

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4280923号
(P4280923)

(45) 発行日 平成21年6月17日(2009.6.17)

(24) 登録日 平成21年3月27日(2009.3.27)

(51) Int.Cl.		F I
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 1 N
C 2 2 C 38/28	(2006.01)	C 2 2 C 38/28
C 2 2 C 38/60	(2006.01)	C 2 2 C 38/60

請求項の数 2 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2004-124356 (P2004-124356)	(73) 特許権者	000002118
(22) 出願日	平成16年4月20日 (2004.4.20)		住友金属工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-307257 (P2005-307257A)		大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(43) 公開日	平成17年11月4日 (2005.11.4)	(74) 代理人	100134980
審査請求日	平成18年7月18日 (2006.7.18)		弁理士 千原 清誠
		(74) 代理人	100093469
			弁理士 杉岡 幹二
		(74) 代理人	100083585
			弁理士 穂上 照忠
		(72) 発明者	大藤 善弘
			福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地
			株式会社住友金属小倉内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 浸炭部品又は浸炭窒化部品用の鋼材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

浸炭部品又は浸炭窒化部品用の鋼材であって、質量%で、C : 0.1 ~ 0.3%、Si : 0.3 ~ 1.5%、Mn : 0.2 ~ 1.5%、S : 0.01 ~ 0.05%、Cr : 0.5 ~ 2.0%、Mo : 0.1 ~ 0.8%、Al : 0.01 ~ 0.05% 及び N : 0.008 ~ 0.025% を含有し、残部は Fe 及び不純物からなり、不純物中の Ti は 0.005% 以下、O (酸素) は 0.002% 以下、P は 0.025% 以下で、且つ、鋼材断面において、下記(1)式で表される A の値の最小値が 13 以上で、しかも、断面積 1500 mm² 中での硫化物を除く介在物群の最大長さが 30 μm 以下であることを特徴とする鋼材。

$$A = (1 + 0.681 Si) (1 + 3.066 Mn + 0.329 Mn^2) (1 + 2.007 Cr) (1 + 3.14 Mo) \dots (1)$$

ここで、(1)式中の元素記号は、その元素の質量%での含有量を表す。また、介在物群とは、介在物同士の間隔が 5 μm 以下である介在物を 1 つの群とみなしたものをいう。

【請求項2】

浸炭部品又は浸炭窒化部品用の鋼材であって、質量%で、C : 0.1 ~ 0.3%、Si : 0.3 ~ 1.5%、Mn : 0.2 ~ 1.5%、S : 0.01 ~ 0.05%、Cr : 0.5 ~ 2.0%、Mo : 0.1 ~ 0.8%、Al : 0.01 ~ 0.05% 及び N : 0.008 ~ 0.025% に加えて、更に、Nb : 0.01 ~ 0.08% 及び V : 0.02 ~ 0.15% の 1 種以上を含有し、残部は Fe 及び不純物からなり、不純物中の Ti は 0.00

5%以下、O(酸素)は0.002%以下、Pは0.025%以下で、且つ、鋼材断面において、下記(1)式で表されるAの値の最小値が15以上で、しかも、断面積1500mm²中での硫化物を除く介在物群の最大長さが30μm以下であることを特徴とする鋼材。

$$A = (1 + 0.681Si)(1 + 3.066Mn + 0.329Mn^2)(1 + 2.007Cr)(1 + 3.14Mo) \cdots \cdots (1)$$

ここで、(1)式中の元素記号は、その元素の質量%での含有量を表す。また、介在物群とは、介在物同士の間隔が5μm以下である介在物を1つの群とみなしたものをいう。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、浸炭部品又は浸炭窒化部品の素材として好適な鋼材に関する。より詳しくは、大きい面疲労強度を有する歯車、プーリー、シャフトなどの浸炭部品又は浸炭窒化部品の素材として好適な鋼材に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、自動車や各種産業機械の歯車、プーリー、シャフトなどの部品は、JIS規格のSCr420、SCM420及びSNCM420などの機械構造用合金鋼を素材として成形し、これに浸炭処理又は浸炭窒化処理を施した後焼入れし、次いで、200以下の温度で焼戻しを行い、更に、必要に応じてショットピーニング処理を施すことによって、それぞれの部品に応じた面疲労強度、曲げ疲労強度及び耐摩耗性など所要の特性が確保されていた。

20

【0003】

近年、上記の各種浸炭部品や浸炭窒化部品には、例えば自動車の燃費向上やエンジンの高出力化が求められるに伴って、これに対応するための軽量化、小型化及び高応力負荷の要望が極めて大きくなっている。

【0004】

なお、部品の軽量化及び小型化、また、エンジンの高出力化が進むと、部品表面に繰り返しかかる応力が飛躍的に大きくなる。このため、上記の各種浸炭部品や浸炭窒化部品は、特に、大きな面疲労強度を有することが必要になる。更に、自動車や産業機械の歯車、プーリー、シャフトなどの部品が破損すると大事故につながるため、上記の各種部品は、安定して優れた特性を有することが強く望まれている。

30

【0005】

従来、浸炭焼入れ材又は浸炭窒化焼入れ材の表層部に、マルテンサイト組織に比べて軟質なパーライト組織やベイナイト組織が生成すると、面疲労強度が大きく低下することが知られている。そして、上記のパーライト組織やベイナイト組織は、表層部に生成した粒界酸化層の近傍に生成することが多く、この原因は焼入れ性を高めるSi、MnやCrといった元素がFeよりも酸化されやすいため、浸炭処理又は浸炭窒化処理中に優先的に酸化されて、粒界酸化層の近傍にSi、Mn及びCrの欠乏層ができるためと考えられている。

40

【0006】

そこで、特許文献1に、SiとVを複合添加することにより、曲げ疲労強度に加えて、耐摩耗性と面疲労強度に優れた歯車を得るのに好適な浸炭歯車用鋼が提案されている。

【0007】

また、特許文献2に、熱間圧延後のNb(CN)とAlNの析出量、ベイナイトの組織分率及び熱間圧延方向に平行な断面の組織のフェライトバンドなどを規定した、「高温浸炭特性に優れた高温浸炭用鋼ならびに高温浸炭用熱間鍛造部材」が提案されている。この特許文献2で提案された技術は、浸炭部品の最表層領域における硬度低下が面疲労強度の低下を招くため、フェライトバンドの評点を指標としたマイクロ偏析の低減並びに窒化物及び炭窒化物の析出量を規定することなどによって最表層領域における硬度低下を抑止し、

50

これによって良好な面疲労強度を確保しようとするものである。

【0008】

【特許文献1】特開平7-126803号公報

【特許文献2】特開2001-279383号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の目的は、量産において安定して優れた面疲労強度を有する歯車、プーリー、シャフトなどの浸炭部品又は浸炭窒化部品の素材として好適な鋼材を提供することである。

【0010】

前述の特許文献1及び特許文献2で開示された技術によれば、優れた曲げ疲労強度と耐摩耗性は得られるが、大きな面疲労強度は必ずしも確保できるというわけではない。

【0011】

すなわち、特許文献1で提案された技術は、偏析に対する考慮がなされていないので、大規模な量産の場合、面疲労強度が不安定になってしまう。また、酸素の含有量を0.0015%以下にして非金属系介在物を低減する配慮がなされているものの、介在物の大きさと形態については考慮されておらず、このため、量産品の面疲労強度は不安定である。

【0012】

特許文献2で提案された技術は、微小な領域であっても最表層部に硬度の低い部分があると面疲労強度が低下するという点について十分に考慮されたものではないため、大規模な量産の場合、面疲労強度が不安定になってしまう。また、酸素とTiの含有量をそれぞれ、0.0025%以下及び0.01%以下にすることなど、非金属系介在物を低減する配慮がなされているものの、介在物の大きさと形態については考慮されておらず、このため、前記特許文献1の場合と同様に、量産品の面疲労強度は不安定である。

本発明者らは、上述のような問題点を解決するために、表層部におけるパーライト組織及びベイナイト組織の生成を安定して抑制することが可能な条件について、なかでも化学成分と偏析状況に関する条件について、種々調査・研究を重ねた。その結果、下記(a)~(d)の知見を得た。

【0013】

(a) マルテンサイト組織中に存在するパーライト組織やベイナイト組織の大きさが、たとえ直径10 μ m程度の微小なものであっても、面疲労強度は大きく低下する。

【0014】

(b) 粒界酸化層を低減するにはSi、Mn及びCrの含有量を低減すればよい。しかしながら、Si、Mn及びCrの含有量を低減しても、粒界酸化層を完全になくすことはできず、また、Si、Mn及びCr含有量の低減による焼入れ性の低下とも相俟って、パーライト組織及びベイナイト組織が生成することも完全には抑制することはできない。

【0015】

(c) パーライト組織及びベイナイト組織は粒界酸化層近傍の全ての部分に生じているのではなく、その一部分に生成している。そして、粒界酸化層の近傍でパーライト組織及びベイナイト組織が生成した部分は、粒界酸化層の近傍でマルテンサイト組織が生成した部分に比べて、Mn、Cr及びMoの濃度が低い。

【0016】

(d) したがって、表層部におけるパーライト組織及びベイナイト組織の生成を安定且つ確実に抑制するためには、焼入れ性向上元素であるSi、Mn、Cr及びMoの素材における平均含有量を管理するだけでは不十分で、負偏析部で、且つ粒界酸化層によってSi、Mn及びCrの含有量が減少している領域においてもマルテンサイトが生成するために十分な量のSi、Mn、Cr及びMoを含有している必要がある。

【0017】

また、本発明者らは表層部のパーライト組織及びベイナイト組織の生成を抑制した場合においても、面疲労強度が低い場合があったため、破壊した試験片を用いて調査・研究を

10

20

30

40

50

重ねた。その結果、更に、下記(e)及び(f)の知見を得た。

【0018】

(e)硬質の介在物である酸化物系介在物及びTiNは破壊の起点となる。このため、破壊の起点部には硬質の介在物である酸化物系介在物及びTiNが存在している場合が多い。一方、介在物としては硫化物も存在するが、これは軟質であるために破壊の起点とはならない。

【0019】

(f)破壊の起点部で観察される介在物は、その長径が5~30μmと様々な大きさのものである。しかし、破壊の起点部で観察される介在物の近傍には別の介在物が存在している場合が多く、たとえ個々の介在物が微細であっても、それらが群集することで破壊の起点になり得る。このため、個々の介在物を微細化するだけでは不十分で、介在物を群集させないことも必要である。

10

【0020】

本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものである。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明の要旨は、下記(1)及び(2)に示す鋼材にある。

【0022】

(1)浸炭部品又は浸炭窒化部品用の鋼材であって、質量%で、C:0.1~0.3%、Si:0.3~1.5%、Mn:0.2~1.5%、S:0.01~0.05%、Cr:0.5~2.0%、Mo:0.1~0.8%、Al:0.01~0.05%及びN:0.008~0.025%を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のTiは0.005%以下、O(酸素)は0.002%以下、Pは0.025%以下で、且つ、鋼材断面において、下記(1)式で表されるAの値の最小値が13以上で、しかも、断面積1500mm²中での硫化物を除く介在物群の最大長さが30μm以下であることを特徴とする鋼材。

20

【0023】

$$A = (1 + 0.681Si)(1 + 3.066Mn + 0.329Mn^2)(1 + 2.007Cr)(1 + 3.14Mo) \cdots \cdots (1)$$

ここで、(1)式中の元素記号は、その元素の質量%での含有量を表す。また、介在物群とは、介在物同士の間隔が5μm以下である介在物を1つの群とみなしたものをいう。

30

【0024】

(2)浸炭部品又は浸炭窒化部品用の鋼材であって、質量%で、C:0.1~0.3%、Si:0.3~1.5%、Mn:0.2~1.5%、S:0.01~0.05%、Cr:0.5~2.0%、Mo:0.1~0.8%、Al:0.01~0.05%及びN:0.008~0.025%に加えて、更に、Nb:0.01~0.08%及びV:0.02~0.15%の1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のTiは0.005%以下、O(酸素)は0.002%以下、Pは0.025%以下で、且つ、鋼材断面において、下記(1)式で表されるAの値の最小値が15以上で、しかも、断面積1500mm²中での硫化物を除く介在物群の最大長さが30μm以下であることを特徴とする鋼材。

40

【0025】

$$A = (1 + 0.681Si)(1 + 3.066Mn + 0.329Mn^2)(1 + 2.007Cr)(1 + 3.14Mo) \cdots \cdots (1)$$

ここで、(1)式中の元素記号は、その元素の質量%での含有量を表す。また、介在物群とは、介在物同士の間隔が5μm以下である介在物を1つの群とみなしたものをいう。

【0026】

また、鋼材とは棒鋼・線材等の素材、更には、必要に応じ鍛造・切削等を施して部品形状に加工されたものを指す。

【0027】

50

以下、上記 (1) 及び (2) の鋼材に係る発明を、それぞれ、「本発明 (1) 」及び「本発明 (2) 」という。また、総称して「本発明」ということがある。

【発明の効果】

【 0 0 2 8 】

本発明 (1) 及び (2) の鋼材に浸炭処理又は浸炭窒化処理を施した後急冷した部品、
或いは前記急冷後更に必要に応じて焼戻しを施した部品は、安定且つ良好な面疲労強度 (以下、ピッチング強度という。) を有するので、自動車や産業機械の部品である歯車、プーリー、シャフトなどに用いることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 9 】

以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、化学成分の含有量の「 % 」は「質量 % 」を意味する。

【 0 0 3 0 】

(A) 鋼材の化学組成

C : 0 . 1 ~ 0 . 3 %

C は、浸炭処理又は浸炭窒化処理後に急冷を行った部品の芯部強度を確保するために必須の元素である。しかし、C の含有量が 0 . 1 % 未満では前記の効果が不十分である。一方、C の含有量が 0 . 3 % を超えると、鋼材の切削加工性が大きく低下する。したがって、C の含有量を 0 . 1 ~ 0 . 3 % とした。

【 0 0 3 1 】

Si : 0 . 3 ~ 1 . 5 %

Si は、焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高める効果が、粒界酸化層の増加に及ぼす悪影響よりも大きいため、ピッチング強度を高めるのに有効な元素である。しかし、その含有量が 0 . 3 % 未満では前記の効果が不十分である。一方、Si の含有量が 1 . 5 % を超えると、ピッチング強度を高める効果が飽和するだけでなく、鋼材の切削加工性が大きく低下する。したがって、Si の含有量を 0 . 3 ~ 1 . 5 % とした。なお、Si の含有量が 0 . 5 % 以上になると、ピッチング強度の向上が顕著になる。このため、Si の含有量は、0 . 5 ~ 1 . 5 % とすることが望ましい。

【 0 0 3 2 】

Mn : 0 . 2 ~ 1 . 5 %

Mn は、焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高める効果が、粒界酸化層の増加に及ぼす悪影響よりも大きいため、ピッチング強度を高めるのに有効な元素である。しかし、その含有量が 0 . 2 % 未満では前記の効果が不十分である。一方、Mn の含有量が 1 . 5 % を超えると、ピッチング強度を高める効果が飽和するだけでなく、鋼材の切削加工性が大きく低下する。したがって、Mn の含有量を 0 . 2 ~ 1 . 5 % とした。なお、Mn の含有量が 0 . 4 % 以上になると、ピッチング強度の向上が顕著になる。このため、Mn の含有量は、0 . 4 ~ 1 . 5 % とすることが望ましい。

【 0 0 3 3 】

S : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 %

S は、Mn と結合して MnS を形成し、切削加工性を高める作用を有する。しかし、その含有量が 0 . 0 1 % 未満では、前記の効果が得難い。一方、S の含有量が多くなると、粗大な MnS を生成しやすくなってピッチング強度を低下させる傾向があり、特に、その含有量が 0 . 0 5 % を超えると、他の要件を満たしていても所望のピッチング強度 (後述の実施例における 2730 MPa 以上のピッチング強度) が得られない。したがって、S の含有量を 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 % とした。なお、S の含有量は 0 . 0 1 ~ 0 . 0 3 % とすることが好ましい。

【 0 0 3 4 】

Cr : 0 . 5 ~ 2 . 0 %

Cr は、焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高める効果が、粒界酸化層の増加に及ぼす悪影響よりも大きいため、ピッチング強度を高めるのに有効な元素である。しかし、その含有

10

20

30

40

50

量が0.5%未満では前記の効果が不十分である。一方、Crの含有量が2.0%を超えると、ピッチング強度を高める効果が飽和するだけでなく、鋼材の切削加工性が著しく低下する。したがって、Crの含有量を0.5~2.0%とした。なお、Crの含有量が1.2%以上になると、ピッチング強度の向上が顕著になる。このため、Crの含有量は、1.2~2.0%とすることが望ましい。

【0035】

Mo: 0.1~0.8%

Moは、焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高める効果を有し、ピッチング強度を高めるのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.1%未満では前記の効果が不十分である。一方、Moの含有量が0.8%を超えると、ピッチング強度を高める効果が飽和するだけでなく、鋼材の切削加工性が著しく低下する。したがって、Moの含有量を0.1~0.8%とした。なお、Moの含有量は0.1~0.4%とすることが好ましい。

10

【0036】

Al: 0.01~0.05%

Alは、脱酸作用を有する元素である。また、Alは、Nと結合してAlNを形成しやすい元素である。そして、AlNは結晶粒微細化に有効で、ピッチング強度を高める効果がある。しかし、Alの含有量が0.01%未満では前記した効果は得難い。一方、Alは硬質な酸化物系介在物を形成しやすく、Al含有量が0.05%を超えると、後述する介在物群の最大長さを観察面積1500mm²中で30μm以下にすることが困難になって、ピッチング強度の低下が著しくなり、他の要件を満たしていても所望のピッチング強度(後述の実施例における2730MPa以上のピッチング強度)が得られなくなる。したがって、Alの含有量を0.01~0.05%とした。なお、Alの含有量は0.02~0.04%とすることが好ましい。

20

【0037】

N: 0.008~0.025%

Nは、Al、Nb、V及びTiと結合してAlN、NbN、VN及びTiNを形成しやすく、このなかで、AlN、NbN及びVNは結晶粒微細化に有効で、ピッチング強度を高める効果がある。しかし、Nの含有量が0.008%未満では前記の効果が得難い。一方、Nの含有量が0.025%を超えると、後述する介在物群の最大長さを観察面積1500mm²中で30μm以下にすることが困難になって、ピッチング強度の低下が著しくなり、他の要件を満たしていても所望のピッチング強度(後述の実施例における2730MPa以上のピッチング強度)が得られなくなる。したがって、Nの含有量を0.008~0.025%とした。なお、Nの含有量は0.011~0.018%とすることが好ましい。

30

【0038】

本発明においては、不純物元素としてのTi、O(酸素)及びPの含有量を下記のとおり制限する。

【0039】

Ti: 0.005%以下

Tiは、Nと結合してTiNを形成し、ピッチング強度を低下させてしまう。特に、Tiの含有量が0.005%を超えると、後述する介在物群の最大長さを観察面積1500mm²中で30μm以下にすることが困難になって、ピッチング強度の低下が著しくなり、他の要件を満たしていても所望のピッチング強度(後述の実施例における2730MPa以上のピッチング強度)が得られなくなる。したがって、Tiの含有量を0.005%以下とした。なお、不純物元素としてのTiの含有量はできるだけ少なくすることが望ましく、原料および製鋼でのコストを考慮すると0.002%以下にすることが一層好ましい。

40

【0040】

O(酸素): 0.002%以下

Oは、Alと結合して硬質な酸化物系介在物を形成しやすく、ピッチング強度を低下さ

50

せてしまう。特に、Oの含有量が0.002%を超えると、後述する介在物群の最大長さを観察面積1500mm²中で30μm以下にすることが困難になって、ピッチング強度の低下が著しくなり、他の要件を満たしていても所望のピッチング強度(後述の実施例における2730MPa以上のピッチング強度)が得られなくなる。なお、不純物元素としてのOの含有量はできる限り少なくすることが望ましく、製鋼でのコストを考慮すると、0.001%以下にすることが一層好ましい。

【0041】

P: 0.025%以下

Pは粒界に偏析して粒界を脆化させやすく、特に、その含有量が0.025%を超えると、粒界脆化が著しくなってピッチング強度の低下を招く。したがって、Pの含有量を0.025%以下とした。なお、Pの含有量は0.020%以下とすることが好ましい。

10

【0042】

したがって、本発明(1)に係る鋼材の化学組成について、上述した範囲のCからNまでの元素を含み、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のTiは0.005%以下、Oは0.002%以下でPは0.025%以下であることと規定した。

【0043】

なお、本発明に係る鋼材には、上記の成分に加え、必要に応じて、Nb: 0.01~0.08%及びV: 0.02~0.15%の1種以上を任意添加元素として添加し、含有させてもよい。

【0044】

以下、上記任意添加元素としてのNb及びVに関して説明する。

20

【0045】

Nb: 0.01~0.08%

Nbは、C又はN及びNと結合してNbC、NbN及びNb(C、N)を形成しやすい元素である。そして、NbC、NbN及びNb(C、N)は、前述したAlNによる結晶粒微細化を補完するのに有効で、ピッチング強度を高める効果がある。この効果を確実に得るには、Nbは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、Nbの含有量が0.08%を超えると、中心偏析部に粗大なNb(C、N)が生成しやすくなり、却ってピッチング強度が低下する。したがって、添加する場合のNbの含有量を0.01~0.08%とした。なお、添加する場合の一層好ましいNbの含有量の範囲は0.02~0.05%である。

30

【0046】

V: 0.02~0.15%

Vは、C及びNと結合してVC及びVNを形成しやすい元素である。上記のうちで、VNは、前述したAlNによる結晶粒微細化を補完するのに有効で、ピッチング強度を高める効果がある。また、浸炭窒化時にVNが析出すると、ピッチング強度をより高める効果がある。これらの効果を確実に得るには、Vは0.02%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、Vの含有量が0.15%を超えると、鋼材の切削加工性が大きく低下する。したがって、添加する場合のVの含有量を0.02~0.15%とした。なお、添加する場合の一層好ましいVの含有量の範囲は0.04~0.10%である。

40

【0047】

上記の理由から、本発明(2)に係る鋼材の化学組成について、本発明(1)における鋼材の化学組成に、更に、Nb: 0.01~0.08%及びV: 0.02~0.15%の1種以上を含有することと規定した。

【0048】

(B)断面における合金元素

本発明(1)及び本発明(2)に係る鋼材は、鋼材断面において、前記(1)式で表されるAの値の最小値をそれぞれ、13以上及び15以上とする必要がある。

【0049】

上記の規定は、本発明者らが行った次の実験結果に基づくものである。

50

【 0 0 5 0 】

すなわち、本発明者らは、表 1 に示す鋼 A ~ D を 1 5 0 k g 真空溶解炉で溶解した後、鋳型に鋳鉄を用いてインゴットに鋳造した。なお、溶解の際、不純物元素が十分低減するように原料の選定に十分注意を払った。

【 0 0 5 1 】

【表 1】

表 1

鋼	化 学 組 成 (質量%) 残部：F e および不純物												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Nb	Ti	V	N	O
A	0.20	0.52	0.45	0.013	0.015	0.98	0.32	0.028	—	0.001	—	0.0163	0.0009
B	0.20	1.01	0.51	0.013	0.014	0.80	0.43	0.032	—	0.002	—	0.0171	0.0009
C	0.19	0.50	0.48	0.014	0.012	1.49	0.20	0.027	0.039	0.001	—	0.0148	0.0011
D	0.21	0.79	0.72	0.012	0.014	1.51	0.21	0.030	0.034	0.002	0.07	0.0188	0.0010

Nb欄の「—」は0.001%未満を、V欄の「—」は0.01%未満を表す。

10

【 0 0 5 2 】

次いで、上記の各インゴットを 1 1 5 0 で 3 0 分加熱した後、仕上げ温度が 9 5 0 以上となるように熱間鍛造して、直径 3 5 m m の棒鋼を作製した。

【 0 0 5 3 】

このようにして得た各棒鋼を、5 個ずつに分割し、表 2 に示す条件で熱処理を行って室温まで放冷した。その後更に、9 2 5 × 1 時間の加熱保持を行い、次いで、室温まで放冷した。

【 0 0 5 4 】

【表 2】

表 2

条件No.	熱処理	
	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)
1	1 2 5 0	2 5
2	1 2 5 0	1 2
3	1 2 5 0	5
4	1 2 5 0	2
5	1 0 0 0	1

20

30

40

【 0 0 5 5 】

上記の熱処理を行った直径 3 5 m m の各供試材から切り出した試験片について、鍛錬軸に平行に中心線をとって切断した断面を鏡面研磨し、図 1 に示す位置で、鍛錬軸に垂直な方向に、Si、Mn、Cr 及び Mo の各元素について E P M A を用いて線分析を行った。なお、C も偏析しやすい元素として知られているが、オーステナイト域に加熱すると容易且つ均一に拡散するため、C の測定は行わなかった。なお、E P M A による線分析は、ビーム直径を 1 μ m、走査速度を 2 0 0 μ m / 分とした。

50

【 0 0 5 6 】

E P M Aでの測定結果から、S i、M n、C r及びM oのそれぞれの含有量が最も低かった位置について、S i、M n、C r及びM oの含有量を数値化した。ここで、S i、M n、C r及びM oの偏析傾向は同じであるため、S i、M n、C r及びM oのそれぞれの含有量が最も低かった位置についてS i、M n、C r及びM oの含有量を数値化しておけば、前記(1)式で表されるAの最小値として評価することができる。

【 0 0 5 7 】

なお、焼入れ性は、例えば、井上毅の第131・132回西山記念講座「鉄鋼材料の材質予測・制御技術の現状と将来」、第215～217ページ(日本鉄鋼協会編、平成元年9月25日発行)に示されるように、C及びその他の合金元素の含有量並びにオーステナイト結晶粒度から見積もることができる。なお、本発明の目指すピッチング強度の向上のためには、浸炭処理又は浸炭窒化処理した表層部の焼入れ性が重要な意味を持つ。そして、浸炭処理又は浸炭窒化処理した場合、表層部の一般的なC含有量は0.8%程度であることが多く、また、そのオーステナイト結晶粒度は、N bとVのいずれをも含有しない場合には粒度番号9程度、N b及びVの1種以上を含有する場合には粒度番号11程度であることが多いので、N b及びVを含まない鋼と、N bとVの1種以上を含む鋼とを区別すれば、S i、M n、C r及びM oの含有量から焼入れ性を評価することができる。そこで、前記井上の「鉄鋼材料の材質予測・制御技術の現状と将来」に基づいて、焼入れ性の評価基準として、本発明者らは、前記(1)式の値、つまりAの値を採用した。

【 0 0 5 8 】

表3に、各試験片について、前記(1)式で表されるAの最小値並びに、その値に対応するS i、M n、C r及びM oの含有量を示す。

【 0 0 5 9 】

また、表2に示す条件で熱処理した直径35mmの各供試材から、図2に示すようにして直径が26mmで厚さが15mmの試験片を採取し、図3(a)に示す条件でガス浸炭処理することを行った。なお、図3(a)における「C P」はカーボンポテンシャルを意味する。

【 0 0 6 0 】

上記のガス浸炭処理を行った各試験片について、鍛錬軸に平行な中心線をとって切断した断面を鏡面研磨した後ナイタルで腐食し、次いで、図4に示すように、表層から200 μ mの領域をSEM(走査型電子顕微鏡)を用いて観察し、ベイナイト組織とパーライト組織の存在の有無を調査した。

【 0 0 6 1 】

表3に、上記のベイナイト組織とパーライト組織の存在に関する調査結果を示す。また、図5に、上記の調査結果を前記(1)式で表されるAの最小値で整理して示す。ここで、表3の「熱処理の条件No.」欄における数字は表2に対応するものである。また、「パーライト組織、ベイナイト組織」欄における「無し」及び「有り」は、それぞれ、「ベイナイト組織とパーライト組織の双方が存在しないこと」及び「ベイナイト組織とパーライト組織のいずれか一方または双方が存在すること」を意味する。更に、図5における「:パーライト、ベイナイト無し」及び「x:パーライト、ベイナイト有り」も、それぞれ、「ベイナイト組織とパーライト組織の双方が存在しないこと」及び「ベイナイト組織とパーライト組織のいずれか一方または双方が存在すること」を意味する。なお、図5においては、N b及びVを含まない場合を「N b、V無し」と表記し、また、N bとVの1種以上を含む場合を「N b、V有り」と表記した。なお、前記(1)式で表されるAの最小値は、表3においては、「(1)式で表されるAの値」と表記し、また、図5においては単に「A値」と表記した。

【 0 0 6 2 】

上記の表3及び図5から、N b及びVを含まない場合、前記(1)式で表されるAの値の最小値が13以上であればベイナイト組織とパーライト組織の双方が存在せず、一方、N b及びVの1種以上を含む場合、前記(1)式で表されるAの値の最小値が15以上であれ

10

20

30

40

50

ばベイナイト組織とパーライト組織の双方が存在しないことが明らかである。

【 0 0 6 3 】

【表 3】

表 3

鋼	熱処理の 条件No.	EPMA測定結果(質量%)				(1)式で表さ れるAの値	パーライト組織 ベイナイト組織
		Si	Mn	Cr	Mo		
A	1	0.49	0.41	0.91	0.27	16.1	無し
	2	0.47	0.37	0.83	0.25	13.7	無し
	3	0.47	0.36	0.76	0.24	12.5	有り
	4	0.46	0.35	0.73	0.23	11.8	有り
	5	0.45	0.28	0.64	0.19	9.0	有り
B	1	0.96	0.47	0.75	0.40	23.5	無し
	2	0.94	0.44	0.69	0.37	20.4	無し
	3	0.93	0.42	0.66	0.35	18.7	無し
	4	0.92	0.38	0.61	0.31	15.8	無し
	5	0.91	0.33	0.54	0.27	12.8	有り
C	1	0.47	0.45	1.39	0.18	19.2	無し
	2	0.46	0.42	1.33	0.17	17.3	無し
	3	0.45	0.40	1.27	0.16	15.9	無し
	4	0.45	0.37	1.21	0.16	14.7	有り
	5	0.44	0.34	0.97	0.14	11.5	有り
D	1	0.75	0.68	1.41	0.19	29.9	無し
	2	0.74	0.63	1.35	0.18	26.7	無し
	3	0.73	0.57	1.27	0.16	22.8	無し
	4	0.72	0.53	1.18	0.14	19.6	無し
	5	0.69	0.45	0.99	0.12	14.8	有り

熱処理の条件No. は表2に対応するものである。

【 0 0 6 4 】

したがって、本発明(1)及び本発明(2)に係る鋼材は、鋼材断面において、前記(1)式で表されるAの値の最小値をそれぞれ、1.3以上及び1.5以上と規定した。

【 0 0 6 5 】

ここで、鋼材断面とは、棒鋼、線材の場合、望ましくは圧延方向又は鍛錬軸に平行に中心線をとって切断した断面であり、鋼材が部品形状の場合は、表層部分～表層から1.5mmの範囲の断面が望ましい。

【 0 0 6 6 】

なお、鋼材断面における前記(1)式で表されるAの値には、鋼の平均組成、凝固速度及び凝固形態などが影響する。また、製鋼の設備によっても影響を受ける。

【 0 0 6 7 】

このため、鋼材断面における前記(1)式で表されるAの値の最小値を1.3以上又は1.5以上にするためには、次のような方法を採用すればよい。

【 0 0 6 8 】

すなわち、鋼材断面におけるA値の最小値を1.3以上にするためには、例えば、連続鋳

10

20

30

40

50

造で400mm×300mm角という大断面のブルームを製造する場合、先ず、鋼の平均組成を前記(1)式で表されるAの値が20以上となるように溶製する。そして、溶鋼の電磁攪拌を十分に行ってから連続铸造し、更に、ブルームに1200～1280 で8時間以上の均質化熱処理を行い、そのブルームを一辺が200mm以下のピレットにした後、ピレットを1200～1280 で2時間以上加熱してから圧延仕上げ温度が850～1000 になるように熱間圧延すればよい。

【0069】

また、鋼材断面におけるA値の最小値を15以上にするためには、例えば、連続铸造で400mm×300mm角という大断面のブルームを製造する場合、先ず、鋼の平均組成を前記(1)式で表されるAの値が23以上となるように溶製する。そして、溶鋼の電磁攪拌を十分に行ってから連続铸造し、更に、ブルームに1200～1280 で8時間以上の均質化熱処理を行い、そのブルームを一辺が200mm以下のピレットにした後、ピレットを1200～1280 で2時間以上加熱してから圧延仕上げ温度が850～1000 になるように熱間圧延すればよい。

10

【0070】

(C) 介在物群の最大長さ

本発明(1)及び本発明(2)に係る鋼材は、鋼材断面において、断面積1500mm²中での硫化物を除く介在物群の最大長さを30μm以下とする必要がある。

【0071】

上記の規定は、本発明者らが行った次の実験結果に基づくものである。

20

【0072】

すなわち、本発明者らは、表4に示す鋼E～Hを150kg真空溶解炉にて溶製し、インゴットに铸造した。なお、鋼E～Gについては、鑄型に鑄鉄を用い(以後、鑄鉄の鑄型を「通常鑄型」という。)、鋼Hについては、凝固速度を遅くするために、シリカ鑄型を用いた。

【0073】

また、表4に示す鋼I～Lを30kg真空溶解炉にて溶製し、通常鑄型を用いてインゴットに铸造した。このうち鋼Lについては、鑄型に耐火物が損傷しているものを用い、意図的に耐火物が混入するようにした。

【0074】

30

更に、表4に示す鋼M及び鋼Nを、70t(トン)転炉で溶解し、連続铸造によって400mm×300mm角のブルームを製造した。鋼Mについては、二次精錬でRH真空脱ガス処理を長時間実施し、更に、溶鋼の電磁攪拌を十分に行った。一方、鋼Nは二次精錬でVAD処理(真空アーク脱ガス処理)を実施し、更に、溶鋼の電磁攪拌を弱めて行った。

【0075】

鋼E～Lについては、インゴットを1150 で30分加熱した後、仕上げ温度が950 以上となるように熱間鍛造して、直径35mmの棒鋼を作製した。これらの各棒鋼を1250 で12時間保持してから室温まで放冷し、その後更に、925 ×1時間の加熱保持を行い、次いで、室温まで放冷した。

40

【0076】

鋼M及び鋼Nについては、400mm×300mm角のブルームを1250 で12時間均質化熱処理を行った後、分塊圧延して180mm×180mmの角ピレットにし、このピレットを1250 で2時間加熱した後、900～950 の圧延仕上げ温度で、直径が35mmの棒鋼に熱間圧延した。

【0077】

【表 4】

表 4

鋼	化学組成 (質量%)											残部: Feおよび不純物				備考
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Nb	Ti	V	N	O			
E	0.20	0.21	0.78	0.016	0.015	1.01	0.01	0.045	—	0.006	—	0.0187	0.0018	(a)		
F	0.20	0.53	0.49	0.013	0.013	1.51	0.20	0.030	0.031	0.001	0.09	0.0153	0.0007	(a)		
G	0.19	0.52	0.51	0.013	0.011	0.79	0.41	0.057	0.030	0.002	—	0.0149	0.0017	(a)		
H	0.21	0.72	0.50	0.012	0.012	1.00	0.35	0.042	0.018	0.003	—	0.0103	0.0013	(a)、シリカ鑄型		
I	0.21	0.49	0.51	0.012	0.013	1.49	0.22	0.028	0.038	0.001	0.08	0.0175	0.0008	(b)		
J	0.19	0.45	0.52	0.014	0.015	1.02	0.21	0.032	0.035	0.003	—	0.0124	0.0026	(b)		
K	0.25	0.60	0.69	0.014	0.010	1.19	0.29	0.033	0.021	0.002	—	0.0169	0.0012	(b)		
L	0.20	0.50	0.69	0.015	0.016	0.82	0.32	0.029	—	0.002	0.12	0.0182	0.0013	(b)、鑄型に損傷		
M	0.20	0.99	0.48	0.011	0.014	1.25	0.25	0.031	0.029	0.001	0.06	0.0165	0.0009	(c)、RH処理+強電磁攪拌		
N	0.21	0.71	0.60	0.016	0.015	1.23	0.21	0.038	0.036	0.002	0.05	0.0157	0.0016	(c)、VAD処理+弱電磁攪拌		

Nb欄の「—」は0.001%未満を、V欄の「—」は0.01%未満を表す。
備考欄の(a)、(b)、(c)はそれぞれ150kg真空炉溶製材、30kg真空炉溶製材、及び70t(トン)転炉溶製材であることを示す。

【0078】

このようにして得た鋼E～Nの直径35mmの各棒鋼から切り出した試験片について、圧延方向又は鍛錬軸に平行に中心線をとって切断した断面を鏡面研磨し、光学顕微鏡を用いて介在物の測定を行った。

【0079】

なお、上記の光学顕微鏡による観察は、10mm×10mmの範囲毎に行い、介在物群

10

20

30

40

50

の最大長さ及び個々の介在物の最大長さを測定した。各試料についてこの測定を15視野ずつ実施し、測定面積1500mm²中での介在物群の最大長さ及び個々の介在物の最大長さを決定した。なお、介在物群とは、介在物同士の間隔が5μm以下である介在物を1つの群とみなしたものを指す。

【0080】

上記の調査において、硫化物は測定の対象から除外した。その理由は、これまでの調査から、破壊の起点には硫化物が検出されていないためである。また、光学顕微鏡による観察では、介在物の最大長さが2μm以下のものは判別が難しいため、これも測定の対象から除外した。なお、硫化物は光学顕微鏡観察で灰色を呈するため、容易に他の介在物と区別することができる。

10

【0081】

また、ローラーピッチング試験も行った。

【0082】

すなわち、上述の方法で作製した鋼E～Nの直径35mmの各棒鋼から、直径が26mmのローラーピッチング試験で用いる小ローラーを採取し、前記図3(a)に示す条件で浸炭焼入れを行い、次いで図3(b)に示す条件で焼戻しを行った。

【0083】

ローラーピッチング試験に用いる大ローラーは、JIS規格のSUJ2鋼を用い、一般的な工程、すなわち通常の「球状化焼鈍 試験片加工 焼入れ 焼戻し 研磨」の工程で作製した。ここで、上記大ローラーは、直径が130mmで、クラウニングを100mmRのものとした。

20

【0084】

上記のようにして作製した小ローラーと大ローラーを用い、表5に示す条件でローラーピッチング試験を行った。

【0085】

【表5】

表 5

試験機	ローラーピッチング試験機
試験片	小ローラー：直径26mm 大ローラー：直径130mm、クラウニング100mmR
面圧	1600～3500MPa
試験数	各7
滑り率	-40%
回転数	1300rpm
周速	小ローラー：1.77m/s、大ローラー：2.48m/s
潤滑油温	80℃
使用オイル	オートマチック用オイル

30

【0086】

試験数は各7個とし、縦軸に面圧を、横軸に破壊までの繰返し数をとったS-N線図を作成し、繰返し数 1.0×10^7 回での面圧をピッチング強度とした。

【0087】

なお、鋼Eの化学成分は、一般的に用いられるJIS規格のSCr420鋼に相当するため、鋼Eのピッチング強度である1950MPaを基準とし、これを40%以上上回ることを目標とした。

40

50

【 0 0 8 8 】

表 6 に、鋼 E ~ N についての前記各調査の結果、すなわち、介在物群の最大長さ、個々の介在物の最大長さ及びピッチング強度を示す。なお、表 6 おいては、個々の介在物の最大長さを「介在物最大長さ」と表記し、介在物群の最大長さを「介在物群最大長さ」と表記した。

【 0 0 8 9 】

【表 6】

表 6

鋼	介在物最大長さ (μm)	介在物群最大長さ (μm)	ピッチング強度 (MPa)
E	16	35	1950
F	9	24	3100
G	11	45	2600
H	15	49	2400
I	10	19	3300
J	23	42	2700
K	13	22	3200
L	37	61	2000
M	15	26	3100
N	18	38	2500

10

20

【 0 0 9 0 】

図 6 に介在物群の最大長さ（図 6 中では「介在物群最大長さ」と表記）とローラーピッチング試験でのピッチング強度との関係を示す。また、図 7 に個々の介在物の最大長さ（図 7 中では「介在物最大長さ」と表記）とローラーピッチング試験でのピッチング強度との関係を示す。

30

【 0 0 9 1 】

図 6 及び図 7 からわかるように、個々の介在物の最大長さよりも、介在物群の最大長さの方がピッチング強度との相関が強く、介在物群の最大長さが $30\ \mu\text{m}$ 以下であれば、ピッチング強度が大きく向上し、前記の目標値を満足する。

【 0 0 9 2 】

したがって、本発明（1）及び本発明（2）に係る鋼材は、鋼材断面において、断面積 $1500\ \text{mm}^2$ 中での硫化物を除く介在物群の最大長さを $30\ \mu\text{m}$ 以下と規定した。

【 0 0 9 3 】

ここで、鋼材断面とは、棒鋼、線材の場合、望ましくは圧延方向又は鍛錬軸に平行に中心線をとって切断した断面であり、鋼材が部品形状の場合は、表層部分～表層から $15\ \text{mm}$ の範囲の断面が望ましい。

40

【 0 0 9 4 】

なお、介在物の大きさ及び分布には、介在物の組成、凝固速度及び凝固偏析などが影響する。また、製鋼設備によっても影響を受ける。

【 0 0 9 5 】

このため、鋼材断面において、断面積 $1500\ \text{mm}^2$ 中での硫化物を除く介在物群の最大長さを $30\ \mu\text{m}$ 以下とするためには、次のような方法を採用すればよい。例えば、

（a）鋼中の含有量を、Al は 0.05% 以下、O は 0.002% 以下、Ti は 0.003% 以下及び N は 0.025% 以下にすること。

50

【 0 0 9 6 】

(b) 取鍋、タンディッシュ等の耐火物の溶損や鑄造時のスラグ及びパウダーの巻き込みを防止すること。

【 0 0 9 7 】

(c) 鑄造をインゴットで行う場合には、小型の鑄型を用い、鑄型の材質に熱伝導のよいものを用いること。なお、実施例などに用いた 3 0 k g インゴットの場合には、上記の (a) 及び (b) を満たし、且つ鑄型の材質に熱伝導のよいものを用いれば、目標とする介在物群の最大長さが得られる。

【 0 0 9 8 】

(d) 一方、例えば、連続鑄造で 4 0 0 m m × 3 0 0 m m 角という大断面のブルームを製造し、それから棒鋼又は線材を製造する場合、先ず、鋼中の含有量を A l は 0 . 0 4 % 以下、O は 0 . 0 0 1 % 以下、T i は 0 . 0 0 2 % 以下及び N は 0 . 0 1 8 % 以下にしてから、二次精錬で R H 真空脱ガス処理を長時間実施し、また、溶鋼の電磁攪拌を十分に行い、更に、総鍛錬比、つまり「ブルームの断面積 / 棒鋼又は線材の断面積」が 4 0 以上となるように加工すればよい。

10

【 実施例 】

【 0 0 9 9 】

表 7 に示す化学組成を有する鋼 a ~ p を溶解した。

【 0 1 0 0 】

上記の鋼のうち、鋼 a ~ c は 1 5 0 k g 真空溶解炉にて溶製し、通常鑄型を用いてインゴットに鑄造した。なお、鋼 c については、鑄型に耐火物が損傷しているものを用い、意図的に耐火物が混入するようにした。

20

【 0 1 0 1 】

また、鋼 d ~ n は 3 0 k g 真空溶解炉にて溶製し、インゴットに鑄造した。なお、鋼 d ~ m については通常鑄型を用い、鋼 n については、凝固速度を遅くするために、シリカ鑄型を用いた。

【 0 1 0 2 】

更に、鋼 o 及び鋼 p は、7 0 t (トン) 転炉で溶解し、連続鑄造によって 4 0 0 m m × 3 0 0 m m 角のブルームを製造した。鋼 o については、二次精錬で R H 真空脱ガス処理を長時間実施し、更に、溶鋼の電磁攪拌を十分に行った。一方、鋼 p は二次精錬で V A D 処理 (真空アーク脱ガス処理) を実施し、更に、溶鋼の電磁攪拌を弱めて行った。

30

【 0 1 0 3 】

【表7】

表 7

区分	化学組成 (質量%)										残部: Feおよび不純物					備考
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Nb	Ti	V	N	O			
本	0.16	0.88	0.59	0.012	0.011	0.98	0.16	0.033	—	0.002	—	0.0152	0.0009	(a)		
本	0.26	0.50	0.72	0.011	0.014	1.19	0.21	0.032	0.029	0.001	—	0.0168	0.0008	(a)		
本	0.20	0.52	0.48	0.014	0.012	1.22	0.38	0.027	—	0.001	—	0.0148	0.0013	(a), (d)		
本	0.22	0.83	0.69	0.021	0.013	1.50	0.21	0.035	0.034	0.004	0.08	0.0177	0.0010	(b)		
本	0.20	0.61	0.78	0.012	0.015	1.01	0.47	0.028	—	0.001	0.13	0.0187	0.0015	(b)		
本	0.20	1.21	0.49	0.013	0.031	0.79	0.31	0.034	0.031	0.001	0.09	0.0161	0.0012	(b)		
比	0.22	0.52	0.83	0.013	0.011	1.03	0.19	*0.059	—	0.002	—	0.0149	0.0015	(b)		
比	0.21	0.69	0.50	0.014	0.014	1.00	0.35	0.042	0.018	*0.006	—	0.0103	0.0013	(b)		
比	0.21	0.49	0.51	0.012	0.013	1.49	0.22	0.044	0.038	0.001	0.08	*0.0271	0.0014	(b)		
比	0.19	0.45	0.52	0.014	0.015	1.02	0.21	0.037	0.035	0.003	—	0.0124	*0.0025	(b)		
比	0.21	0.48	0.81	0.014	*0.055	1.00	0.22	0.035	0.016	0.002	—	0.0138	0.0015	(b)		
本	0.21	0.42	0.39	0.014	0.010	0.61	0.11	0.033	0.021	0.002	—	0.0169	0.0013	(b)		
本	0.22	0.52	0.49	0.010	0.013	1.88	0.18	0.029	—	0.002	—	0.0172	0.0010	(b)		
本	0.20	0.99	0.48	0.011	0.014	1.25	0.25	0.045	0.029	0.003	0.06	0.0165	0.0016	(b), (e)		
本	0.21	0.50	0.51	0.012	0.013	1.52	0.20	0.032	0.035	0.001	0.07	0.0173	0.0009	(c), (f)		
本	0.21	0.71	0.60	0.016	0.015	1.03	0.21	0.047	0.036	0.002	0.05	0.0157	0.0017	(c), (g)		

区分欄の「本」は化学成分が本発明で規定する範囲にあることを示す。Nb欄の「—」は0.001%未満を、V欄の「—」は0.01%未満を表す。備考欄の(a)、(b)、(c)はそれぞれ150kg真空炉溶製材、30kg真空炉溶製材及び70t(トン)転炉溶製材であることを、(d)は損傷がある鑄型を用いたことを、(e)はシリカ鑄型を用いたことを示す。また、(f)は「RH処理+強電磁攪拌」を行ったことを、(g)は「VAD処理+弱電磁攪拌」を行ったことを示す。

【0104】

上記のようにして得たインゴットとブルームについて次に示す処理を行った。

【0105】

先ず、鋼a~cのインゴットは、1150 で30分加熱した後、仕上げ温度が950

10

20

30

40

50

以上となるように熱間鍛造して、直径35mmの棒鋼を作製した。これらの各棒鋼を、5個ずつに分割し、前記表2に示す条件(No.1~5)で熱処理を行って室温まで放冷した。その後更に、925 × 1時間の加熱保持を行い、次いで、室温まで放冷した。

【0106】

また、鋼d~nのインゴットは、1150 で30分加熱した後、仕上げ温度が950以上となるように熱間鍛造して、直径35mmの棒鋼を作製した。これらの各棒鋼に表2の条件No.2の熱処理を行って室温まで放冷した。その後更に、925 × 1時間の加熱保持を行い、次いで、室温まで放冷した。

【0107】

鋼oのブルームは、表2の条件No.2の熱処理を行って室温まで放冷した後、分塊圧延して180mm × 180mmの角のピレットにした。次いで、このピレットを1250 で2時間加熱した後、900~950 の圧延仕上げ温度で、直径が35mmの棒鋼に熱間圧延した。

10

【0108】

更に、鋼pのブルームは、表2の条件No.4の熱処理を行って室温まで放冷した後、分塊圧延して180mm × 180mmの角のピレットにした。次いで、このピレットを1150 で1時間加熱した後、900~950 の圧延仕上げ温度で、直径が35mmの棒鋼に熱間圧延した。

【0109】

このようにして得た鋼a~pの直径35mmの各棒鋼から切り出した試験片について、圧延方向又は鍛錬軸に平行に中心線をとって切断した断面を鏡面研磨し、光学顕微鏡を用いて介在物の測定を行った。

20

【0110】

なお、上記の光学顕微鏡による観察は、10mm × 10mmの範囲毎に行い、その範囲内の介在物群の最大長さを測定した。各試料についてこの測定を15視野ずつ実施し、測定面積1500mm²中での介在物群の最大長さを決定した。なお、上記の調査において、硫化物は測定の対象から除外した。

【0111】

また、上記の鏡面研磨した面で、Si、Mn、Cr及びMoの各元素についてEPMAを用いた線分析を行った。このEPMAによる線分析は、ビーム直径を1μm、走査速度を200μm/分として実施した。

30

【0112】

更に、ローラーピッチング試験も行った。

【0113】

すなわち、上述の方法で作製した鋼a~pの直径35mmの各棒鋼から、直径が26mmのローラーピッチング試験で用いる小ローラーを採取し、下記表8、及び図8に示す条件で浸炭処理又は浸炭窒化処理を行った後急冷し、160 で2時間保持後、放冷する条件で焼戻しを行った。

【0114】

【表 8】

表 8

番号	ステップ1				ステップ2				冷却1	
	温度 (°C)	保持 時間 (h)	CP (%)	NP (%)	温度 (°C)	保持 時間 (h)	CP (%)	NP (%)	冷却 方法	冷却停 止温度 (°C)
1	930	5.0	0.9	0.0	850	0.5	0.8	0.0	油冷	80
2	930	5.0	0.9	0.0	—	—	—	—	油冷	80
3	930	5.0	0.9	0.0	—	—	—	—	ガス冷	200
4	930	5.0	0.9	0.0	—	—	—	—	ガス冷	600
5	930	5.0	0.9	0.0	—	—	—	—	ガス冷	200
6	930	5.0	0.9	0.0	—	—	—	—	ガス冷	450

番号	ステップ3				ステップ4				冷却2	
	温度 (°C)	保持 時間 (h)	CP (%)	NP (%)	温度 (°C)	保持 時間 (h)	CP (%)	NP (%)	冷却 方法	冷却停 止温度 (°C)
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	850	0.5	0.8	0.0	—	—	—	—	油冷	80
3	850	0.5	0.8	0.0	840	1.0	0.8	0.1	油冷	80
4	850	0.5	0.8	0.0	—	—	—	—	油冷	80
5	850	0.5	0.8	0.0	770	1.0	0.8	0.1	油冷	80
6	850	0.5	0.8	0.0	840	1.0	0.8	0.1	塩浴	250

「CP」はカーボンポテンシャルを、「NP」は窒素ポテンシャルを意味する。

【0115】

ローラーピッチング試験に用いる大ローラーは、JIS規格のSUJ2鋼を用い、一般的な工程、すなわち通常の「球状化焼鈍 試験片加工 焼入れ 焼戻し 研磨」の工程で作製した。ここで、上記大ローラーは、直径が130mmで、クラウニングを100mm Rのものとした。

【0116】

上記のようにして作製した小ローラーと大ローラーを用い、前記表5に示した条件でローラーピッチング試験を行った。

【0117】

なお、試験数は各7個とし、縦軸に面圧を、横軸に破壊までの繰り返し数をとったS-N線図を作成し、繰り返し数 1.0×10^7 回での面圧をピッチング強度とした。

【0118】

なお、ピッチング強度の目標は、JIS規格のSCr420鋼に相当する前述の鋼Eのピッチング強度である1950MPaを40%以上上回ること、つまり、2730MPaを上回ること、とした。

【0119】

表9及び表10に、上記の各試験結果を示す。なお、表9及び表10の「均質化処理条件」欄における番号は表2の処理条件No.に対応するものである。また、「浸炭(窒化)処理条件」欄の番号は表8の処理番号に対応するものである。なお、前記(1)式で表されるAの最小値は、表9及び表10においては、「(1)式で表されるAの値」と表記した。

【0120】

【表 9】

表 9

区分	試験番号	鋼	均質化処理条件	E P M A測定結果(質量%)				(1)式で表されるAの値	介在物群最大長さ(μm)	浸炭(窒化)処理条件	ピッチング強度(MPa)
				Si	Mn	Cr	Mo				
本	1	a	1	0.84	0.55	0.91	0.16	18.6	1	3100	
本	2	a	2	0.82	0.52	0.80	0.13	15.3	1	2900	
本	3	a	3	0.81	0.46	0.74	0.12	13.2	1	2800	
比	4	a	4	0.81	0.44	0.69	0.12	* 12.3	1	# 2300	
比	5	a	5	0.78	0.39	0.64	0.10	* 10.3	1	# 2000	
本	6	b	1	0.47	0.62	1.13	0.18	20.4	1	3000	
本	7	b	2	0.46	0.57	1.07	0.18	18.5	1	2900	
本	8	b	3	0.44	0.51	0.99	0.17	15.8	1	2800	
比	9	b	4	0.44	0.45	0.88	0.14	* 12.7	1	# 2400	
比	10	b	5	0.43	0.40	0.81	0.12	* 10.7	1	# 2100	
比	11	c	1	0.48	0.44	1.13	0.34	21.6	1	# 1800	
比	12	c	2	0.47	0.41	1.07	0.31	19.0	1	# 1600	
本	13	d	2	0.78	0.64	1.39	0.18	28.1	1	3100	
本	14	d	2	0.78	0.61	1.35	0.16	25.5	2	3500	
本	15	d	2	0.78	0.59	1.31	0.15	23.9	3	3600	
本	16	d	2	0.78	0.57	1.27	0.14	22.3	4	3200	
本	17	d	2	0.78	0.53	1.23	0.13	20.3	5	2800	

区分欄の「本」は本発明例であることを、「比」は比較例であることを示す。
均質化処理条件欄の番号は表2の条件No.に対応するものである。
浸炭(窒化)処理条件欄の番号は表7の処理番号に対応するものである。
「*」印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。「#」印は目標に達していないことを示す。

【 0 1 2 1 】

【表 10】

表 10

区分	試験番号	鋼	均質化処理条件	E P M A 測定結果 (質量%)				(1) 式で表される A の値	介在物群最大長さ (μm)	浸炭 (窒化) 処理条件	ピッチング強度 (M P a)
				Si	Mn	Cr	Mo				
本	18	e	2	0.56	0.71	0.92	0.43	30.9	1	3 2 0 0	
本	19	e	2	0.56	0.71	0.92	0.43	30.9	2	3 6 0 0	
本	20	e	2	0.56	0.71	0.92	0.43	30.9	3	3 7 0 0	
本	21	e	2	0.56	0.71	0.92	0.43	30.9	4	3 2 0 0	
本	22	e	2	0.56	0.71	0.92	0.43	30.9	5	2 9 0 0	
本	23	f	2	1.12	0.43	0.73	0.27	19.1	1	3 3 0 0	
比	24	*g	2	0.46	0.76	0.94	0.16	20.0	* 4 1	# 2 3 0 0	
比	25	*h	2	0.63	0.42	0.92	0.31	18.8	* 3 4	# 2 5 0 0	
比	26	*i	2	0.45	0.44	1.39	0.18	18.7	* 3 7	# 2 4 0 0	
比	27	*j	2	0.40	0.44	0.91	0.17	13.3	* 4 9	# 2 0 0 0	
本	28	*k	2	0.44	0.73	0.90	0.17	19.1	2 9	# 2 4 0 0	
比	29	l	2	0.37	0.35	0.55	0.09	* 7.1	2 3	# 2 1 0 0	
本	30	m	2	0.45	0.44	1.72	0.15	20.6	1 6	3 2 0 0	
比	31	n	2	0.92	0.42	1.18	0.21	21.3	* 3 3	# 2 7 0 0	
本	32	o	2	0.47	0.45	1.39	0.15	18.0	2 1	3 2 0 0	
比	33	p	4	0.64	0.47	0.82	0.14	* 13.7	* 3 5	# 2 4 0 0	
本	34	d	2	0.78	0.56	1.25	0.14	21.8	1 6	3 4 0 0	

区分欄の「本」は本発明例であることを、「比」は比較例であることを示す。
均質化処理条件欄の番号は表 2 の条件 N o. に対応するものである。
浸炭 (窒化) 処理条件欄の番号は表 7 の処理番号に対応するものである。
「*」印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。(鋼欄の「*」印は本発明で規定する化学組成から外れた鋼であることを示す。)

【0122】

表 9 及び表 10 から、本発明で規定する条件から外れた試験番号の場合には、ローラーピッチング試験におけるピッチング強度は 2 7 3 0 M P a に達しない低いものであることが明らかである。

【0123】

これに対して、本発明で規定する条件を満たす試験番号の場合には、ローラーピッチン

10

20

30

40

50

グ試験におけるピッチング強度は目標とする2730MPaを超える大きな値であることが明らかである。

【産業上の利用可能性】

【0124】

本発明(1)及び(2)の鋼材に浸炭処理又は浸炭窒化処理を施した後急冷した部品、或いは前記急冷後更に必要に応じて焼戻しを施した部品は、安定且つ良好なピッチング強度を有するので、自動車や産業機械の部品である歯車、プーリー、シャフトなどに用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0125】

【図1】Si、Mn、Cr及びMoの各元素についてEPMAを用いて線分析を行った位置を示す図である。

【図2】直径35mmの供試材から、直径が26mmで厚さが15mmの試験片を採取する状況を説明する図である。

【図3】(a)はガス浸炭処理とその後の冷却の条件を説明する図、また、(b)は焼戻しの条件を説明する図である。

【図4】SEMを用いた表層から200µmの領域の組織調査を説明する図である。

【図5】前記(1)式で表されるAの最小値(図では「A値」と表記)とNb及びVの含有とが、表層から200µmの領域をSEM観察した場合のベイナイト組織とパーライト組織の存在の有無に及ぼす影響について示す図である。

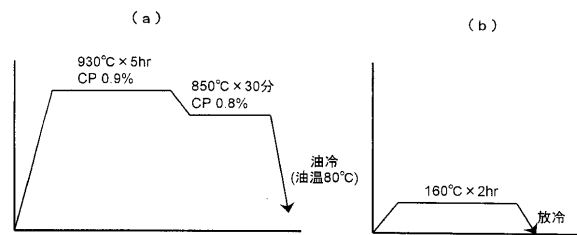
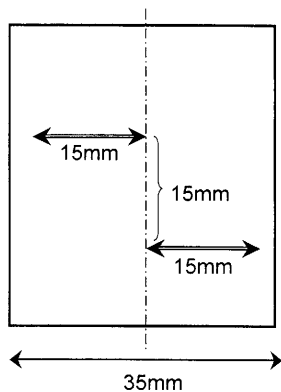
【図6】介在物群の最大長さ(図では「介在物群最大長さ」と表記)とローラーピッチング試験でのピッチング強度との関係を示す図である。

【図7】個々の介在物の最大長さ(図では「介在物最大長さ」と表記)とローラーピッチング試験でのピッチング強度との関係を示す図である。

【図8】浸炭処理又は浸炭窒化処理とその後の急冷を2回行う方法を説明する図である。

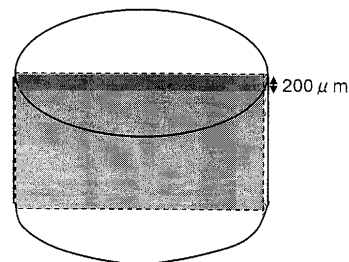
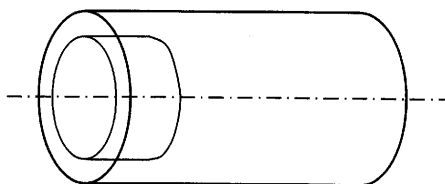
【図1】

【図3】



【図4】

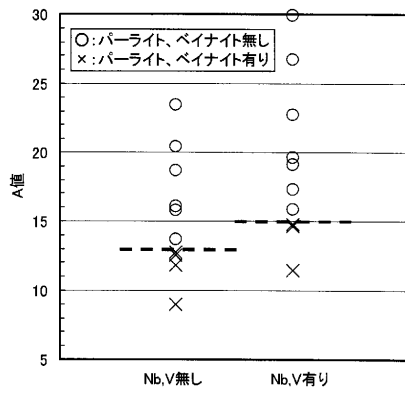
【図2】



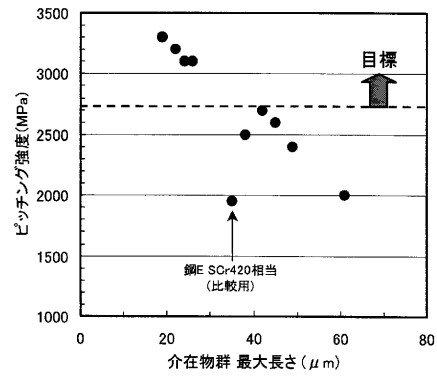
10

20

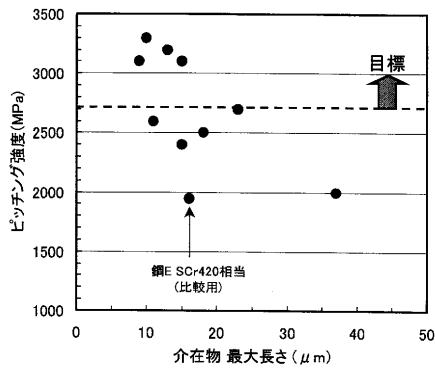
【 図 5 】



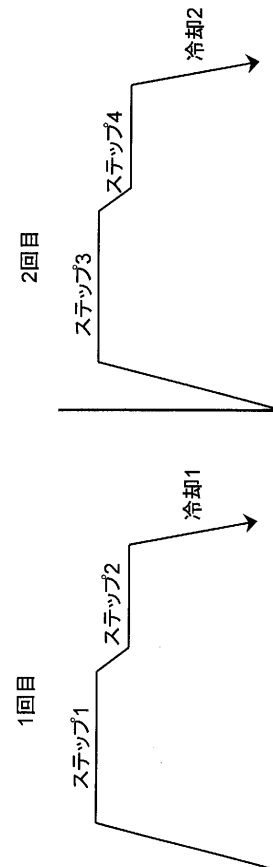
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 堀本 雅之
福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株式会社住友金属小倉内
- (72)発明者 今高 秀樹
福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株式会社住友金属小倉内

審査官 本多 仁

- (56)参考文献 特開昭63-060257(JP,A)
特許第2945714(JP,B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C22C 38/00-38/60