

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6485604号
(P6485604)

(45) 発行日 平成31年3月20日(2019.3.20)

(24) 登録日 平成31年3月1日(2019.3.1)

(51) Int.Cl. F I
C 2 1 D 9/34 (2006.01) C 2 1 D 9/34
C 2 2 C 38/00 (2006.01) C 2 2 C 38/00 3 O 1 Z
C 2 2 C 38/24 (2006.01) C 2 2 C 38/24

請求項の数 5 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2018-547493 (P2018-547493)	(73) 特許権者	000006655 新日鐵住金株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86) (22) 出願日	平成30年3月30日 (2018.3.30)	(74) 代理人	110001553 アセンド特許業務法人
(86) 国際出願番号	PCT/JP2018/013538	(72) 発明者	前島 健人 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
(87) 国際公開番号	W02018/181862	(72) 発明者	久保田 学 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
(87) 国際公開日	平成30年10月4日 (2018.10.4)	審査官	相澤 啓祐
審査請求日	平成30年9月7日 (2018.9.7)		
(31) 優先権主張番号	特願2017-70847 (P2017-70847)		
(32) 優先日	平成29年3月31日 (2017.3.31)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2018-14271 (P2018-14271)		
(32) 優先日	平成30年1月31日 (2018.1.31)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄道車輪の製造方法及び鉄道車輪

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、

C : 0 . 8 0 ~ 1 . 1 5 %、

S i : 1 . 0 0 % 以下、

M n : 0 . 1 0 ~ 1 . 2 5 %、

P : 0 . 0 5 0 % 以下、

S : 0 . 0 3 0 % 以下、

A l : 0 . 0 2 5 ~ 0 . 6 5 0 %、

N : 0 . 0 0 3 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %、

C r : 0 ~ 0 . 6 0 %、及び、

V : 0 ~ 0 . 1 2 %、

を含有し、残部が F e 及び不純物からなる化学組成を有し、

ボス部と、

踏面及びフランジを含むリム部と、

前記ボス部と前記リム部との間に配置される板部とを備える、鉄道車輪の中間品を A_c

m 変態点以上に加熱する加熱工程と、

加熱された前記中間品を冷却する冷却工程とを備え、

前記冷却工程では、前記中間品において前記踏面及びフランジ表面以外の表面の 8 0 0 ~ 5 0 0 における冷却速度が式 (1) で定義される F n 1 / 秒以下であり、前記中間

品において冷却速度が最も遅くなる領域での800～500における冷却速度が式(2)で定義される F_{n2} /秒以上であり、前記踏面及びフランジ表面での800～500における冷却速度が F_{n2} /秒以上となるように、前記中間品を冷却して、
前記ボス部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメント量量は1.0本/100 μ m以下であり、
前記板部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメント量量は1.0本/100 μ m以下であり、
前記リム部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメント量量は1.0本/100 μ m以下である前記鉄道車輪を製造する、

10

鉄道車輪の製造方法。

$$F_{n1} = -5.0 + \exp(5.651 - 1.427 \times C - 1.280 \times Si - 0.7723 \times Mn - 1.815 \times Cr - 1.519 \times Al - 7.798 \times V) \cdots (1)$$

$$F_{n2} = 0.515 + \exp(-24.816 + 24.121 \times C + 1.210 \times Si + 0.529 \times Mn + 2.458 \times Cr - 15.116 \times Al - 5.116 \times V) \cdots (2)$$

初析セメント量(本/100 μ m) = 200 μ m × 200 μ mの正方形視野の2本の対角線と交差する初析セメントの本数の総和 / (5.66 × 100 μ m) (A)

ここで、上記の式(1)及び式(2)における各元素記号には、対応する元素の含有量(質量%)が代入される。

20

【請求項2】

請求項1に記載の鉄道車輪の製造方法であって、

前記冷却工程ではさらに、前記踏面及びフランジ表面での800～500における冷却速度が F_{n2} /秒以上かつ5 /秒以上であり、200 /秒以下となるように、前記中間品を冷却する、

鉄道車輪の製造方法。

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載の鉄道車輪の製造方法であって、

前記化学組成は、

Cr: 0.02～0.60%、及び、

V: 0.02～0.12%、

からなる群から選択される1種以上を含有する、

鉄道車輪の製造方法。

30

【請求項4】

質量%で、

C: 0.80～1.15%、

Si: 1.00%以下、

Mn: 0.10～1.25%、

P: 0.050%以下、

S: 0.030%以下、

Al: 0.025～0.650%、

N: 0.0030～0.0200%、

Cr: 0～0.60%、及び、

V: 0～0.12%、

を含有し、残部がFe及び不純物からなる化学組成を有し、

ボス部と、

踏面及びフランジを含むリム部と、

前記ボス部と前記リム部との間に配置される板部とを備え、

前記ボス部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメント量量は1.0本/100 μ m以下であり、

40

50

前記板部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメント量量は1.0本/100μm以下であり、

前記リム部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメント量量は1.0本/100μm以下である、

鉄道車輪。

初析セメント量(本/100μm) = 200μm × 200μmの正方形視野の2本の対角線と交差する初析セメントの本数の総和 / (5.66 × 100μm) (A)

【請求項5】

請求項4に記載の鉄道車輪であって、

前記化学組成は、

Cr : 0.02 ~ 0.60%、及び、

V : 0.02 ~ 0.12%、

からなる群から選択される1種以上を含有する、

鉄道車輪。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鉄道車輪の製造方法及び鉄道車輪に関する。

【背景技術】

【0002】

鉄道車両は、線路を構成するレール上を走行する。鉄道車両は、複数の鉄道車輪を備える。鉄道車輪は、車両を支持し、レールと接触して、レール上を回転しながら移動する。鉄道車輪は、レールとの接触により摩耗する。鉄道輸送の効率化を目的として、鉄道車両への積載重量の増加、及び、鉄道車両の高速化が進められている。その結果、鉄道車両に利用される鉄道車輪の耐摩耗性の向上が求められている。

【0003】

鉄道車輪の耐摩耗性を高める技術が、特開平9-202937号公報(特許文献1)、特開2012-107295号公報(特許文献2)、特開2013-231212号公報(特許文献3)、及び、特開2004-315928号公報(特許文献4)に提案されている。

【0004】

特許文献1に開示された鉄道車輪は、質量%で、C : 0.4 ~ 0.75%、Si : 0.4 ~ 0.95%、Mn : 0.6 ~ 1.2%、Cr : 0 ~ 0.2%未満、P : 0.03%以下、S : 0.03%以下を含有し、残部がFe及びその他不可避の不純物からなる。この鉄道車輪において、車輪踏面部の表面から少なくとも深さ50mmまでの領域が、パーライト組織からなる。特許文献1の鉄道車輪の製造方法は、車輪踏面部の冷却曲線が、連続冷却変態曲線図におけるパーライト生成領域を通り、かつ、マルテンサイト変態曲線より長時間側にある条件で、車輪踏面部を冷却する焼入工程を含む。

【0005】

特許文献2に開示された車輪用鋼は、質量%で、C : 0.65 ~ 0.84%、Si : 0.02 ~ 1.00%、Mn : 0.50 ~ 1.90%、Cr : 0.02 ~ 0.50%、V : 0.02 ~ 0.20%、S 0.04%を含み、残部がFeと不純物からなり、P 0.05%、Cu 0.20%、Ni 0.20%の化学組成である。この化学組成はさらに、次の関係式を満たす。〔34 2.7 + 29.5 × C + 2.9 × Si + 6.9 × Mn + 10.8 × Cr + 30.3 × Mo + 44.3 × V 43〕かつ〔0.76 × exp(0.05 × C) × exp(1.35 × Si) × exp(0.38 × Mn) × exp(0.77 × Cr) × exp(3.0 × Mo) × exp(4.6 × V) 25〕。この車輪用鋼は、上記化学組成及び上記式を満たすことにより、耐摩耗性、耐転動疲労特性、耐スポーキング性に優れる、と特許文献2には記載されている。

【0006】

10

20

30

40

50

特許文献3に開示された車輪用鋼は、質量%で、C：0.65～0.84%、Si：0.4～1.0%、Mn：0.50～1.40%、Cr：0.02～0.13%、S：0.04%以下、V：0.02～0.12%を含有し、式(1)で定義されるFn1が32～43で、かつ、式(2)で表されるFn2が25以下であり、残部がFe及び不純物からなる。ここで、式(1)は、 $Fn1 = 2.7 + 29.5C + 2.9Si + 6.9Mn + 10.8Cr + 30.3Mo + 44.3V$ であり、式(2)は、 $Fn2 = \exp(0.76) \times \exp(0.05C) \times \exp(1.35Si) \times \exp(0.38Mn) \times \exp(0.77Cr) \times \exp(3.0Mo) \times \exp(4.6V)$ である。この車両用鋼は、上記化学組成を有し、Fn1及びFn2が上記範囲を満たすことにより、耐摩耗性、耐
 10 転動疲労特性、耐スポークリング性に優れる、と特許文献3には記載されている。

【0007】

特許文献4に開示された鉄道車両用車輪は、質量%で、C：0.85～1.20%、Si：0.05～2.00%、Mn：0.05～2.00%、必要に応じてさらにCr、Mo、V、Nb、B、Co、Cu、Ni、Ti、Mg、Ca、Al、Zr、及びNの1種又は2種以上を所定量含有し、残部がFe及びその他不可避免的不純物からなる化学成分を含有する鋼で構成された一体型の鉄道車両用車輪であって、車輪の踏面及び/又はフランジ面の少なくとも一部がパーライト組織である。特許文献4では、鉄道車両用車輪の寿命は、踏面及びフランジ面の摩耗量に依存し(特許文献4の段落[0002])、さらに、高速鉄道においてブレーキを掛けたときの発熱量の増大にともない発生する踏面及びフランジ面での亀裂に依存すると記載されている。そして、鉄道車両用車輪が上記構成を有する
 20 ことにより、踏面及びフランジ面の耐摩耗性及び熱亀裂を抑制できる、と記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平9-202937号公報

【特許文献2】特開2012-107295号公報

【特許文献3】特開2013-231212号公報

【特許文献4】特開2004-315928号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】F. Wever et al., Zur Frage der Wärmebehandlung der Stähle auf Grund ihrer Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder, Stahl u Eisen, 74(1954), p749~761

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述の特許文献1、2及び3に開示された鉄道車輪は、Vを積極的に含有することにより、鉄道車輪の耐摩耗性を高めている。しかしながら、これらの文献の鉄道車輪を、積載
 40 重量の増加及び高速化が求められる貨物鉄道に適用した場合、十分な耐摩耗性が得られない場合がある。

【0011】

一方、特許文献4に開示された鉄道車輪は、特許文献1～3と比較して、C含有量を高めた過共析鋼からなる。この鉄道車輪は、積載重量の増加及び高速化が求められる貨物鉄道に適用された場合、十分な耐摩耗性が得られる可能性がある。

【0012】

ところで、鉄道車輪は次の方法で製造される。鋼片を熱間加工して鉄道車輪形状の中間品を成形する。成形された中間品に対して、熱処理(踏面焼入れ)を実施する。踏面焼入れでは、中間品を加熱した後、中間品の踏面及びフランジに冷却水を噴射して急冷する。
 50

なお、踏面及びフランジを急冷している間、ボス部及び板部を放冷する。これにより、踏面直下の表層及びフランジの表層部分のマトリクス組織には、耐摩耗性が高い微細パーライトが生成する。

【0013】

しかしながら、踏面焼入れ後の踏面直下の表層及びフランジの表層部分には、微細パーライトの上層にマルテンサイト及びノ又はベイナイトからなる層がさらに生成する。以下、熱処理後の踏面及びフランジの急冷により踏面の表層及びフランジの表層に形成されるマルテンサイト及びノ又はベイナイトからなる層を、本明細書では「焼入れ層」という。踏面の表層及びフランジの表層に焼入れ層を有する鉄道車輪を使用した場合、鉄道車輪の使用において、焼入れ層は摩耗しやすい。そのため、従来の鉄道車輪の製造工程において、踏面焼入れ後の鉄道車輪の中間品に対して、踏面の表層及びフランジの表層に形成された焼入れ層を切削加工で除去して、微細パーライトを踏面及びフランジの表面に露出させている。以上の製造工程により、従来の鉄道車輪が製造されている。

10

【0014】

しかしながら、鉄道車輪の特許文献4のような過共析鋼である場合、従来の鉄道車輪の製造方法では、ボス部及び板部の靱性が低下する可能性があることが、本発明者らの検討で明らかになった。従来の鉄道車輪では、鉄道車輪の寿命向上を目的として、リム部の踏面及びフランジの組織については検討されているものの、鉄道車輪のボス部及び板部の組織に着目した検討はされていなかった。

20

【0015】

本発明の目的は、靱性に優れる過共析鋼の鉄道車輪を安定して製造できる、鉄道車輪の製造方法及び鉄道車輪を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明の実施形態による鉄道車輪の製造方法は、加熱工程と、冷却工程とを備える。加熱工程では、質量%で、C：0.80～1.15%、Si：1.00%以下、Mn：0.10～1.25%、P：0.050%以下、S：0.030%以下、Al：0.025～0.650%、N：0.0030～0.0200%、Cr：0～0.60%、及び、V：0～0.12%、を含有し、残部がFe及び不純物からなる化学組成を有し、ボス部と、踏面及びフランジを含むリム部と、ボス部とリム部との間に配置される板部とを備える鉄道車輪の中間品を、 A_{cm} 変態点()以上に加熱する。冷却工程では、中間品において踏面及びフランジ表面以外の表面の800～500における冷却速度が式(1)で定義される F_{n1} /秒以下であり、中間品において冷却速度が最も遅くなる領域での800～500における冷却速度が式(2)で定義される F_{n2} /秒以上であり、踏面及びフランジ表面での800～500における冷却速度が F_{n2} /秒以上となるように、中間品を冷却する。

30

$$F_{n1} = -5.0 + \exp(5.651 - 1.427 \times C - 1.280 \times Si - 0.7723 \times Mn - 1.815 \times Cr - 1.519 \times Al - 7.798 \times V) \cdots (1)$$

$$F_{n2} = 0.515 + \exp(-24.816 + 24.121 \times C + 1.210 \times Si + 0.529 \times Mn + 2.458 \times Cr - 15.116 \times Al - 5.116 \times V) \cdots (2)$$

40

ここで、上記の式(1)及び式(2)における各元素記号には、対応する元素の含有量(質量%)が代入される。

【0017】

本実施形態による鉄道車輪は、質量%で、C：0.80～1.15%、Si：1.00%以下、Mn：0.10～1.25%、P：0.050%以下、S：0.030%以下、Al：0.025～0.650%、N：0.0030～0.0200%、Cr：0～0.60%、及び、V：0～0.12%、を含有し、残部がFe及び不純物からなる化学組成を有し、ボス部と、踏面及びフランジを含むリム部と、ボス部とリム部との間に配置される板部とを備える。ボス部のミクロ組織において、パーライト面積率は95%以上であり

50

、式(A)で定義される初析セメントイト量は1.0本/100 μ m以下である。板部のミクロ組織において、パーライト面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメントイト量は1.0本/100 μ m以下である。リム部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメントイト量は1.0本/100 μ m以下である。

初析セメントイト量(本/100 μ m) = 200 μ m × 200 μ mの正方形視野の2本の対角線と交差する初析セメントイトの本数の総和 / (5.66 × 100 μ m) (A)

【発明の効果】

【0018】

本実施形態による鉄道車輪の製造方法は、韌性に優れる過共析鋼の鉄道車輪を安定して製造できる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】図1は、鉄道車輪の中心軸に平行な断面図である。

【図2】図2は、西原式摩耗試験の結果に基づく、鉄道車輪のビッカース硬さと鉄道車輪の摩耗量との関係を示す図である。

【図3】図3は、西原式摩耗試験の模式図である。

【図4】図4は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、C含有量と、冷却速度と、焼入れ層及び初析セメントイトとの関係を示す図である。

【図5】図5は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、Si含有量と、冷却速度と、焼入れ層及び初析セメントイトとの関係を示す図である。

【図6】図6は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、Mn含有量と、冷却速度と、焼入れ層及び初析セメントイトとの関係を示す図である。

【図7】図7は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、Cr含有量と、冷却速度と、焼入れ層及び初析セメントイトとの関係を示す図である。

【図8】図8は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、Al含有量と、冷却速度と、焼入れ層及び初析セメントイトとの関係を示す図である。

【図9】図9は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、V含有量と、冷却速度と、焼入れ層及び初析セメントイトとの関係を示す図である。

【図10】図10は、本実施形態による鉄道車輪の製造方法に用いる冷却装置の一例を示す模式図である。

【図11】図11は、初析セメントイト量の測定方法を説明するための模式図である。

【図12】図12は、実施例でのジョミニ式一端焼入れ試験により得られた、ジョミニ試験片の水冷端からの距離に対するロックウェル硬さHRCの分布(ジョミニ曲線)を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

[鉄道車輪の構成]

図1は、鉄道車輪の中心軸を含む断面図である。図1を参照して、鉄道車輪1は円盤状であり、ボス部2と、板部3とリム部4とを備える。ボス部2は円筒状であり、鉄道車輪1の中央部に配置される。ボス部2は貫通孔21を有する。貫通孔21の中心軸は、鉄道車輪1の中心軸と一致する。貫通孔21には、図示しない車軸が挿入される。ボス部2の厚さT2は、板部3の厚さT3よりも厚い。リム部4は、鉄道車輪1の外周の縁部に形成されている。リム部4は、踏面41と、フランジ42とを含む。踏面41は、フランジ42と繋がっている。鉄道車輪1の使用時において、踏面41及びフランジ42の表面はレール表面と接触する。リム部4の厚さT4は、板部3の厚さT3よりも厚い。板部3は、ボス部2とリム部4との間に配置される。板部3の内周縁部はボス部2とつながっており、板部3の外周縁部はリム部4とつながっている。板部3の厚さT3は、ボス部2の厚さT2及びリム部4の厚さT4よりも薄い。

【0021】

10

20

30

40

50

本発明者らは、鉄道車輪の耐摩耗性を高める方法について検討を行った。その結果、本発明者らは次の知見を得た。

【0022】

[C含有量増加による耐摩耗性の向上]

図2は、西原式摩耗試験の結果に基づく、鉄道車輪のビッカース硬さと鉄道車輪の摩耗量との関係を示す図である。図2は次の実験により得られた。表1に示す化学組成を有するインゴットから、直径40mmの丸棒を製造した。

【0023】

【表1】

TABLE1

鋼 番号	化学組成(単位は質量%、残部はFe及び不純物)								
	C	Si	Mn	S	Al	N	P	Cr	V
1	0.84	0.30	0.81	0.002	0.032	0.0038	0.001	-	-
2	0.93	0.29	0.80	0.002	0.032	0.0042	0.001	-	-
3	1.00	0.30	0.80	0.002	0.034	0.0040	0.001	-	-
4	1.09	0.30	0.79	0.002	0.036	0.0040	0.001	-	-
21	0.79	0.29	0.81	0.002	0.035	0.0030	0.001	0.10	-
22	0.76	0.29	0.79	0.001	0.034	0.0026	0.001	0.08	0.028
23	0.75	0.29	0.80	0.002	0.034	0.0033	0.001	0.10	0.058
24	0.75	0.29	0.80	0.002	0.034	0.0032	0.001	0.10	0.097
25	0.78	0.75	0.82	0.002	0.036	0.0038	0.001	0.10	-
26	0.75	0.77	0.79	0.001	0.038	0.0034	0.001	0.09	0.028
27	0.77	0.77	0.81	0.001	0.033	0.0032	0.001	0.10	0.058
28	0.76	0.76	0.82	0.001	0.036	0.0027	0.001	0.10	0.096

10

【0024】

丸棒から、直径32mm、幅10mmの円環状の粗試験片(鉄道車輪の中間品に相当)を作製した。

【0025】

粗試験片に対して、鉄道車輪における踏面焼入れを模擬した焼入れを実施した。具体的には、各鋼番号の粗試験片に対して、950の熱処理温度で20分間均熱した。均熱後、微細なパーライト組織を形成させるため、粗試験片を炉から取り出し、550のソルトバスに浸漬した。ソルトバスへの浸漬時間は7分間であった。粗試験片をソルトバスに浸漬してから7分経過したとき、粗試験片をソフトバスから取り出して、粗試験片を常温(25)まで放冷した。車輪製造時の焼戻しを模擬するため、放冷後の各粗試験片を450の熱処理温度で3時間保持した。粗試験片を450の熱処理温度で3時間保持した後、粗試験片を常温(25)まで放冷した。

30

【0026】

放冷後の粗試験片の外周面を切削加工して、図3に示す円筒状の車輪試験片100(鉄道車輪に相当)を作製した。車輪試験片100の直径D100は29.39mmであり、幅W100は8mmであった。

【0027】

さらに、表2に示す鋼番号29をレール材として準備した。

【0028】

【表2】

TABLE2

鋼 番号	化学組成(単位は質量%、残部はFe及び不純物)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
29	0.99	0.51	0.71	0.011	0.008	0.22	-

40

【0029】

鋼番号29のレール材から図3に示す円環状のレール試験片200を作製した。レール試験片200の直径D200は30.0mmであり、幅W200は5mmであった。

【0030】

車輪試験片100の外周面から中心軸に向かって深さ2~3mmの位置での金属組織を、光学顕微鏡を用いて500倍で観察した。同様に、レール試験片200の外周面から中

50

心軸に向かって深さ2～3mmの位置の金属組織を、光学顕微鏡により500倍で観察した。組織観察の結果、鋼番号1～4、21～28の車輪試験片100の組織はいずれもパーライト単相であり、レール試験片200の組織もパーライト単相であった。

【0031】

また、車輪試験片100において、組織観察と同じ位置、すなわち外周面から中心軸に向かって深さ2～3mmの位置において、JIS Z2244(2009)に準拠したピッカース硬さ試験を実施した。試験力はいずれも2.9421Nとした。同様に、レール試験片200において、組織観察と同じ位置、すなわち外周面から中心軸に向かって深さ2～3mmの位置において、JIS Z2244(2009)に準拠したピッカース硬さ試験を実施した。試験力は2.9421Nとした。その結果、レール試験片200のピッカース硬さ(HV)は430であった。




10

【0032】

車輪試験片100の外周面の幅中央とレール試験片200の外周面の幅中央とを接触させ、900MPaの力で互いに押し当てながら、車輪試験片100及びレール試験片200を互いに回転して摩耗試験を実施した。車輪試験片100の回転速度は800rpmとし、レール試験片200の回転速度は775rpmとした。したがって、車輪試験片100とレール試験片200とのすべり率は1.1%であった。車輪試験片100が500,000回転した後、試験後の車輪試験片100の質量(g)を求めた。そして、試験前に予め測定しておいた試験前の車輪試験片100の質量(g)と、試験後の車輪試験片100の質量(g)との差を求め、この質量差を50で除した値を、車輪の摩耗量(g/10,000rev.)と定義した。なお、車輪試験片100は各鋼番号で4個用意し、これらを用いて同一の試験を各鋼番号につき4回実施した。4回の試験で得られた車輪試験片100の摩耗量の平均値を各鋼番号の鉄道車輪の摩耗量として算出した。各鋼番号において得られた車輪試験片100のピッカース硬さ及び摩耗量を用いて、図2を作成した。



20

【0033】

図2中の「」印は、Si含有量を0.3%程度でほぼ一定とし、C含有量を0.8～1.1%まで変化させたV非含有の鋼群(以下、「V非含有過共析鋼群」という)を用いた試験結果である。「」印は、C含有量を0.75～0.79%の範囲内とし、Si含有量を0.3%程度でほぼ一定とし、かつ、V含有量を0～0.1%程度まで変化させた鋼群(以下、「V含有量変更低Si共析鋼群」という)を用いた試験結果である。「」印は、C含有量を0.75～0.79%の範囲内とし、Si含有量を0.8%程度でほぼ一定とし、V含有量を0～0.1%程度まで変化させた鋼群(以下、「V含有量変更高Si共析鋼群」という)を用いた試験結果である。図2中の各印横の数字は、表1の鋼番号を示す。


30

【0034】

図2を参照して、V含有量変更低Si共析鋼群(「」印)では、V含有量が高まるに従い、車輪のピッカース硬さが増大した。具体的には、V非含有(鋼21)、V含有量が、0.028%(鋼22)、0.058%(鋼23)、0.097%(鋼24)と増加するに従い、ピッカース硬さが増大した。しかしながら、ピッカース硬さは350HV程度にとどまり、摩耗量も0.015g/10000rev.程度までしか低下しなかった。一方、V含有量変更高Si共析鋼群(「」印)では、V非含有(鋼25)、V含有量が、0.028%(鋼26)、0.058%(鋼27)、0.096%(鋼28)と増加するに従い、車輪のピッカース硬さは380HV程度まで上昇した。しかしながら、ピッカース硬さが高まっても、車輪摩耗量は0.015g/10000rev.程度で一定となり、これ以上の減少はみられなかった。

40

【0035】

これに対して、V非含有過共析鋼群(「」印)では、C含有量が0.84%(鋼1)、0.93%(鋼2)、1.00%(鋼3)、1.09%(鋼4)と増加するに従い、ピッカース硬さが増加した。さらに、ピッカース硬さの増加に伴い、摩耗量が0.010g/10000rev.程度まで減少した。

50

【 0 0 3 6 】

以上の結果から、鉄道車輪用鋼においては、同じ硬さを得るにしても、V含有量を高めて硬さを高めるよりも、C含有量を高めて硬さを高めた方が、鉄道車輪として使用したときの耐摩耗性が高まる。この理由は定かではないが、次の事項が考えられる。使用中の鉄道車輪の踏面は、レールから外力（荷重）を受ける。この外力により踏面直下の表層のパーライト中のセメントイトが破碎され、分散強化により硬さが高まる。さらに、破碎された微細なセメントイト中の炭素がパーライト中のフェライトに過飽和に固溶し、固溶強化により踏面直下の表層の硬さを高める。

【 0 0 3 7 】

鋼のC含有量高めれば、パーライト中のセメントイトの体積分率が增大する。またパーライトがより微細なラメラを形成しやすい。この場合、上記メカニズムにより鉄道車輪の耐摩耗性が高まる。これに対して、Vを含有した場合、V炭窒化物の析出強化により鋼の硬さを高める。このとき、V炭窒化物はフェライト中に生成するため、主としてフェライトの硬さを高める。つまり、Vの含有は、パーライトの微細化にはそれほど影響しない。そのため、V含有によりある程度耐摩耗性を高めることはできるものの、破碎セメントイトによる分散強化及びCの固溶強化ほど、耐摩耗性を高めることができない。

【 0 0 3 8 】

したがって、鉄道車輪用鋼において、同じ硬さを得るにしても、C含有量を増加した方が、Vを含有するよりも、耐摩耗性を高めることができる。

【 0 0 3 9 】

以上の検討結果に基づいて、本発明者らは、耐摩耗性を高めるためには、鉄道車輪の化学組成を、質量%で、C：0.80～1.15%、Si：1.00%以下、Mn：0.10～1.25%、P：0.050%以下、S：0.030%以下、Al：0.025～0.650%、N：0.0030～0.0200%、Cr：0～0.60%、及び、V：0～0.12%、を含有し、残部がFe及び不純物からなる過共析鋼とするのが好ましいと考えた。

【 0 0 4 0 】

〔 初析セメントイト生成の抑制 〕

上述のとおり、鉄道車輪は、鉄道車輪の中間品に対して熱処理（踏面焼入れ）を実施して製造される。耐摩耗性は、鉄道車輪においてレールと接触し得る、踏面及びフランジに要求される。したがって、従来の鉄道車輪の製造工程中の中間品に対する熱処理においては、踏面直下の表層及びフランジの表層に微細なパーライト組織を形成するために、鉄道車輪の中間品のリム部の踏面及びフランジに対して冷却媒体（水、又は水と空気の混合流体）を噴き付けて、踏面及びフランジを急冷していた。一方、従来の熱処理では、鉄道車輪の踏面及びフランジ表面以外の表面（ボス部の表面、板部の表面及びリム部の側面）に対しては、冷却媒体を吹き付けず、放冷を実施していた。上述のとおり、耐摩耗性が要求されるのはリム部の踏面及びフランジ表面であり、鉄道車輪のうちの踏面及びフランジ表面以外の表面（ボス部表面、板部表面及びリム部の側面）には耐摩耗性が要求されないからである。

【 0 0 4 1 】

従来の鉄道車輪のようにC含有量が低い亜共析鋼及び共析鋼であれば、初析セメントイトは生成しにくい。しかしながら、上記化学組成のように、C含有量が0.80%以上の過共析鋼の場合、従来の製造方法により鉄道車輪を製造すれば、鉄道車輪内部に初析セメントイトが生成する場合があります。特に、踏面焼入れにおいて従来放冷していた、ボス部及び板部において、初析セメントイトが生成しやすいことが本発明者らの調査で初めて判明した。初析セメントイトは韌性を低下する。そのため、C含有量が0.80%以上の過共析鋼からなる鉄道車輪では、リム部だけでなく、ボス部及び板部においても、初析セメントイトの生成を抑える方が好ましい。

【 0 0 4 2 】

さらに、熱処理時において鉄道車輪の中間品の表層に生成する焼入れ層も、切削加工に

10

20

30

40

50

より除去せずにそのまま鉄道車輪に残した場合、鉄道車輪の靱性を低下する。そのため、切削加工により焼入れ層が除去される踏面及びフランジ表面を除く他の表面（ボス部表面、板部表面及びリム部側面）においては、初析セメンタイトの生成を抑えた上で、焼入れ層の生成も抑制できた方が好ましい。

【0043】

そこで、本発明者らは、鉄道車輪の製造工程において、踏面及びフランジを含むリム部だけでなく、板部及びボス部においても、初析セメンタイトを抑制する方法について調査及び検討した。その結果、本発明者らは次の知見を得た。

【0044】

図4～図9は、鉄道車輪の製造工程中の熱処理を想定した熱処理試験の結果に基づく、鋼中の各元素の含有量（図4：C含有量、図5：Si含有量、図6：Mn含有量、図7：Cr含有量、図8：Al含有量、図9：V含有量）と、800～500での平均冷却速度（/秒）と、焼入れ層及び初析セメンタイトとの関係を示す図である。

【0045】

図4は、C含有量を変動させた複数のサンプル（後述する表3中の鋼番号1、2、3、4）を用いて、後述するジョミニ式一端焼入れ試験で得られた結果に基づいて作成したものである。図5は、Si含有量を変動させた複数のサンプル（後述する表3中の鋼番号5、3、6）を用いて、ジョミニ式一端焼入れ試験で得られた結果に基づいて作成したものである。図6は、Mn含有量を変動させた複数のサンプル（後述する表3中の鋼番号7、3、8）を用いて、ジョミニ式一端焼入れ試験で得られた結果に基づいて作成したものである。図7は、Cr含有量を変動させた複数のサンプル（後述する表3中の鋼番号3、9、10、11）を用いて、ジョミニ式一端焼入れ試験で得られた結果に基づいて作成したものである。図8は、Al含有量を変動させた複数のサンプル（後述する表3中の鋼番号3、12、13、14、15、16）を用いて、ジョミニ式一端焼入れ試験で得られた結果に基づいて作成したものである。図9は、V含有量を変動させた複数のサンプル（後述する表3中の鋼番号3、17、18）を用いて、ジョミニ式一端焼入れ試験で得られた結果に基づいて作成したものである。

【0046】

図4～図9中の「 \square 」印は、焼入れ層（マルテンサイト及び/又はベイナイト）が生成したことを意味する。「 \square 」印は、焼入れ層が生成しておらず、ミクロ組織が実質的にパーライトからなり、ミクロ組織中の初析セメンタイト量が1.0本/100 μ m以下であり、初析セメンタイトが実質的に存在していなかったことを意味する。「x」印は、ミクロ組織中に焼入れ層が生成しておらず、ミクロ組織が実質的にパーライトからなるもの、初析セメンタイト量が1.0本/100 μ mを超え、ミクロ組織中に初析セメンタイトが生成していたことを意味する。ここで、「ミクロ組織が実質的にパーライトからなる」とは、ミクロ組織中におけるパーライトの面積率が95%以上であることを意味する。また、初析セメンタイト量（本/100 μ m）の測定方法については後述する。

【0047】

図4を参照して、冷却速度が速すぎる場合、焼入れ層が生成することが確認された。ここで、本明細書において、組織中にパーライトが生成し、かつ、焼入れ層が生成しない最大の冷却速度（図4中の「 \square 」印と「 \square 」印の境界の冷却速度）を、パーライト臨界冷却速度と定義する。図4～図9において、パーライト臨界冷却速度を破線で示す。図4を参照して、C含有量の増加に伴い、パーライト臨界冷却速度は低下している。図5を参照して、Si含有量の増加に伴い、パーライト臨界冷却速度は低下している。図6を参照して、Mn含有量の増加に伴い、パーライト臨界冷却速度は低下している。図7を参照して、Cr含有量の増加に伴い、パーライト臨界冷却速度は低下している。図8を参照して、Al含有量の増加に伴い、パーライト臨界冷却速度は低下している。図9を参照して、V含有量の増加に伴い、パーライト臨界冷却速度は低下している。つまり、図4～図9を参照して、C、Si、Mn、Cr、Al、及びVは、いずれもパーライト臨界冷却速度を低下する作用を有する。

10

20

30

40

50

【0048】

一方、冷却速度が遅すぎる場合、組織中に初析セメントイトが生成する場合がある。図4を参照して、C含有量が増加すれば、冷却速度が速くても、初析セメントイトが生成する。

【0049】

ここで、初析セメントイト量が1.0本/100 μ mを超えて生成する最大の冷却速度(図中の「 \square 」印と「 \times 」印との境界の冷却速度)を、初析セメントイト臨界冷却速度と定義する。初析セメントイト臨界冷却速度を、図4～図9に実線で示す。

【0050】

図4において、C含有量が増加するほど、初析セメントイト臨界冷却速度が上昇する。同様に、図5において、SiもCほど顕著ではないが、Si含有量が増加するほど、初析セメントイト臨界冷却速度が上昇する。図7において、CrもCほど顕著ではないが、Cr含有量が増加するほど、初析セメントイト臨界冷却速度が上昇する。また、図6及び図9を参照して、Mn含有量又はV含有量が増加しても、初析セメントイト臨界冷却速度はあまり変化しない。一方、図8を参照して、Al含有量が増加すれば、初析セメントイト臨界冷却速度は顕著に低下する。

【0051】

したがって、初析セメントイト臨界冷却速度には、Cが初析セメントイト臨界冷却速度を高める作用を有し、Alが初析セメントイト臨界冷却速度を低下する作用を有する。

【0052】

以上の結果に基づいて、本発明者らは、パーライト臨界冷却速度、初析セメントイト臨界冷却速度と、C含有量、Si含有量、Mn含有量、Cr含有量、Al含有量、及び、V含有量との関係についてさらに検討した。その結果、上述の化学組成を有する過共析鋼からなる鉄道車輪を製造する場合、製造工程中の A_{cm} 変態点以上での熱処理後の鉄道車輪の中間品の冷却において、800～500での冷却速度(/秒)を、パーライト臨界冷却速度の指標であり式(1)で定義される F_{n1} 以下とすれば、焼入れ層の生成を抑制できることを見出した。また、初析セメントイト臨界冷却速度の指標であり式(2)で定義される F_{n2} 以上とすれば、初析セメントイトの生成を抑制できることを見出した。

$$F_{n1} = -5.0 + \exp(5.651 - 1.427 \times C - 1.280 \times Si - 0.7723 \times Mn - 1.815 \times Cr - 1.519 \times Al - 7.798 \times V) \cdots (1)$$

$$F_{n2} = 0.515 + \exp(-24.816 + 24.121 \times C + 1.210 \times Si + 0.529 \times Mn + 2.458 \times Cr - 15.116 \times Al - 5.116 \times V) \cdots (2)$$

ここで、式(1)及び式(2)中の各元素記号には、対応する元素の含有量(質量%)が代入される。なお、800～500は、パーライト及び初析セメントイトが生成する温度域である。

【0053】

以上の知見に基づいて完成した本実施形態による鉄道車輪の製造方法は、加熱工程と、冷却工程とを備える。加熱工程では、質量%で、C:0.80～1.15%、Si:1.00%以下、Mn:0.10～1.25%、P:0.050%以下、S:0.030%以下、Al:0.025～0.650%、N:0.0030～0.0200%、Cr:0～0.60%、及び、V:0～0.12%、を含有し、残部がFe及び不純物からなる化学組成を有し、ボス部と、踏面及びフランジを含むリム部と、ボス部とリム部との間に配置される板部とを備える鉄道車輪の中間品を、 A_{cm} 変態点以上に加熱する。冷却工程では、中間品を冷却する。冷却工程では、鉄道車輪の中間品の踏面及びフランジ表面以外の表面の800～500における冷却速度が式(1)で定義される F_{n1} /秒以下であり、鉄道車輪の中間品において冷却速度が最も遅くなる領域での800～500における冷却速度が式(2)で定義される F_{n2} /秒以上であり、鉄道車輪の中間品のうち、踏面及びフランジ表面での800～500における冷却速度が F_{n2} /秒以上となるように、中間品を冷却する。

10

20

30

40

50

$$F n 1 = - 5 . 0 + e x p (5 . 6 5 1 - 1 . 4 2 7 \times C - 1 . 2 8 0 \times S i - 0 . 7 7 2 3 \times M n - 1 . 8 1 5 \times C r - 1 . 5 1 9 \times A l - 7 . 7 9 8 \times V) \cdots (1)$$

$$F n 2 = 0 . 5 1 5 + e x p (- 2 4 . 8 1 6 + 2 4 . 1 2 1 \times C + 1 . 2 1 0 \times S i + 0 . 5 2 9 \times M n + 2 . 4 5 8 \times C r - 1 5 . 1 1 6 \times A l - 5 . 1 1 6 \times V) \cdots (2)$$

ここで、上記の式(1)及び式(2)における各元素記号には、対応する元素の含有量(質量%)が代入される。

【0054】

上記冷却工程ではさらに、前記踏面及びフランジ表面での800～500における冷却速度がFn2 /秒以上かつ5 /秒以上であり、200 /秒以下となるように、前記中間品を冷却してもよい。

10

【0055】

上記鉄道車輪の中間品の化学組成は、Cr:0.02～0.60%、及び、V:0.02～0.12%、からなる群から選択される1種以上を含有してもよい。

【0056】

本実施形態による鉄道車輪は、質量%で、C:0.80～1.15%、Si:1.00%以下、Mn:0.10～1.25%、P:0.050%以下、S:0.030%以下、Al:0.025～0.650%、N:0.0030～0.0200%、Cr:0～0.60%、及び、V:0～0.12%、を含有し、残部がFe及び不純物からなる化学組成を有し、ボス部と、踏面及びフランジを含むリム部と、ボス部とリム部との間に配置される板部とを備える。ボス部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメンタイト量は1.0本/100μm以下である。板部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメンタイト量は1.0本/100μm以下である。リム部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、式(A)で定義される初析セメンタイト量は1.0本/100μm以下である。

20

初析セメンタイト量(本/100μm) = 200μm × 200μmの正方形視野の2本の対角線と交差する初析セメンタイトの本数の総和 / (5.66 × 100μm) (A)

【0057】

上記鉄道車輪の中間品の化学組成は、Cr:0.02～0.60%、及び、V:0.02～0.12%、からなる群から選択される1種以上を含有してもよい。

30

【0058】

以下、本実施形態の鉄道車輪の製造方法及び鉄道車輪について詳述する。元素に関する「%」は、特に断りがない限り、質量%を意味する。

【0059】

[鉄道車輪の化学組成]

本実施形態の鉄道車輪はたとえば、図1に示すとおり、ボス部2と、板部3と、踏面4及びフランジ42を含むリム部4を備えた形状を有する。本実施形態の鉄道車輪の化学組成は、次の元素を含有する。

【0060】

C:0.80～1.15%

40

炭素(C)は、鋼の硬度を高め、耐摩耗性を高める。C含有量が低すぎれば、これらの効果が得られない。一方、C含有量が高すぎれば、旧オーステナイト粒界に初析セメンタイトが析出し、鋼の延性、靱性及び疲労寿命が低下する。したがって、C含有量は0.80～1.15%である。C含有量の好ましい下限は0.85%であり、さらに好ましくは0.86%であり、さらに好ましくは0.87%であり、さらに好ましくは0.90%である。C含有量の好ましい上限は1.05%であり、さらに好ましくは1.00%である。

【0061】

Si:1.00%以下

50

シリコン (S i) は、不可避に含有される。つまり、 S i 含有量は 0 % 超である。 S i は、フェライトを固溶強化して鋼の硬度を高める。しかしながら、 S i 含有量が高すぎれば、初析セメンタイトが生成しやすくなる。 S i 含有量が高すぎればさらに、鋼の焼入れ性が高くなりすぎ、マルテンサイトが生成しやすくなる。さらに、鉄道車輪として使用中に、ブレーキとの間に発生する摩擦熱により焼きが入り、鋼の耐き裂性が低下する場合がある。したがって、 S i 含有量は 1 . 0 0 % 以下である。 S i 含有量の好ましい上限は 0 . 8 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 6 5 % であり、さらに好ましくは 0 . 4 5 % であり、さらに好ましくは 0 . 3 5 % である。 S i 含有量の好ましい下限は 0 . 0 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 5 % であり、さらに好ましくは 0 . 2 0 % である。

【 0 0 6 2 】

M n : 0 . 1 0 ~ 1 . 2 5 %

マンガン (M n) はフェライトを固溶強化して鋼の硬度を高める。 M n はさらに、 M n S を形成し、鋼の被削性を高める。 M n 含有量が低すぎれば、これらの効果は得られない。一方、 M n 含有量が高すぎれば、鋼の焼入れ性が高くなりすぎ、マルテンサイトが生成しやすくなる。さらに、鉄道車輪として使用中に、ブレーキとの間に発生する摩擦熱により焼きが入り、鋼の耐き裂性が低下する場合がある。したがって、 M n 含有量は 0 . 1 0 ~ 1 . 2 5 % である。 M n 含有量の好ましい下限は 0 . 5 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 6 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 7 0 % である。 M n 含有量の好ましい上限は 1 . 0 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 8 2 % である。

【 0 0 6 3 】

P : 0 . 0 5 0 % 以下

りん (P) は、不可避に含有される不純物である。つまり、 P 含有量は 0 % 超である。 P は粒界に偏析して鋼の靱性を低下する。したがって、 P 含有量は 0 . 0 5 0 % 以下である。 P 含有量の好ましい上限は 0 . 0 3 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 2 0 % である。 P 含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、 P 含有量を過剰に低減しようとするれば、精錬コストが過剰に高くなる。したがって、通常の工業生産を考慮した場合、 P 含有量の好ましい下限は 0 . 0 0 0 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 0 0 5 % である。

【 0 0 6 4 】

S : 0 . 0 3 0 % 以下

硫黄 (S) は不可避に含有される。つまり、 S 含有量は 0 % 超である。 S を積極的に含有させる場合、 S は M n S を形成して鋼の被削性を高める。しかしながら、 S は鋼の靱性を低下する。したがって、 S 含有量は 0 . 0 3 0 % 以下である。 S 含有量の好ましい上限は 0 . 0 2 0 % である。被削性向上の効果を得る場合の S 含有量の好ましい下限は、 0 . 0 0 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 0 5 % である。

【 0 0 6 5 】

A l : 0 . 0 2 5 ~ 0 . 6 5 0 %

アルミニウム (A l) は、 C 含有量が 0 . 8 0 % 以上の本実施形態の鉄道車輪の化学組成において、初析セメンタイトの生成を抑制し、鋼の靱性を高める。 A l はさらに、 N と結合して A l N を形成し、結晶粒を微細化する。結晶粒が微細化することにより、鋼の靱性が高まる。 A l 含有量が低すぎればこれらの効果が得られない。一方、 A l 含有量が高すぎれば、粗大な非金属介在物が増加して、鋼の靱性が低下する。したがって、 A l 含有量は 0 . 0 2 5 ~ 0 . 6 5 0 % である。 A l 含有量の好ましい下限は 0 . 0 3 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 4 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 5 0 % である。 A l 含有量の好ましい上限は 0 . 4 5 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 3 5 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 2 5 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 1 1 5 % である。本明細書でいう A l 含有量は、酸可溶 A l (s o l . A l) の含有量を意味する。

【 0 0 6 6 】

N : 0 . 0 0 3 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %

窒素 (N) は、 A l と結合して A l N を形成し、結晶粒を微細化する。結晶粒が微細化

10

20

30

40

50

することにより、鋼の靱性を高める。N含有量が低すぎればこの効果が得られない。一方、N含有量が高すぎれば、その効果が飽和する。したがって、N含有量は0.0030～0.0200%である。N含有量の好ましい下限は、0.0035%であり、さらに好ましくは0.0040%である。N含有量の好ましい上限は、0.0100%であり、さらに好ましくは0.0080%である。

【0067】

本実施形態による鉄道車輪の化学組成の残部は、Fe及び不純物からなる。ここで、不純物とは、上記鉄道車輪を工業的に製造する際に、原料としての鉱石、スクラップ、又は製造環境などから混入されるものであって、本実施形態の鉄道車輪に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。

10

【0068】

本実施形態による鉄道車輪の化学組成はさらに、Feの一部に代えて、Cr及びVからなる群から選択される1種以上を含有してもよい。

【0069】

Cr：0～0.60%

クロム(Cr)は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Cr含有量は0%であってもよい。含有される場合、Crは、パーライトのラメラ間隔を減少させることにより、パーライトの硬度を顕著に増大させる。しかしながら、Cr含有量が高すぎれば、初析セメントが生成しやすくなる。Cr含有量が高すぎればさらに、焼入れ性が高くなり、マルテンサイトが生成しやすくなる。したがって、Cr含有量は0～0.60%である。Cr含有量の好ましい上限は0.30%であり、好ましくは0.25%であり、さらに好ましくは0.10%である。パーライトのラメラ間隔減少の効果を得る場合のCr含有量の好ましい下限は0.02%である。

20

【0070】

V：0～0.12%

バナジウム(V)は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、V含有量は0%であってもよい。含有される場合、Vは、炭化物、窒化物、及び炭窒化物のいずれかを形成して、鋼を析出強化する。その結果、鉄道車輪の硬さが顕著に増大して、耐摩耗性をさらに高める。しかしながら、V含有量が高すぎれば、焼入れ性が高くなり、踏面焼入れ後の焼入れ層の厚さが過剰に増大する。したがって、V含有量は0～0.12%である。V含有量の好ましい上限は0.09%である。V含有量の好ましい下限は0.02%であり、さらに好ましくは0.03%である。

30

【0071】

[鉄道車輪の製造方法]

上述の鉄道車輪の製造方法を説明する。本実施形態による鉄道車輪の製造方法は、熱処理工程を含む。熱処理工程は、加熱工程と、冷却工程とを備える。

【0072】

[加熱工程]

加熱工程では、初めに上述の化学組成を有し、ボス部、板部及びリム部を備える鉄道車輪の粗形状を有する中間品を準備する。中間品はたとえば、次の方法で製造される。

40

【0073】

電気炉又は転炉等を用いて、上述の化学組成を有する溶鋼を製造する。溶鋼を用いて素材を製造する。たとえば、連続鋳造法により、鋳片を製造する。又は、造塊法により、インゴットを製造する。鋳片又はインゴットに対して、分塊圧延又は熱間鍛造を実施して、素材としてのピレットを製造する。素材は連続鋳造法により製造された鋳片であってもよい。素材の形状は円柱状が好ましい。

【0074】

準備された素材を用いて、上述の中間品を成形する。素材を長手方向に対し垂直の方向に切断する。切断面に対して垂直方向に熱間加工し、円盤状の形状に成形する。さらに、熱間加工で、車輪の粗形状となるように鉄道用車輪の中間品を成形する。熱間加工ではた

50

例えば、熱間鍛造を実施し、その後、必要に応じて熱間圧延（車輪圧延）を実施する。以上の工程により、中間品を製造する。

【0075】

製造された中間品を加熱する。具体的には、中間品を A_{cm} 変態点（ ）以上に加熱する。たとえば、中間品を加熱炉に装入し、 A_{cm} 変態点以上の温度（焼入れ温度）で加熱する。昇温速度及び焼入れ温度での保持時間は、周知の条件で足りる。 A_{cm} 変態点は鋼の化学組成によって変わるが、焼入れ温度はたとえば 850 ~ 1000 である。

【0076】

[冷却工程]

加熱された中間品に対して、冷却工程を実施する。この冷却工程により、鉄道車輪の中間品のうち踏面直下の表層及びフランジの表層のマイクロ組織を、耐摩耗性が高い微細パーライト組織とする。踏面直下の表層及びフランジの表層においては、微細パーライトの上層に焼入れ層（マルテンサイト及びノ又はベイナイトからなる層）が多少生成しても構わない。この場合には、その後の工程で切削加工を行い焼入れ層を除去する。一方、中間品のうち踏面及びフランジ表面以外の表面では、マイクロ組織中に焼入れ層が生成するのを抑制する。そして、マイクロ組織を実質的にパーライト組織（パーライトが面積率で95%以上）とする。ここで、中間品のうち、踏面及びフランジ表面以外の表面とは、板部の表面、ボス部の表面、及び、リム部の踏面及びフランジ表面以外の表面を意味する。中間品のうち踏面及びフランジ表面以外の表面において、焼入れ層が生成するのを抑制するのは、中間品のうち、踏面及びフランジ表面以外の表面においては、生成した焼入れ層を切削加工することが困難なためである。

【0077】

さらに、中間品のいずれの領域においても、初析セメンタイトの生成を抑制する。つまり、上述の過共析鋼である化学組成を有する鉄道車輪の中間品において、リム部だけでなく、板部及びボス部においても、初析セメンタイトの生成を抑制する。踏面及びフランジ以外のリム部、板部及びボス部の全てのマイクロ組織中に焼入れ層が生成するのを抑制し、かつ初析セメンタイトの生成を抑制することにより、上述の過共析鋼である化学組成を有する鉄道車輪であっても、靱性の低下を抑制することができる。

【0078】

具体的には、上述の焼入れ温度の中間品を、次の（A）～（C）の全てを満たすように、冷却を実施する。

（A）中間品のうち踏面及びフランジ表面以外の表面、すなわちボス部表面、板部表面及びリム部側面（踏面及びフランジ表面以外のリム部表面）の 800 ~ 500 における冷却速度が F_{n1} / 秒以下となるように、中間品を冷却する。

（B）中間品のうち、800 ~ 500 における冷却速度が最も遅くなる領域、すなわち、ボス部内部、板部内部及びリム部内部において冷却速度が最も遅くなる領域（以下、最遅領域という）での冷却速度が F_{n2} / 秒以上となるように、中間品を冷却する。

（C）中間品のうち踏面及びフランジ表面の 800 ~ 500 における冷却速度が F_{n2} / 秒以上となるように、中間品を冷却する。

【0079】

踏面及びフランジ表面において、冷却速度が F_{n2} / 秒未満であれば、リム部のうち、踏面及びフランジ表面近傍部分において、初析セメンタイトが析出する。したがって、踏面及びフランジ表面において、冷却速度を F_{n2} / 秒以上とする。

【0080】

なお、踏面及びフランジ表面の冷却速度の上限は特に限定されない。しかしながら、踏面及びフランジ表面での冷却速度が速すぎれば、生成する焼入れ層の厚さが増大し、切削加工工程において、除去しなければならない範囲が増大する。したがって、踏面及びフランジ表面の冷却速度の好ましい上限は 200 / 秒である。また、踏面及びフランジ面の冷却速度は、好ましくは F_{n2} / 秒以上であり、かつ、5 / 秒以上である。この場合、踏面直下の表層及びフランジの表層のパーライト組織がさらに微細になり、さらに優れ

10

20

30

40

50

た耐摩耗性が得られる。

【 0 0 8 1 】

ここで、「 8 0 0 ~ 5 0 0 における冷却速度」と規定しているのは、この温度域が、パーライト変態が起こる温度域であり、かつ、初析セメントイトが生成する温度域であるためである。「 8 0 0 ~ 5 0 0 における冷却速度」とは、鉄道車輪の中間品の各領域における 8 0 0 ~ 5 0 0 での平均冷却速度 (/ 秒) を意味する。

【 0 0 8 2 】

中間品の表面及び内部での冷却速度は、中間品 (つまり、鉄道車輪) の形状、及び、冷却方法により異なる。冷却時における中間品の表面の温度変化 (つまり、各部での冷却速度) は、サーモグラフィに代表される熱分布測定器を用いることにより、特定可能である。したがって、最遅領域の冷却速度も、熱分布測定器により、特定可能である。

10

【 0 0 8 3 】

たとえば、中間品の各部位 (領域) の温度変化を次の方法で特定する。図 1 0 は、冷却工程で用いられる冷却装置 1 0 の側面図である。図 1 0 を参照して、冷却装置 1 0 は、回転軸を有する回転装置 1 1 と、複数の冷却ノズル 1 2 ~ 1 4 とを備える。複数の冷却ノズル 1 2 ~ 1 4 は、1 又は複数の踏面冷却ノズル 1 4 と、1 又は複数の板部冷却ノズル 1 3 と、1 又は複数のボス部冷却ノズル 1 2 とを含む。1 又は複数の踏面冷却ノズル 1 4 は、従来と同様に、回転軸の周りに配置される。踏面冷却ノズル 1 4 のノズル口は、中間品の踏面 4 1 に対向して配置される。踏面冷却ノズル 1 4 のノズル口は、中間品のフランジ 4 2 の表面に対向して配置しても構わない。1 又は複数の板部冷却ノズル 1 3 は、ノズル口が板部 3 の表面に対向するように配置される。1 又は複数のボス部冷却ノズル 1 2 は、ノズル口がボス部 2 の表面に対向するように配置される。

20

【 0 0 8 4 】

踏面冷却ノズル 1 4 は、ノズル口から冷却媒体を噴射して、主としてリム部 4 の踏面 4 1 及びフランジ 4 2 の表面を冷却する。板部冷却ノズル 1 3 は、ノズル口から冷却媒体を噴射して、主として板部 3 を冷却する。ボス部冷却ノズル 1 2 は、ノズル口から冷却媒体を噴射して、主としてボス部 2 を冷却する。踏面冷却ノズル 1 4 が、リム部 4 の踏面 4 1 及びフランジ 4 2 の表面を冷却するだけでなく、板部 3 の少なくとも一部を冷却してもよい。板部冷却ノズル 1 3 が、板部 3 を冷却するだけでなく、リム部 4 の少なくとも一部及び / 又はボス部 2 の少なくとも一部を冷却してもよい。ボス部冷却ノズル 1 2 が、ボス部 2 を冷却するだけでなく、板部 3 の少なくとも一部を冷却してもよい。図 1 0 での踏面冷却ノズル 1 4、板部冷却ノズル 1 3 及びボス部冷却ノズル 1 2 の配置及び数は一例であり、これに限定されない。冷却装置の複数の冷却ノズルは、冷却工程において、上記 (A) ~ (C) を満たす冷却が可能であれば、その構成は特に限定されない。

30

【 0 0 8 5 】

上記冷却媒体は、所望の組織に適した冷却速度が得られるものであれば、特に限定されない。冷却媒体はたとえば、水、空気 (エアー)、ミスト、汽水 (スプレー) 等である。

【 0 0 8 6 】

冷却装置 1 0 はさらに、1 又は複数のサーモグラフィ (赤外線熱分布測定器) 2 0 を備える。サーモグラフィ 2 0 は、鉄道車輪の中間品を冷却装置 1 0 に装着した状態での、中間品の上面温度、下面温度、側面温度及び中間品の内部温度を測定可能となるように、配置される。図 1 0 でのサーモグラフィ 2 0 の配置及び数は一例であり、これに限定されない。図 1 0 では、複数のサーモグラフィ 2 0 は、踏面 4 1、フランジ 4 2 の表面、リム部 4 の表面のうち踏面 4 1 及びフランジ 4 2 の表面以外の表面 (たとえば、リム部 4 の側面)、板部 3 の表面、及びボス部 2 の表面の温度分布が測定可能となるように配置されている。

40

【 0 0 8 7 】

たとえば、 A_{cm} 変態点以上に加熱されたサンプル中間品 (実際に製品となる鉄道車輪の中間品と同じ形状、同じ組成を有し、温度測定を目的としたサンプル品) を冷却装置 1 0 に配置する。回転装置 1 1 によりサンプル中間品を回転させながら、各冷却ノズル 1 2

50

～ 14 から冷却媒体を噴射して、冷却を開始する。冷却中、複数のサーモグラフィ 20 により、サンプル中間品の温度分布の変化を測定する。

【 0088 】

複数のサーモグラフィ 20 は図示しない温度分布解析装置に接続されている。温度分布解析装置はたとえば、コンピュータと、コンピュータ内のメモリに格納された温度分布解析プログラムとを含む。温度分布解析プログラムが CPU で実行されることにより、温度分布解析装置は、サンプル中間品の各領域（サンプル中間品の内部領域も含む）の単位時間当たりの温度変化を三次元的に解析する。温度分布解析装置はたとえば、三次元 FEM（有限要素法）を用いた周知の熱伝導解析プログラムを用いて、周知の方法で解析できる。

10

【 0089 】

サンプル中間品を常温まで冷却（急冷）して、サンプル中間品の各領域の温度変化を特定する。そして、温度変化の結果に基づいて、サンプル中間品のうち、800～500 における冷却速度が最も遅い領域（最遅領域）を特定する。

【 0090 】

サーモグラフィ 20 により測定されたサンプル中間品の領域うち、踏面 41 及びフランジ 42 の表面以外の表面、すなわちボス部 2 の表面、板部 3 の表面、及び、リム部 4 の踏面 41 及びフランジ 42 以外の表面の 800～500 における冷却速度が F_n1 / 秒以下となり、三次元的解析によりサンプル中間品において特定された最遅領域での 800～500 における冷却速度が F_n2 / 秒以上となり、サーモグラフィ 20 により測定されたサンプル中間品のうち踏面 41 及びフランジ 42 表面の 800～500 における冷却速度が F_n2 / 秒以上となるように、冷却装置 10 でサンプル中間品の冷却速度を調整する。具体的には、踏面冷却ノズル 14、板部冷却ノズル 13、及び、ボス部冷却ノズル 12 の各々の冷却媒体の流量を調整したり、冷却装置 10 に配置されている複数の踏面冷却ノズル 14、板部冷却ノズル 13、及び、ボス部冷却ノズル 12 のうち、使用する冷却ノズルを選択したりして、冷却速度を調整する。調整後、サンプル中間品に代えて、 A_{cm} 変態点以上に加熱された製品用の中間品に対して、冷却装置 10 を用いて冷却を実施する。好ましくは、踏面 41 及びフランジ 42 の表面以外の表面の 800～500 における冷却速度が F_n1 / 秒以下となり、三次元的解析によりサンプル中間品において特定された最遅領域での 800～500 における冷却速度が F_n2 / 秒以上となり、サーモグラフィ 20 により測定されたサンプル中間品のうち踏面 41 及びフランジ 42 表面の 800～500 における冷却速度が F_n2 / 秒以上かつ 5 / 秒以上であり、200 / 秒以下となるように、冷却装置 10 でサンプル中間品の冷却速度を調整する。

20

30

【 0091 】

冷却工程において、中間品の踏面 41 及びフランジ 42 の表面の冷却速度を 5 / 秒以上とすることにより、踏面 41 の直下の表層部分及びフランジ 42 の表層部分では、微細なパーライトが形成される。本実施形態の鉄道車輪の C 含有量は 0.80～1.15% と高い。そのため、微細パーライトの耐摩耗性が高まる。また、踏面 41 及びフランジ 42 の表面の冷却速度を F_n2 / 秒以上となるように中間品を冷却することにより、踏面 41 及びフランジ 42 の表面においても初析セメンタイトの生成が抑制される。

40

【 0092 】

また、踏面 41 及びフランジ 42 の表面以外の表面（ボス部 2 の表面、板部 3 の表面、及び、リム部 4 の踏面 41 及びフランジ 42 表面以外の表面）においては、冷却速度が F_n1 / 秒以下となるように中間品を冷却する。これにより、踏面 41 及びフランジ 42 以外の表面での焼入れ層の生成が抑制される。また、ボス部 2、板部 3、及び、リム部 4 の領域のうち、最遅領域での冷却速度が F_n2 / 秒以上となるように中間品を冷却する。これにより、初析セメンタイトの生成が抑制される。すなわち、上述の冷却工程では、踏面 41 及びフランジ 42 に加えて、踏面 41 及びフランジ 42 以外の部分（ボス部 2、板部 3、及び、リム部 4 の側面）においても冷却が促進される。以上の工程により、冷却工程が実施される。冷却工程後の中間品の温度はたとえば、常温（25）である。しか

50

しながら、冷却工程後の中間品の温度は、500 以下であれば、特に限定されない。

【0093】

[焼戻し工程]

冷却工程後の中間品に対して、必要に応じて焼戻しを実施する。焼戻しは周知の温度及び時間で行えば足りる。焼戻し温度は A_{c1} 変態点以下である。焼戻し温度はたとえば、400～600 であり、焼戻し温度での保持時間はたとえば、60～180分である。ただし、焼戻し温度及び保持時間はこれに限定されない。焼戻しは実施しなくてもよい。

【0094】

[切削加工工程]

熱処理工程（加熱工程及び冷却工程）後の中間品の踏面41の直下の表層及びフランジ42の表層には微細パーライトが形成されるものの、微細パーライトの上層には焼入れ層が形成される場合がある。鉄道車輪の使用において、焼入れ層の耐摩耗性は低い。そのため、本工程において、切削加工により踏面41の直下の表層及びフランジ42の表層の焼入れ層を除去する。切削加工は周知の方法で行えば足りる。

10

【0095】

なお、本実施形態の製造方法では、踏面41及びフランジ42の表面以外の他の表面（ボス部2の表面、板部3の表面、及び、リム部4の表面のうち踏面41及びフランジ42の表面以外の表面）には焼入れ層が形成されにくい。そのため、本実施形態の鉄道車輪の製造方法では、鉄道車輪の中間品のリム部4だけでなく、板部3及びボス部2も冷却するにも関わらず、踏面41及びフランジ42の表面以外の表面（ボス部2の表面、板部3の表面、及び、リム部4の側面）を切削しなくてよい。

20

【0096】

以上の工程により、本実施形態の鉄道車輪が製造される。本実施形態の製造方法で鉄道車輪を製造した場合、過共析鋼を用いた鉄道車輪であるにも関わらず、板部3及びボス部2の領域において、韌性低下の要因である初析セメンタイトの生成が抑制される。さらに、過共析鋼を用いた鉄道車輪であるにも関わらず、板部3及びボス部2の領域において、韌性低下の要因となる焼入れ層の生成も抑制できる。なお、リム部4においても、初析セメンタイトの生成が抑制される。

【0097】

[鉄道車輪の組織について]

上述の製造方法により製造された鉄道車輪のミクロ組織は、次のとおりである。踏面直下の表層及びフランジの表層部分の組織は、パーライト組織である。初析セメンタイト量は、1.0本/100 μ m以下である。ボス部、板部、リム部のうちの踏面及びフランジ以外の部分のミクロ組織は、実質的にパーライトからなる。つまり、面積率の95%以上がパーライトである。さらに、初析セメンタイト量は、1.0本/100 μ m以下である。

30

【0098】

より具体的には、上述の化学組成を有する過共析鋼の鉄道車輪において、ボス部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、初析セメンタイト量は1.0本/100 μ m以下である。そして、板部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、初析セメンタイト量は1本/100 μ m以下である。そして、リム部のミクロ組織において、パーライトの面積率は95%以上であり、初析セメンタイト量は1.0本/100 μ m以下である。ここで、初析セメンタイト量は式(A)で定義される。

40

初析セメンタイト量(本/100 μ m) = 200 μ m × 200 μ mの正方形視野の2本の対角線と交差する初析セメンタイトの本数の総和 / (5.66 × 100 μ m) (A)

【0099】

ここで、ミクロ組織は次の方法で観察できる。鉄道車輪の各部（ボス部、板部、リム部）の表面から5mmよりも深い位置において、ミクロ組織観察用のサンプルを採取する。サンプルの観察面を機械研磨により鏡面仕上げした後、観察面をピクリン酸と水酸化ナト

50

リウムとの混合液で腐食する。腐食後の観察面内の任意の1視野(200 μm × 200 μm)に対して、500倍の光学顕微鏡を用いて写真画像を生成する。観察面において、旧オーステナイト粒界に生成した初析セメンタイトは黒色を呈するため、初析セメンタイトの生成有無が特定される。

【0100】

図11に示すとおり、200 μm × 200 μmの正方形の視野100に、2本の対角線101を引く。そして、これら2本の対角線101と交差する初析セメンタイトの本数の総和を求める。式(1)で定義するように、求めた初析セメンタイトの総本数を、2本の対角線101の総長さ(5.66 × 100 μm)で除して、100 μmあたりの初析セメンタイト量(本/100 μm)を求める。

10

【0101】

初析セメンタイト量が1.0本/100 μm以下であれば、初析セメンタイトの生成を十分に抑制できている。

【0102】

次に、同一の観察面を再度、機械研磨により鏡面仕上げし、ナイトル液(硝酸とエタノールとの混合液)で腐食する。腐食後の観察面内の任意の1視野(200 μm × 200 μm)に対して、500倍の光学顕微鏡を用いて写真画像を生成する。フェライト、ベイナイト、マルテンサイト、パーライトは、それぞれコントラストが異なる。したがって、コントラストに基づいて、観察面中の焼入れ層、及び、パーライトを特定する。パーライトの面積率は、特定されたパーライトの総面積と観察面の面積とに基づいて求める。

20

【0103】

上述の製造方法で製造された鉄道車輪において、踏面及びフランジを含むリム部のマイクロ組織では、パーライト面積率が95%以上であり、実質的にパーライトからなる。そして、初析セメンタイト量は1.0本/100 μm以下である。そのため、鉄道車輪は耐摩耗性に優れる。さらに、鉄道車輪のボス部、板部及びリム部のうち踏面及びフランジ以外の部分のマイクロ組織も、実質的にパーライトからなる。そして、ボス部、板部及びリム部のうち踏面及びフランジ以外の部分のマイクロ組織において、初析セメンタイト量はそれぞれ1.0本/100 μm以下である。そのため、本実施形態による鉄道車輪は、過共析鋼となる化学組成を有していても、靱性に優れる。

【0104】

30

なお、冷却工程直後においては、上述のとおり、鉄道車輪は、リム部の踏面直下の表層及びフランジの表層には焼入れ層を含んでもよい。ただし、鉄道車輪が使用される前に、焼入れ層は、上述の切削加工により除去される。その結果、リム部の踏面及びフランジ表面のマイクロ組織は実質的にパーライトからなる。

【実施例1】

【0105】

表3に示す化学組成を有する鋼番号1~18の溶鋼を製造した。

【0106】

【表 3】
TABLE3

鋼番号	化学組成(単位は質量%、残部はFe及び不純物)									Acm温度(°C)	Fn1	Fn2	備考
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	V				
1	0.84	0.30	0.81	0.001	0.002	0.032	0.0038	0.00	0.00	768	24.8	0.5	本発明例
2	0.93	0.29	0.80	0.001	0.002	0.032	0.0042	0.00	0.00	802	21.7	0.6	本発明例
3	1.00	0.30	0.80	0.001	0.002	0.034	0.0040	0.00	0.00	828	18.8	1.2	本発明例
4	1.09	0.30	0.79	0.001	0.002	0.036	0.0040	0.00	0.00	860	16.0	6.1	本発明例
5	1.02	0.05	0.81	0.002	0.001	0.031	0.0042	0.00	0.00	829	26.8	1.3	本発明例
6	1.03	0.89	0.80	0.001	0.002	0.036	0.0040	0.00	0.00	854	5.7	3.2	本発明例
7	1.04	0.29	0.40	0.002	0.001	0.030	0.0056	0.00	0.00	842	26.2	2.0	本発明例
8	1.02	0.31	1.23	0.002	0.001	0.030	0.0058	0.00	0.00	836	11.5	1.9	本発明例
9	1.05	0.29	0.79	0.001	0.001	0.033	0.0030	0.11	0.00	853	13.6	3.4	本発明例
10	1.03	0.29	0.78	0.001	0.001	0.034	0.0034	0.21	0.00	852	11.0	2.7	本発明例
11	1.02	0.28	0.79	0.001	0.001	0.033	0.0036	0.51	0.00	868	4.5	4.2	本発明例
12	1.03	0.29	0.79	0.001	0.001	0.063	0.0041	0.00	0.00	838	17.3	1.4	本発明例
13	1.03	0.29	0.80	0.001	0.001	0.100	0.0044	0.00	0.00	836	15.9	1.0	本発明例
14	1.03	0.29	0.80	0.001	0.001	0.200	0.0046	0.00	0.00	832	13.0	0.6	本発明例
15	1.00	0.29	0.81	0.001	0.002	0.300	0.0034	0.00	0.00	817	11.0	0.5	本発明例
16	1.00	0.30	0.80	0.001	0.002	0.610	0.0034	0.00	0.00	804	4.9	0.5	本発明例
17	1.03	0.29	0.80	0.002	0.001	0.029	0.0048	0.00	0.03	843	13.4	1.7	本発明例
18	1.03	0.29	0.80	0.002	0.001	0.026	0.0047	0.00	0.09	842	6.6	1.5	本発明例

10

20

【0107】

上記溶鋼を用いて造塊法により丸インゴット(上面直径107mm、底面直径97mm、高さ230mmの円錐台型)を製造した。インゴットを1250に加熱後、850~1100の温度範囲内で熱間鍛造して、直径40mmの鉄道車輪用の丸棒を製造した。

【0108】

[ジョミニ式一端焼入れ試験]

鋼番号1~鋼番号18の直径40mmの丸棒から、直径25mm、長さ100mmのジョミニ試験片を作製した。具体的には、旋盤加工により、直径40mmの丸棒を直径25mmの棒鋼とした。その後、100mmの長さで丸棒を切断して、ジョミニ試験片を作製した。

30

【0109】

鉄道車輪の製造工程中の熱処理工程(加熱工程及び冷却工程)を模擬して、ジョミニ試験片を用いて、JIS G0561(2011)に準拠したジョミニ式一端焼入れ試験を実施した。具体的には、ジョミニ試験片を大気雰囲気中、 A_{cm} 変態点以上の温度である950の炉内で30分保持して、ジョミニ試験片の組織をオーステナイト単相とした。その後、一端焼入れ(水冷)を実施した。具体的には、ジョミニ試験片の一端に水を噴射して冷却した。水冷後、水冷を実施したジョミニ試験片の側面を機械研磨し、その一端(水冷端)から軸方向に一定間隔で、JIS Z2245(2011)に準拠したCスケールを用いたロックウェル硬さ(HRC)試験を実施し、HRC分布を得た。HRCの測定間隔は水冷端から15mm位置までは1.0mmピッチとし、水冷端から15mm以上の位置では2.5mmピッチとした。

40

【0110】

得られたHRC分布の一例を図12に示す。図12では、鋼番号1~4の結果を示す。図12を参照して、ジョミニ曲線は、試験片の水冷端位置の硬さを基準として、水冷端からの距離の増加にともない硬さが急激に低下する領域Aと、領域Aよりも水冷端から離れ

50

た位置であって、水冷端からの距離に対して領域 A よりも硬さが緩やかに低下する領域 B とに分類された。組織観察した結果、領域 A はマルテンサイト及び / 又はベイナイトからなる焼入れ層に相当した。領域 B は実質的にパーライトからなる組織であった。図 1 2 に示すような H R C 分布に基づいて、焼入れ層深さを求めた。

【 0 1 1 1 】**[ミクロ組織観察]**

水冷端からの各距離におけるミクロ組織観察は、次の方法で実施した。ジョミニ試験片の水冷端からの各距離にて、H R C 測定を行ったサンプル側面の測定面を観察面として、機械研磨により鏡面仕上げした後、観察面をピクリン酸と水酸化ナトリウムとの混合液で腐食した。腐食後の観察面内の任意の 1 視野 (2 0 0 μ m \times 2 0 0 μ m) に対して、5 0 0 10

【 0 1 1 2 】

図 1 1 に示すとおり、2 0 0 μ m \times 2 0 0 μ m の正方形の視野 1 0 0 に、2 本の対角線 1 0 1 を引いた。そして、これら 2 本の対角線 1 0 1 と交差する初析セメンタイトの本数の総和を求めた。求めた初析セメンタイトの総本数を、2 本の対角線 1 0 1 の総長さ (5 . 6 6 \times 1 0 0 μ m) で除して、1 0 0 μ m あたりの初析セメンタイト量 (本 / 1 0 0 μ m) を求めた。つまり、式 (A) に基づいて、初析セメンタイト量を定義した。

【 0 1 1 3 】

初析セメンタイト量が 1 . 0 本 / 1 0 0 μ m 以下であれば、初析セメンタイトの生成を抑制できたと判断した。表 4 中の各鋼番号の水冷端からの距離に対応して記載された数値は、初析セメンタイト量 (本 / 1 0 0 μ m) を示す。たとえば、試験番号 4 の冷却速度 1 3 . 1 / 秒 (水冷端からの距離 1 3 m m) の値 (0 . 5) は、試験番号 4 の試験片において、水冷端から軸方向に 1 3 m m の距離位置での初析セメンタイト量が 0 . 5 本 / 1 0 0 μ m であったことを意味する。

【 0 1 1 4 】

10

20

【表 4】

TABLE4

シヨミニ式一端焼入れ試験

水冷却からの距離(mm)	冷却速度(C/秒)	シヨミニ式一端焼入れ試験																		Fn1	Fn2	備考						
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17.5	20	22.5	25	27.5				30	32.5	35	37.5	40	
148	85.7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	24.8	0.5	本発明例
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	21.7	0.6	本発明例
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	18.8	1.2	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	16.0	6.1	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	26.8	1.3	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	5.7	3.2	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	26.2	2.0	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	11.5	1.9	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	13.6	3.4	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	11.0	2.7	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	4.0	4.0	本発明例		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	3.5	4.5	4.2	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	2.9	2.9	1.4	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	2.7	2.9	1.0	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	1.6	13.0	0.6	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	0.3	11.0	0.5	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	0.3	4.9	0.5	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	2.1	13.4	1.7	本発明例	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	2.4	6.6	1.5	本発明例	

鋼種名

10

20

30

40

【 0 1 1 5 】

次に、同一の観察面を再度、機械研磨により鏡面仕上げし、ナイトル液（硝酸とエタノールとの混合液）で腐食した。腐食後の観察面内の任意の1視野（200 μm × 200 μ

50

m) に対して、500倍の光学顕微鏡を用いて写真画像を生成した。フェライト、ベイナイト、マルテンサイト、パーライトは、それぞれコントラストが異なる。したがって、コントラストに基づいて、観察面中の焼入れ層、パーライトを特定した。パーライトの面積率は、特定されたパーライトの総面積と観察面の面積とに基づいて求めた。

【0116】

なお、ジョミニ式一端焼入れ試験時の水冷端からの距離と800 から500 までの冷却時間の関係については、実験的に示された文献データ (F. Wever et al., Zur Frage der Warmbehandlung der Stähle auf Grund ihrer Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder, Stahl u Eisen, 74 (1954), p 749 ~ 761) が存在する。この文献データに基づき、水冷端からの距離を変換し、各位置の800 ~ 500 での平均冷却速度とした。水冷速度を、水冷端からの距離に対応して表4中に記載した。

【0117】

[フォーマスタ試験]

上記のジョミニ試験片を用いて、ジョミニ式一端焼入れ試験では再現できない、低冷速での連続冷却試験を実施した。熱処理には富士電波工機製のフォーマスタ試験機を使用した。鋼番号1 ~ 鋼番号18の直径40mmの丸棒から、直径3mm、長さ10mmの試験片を各鋼番号につき1個ずつ用意した。試験片を950 で5分間均熱した。その後、一定の冷却速度1.0 /秒で冷却した。冷却後の試験片に対して、上述の方法により、初析セメンタイト量(本/100 μm)を算出した。

【0118】

冷却速度1.0 /秒で初析セメンタイトが確認されなかった鋼番号については、さらに、0.1 /秒での連続冷却熱処理試験を別途実施し、上述と同様の方法で初析セメンタイト量を求めた。

【0119】

[試験結果]

結果を表4に示す。表4中において、水冷端からの距離に対応した欄の「 」印は、その距離における組織が焼入れ層(マルテンサイト及びノ又はベイナイト)であったことを示す。また、水冷端からの距離に対応した欄の「 」印は、その距離における組織が実質的にパーライトからなり(面積率で95%以上がパーライトであり)、マルテンサイト又はベイナイトが確認されず、初析セメンタイトも確認されなかったことを示す。水冷端からの距離に対応した欄の「数値」は、組織が実質的にパーライトからなり(面積率で95%以上がパーライトであり)、その距離における初析セメンタイトの100 μmあたりの本数を示す。また、表4中の各鋼番号においては、冷却速度(/秒)が式(1)で定義されるFn1以下であり、式(2)で定義されるFn2以上である範囲をグレーで色づけした。表4を参照して、グレーで色づけされた冷却速度の範囲では、焼入れ層が生成せず、かつ、初析セメンタイト量が1.0本/100 μm以下であった。

【0120】

表3及び表4を参照して、いずれの鋼番号においても、冷却速度がFn2以上となった場合、C含有量が0.80 ~ 1.15%の過共析鋼であっても、初析セメンタイト量が1.0本/100 μm以下となり、初析セメンタイトの生成を抑制できた。そのため、鉄道車輪において、十分な靱性が確保できることが予想できた。さらに、冷却速度がFn1以下であれば、焼入れ層の生成が抑制された。そのため、鉄道車輪において、十分な靱性が確保できることが予想できた。したがって、中間品のうち踏面及びフランジ表面以外の表面、すなわちボス部表面、板部表面及びリム部側面(踏面及びフランジ表面以外のリム部表面)の800 ~ 500 における冷却速度がFn1 /秒以下となるようにし、中間品のうち、800 ~ 500 における冷却速度が最も遅くなる領域、すなわち、ボス部内部、板部内部及びリム部内部において冷却速度が最も遅くなる領域(以下、最遅領域という)での冷却速度がFn2 /秒以上となるようにし、中間品のうち踏面及びフランジ表面

の 800 ~ 500 における冷却速度が $F_n 2$ / 秒以上となるように、中間品を冷却すれば、製造された鉄道車輪において、ボス部、板部、リム部のいずれにおいてもパーライト面積率が 95% 以上となり、初析セメンタイト量が 1.0 本 / 100 μm 以下となり、ボス部及び板部の表面において、焼入れ層の生成を抑制できることが分かった。

【実施例 2】

【0121】

表 3 中の鋼番号 9 の直径 40 mm の丸棒を用いて、初析セメンタイト量とシャルピー衝撃値 (J/cm^2) との関係进行调查した。4 本の鋼番号 9 の丸棒を 950 で 30 分均熱し、その後、表 5 に示す冷却速度で冷却した。冷却速度は、種々の温度のソルトバスに浸漬することにより、調整した。

【0122】

【表 5】

TABLE5

鋼番号	冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{S}$)	F_n1	F_n2	初析 セメンタイト量 (本/ μm)	シャルピー 衝撃値 (J/cm^2)
9-1	3.86	13.6	3.4	0.53	23.3
9-2	0.88	13.6	3.4	2.67	19.0
9-3	0.50	13.6	3.4	2.40	17.8
9-4	0.35	13.6	3.4	3.20	15.0

【0123】

【ミクロ組織観察】

冷却後の各試験番号 (9 - 1 ~ 9 - 4) の丸棒の中央部から、ミクロ組織観察用のサンプルを採取した。サンプルの観察面は、丸棒の中心軸に対して垂直な面とした。機械研磨により観察面を鏡面仕上げした後、観察面をピクリン酸と水酸化ナトリウムとの混合液で腐食した。腐食後の観察面内の任意の 1 視野 (200 μm \times 200 μm) に対して、500 倍の光学顕微鏡を用いて写真画像を生成した。観察面において、旧オーステナイト粒界に生成した初析セメンタイトは黒色を呈するため、初析セメンタイトの生成有無が特定できた。また、実施例 1 と同じ方法により、パーライト面積率を求めた。その結果、いずれの試験番号においても、パーライト面積率が 95% 以上であった。

【0124】

図 11 に示すとおり、200 μm \times 200 μm の正方形の視野 100 に、2 本の対角線 101 を引いた。そして、これら 2 本の対角線 101 と交差する初析セメンタイトの本数の総和を求めた。求めた初析セメンタイトの総本数を、2 本の対角線 101 の総長さ (5.66 \times 100 μm) で除して、100 μm あたりの初析セメンタイト量 (本 / 100 μm) を求めた。つまり、式 (A) に基づいて、初析セメンタイト量を定義した。

【0125】

【シャルピー衝撃試験】

各試験番号 (9 - 1 ~ 9 - 4) の丸棒から、シャルピー試験片 (10 mm \times 10 mm \times 55 mm) を作製した。シャルピー試験片の中心軸は、丸棒の中心軸と一致した。シャルピー試験片を用いて、JIS Z 2242 (2005) に準拠したシャルピー衝撃試験を室温 (25) にて実施した。

【0126】

【試験結果】

試験結果を表 5 に示す。表 5 を参照して、冷却速度が $F_n 2$ 以上 (3.4) の場合 (鋼番号 9 - 1)、初析セメンタイト量は 1.0 本 / 100 μm 以下であった。そのため、シャルピー衝撃値が 20.0 J/cm^2 以上と高く、十分な靱性が得られた。一方、冷却速度が $F_n 2$ 未満の場合 (鋼番号 9 - 2 ~ 9 - 4)、シャルピー衝撃値は 20.0 J/cm^2 未満と低かった。

【0127】

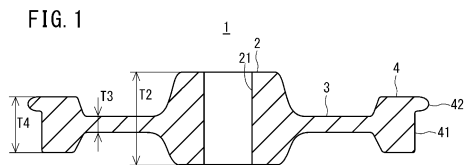
以上、本発明の実施形態を説明した。しかしながら、上述した実施形態は本発明を実施するための例示に過ぎない。したがって、本発明は上述した実施形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施形態を適宜変更して実施することができる。

【符号の説明】

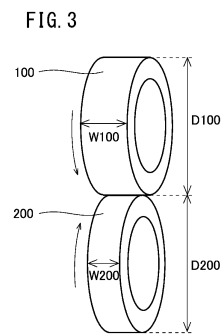
【0128】

- 1 鉄道車輪
- 2 ボス部
- 3 板部
- 4 リム部
- 10 冷却装置

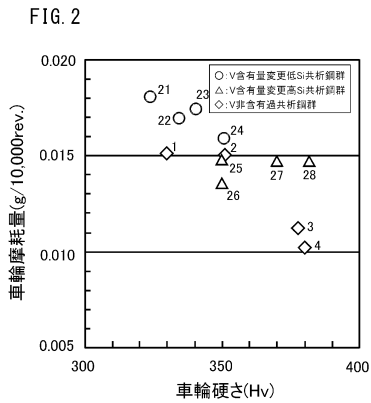
【図1】



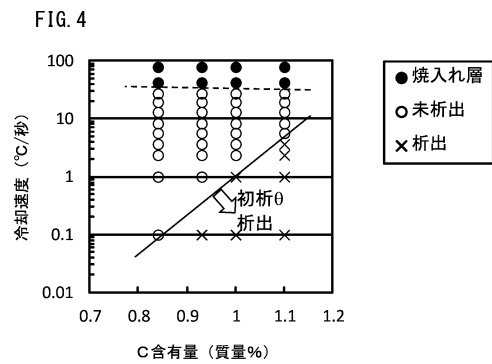
【図3】



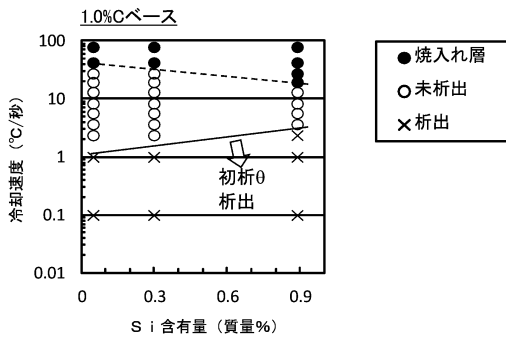
【図2】



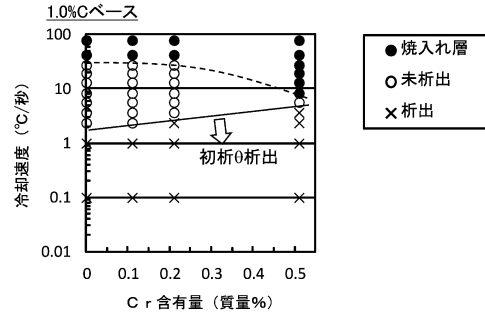
【図4】



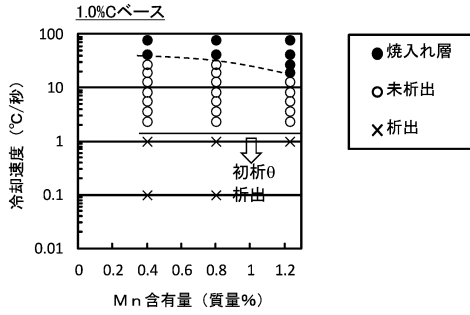
【 図 5 】
FIG. 5



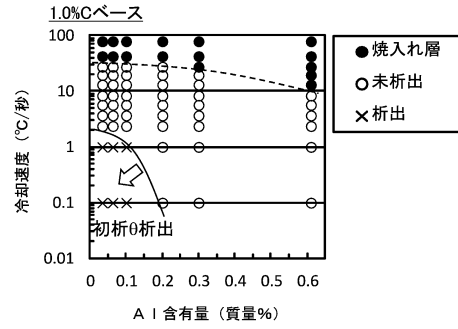
【 図 7 】
FIG. 7



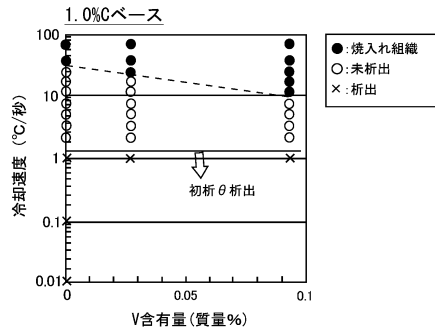
【 図 6 】
FIG. 6



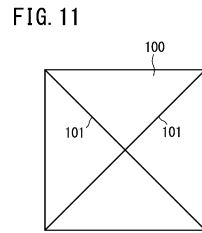
【 図 8 】
FIG. 8



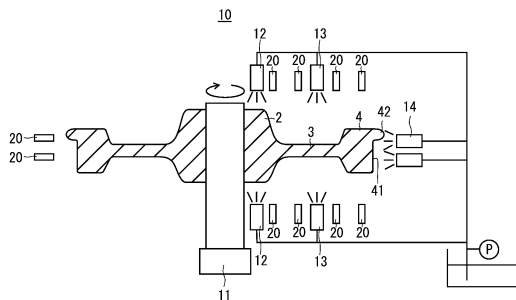
【 図 9 】
FIG. 9



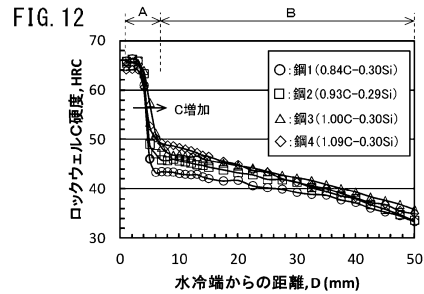
【 図 1 1 】



【 図 1 0 】
FIG. 10



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-315928(JP,A)
国際公開第2015/190088(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C21D 9/00 - 9/44

C22C 38/00 - 38/60