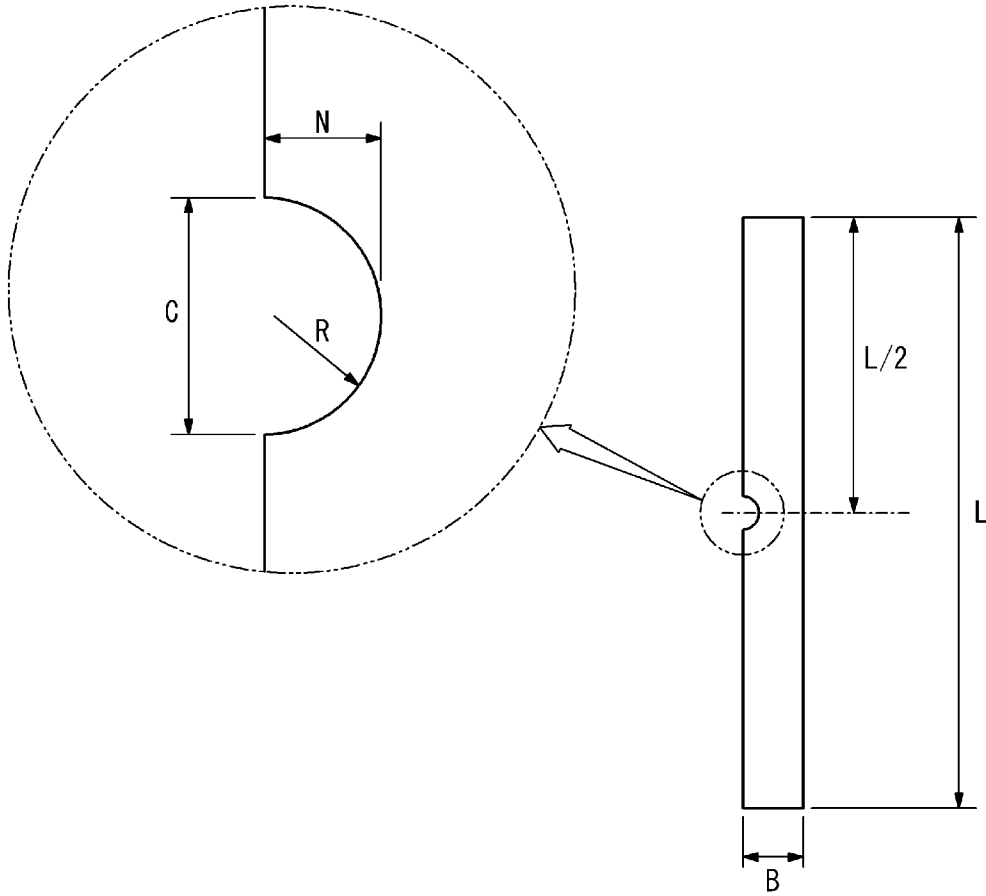
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/001010**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

C22C 38/00(2006.01)i; **C21D 8/00**(2006.01)i; **C21D 9/04**(2006.01)i; **C22C 38/18**(2006.01)i; **C22C 38/60**(2006.01)i
 FI: C22C38/00 301Z; C21D8/00 A; C21D9/04 A; C22C38/18; C22C38/60

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C38/00; C21D8/00; C21D9/04; C22C38/18; C22C38/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2022/004247 A1 (JFE STEEL CORP.) 06 January 2022 (2022-01-06) entire text	1-3
A	WO 2021/070452 A1 (JFE STEEL CORP.) 15 April 2021 (2021-04-15) entire text	1-3
A	WO 2016/117692 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP.) 28 July 2016 (2016-07-28) entire text	1-3
A	WO 2013/187470 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP.) 19 December 2013 (2013-12-19) entire text	1-3

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 March 2024

Date of mailing of the international search report

02 April 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

**Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan**

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2024/001010

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022/004247 A1	06 January 2022	US 2023/0279517 A1 entire text EP 4174191 A1 KR 10-2022-0160695 A AU 2021302317 A1 CA 3186612 A1 BR 112022025557 A2 CN 115917019 A	
WO 2021/070452 A1	15 April 2021	US 2023/0250505 A1 entire text EP 4023777 A1 CN 114502761 A AU 2020364505 A1 CA 3157401 A1	
WO 2016/117692 A1	28 July 2016	US 2017/0369961 A1 entire text EP 3249070 A1 CA 2973858 A1 AU 2016210110 A1 CN 107208216 A BR 112017014991 A2	
WO 2013/187470 A1	19 December 2013	US 2015/0136864 A1 entire text AU 2013275213 A1 BR 112014031008 A2	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C22C 38/00(2006.01)i; C21D 8/00(2006.01)i; C21D 9/04(2006.01)i; C22C 38/18(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i FI: C22C38/00 301Z; C21D8/00 A; C21D9/04 A; C22C38/18; C22C38/60		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C22C38/00; C21D8/00; C21D9/04; C22C38/18; C22C38/60		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2022/004247 A1（JFEスチール株式会社）06.01.2022（2022-01-06） 全文	1-3
A	WO 2021/070452 A1（JFEスチール株式会社）15.04.2021（2021-04-15） 全文	1-3
A	WO 2016/117692 A1（新日鐵住金株式会社）28.07.2016（2016-07-28） 全文	1-3
A	WO 2013/187470 A1（新日鐵住金株式会社）19.12.2013（2013-12-19） 全文	1-3
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 25.03.2024	国際調査報告の発送日 02.04.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 國方 康伸 4K 9442 電話番号 03-3581-1101 内線 3435	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/001010

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/004247	A1	06.01.2022	US	2023/0279517	A1	
				全文			
				EP	4174191	A1	
				KR	10-2022-0160695	A	
				AU	2021302317	A1	
				CA	3186612	A1	
				BR	112022025557	A2	
				CN	115917019	A	

WO	2021/070452	A1	15.04.2021	US	2023/0250505	A1	
				全文			
				EP	4023777	A1	
				CN	114502761	A	
				AU	2020364505	A1	
				CA	3157401	A1	

WO	2016/117692	A1	28.07.2016	US	2017/0369961	A1	
				全文			
				EP	3249070	A1	
				CA	2973858	A1	
				AU	2016210110	A1	
				CN	107208216	A	
				BR	112017014991	A2	

WO	2013/187470	A1	19.12.2013	US	2015/0136864	A1	
				全文			
				AU	2013275213	A1	
				BR	112014031008	A2	
