

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7031793号
(P7031793)

(45)発行日 令和4年3月8日(2022.3.8)

(24)登録日 令和4年2月28日(2022.2.28)

(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 38/26 (2006.01)	C 2 2 C 38/26			
C 2 1 D 9/34 (2006.01)	C 2 1 D 9/34			

請求項の数 3 (全19頁)

(21)出願番号	特願2021-542441(P2021-542441)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和3年3月25日(2021.3.25)	(74)代理人	110001553 アセンド特許業務法人
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/012494	(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 日本製鉄株式会社内
(87)国際公開番号	WO2021/193808	(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 日本製鉄株式会社内
(87)国際公開日	令和3年9月30日(2021.9.30)	審査官	宮脇 直也
審査請求日	令和3年7月21日(2021.7.21)		
(31)優先権主張番号	特願2020-56886(P2020-56886)		
(32)優先日	令和2年3月26日(2020.3.26)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	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

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

鉄道車輪であって、

リム部と、

ボス部と、

前記リム部と前記ボス部との間に配置され、前記リム部と前記ボス部とにつながる板部とを備え、

前記鉄道車輪の化学組成は、質量%で、

C : 0 . 8 0 ~ 1 . 1 5 %、

S i : 1 . 0 0 % 以下、

M n : 0 . 1 0 ~ 1 . 2 0 %、

P : 0 . 0 5 0 % 以下、

S : 0 . 0 3 0 % 以下、

A l : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 9 0 %、

N : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 5 0 %、

C r : 0 ~ 0 . 2 5 %、

V : 0 ~ 0 . 1 2 %、及び、

残部が F e 及び不純物からなり、

前記鉄道車輪の前記リム部のミクロ組織において、

初析セメントイト面積率が0.1～1.5%であり、
パーライト面積率が95.0%以上である、
鉄道車輪。

【請求項2】

請求項1に記載の鉄道車輪であって、
前記化学組成は式(1)を満たす、
鉄道車輪。

$$100Nb / (C + 0.5Si + 0.8Mn + 15Al + 40Cr + 10V) \leq 0.070 \quad (1)$$

ここで、式(1)中の元素記号には、対応する元素の含有量が質量%で代入される。

10

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載の鉄道車輪であって、
前記化学組成は、

Cr: 0.02～0.25%、及び、

V: 0.02～0.12%、

からなる群から選択される1元素以上を含有する、
鉄道車輪。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、鉄道車輪に関する。

20

【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。最近、鉄道輸送の高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)、特開2004-315928号公報(特許文献4)に提案されている。

30

【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%未満、S: 0.03%以下を含有し、残部がFe及び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れ工程を含む。

40

【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%、P: 0.05%、Cu: 0.20%、Ni: 0.20%を含有し、残部がFeと不純物からなる化学組成を有する。この化学組成はさらに、次の関係式を満たす。 $[34 - 2.7 + 29.5 \times C + 2.9 \times Si + 6.9 \times Mn + 10.8 \times Cr + 30.3 \times Mo + 44.3 \times V - 43]$ かつ $[0.76 \times \exp(0.05 \times C) \times \exp(1.35 \times Si) \times \exp(0.38 \times Mn) \times \exp(0.77 \times Cr) \times \exp(3.0 \times Mo) \times \exp(4.6 \times V) - 25]$ 。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、耐スポークリ

50

ング性に優れる、と特許文献 2 には記載されている。

【0006】

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 F_{n1} が 32 ~ 43 で、かつ、式(2)で表される F_{n2} 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、 $F_{n1} = 2.7 + 29.5C + 2.9Si + 6.9Mn + 10.8Cr + 30.3Mo + 44.3V$ であり、式(2)は、 $F_{n2} = \exp(0.76) \times \exp(0.05C) \times \exp(1.35Si) \times \exp(0.38Mn) \times \exp(0.77Cr) \times \exp(3.0Mo) \times \exp(4.6V)$ である。この車輪用鋼は、
上記化学組成を有し、 F_{n1} 及び F_{n2} が上記範囲を満たすことにより、耐摩耗性、耐転
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。

10

【0007】

特許文献 4 に開示された鉄道車輪は、質量%で、C : 0.85 ~ 1.20%、Si : 0.10 ~ 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輪であって、鉄道車輪の踏面及びノ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、鉄道車輪が上記構成を有することにより、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。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開平 9 - 202937 号公報

特開 2012 - 107295 号公報

特開 2013 - 231212 号公報

特開 2004 - 315928 号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献 1 に提案されている鉄道車輪は、適度の焼入れ性と、パーライト組織が得られる性質とを得るために、Cr 含有量を低く抑え、さらに、適量の Si を含有する。しかしながら、特許文献 1 に記載の鉄道車輪の C 含有量は 0.4 ~ 0.75% であり、この鉄道車輪はいわゆる亜共析鋼からなる。そのため、耐摩耗性の向上に限界がある。

【0010】

特許文献 2 及び特許文献 3 に提案されている車輪用鋼では、C 含有量が 0.65 ~ 0.84% の鋼に V を含有することにより、パーライト組織を強化して、耐摩耗性を高めている。しかしながら、V を含有するだけでは、耐摩耗性の向上に限界がある。

40

【0011】

一方、特許文献 4 に提案されている鉄道車輪では、C 含有量を高めた過共析鋼を用いることにより、耐摩耗性を高めている。

【0012】

ところで、鉄道車輪の製造方法の一例は次のとおりである。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、中間品のリム部(リム部の特に踏面及びフランジ部)を急冷する。これにより、踏面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。しかしながら、踏面焼入れ後の踏面の表層部分には、微細パ

50

ーライトの上層に、焼入れ層が形成される。焼入れ層はマルテンサイトからなる硬質の層、又は、マルテンサイト及びベイナイトからなる硬質の層である。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、踏面焼入れ後、踏面の最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に露出させる。以上の工程により、鉄道車輪が製造される。

【 0 0 1 3 】

上述のとおり、過共析鋼からなる鉄道車輪は、耐摩耗性に優れる。しかしながら、過共析鋼を用いて上述の製造方法で鉄道車輪を製造した場合、C含有量が多いため、踏面焼入れ後に焼入れ層が深く形成されやすい。焼入れ層は切削加工で除去されるものであり、焼入れ層が深く形成されれば、切削加工時間が掛かる。そのため、製造工程において、焼入れ層の生成はなるべく低減できる方が好ましい。

10

【 0 0 1 4 】

本開示の目的は、C含有量が0.80%以上と高い過共析鋼からなり、製造工程において焼入れ層の生成を抑制できる、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】

【 0 0 1 5 】

本開示による鉄道車輪は、

リム部と、

ボス部と、

前記リム部と前記ボス部との間に配置され、前記リム部と前記ボス部とにつながる板部とを備え、

20

前記鉄道車輪の化学組成は、質量%で、

C : 0.80 ~ 1.15 %、

Si : 1.00 % 以下、

Mn : 0.10 ~ 1.20 %、

P : 0.050 % 以下、

S : 0.030 % 以下、

Al : 0.005 ~ 0.190 %、

N : 0.0200 % 以下、

Nb : 0.005 ~ 0.050 %、

Cr : 0 ~ 0.25 %、

V : 0 ~ 0.12 %、及び、

残部がFe及び不純物からなり、

前記鉄道車輪の前記リム部のミクロ組織において、

初析セメントナイト面積率が0.1 ~ 1.5 % であり、

パーライト面積率が95.0 % 以上である。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本実施形態による鉄道車輪は、C含有量が0.80%以上と高くても、製造工程において焼入れ層の生成を抑制できる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図1】図1は、鉄道車輪の中心軸を含む断面図である。

【図2】図2は、鉄道車輪を想定した試験材を用いたジョミニ式一端焼入れ試験により得られた、水冷端からの距離と、ロックウェル硬さHRCとの関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

[鉄道車輪の構成]

図1は本実施形態による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

50

あり、鉄道車輪 1 の径方向（中心軸に対して垂直な方向）において、鉄道車輪 1 の中央部に配置される。ボス部 2 は貫通孔 2 1 を有する。貫通孔 2 1 の中心軸は、鉄道車輪 1 の中心軸と一致する。貫通孔 2 1 には、図示しない鉄道用車軸が挿入される。ボス部 2 の厚さ T 2 は、板部 3 の厚さ T 3 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 4 1 と、フランジ部 4 2 とを含む。踏面 4 1 は、フランジ部 4 2 と繋がっている。鉄道車輪 1 の使用時において、踏面 4 1 及びフランジ部 4 2 はレール表面と接触する。リム部 4 の厚さ T 4 は、板部 3 の厚さ T 3 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、ボス部 2 及びリム部 4 とつながっている。具体的には、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 T 3 は、ボス部 2 の厚さ T 2 及びリム部 4 の厚さ T 4 よりも薄い。

10

【 0 0 1 9 】

本発明者らは初めに、鉄道車輪において、耐摩耗性を高めるのに適切な化学組成について検討を行った。その結果、鉄道車輪においては、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 0 . 8 0 % 以上に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とが分かった。このメカニズムは定かではないが、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タイトが破碎され、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タ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。

20

【 0 0 2 0 】

鋼の C 含有量を高めれば、パーライト中のセメンタイトの体積分率が增大し、さらに、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、鋼に 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が高まる。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が高まる。つまり、V の含有は、フェライトの硬さを高めるものの、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、破碎セメンタ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 2 1 】

そこで、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において、C 含有量を 0 . 8 0 ~ 1 . 1 5 % の過共析鋼とするのが好ましいと考えた。

30

【 0 0 2 2 】

しかしながら、本発明者らの検討の結果、C 含有量が 0 . 8 0 % 以上の過共析鋼の鉄道車輪では、鉄道車輪の製造工程中の踏面焼入れにより、亜共析鋼と比較して、焼入れ層がより深く形成されてしまう。上述のとおり、鉄道車輪の製造工程において、リム部 4（踏面 4 1 及びフランジ部 4 2）に形成された焼入れ層は、切削加工により除去される。したがって、焼入れ層はなるべく薄い方が好ましい。そこで、本発明者らは、C 含有量が 0 . 8 0 % 以上の過共析鋼からなる鉄道車輪において、製造工程中に生成する焼入れ層を低減できる手段を検討した。

【 0 0 2 3 】

[焼入れ層生成の抑制について]

図 2 は、鉄道車輪を想定した試験材を用いたジョミニ式一端焼入れ試験により得られた、水冷端からの距離と、ロックウェル硬さ H R C との関係を示す図である。図 2 は次の方法により求めた。

40

【 0 0 2 4 】

表 1 に示す化学組成の供試材（直径 2 5 m m、長さ 1 0 0 m m の丸棒試験片）を準備した。

【 0 0 2 5 】

50

【表 1】

TABLE1

試験 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	Al	N	Nb
1	1.00	0.30	0.80	≤0.050	≤0.030	0.034	0.0040	0.000
2	1.01	0.28	0.79	≤0.050	≤0.030	0.030	0.0048	0.009
3	1.00	0.28	0.79	≤0.050	≤0.030	0.030	0.0050	0.020

【0026】

表1を参照して、Nb非含有の試験番号1と、Nb含有量が0.009%の試験番号2と、Nb含有量が0.020%の試験番号3とを準備した。準備した供試材を用いて、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、Ac_m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。

10

【0027】

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 Z 2245(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。得られたHRCをプロットして、図2を作成した。

20

【0028】

図2を参照して、水冷端からの距離Dが大きくなるにしたがい、ロックウェル硬さHRCは急速に低下する。そして、距離Dが所定距離以上となれば、水冷端からの距離が離れても、ロックウェル硬さHRCはそれほど低下しない。水冷端からロックウェル硬さHRCが急激に低下するまでの領域Aを「焼入れ層」と定義する。また、領域Aよりも深い領域であって、ロックウェル硬さHRCがそれほど低下していない領域Bを「母材」と定義する。

【0029】

図2を参照して、Nb含有量の増大とともに、焼入れ層の深さが低減した。したがって、鉄道車輪において、Nbを含有すれば、製造工程中の踏面焼入れ処理により形成される焼入れ層の生成を抑制できる。

30

【0030】

Nbを含有することによって、製造工程中の踏面焼入れ処理で生成する焼入れ層を抑制できる理由は次のとおりと考えられる。Nbを含有した場合、踏面焼入れでの加熱時において、微細なNb炭化物が生成する。微細なNb炭化物は旧オーステナイト結晶粒を微細化する。旧オーステナイト結晶粒が大きいほど、焼入れ性は高まる。したがって、旧オーステナイト結晶粒が微細化されることにより、焼入れ性が低下する。その結果、焼入れ層の生成を抑えることができる。

40

【0031】

なお、Vを含有することによりVCを生成し、VCをピンニング粒子として機能させることも考えられる。しかしながら、上述の化学組成の場合、VCはNbCよりも固溶温度が低い。そのため、踏面焼入れの加熱時においてVCは固溶してしまい、ピンニング粒子としては機能できない。Vを含有した場合、上述のとおり、踏面焼入れでの冷却段階において、フェライト中にVCを析出してフェライトを強化するものの、ピンニング粒子としてオーステナイト結晶粒を微細化することができないと考えられる。

【0032】

上記メカニズムは推定であるため、異なるメカニズムにより焼入れ層の生成が抑制され、旧オーステナイト結晶粒が微細化している可能性もある。しかしながら、上記化学組成の

50

鉄道車輪において、Nbを含有すれば、焼入れ層の生成を抑えることができることは、後述の実施例から明らかである。

【0033】

以上の知見に基づいて完成した本実施形態の鉄道車輪は、次の構成を有する。

【0034】

[1]

鉄道車輪であって、

リム部と、

ボス部と、

前記リム部と前記ボス部との間に配置され、前記リム部と前記ボス部とにつながる板部とを備え、

10

前記鉄道車輪の化学組成は、質量%で、

C : 0.80 ~ 1.15 %、

Si : 1.00 % 以下、

Mn : 0.10 ~ 1.20 %、

P : 0.050 % 以下、

S : 0.030 % 以下、

Al : 0.005 ~ 0.190 %、

N : 0.0200 % 以下、

Nb : 0.005 ~ 0.050 %、

20

Cr : 0 ~ 0.25 %、

V : 0 ~ 0.12 %、及び、

残部がFe及び不純物からなり、

前記鉄道車輪の前記リム部のミクロ組織において、

初析セメント界面積率が0.1 ~ 1.5 % であり、

パーライト面積率が95.0 % 以上である、

鉄道車輪。

【0035】

[2]

[1] に記載の鉄道車輪であって、

30

前記化学組成は式(1)を満たす、

鉄道車輪。

$$100Nb / (C + 0.5Si + 0.8Mn + 15Al + 40Cr + 10V) \geq 0.070 \quad (1)$$

ここで、式(1)中の元素記号には、対応する元素の含有量が質量%で代入される。

【0036】

[3]

[1] 又は [2] に記載の鉄道車輪であって、

前記化学組成は、

Cr : 0.02 ~ 0.25 %、及び、

40

V : 0.02 ~ 0.12 %、

からなる群から選択される1元素以上を含有する、

鉄道車輪。

【0037】

以下、本実施形態の鉄道車輪について詳述する。本明細書において、元素に関する「%」

は、特に断りがない限り、質量%を意味する。

【0038】

[鉄道車輪の化学組成]

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。

【0039】

50

C : 0.80 ~ 1.15 %

炭素 (C) は、鋼の硬度を高め、鉄道車輪の耐摩耗性を高める。C 含有量が 0.80 % 未満であれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が得られない。一方、C 含有量が 1.15 % を超えれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、旧オーステナイト結晶粒界に初析セメントライトが多く析出する場合がある。この場合、鉄道車輪の靱性が低下する。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 % であり、さらに好ましくは 0.95 % である。C 含有量の好ましい上限は 1.10 % であり、さらに好ましくは 1.05 % である。

10

【 0 0 4 0 】

Si : 1.00 % 以下

シリコン (Si) は不可避に含有される。つまり、Si 含有量は 0 % 超である。Si は、フェライトを固溶強化して鋼の硬さを高める。しかしながら、Si 含有量が 1.00 % を超えれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、鋼の靱性低下の要因となる初析セメントライトが生成しやすくなる。Si 含有量が 1.00 % を超えればさらに、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。この場合、踏面焼入れ時に踏面上に形成される焼入れ層の厚みが増大する。その結果、切削量が増大して歩留まりが低下する。Si 含有量が 1.00 % を超えればさらに、鉄道車輪の使用中に、ブレーキとの間に発生する摩擦熱により焼きが入る。この場合、鉄道車輪の耐き裂性が低下する場合がある。したがって、Si 含有量は 1.00 % 以下である。Si 含有量の好ましい上限は 0.90 % であり、さらに好ましくは 0.80 % であり、さらに好ましくは 0.70 % であり、さらに好ましくは 0.60 % であり、さらに好ましくは 0.45 % であり、さらに好ましくは 0.40 % であり、さらに好ましくは 0.35 % である。Si 含有量の下限は特に制限されない。しかしながら、Si 含有量の過剰な低減は製造コストを高める。したがって、Si 含有量の好ましい下限は 0.01 % であり、さらに好ましくは 0.05 % であり、さらに好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.15 % である。

20

【 0 0 4 1 】

Mn : 0.10 ~ 1.20 %

マンガン (Mn) はフェライトを固溶強化して鋼の硬さを高める。Mn はさらに、MnS を形成し、鋼の被削性を高める。Mn 含有量が 0.10 % 未満であれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、上記効果が十分に得られない。一方、Mn 含有量が 1.20 % を超えれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、鋼の焼入れ性が高くなりすぎる。この場合、焼入れ層の厚みが増大し、製造工程時における歩留まりが低下する。さらに、鉄道車輪の使用時に、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、Mn 含有量は 0.10 ~ 1.20 % である。Mn 含有量の好ましい下限は 0.30 % であり、さらに好ましくは 0.50 % であり、さらに好ましくは 0.70 % である。Mn 含有量の好ましい上限は 1.00 % であり、さらに好ましくは 0.90 % であり、さらに好ましくは 0.85 % である。

30

【 0 0 4 2 】

P : 0.050 % 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 0.050 % 以下である。P 含有量の好ましい上限は 0.030 % であり、さらに好ましくは 0.020 % 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 含有量の過剰な低減は製造コストを高める。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 0.001 % であり、さらに好ましくは 0.002 % である。

40

【 0 0 4 3 】

S : 0.030 % 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 は MnS を形

50

成し、鋼の被削性を高める。一方、S含有量が高すぎれば、鋼の靱性が低下する。したがってS含有量は0.030%以下である。S含有量の好ましい上限は0.020%であり、さらに好ましくは0.015%であり、さらに好ましくは0.012%であり、さらに好ましくは0.010%である。S含有量の過剰な低減は製造コストを高める。したがって、S含有量の好ましい下限は0.001%であり、さらに好ましくは0.002%であり、さらに好ましくは0.003%であり、さらに好ましくは0.005%である。

【0044】

Al: 0.005 ~ 0.190%

アルミニウム (Al) は、鋼を脱酸する。Al含有量が0.005%未満であれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、上記効果が十分に得られない。一方、Al含有量が0.190%を超えれば、上記効果が飽和する。したがって、Al含有量は0.005 ~ 0.190%である。Al含有量の好ましい下限は0.008%であり、さらに好ましくは0.010%である。Al含有量の好ましい上限は0.180%であり、さらに好ましくは0.170%であり、さらに好ましくは0.150%であり、さらに好ましくは0.120%であり、さらに好ましくは0.100%であり、さらに好ましくは0.080%であり、さらに好ましくは0.060%であり、さらに好ましくは0.050%である。

10

【0045】

N: 0.0200%以下

窒素 (N) は、不可避に含有される不純物である。つまり、N含有量は0%超である。N含有量が0.0200%を超えれば、AlNが粗大化して、鋼の靱性を低下する。したがって、N含有量は0.0200%以下である。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%であり、さらに好ましくは0.0070%であり、さらに好ましくは0.0060%である。N含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、N含有量の過剰な低減は製造コストを引き上げる。したがって、通常の工業生産を考慮すれば、N含有量の好ましい下限は0.0001%であり、さらに好ましくは0.0010%であり、さらに好ましくは0.0025%である。

20

【0046】

Nb: 0.005 ~ 0.050%

ニオブ (Nb) は、鉄道車輪の製造工程中の踏面焼入れのための加熱時において、Cと結合して微細なNbCを生成する。微細なNbCはピンニング粒子として機能して、加熱時におけるオーステナイトの粗大化を抑制する。そのため、旧オーステナイト結晶粒が微細なまま維持され、鋼の焼入れ性が抑制される。その結果、鉄道車輪の製造工程中における焼入れ層の生成を抑制する。Nbはさらに、旧オーステナイト結晶粒の粗大化を抑制することにより、鋼材の靱性も高める。Nb含有量が0.005%未満であれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、上記効果が十分に得られない。一方、Nb含有量が0.050%を超えれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、NbCが粗大化して鋼材の靱性がかえって低下する。したがって、Nb含有量は0.005 ~ 0.050%である。Nb含有量の好ましい下限は0.007%であり、さらに好ましくは0.009%である。Nb含有量の好ましい上限は0.040%であり、さらに好ましくは0.035%であり、さらに好ましくは0.030%であり、さらに好ましくは0.025%であり、さらに好ましくは0.023%である。

30

40

【0047】

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、本実施形態の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。

【0048】

[任意元素 (Optional Elements) について]

本実施形態の鉄道車輪の化学組成はさらに、Feの一部に代えて、Crを含有してもよい。

50

【 0 0 4 9 】

Cr : 0 ~ 0 . 2 5 %

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狭める。これにより、パーライトの硬度が顕著に増大する。しかしながら、Cr 含有量が 0 . 2 5 % を超えれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、焼入れ性が過剰に高くなり、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、Cr 含有量は 0 ~ 0 . 2 5 % である。Cr 含有量の好ましい下限は 0 % 超であり、さらに好ましくは 0 . 0 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 2 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 3 % である。Cr 含有量の好ましい上限は 0 . 2 4 % であり、さらに好ましくは 0 . 2 3 % であり、さらに好ましくは 0 . 2 2 % である。

10

【 0 0 5 0 】

本実施形態の鉄道車輪の化学組成はさらに、Fe の一部に代えて、V を含有してもよい。

【 0 0 5 1 】

V : 0 ~ 0 . 1 2 %

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 (具体的には鋼中のフェライト) を析出強化する。その結果、鉄道車輪の硬さが増大して、耐摩耗性をさらに高める。しかしながら、V 含有量が 0 . 1 2 % を超えれば、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 . 1 2 % である。V 含有量の好ましい下限は 0 % 超であり、さらに好ましくは 0 . 0 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 2 % であり、さらに好ましくは 0 . 0 3 % である。V 含有量の好ましい上限は 0 . 1 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 1 0 % である。

20

【 0 0 5 2 】

[鉄道車輪のリム部のミクロ組織]

本実施形態の鉄道車輪 1 のリム部 4 のミクロ組織において、パーライトの面積率は 9 5 . 0 % 以上であり、初析セメンタイトの面積率は 0 . 1 ~ 1 . 5 % である。リム部 4 のミクロ組織のうち、パーライト及び初析セメンタイト以外の相はたとえば、マルテンサイト及び / 又はベイナイトである。初析セメンタイトの面積率の下限は 0 . 2 % であってもよく、0 . 3 % であってもよい。初析セメンタイトの面積率の好ましい上限は 1 . 4 % であり、さらに好ましくは 1 . 3 % であり、さらに好ましくは 1 . 2 % であり、さらに好ましくは 1 . 1 % であり、さらに好ましくは 1 . 0 % であり、さらに好ましくは 0 . 9 % である。

30

【 0 0 5 3 】

リム部 4 のミクロ組織におけるパーライト面積率、初析セメンタイト面積率は、次の方法で求める。リム部 4 の厚さ方向の中央位置 (図 1 の厚さ T 4 の中央位置) からサンプルを採取する。各サンプルの観察面を機械研磨により鏡面仕上げする。その後、観察面に対して、ピクリン酸ソーダ液 (水 1 0 0 m l + ピクリン酸 2 g + 水酸化ナトリウム 2 5 g) を用いたエッチングを実施する。エッチングでは、煮沸したピクリン酸ソーダ液にサンプルを浸漬する。エッチング後のサンプルの観察面内の任意の 1 視野 (5 0 0 μ m × 5 0 0 μ m) に対して、2 0 0 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、各相 (パーライト、初析セメンタイト、マルテンサイト及びベイナイト) とは、コントラストが異なる。そこで、コントラストに基づいて、ミクロ組織の各相を判別可能である。コントラストに基づいて、パーライト及び初析セメンタイトを特定する。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視野の面積とに基づいて求める。初析セメンタイトの面積率 (%) は、特定された初析セメンタイトの総面積と、観察視野の面積とに基づいて求める。

40

【 0 0 5 4 】

以上のとおり、本実施形態の鉄道車輪 1 は、化学組成中の各元素含有量が本実施形態の範囲内であり、かつ、リム部 4 のミクロ組織において、パーライト面積率が 9 5 . 0 % 以上

50

であり、初析セメンタイトの面積率が0.1～1.5%である。そのため、本実施形態の鉄道車輪1は、リム部4に初析セメンタイトが存在していても、適切な靱性が得られる。さらに、本実施形態の鉄道車輪1では、上述の化学組成において、Nbを0.005～0.050%含有する。そのため、製造工程中の踏面焼入れ処理で形成される焼入れ層の深さを抑えることができる。

【0055】

[式(1)について]

本実施形態の鉄道車輪の化学組成は、好ましくは、式(1)を満たす。

$$100Nb / (C + 0.5Si + 0.8Mn + 15Al + 40Cr + 10V) \quad 0.070 \quad (1)$$

ここで、式(1)中の元素記号には、対応する元素の含有量が質量%で代入される。

【0056】

$F1 = 100Nb / (C + 0.5Si + 0.8Mn + 15Al + 40Cr + 10V)$ と定義する。F1は、鉄道車輪の製造工程時に生成し得る焼入れ層の深さの指標である。具体的には、Nbは上述のとおり、焼入れ層の生成を抑制する。一方、C、Si、Mn、Al、Cr及びVは焼入れ層の生成を促進すると考えられる。F1は、焼入れ層生成元素(Nb)を分子とし、焼入れ層促進元素(C、Si、Mn、Al、Cr、V)を分母とする。F1が0.070以上であれば、焼入れ層促進元素の含有量に対して、焼入れ層抑制元素(Nb)の含有量が十分に多い。この場合、鉄道車輪の製造工程中の踏面焼入れ処理で形成される焼入れ層の深さを十分に抑えることができる。F1の好ましい下限は0.080であり、さらに好ましくは0.090であり、さらに好ましくは0.100であり、さらに好ましくは0.150であり、さらに好ましくは0.200であり、さらに好ましくは0.250であり、さらに好ましくは0.300であり、さらに好ましくは0.340である。F1は得られた値の小数第四位を四捨五入して得られた値である。

【0057】

F1のさらに好ましい下限は0.380である。この場合、鉄道車輪の製造工程中の踏面焼入れ処理で形成される焼入れ層の深さをさらに十分に抑えることができる。F1のさらに好ましい下限は0.390であり、さらに好ましくは0.395である。

【0058】

[鉄道車輪の製造方法]

上述の鉄道車輪を製造する方法の一例を説明する。本製造方法は、鉄道車輪用鋼を製造する工程(素材製造工程)と、熱間加工により、鉄道車輪用鋼から車輪形状の中間品を成形する工程(成形工程)と、成形された中間品に対して熱処理(踏面焼入れ)を実施する工程(熱処理工程)と、熱処理後の中間品の踏面等から焼入れ層を切削加工により除去して鉄道車輪とする工程(切削加工工程)とを含む。以下、各工程について説明する。

【0059】

[素材製造工程]

素材製造工程では、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。製造した溶鋼を鋳造して鋳造材(鋳片又はインゴット)にする。連続鋳造による鋳片を製造してもよいし、鋳型によって鋳込んでインゴットを製造してもよい。

【0060】

鋳片又はインゴットを熱間加工して、所望のサイズの鉄道車輪用鋼材(以下、鋼材ともいう)を製造する。熱間加工はたとえば、熱間鍛造、熱間圧延等である。熱間圧延により鋼材を製造する場合、たとえば、次の方法で鋼材を製造する。熱間圧延ではたとえば、分塊圧延機を用いる。分塊圧延機により素材に対して分塊圧延を実施して、鋼材を製造する。分塊圧延機の下流に連続圧延機が設置されている場合、分塊圧延後の鋼材に対してさらに、連続圧延機を用いて熱間圧延を実施して、さらにサイズの小さい鋼材を製造してもよい。連続圧延機では、一对の水平ロールを有する水平スタンドと、一对の垂直ロールを有する垂直スタンドとが交互に一行に配列される。熱間圧延での加熱炉の加熱温度は特に限定されないが、たとえば、1100～1350である。以上の製造工程により、鉄道車輪

10

20

30

40

50

用鋼材が製造される。

【 0 0 6 1 】

なお、鉄道車輪用鋼材は、鑄造材（鑄片又はインゴット）であってもよい。つまり、上述の熱間加工は省略されてもよい。以上の工程により、鉄道車輪の素材である鉄道車輪用鋼材が製造される。鉄道車輪用鋼材はたとえば、円柱状の素材である。

【 0 0 6 2 】

[成形工程]

成形工程では、準備された鉄道車輪用鋼材を用いて、熱間加工により車輪形状の中間品を成形する。中間品は車輪形状を有するため、ボス部と、板部と、踏面及びフランジ部を含むリム部とを備える。熱間加工はたとえば、熱間鍛造、熱間圧延等である。

10

【 0 0 6 3 】

熱間加工時における鉄道車輪用鋼材の好ましい加熱温度は1220 以上である。この場合、熱間加工時の加熱工程において、鉄道車輪用鋼材中のNbCが十分に固溶する。熱間加工時の加熱温度の好ましい下限は1230 であり、さらに好ましくは1250 であり、さらに好ましくは1300 である。熱間加工時の加熱温度の好ましい上限は1350 である。なお、熱間加工後の中間品の冷却方法は特に限定されない。放冷でもよいし、水冷でもよい。

【 0 0 6 4 】

[熱処理工程]

熱処理工程では、成形された車輪形状の中間品に対して踏面焼入れを実施する。具体的には、成形工程（熱間鍛造又は熱間圧延）後の中間品をAcm変態点以上に再加熱する（再加熱処理）。加熱後、中間品の踏面及びフランジ部を急冷（踏面焼入れ）する。たとえば、冷却媒体により踏面及びフランジ部を冷却する。冷却媒体はたとえば、エア、ミスト、スプレーであり、所望の組織に合った冷却速度が得られるものであれば特に限定されるものではない。なお、踏面焼入れ時において、板部及びボス部は水冷せずに放冷する。これにより、リム部において、初析セメンタイトの面積率を1.5%以下に抑えることができるものの、初析セメンタイトの面積率が0.1%以上となる。

20

【 0 0 6 5 】

本実施形態の鉄道車輪の直径はたとえば、700mm～1000mmである。また、踏面焼入れ時の踏面の好ましい冷却速度は3.0～200.0 /秒である。また、踏面焼入れ時の中間品のリム部において、最も冷却速度が遅い領域の好ましい冷却速度は1.5 /秒以上である。この場合、リム部のミクロ組織において、初析セメンタイト面積率が0.1%以上となるものの、1.5%以下に抑制できる。中間品のうち冷却速度が最も遅い領域は、たとえば、踏面冷却中の中間品の温度分布変化を複数のサーモグラフィを用いて測定することにより、求めることができる。さらに好ましくは、踏面焼入れ時の中間品のリム部において、最も冷却速度が遅い領域の好ましい冷却速度は2.0 /秒以上である。

30

【 0 0 6 6 】

上記説明では中間品を再加熱するが、熱間加工後の中間品に対して直接（再加熱せずに）、踏面焼入れを実施してもよい。

【 0 0 6 7 】

踏面焼入れ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。焼戻し温度はたとえば、400～600 である。

40

【 0 0 6 8 】

[切削加工工程]

上述のとおり、熱処理後の中間品の踏面の表層には微細パーライトが形成されるが、その上層には焼入れ層が形成されている。鉄道車輪の使用において、焼入れ層の耐摩耗性は低いため、切削加工により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。

【 0 0 6 9 】

以上の工程により本実施形態の鉄道車輪が製造される。本実施形態の鉄道車輪は、化学組成中の各元素含有量が本実施形態の範囲内であり、かつ、リム部のミクロ組織において、

50

パーライト面積率が95.0%以上であり、初析セメンタイトの面積率が0.1~1.5%である。そのため、本実施形態の鉄道車輪は、初析セメンタイトが形成されても、適切な靱性が得られる。さらに、本実施形態の鉄道車輪では、上述の化学組成において、Nbを0.005~0.050%含有する。そのため、製造工程中の踏面焼入れ処理で形成される焼入れ層の深さを抑えることができる。

【実施例】

【0070】

[実施例1]

表2に示す化学組成を有する試験番号1~18の溶鋼を製造した。

【0071】

10

20

30

40

50

【表 2】

TABLE2

試験 番号	化学組成 (単位は質量%、残部はFe及び不純物)											F1	冷却 速度 (°C/秒)	ハーフ 面積率 (%)	初析θ 面積率 (%)	旧γ 粒径 (μm)	焼入れ 層深さ (mm)	韌性 評価	備考
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Nb	Cr	V									
1	1.01	0.28	0.79	0.001	0.001	0.030	0.0048	0.009				0.403	3.0	≥95.0	0.6	22	7.0	○	本発明例
2	1.00	0.28	0.79	0.001	0.001	0.030	0.0050	0.020				0.900	3.0	≥95.0	0.8	19	4.0	○	本発明例
3	1.02	0.28	0.81	0.001	0.001	0.011	0.0042	0.021				1.064	3.0	≥95.0	0.8	21	7.0	○	本発明例
4	1.05	0.06	0.80	0.001	0.001	0.160	0.0043	0.025				0.607	3.0	≥95.0	0.8	23	6.0	○	本発明例
5	1.01	0.05	0.45	0.007	0.007	0.031	0.0038	0.023	0.08	0.02		0.437	3.0	≥95.0	0.7	20	7.0	○	本発明例
6	1.01	0.20	0.80	0.001	0.001	0.031	0.0039	0.024	0.11			0.363	3.0	≥95.0	0.7	21	8.0	○	本発明例
7	1.00	0.30	0.80	0.001	0.002	0.034	0.0040					0.000	3.0	≥95.0	0.7	25	9.0	○	比較例
8	1.03	0.29	0.79	0.001	0.001	0.063	0.0041					0.000	3.0	≥95.0	0.0	28	9.0	○	比較例
9	1.03	0.29	0.80	0.001	0.001	0.100	0.0044					0.000	3.0	≥95.0	0.0	30	10.0	○	比較例
10	0.94	0.43	0.80	0.001	0.001	0.150	0.0045	0.002				0.049	3.0	≥95.0	0.0	32	10.0	○	比較例
11	1.03	0.29	0.80	0.001	0.001	0.200	0.0046					0.000	3.0	≥95.0	0.0	47	9.0	○	比較例
12	1.00	0.29	0.81	0.001	0.002	0.300	0.0034					0.000	3.0	≥95.0	0.0	57	10.0	-	比較例
13	1.02	0.28	0.81	0.001	0.001	0.570	0.0035	0.003				0.029	3.0	≥95.0	0.0	71	14.0	-	比較例
14	1.00	0.30	0.80	0.001	0.002	0.610	0.0034					0.000	3.0	≥95.0	0.0	81	17.5	-	比較例
15	1.01	0.28	0.79	0.001	0.001	0.030	0.0048	0.009				0.403	0.1	≥95.0	7.1	22	-	x	比較例
16	1.00	0.28	0.79	0.001	0.001	0.030	0.0050	0.020				0.900	0.1	≥95.0	5.5	19	-	x	比較例
17	1.01	0.28	0.79	0.001	0.001	0.030	0.0048	0.009				0.403	1.0	≥95.0	1.7	22	-	-	比較例
18	1.00	0.28	0.79	0.001	0.001	0.030	0.0050	0.020				0.900	1.0	≥95.0	2.3	19	-	-	比較例

10

20

30

40

【0072】

表 2 中において、「化学組成」欄の空白は、対応する元素含有量が検出限界未満であったことを意味する。たとえば、表 2 中の試験番号 7 の Nb 含有量は、小数第四位を四捨五入して 0 % であったことを意味する。試験番号 1 の Cr 含有量は、小数第三位を四捨五入して 0 % であったことを意味する。試験番号 1 の V 含有量は、小数第三位を四捨五入して 0 % であったことを意味する。

【0073】

鉄道車輪の製造工程の素材製造工程を模擬して、上記溶鋼を用いて造塊法により丸インゴット (上面直径 107 mm、底面直径 97 mm、高さ 230 mm の円錐台型) を製造した

50

。鉄道車輪の製造工程の成形工程を模擬して、インゴットを 1250 に加熱後、熱間鍛造して、直径 40 mm の丸棒を製造した。

【0074】

[模擬踏面焼入れ試験]

鉄道車輪の製造工程中の踏面焼入れを模擬した模擬踏面焼入れ試験を実施して、模擬踏面焼入れ試験後のパーライト面積率、初析セメントイト面積率、及び、焼入れ層深さを以下のとおり求めた。

【0075】

[パーライト面積率及び初析セメントイト面積率の測定]

各試験番号の丸棒の表面から径方向に $D/4$ 深さ位置（「 D 」は、丸棒の直径）から、直径 3 mm、長さ 10 mm の熱処理試験片を作製した。熱処理試験片の長手方向は、丸棒の中心軸方向と平行であった。

【0076】

作製された熱処理試験片を用いて、踏面焼入れを模擬した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。具体的には、各試験番号の試験片を用意し、950 で5分間均熱した。その後、表2に示す冷却速度（ / 秒）で冷却した。冷却後の各試験片に対して、以下の方法でパーライト面積率（%）及び初析セメントイト（初析）の面積率（%）を求めた。

【0077】

上述の熱処理試験片の長手方向に垂直な断面を観察面とするサンプルを作製した。観察面を機械研磨した後、観察面に対して、ピクリン酸ソーダ液（水 100 ml + ピクリン酸 2 g + 水酸化ナトリウム 25 g）を用いたエッチングを実施した。エッチングでは、煮沸させたピクリン酸ソーダ液にサンプルを浸漬した。エッチング後の観察面内の任意の 1 視野（ $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$ ）に対して、200 倍の光学顕微鏡を用いて写真画像を生成した。コントラストに基づいて、観察視野中のパーライト及び初析セメントイトを特定して、パーライト面積率（%）及び初析セメントイト面積率（%）を求めた。その結果、いずれの試験番号においても、パーライト面積率は 95.0% 以上であった。また、各試験番号の初析セメントイト（初析）面積率は表2に示すとおりであった。

【0078】

[焼入れ層深さ測定試験]

焼入れ層の深さについて、ジョミニ式一端焼入れ試験を実施した。ジョミニ式一端焼入れ試験は次の方法で実施した。各試験番号の直径 40 mm の丸棒から、直径 25 mm、長さ 100 mm のジョミニ試験片を作製した。ジョミニ試験片の中心軸は、丸棒の中心軸と一致した。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。

【0079】

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 Z 2245（2011）に準拠した C スケールを用いたロックウェル硬さ（HRC）試験を実施した。HRC の測定間隔は、水冷端から 15 mm 位置までは 1.0 mm ピッチとし、水冷端から 15 mm 以上の位置では 2.5 mm ピッチとした。得られた HRC 分布から、次の方法により焼入れ層深さを求めた。

【0080】

各試験番号の鋼材に対して図2に示すジョミニ曲線を作成した。上述のとおり、ジョミニ曲線において、ロックウェル硬さ HRC が急激に低下する領域 A を「焼入れ層」と定義し、ロックウェル硬さ HRC がそれほど低下しない領域 B を「母材」と定義した。領域 A と領域 B とは変曲点を介して区分可能であった。各鋼番号の HRC 分布（ジョミニ曲線）から領域 A を特定して、焼入れ層深さ（mm）を求めた。なお、試験番号 15 ~ 18 は、焼

10

20

30

40

50

入れ層深さ測定試験を実施しなかった（表 2 中の「焼入れ層深さ」欄で「 - 」）。

【 0 0 8 1 】

[旧オーステナイト結晶粒径測定試験]

各試験番号の丸棒の表面から径方向に $D / 4$ 深さ位置から、直径 3 mm、長さ 10 mm の熱処理試験片を作製した。熱処理試験片の長手方向は、丸棒の中心軸の方向と平行であった。

【 0 0 8 2 】

作製された熱処理試験片を用いて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。具体的には、各試験番号の試験片を、950 で 5 分間均熱した。その後、冷却速度 $0.01 \sim 0.1$ / 秒未満で冷却した。冷却後の各試験片の長手方向に垂直な断面を観察面とするサンプルを作製した。観察面を機械研磨した後、観察面に対して、ピクリン酸ソーダ液（水 100 ml + ピクリン酸 2 g + 水酸化ナトリウム 25 g）を用いたエッチングを実施した。エッチングでは、煮沸させたピクリン酸ソーダ液にサンプルを浸漬した。エッチング後の観察面内の任意の 1 視野に対して、200 倍の光学顕微鏡を用いて写真画像を生成した。観察視野は $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$ の正方形視野であった。コントラストに基づいて、初析セメンタイトが析出している部分を旧オーステナイト結晶粒の粒界と判断して、旧オーステナイト結晶粒を特定した。特定された旧オーステナイト結晶粒の粒径を、切断法により求めた。具体的には、正方形視野に、2 本の対角線を引いた。そして、これら 2 本の対角線と交差する初析セメンタイト（旧オーステナイト結晶粒界）の本数の総和を求めた。そして、次式により、旧オーステナイト結晶粒の粒径（ μm ）を求めた。得られた旧オーステナイト結晶粒の粒径（ μm ）を表 2 に示す。

旧オーステナイト結晶粒の粒径 = 2 本の対角線の総長さ / 対角線に交差する初析セメンタイトの総本数

【 0 0 8 3 】

[靱性試験]

次の方法により、各試験番号の丸棒の靱性を評価した。具体的には、各試験番号の丸棒から、幅 12 mm、高さ 12 mm、長さ 70 mm の角棒状熱処理素材を 4 本ずつ採取した。角棒状熱処理素材は丸棒の中心軸から半径 4 mm の範囲を避けて採取した。角棒状熱処理素材の長手方向は、丸棒の長手方向に平行であった。

【 0 0 8 4 】

角棒状熱処理素材に対して、踏面焼入れを模擬した連続冷却試験を実施した。熱処理には富士電波工機製の熱サイクル試験機を使用した。角棒状熱処理素材を 950 で 5 分間均熱した。その後、角棒状熱処理素材を表 2 の冷却速度で冷却した。以上の工程により、鉄道車輪の製造工程を模擬した熱処理を施した。熱処理後、角棒状熱処理素材を機械加工して、幅 10 mm、高さ 10 mm、長さ 55 mm の U ノッチ試験片を作製した。

【 0 0 8 5 】

製造した U ノッチ試験片に対して、JIS Z 2242 (2005) に準拠したシャルピー衝撃試験を常温、大気中で実施し、シャルピー衝撃値（ J / cm^2 ）を求めた。4 つの値の平均値を、その試験番号のシャルピー衝撃値（ J / cm^2 ）と定義した。得られたシャルピー衝撃値（ J / cm^2 ）が $12.5 \text{ J} / \text{cm}^2$ 以上である場合、靱性に優れると評価した（表 2 中の「靱性評価」欄で「 \square 」）。一方、得られたシャルピー衝撃値（ J / cm^2 ）が $12.5 \text{ J} / \text{cm}^2$ 未満である場合、靱性が低いと評価した（表 2 中の「靱性評価」欄で「 \times 」）。なお、試験番号 12 ~ 14、17 及び 18 に対しては、靱性試験を実施しなかった（表 2 中の「靱性評価」欄で「 - 」）。

【 0 0 8 6 】

[試験結果]

試験結果を表 2 に示す。表 2 を参照して、いずれの試験番号においても、ミクロ組織は実質的にパーライトからなる組織であった。つまり、パーライト面積率が 95.0 % 以上であった。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

さらに、試験番号 1 ~ 6 では、化学組成が適切であり、かつ、熱処理工程での冷却条件が適切であった。そのため、初析セメントイト面積率が 0 . 1 ~ 1 . 5 % であった。そのため、シャルピー衝撃値 (J / c m ²) が 1 2 . 5 J / c m ² 以上であり、靱性が高かった。さらに、焼入れ層深さは 8 . 0 mm 以下であり、踏面焼入れ時に生成される焼入れ層を抑えることができることが予想できた。なお、試験番号 1 ~ 6 は、式 (1) を満たした。

【 0 0 8 8 】

一方、試験番号 7 ~ 1 0 では、Nb 含有量が 0 . 0 0 5 % 未満であった。そのため、焼入れ層の深さが 9 . 0 mm 以上と深かった。なお、試験番号 7 ~ 1 0 の旧オーステナイト結晶粒は、試験番号 1 ~ 6 と比較して大きかった。

10

【 0 0 8 9 】

試験番号 1 1 ~ 1 4 では、Al 含有量が高すぎ、かつ、Nb 含有量が 0 . 0 0 5 % 未満であった。そのため、焼入れ層の深さが 9 . 0 mm 以上と深かった。なお、試験番号 7 ~ 1 4 は、式 (1) を満たさなかった。

【 0 0 9 0 】

試験番号 1 5 及び 1 6 では、熱処理工程での冷却条件が遅すぎた。そのため、初析セメントイト面積率が 1 . 5 % を超えた。そのため、シャルピー衝撃値 (J / c m ²) が 1 2 . 5 J / c m ² 未満であり、靱性が低かった。試験番号 1 7 及び 1 8 においても、熱処理工程での冷却条件が遅すぎたため、初析セメントイト面積率が 1 . 5 % を超えた。

【 0 0 9 1 】

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。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 9 2 】

- 1 鉄道車輪
- 2 ボス部
- 3 板部
- 4 リム部
- 4 1 踏面
- 4 2 フランジ部

30

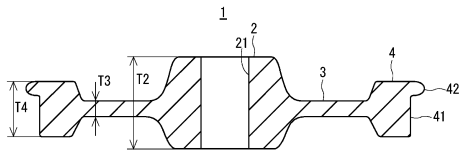
40

50

【図面】

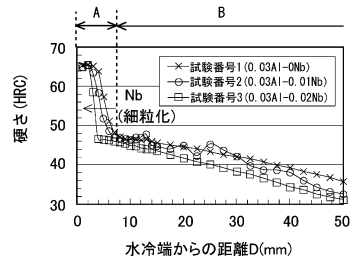
【図 1】

FIG. 1



【図 2】

FIG. 2



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2015/190088(WO,A1)
国際公開第2018/181861(WO,A1)
国際公開第2017/104719(WO,A1)
中国特許出願公開第106521343(CN,A)
中国特許出願公開第106521315(CN,A)
国際公開第2020/067520(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 38/00 - 38/60
C21D 9/34
B60B 17/00