

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-190515

(P2017-190515A)

(43) 公開日 平成29年10月19日(2017. 10. 19)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 O 1 Y		4 K O 3 2
C 2 2 C 38/06	(2006.01)	C 2 2 C 38/06			
C 2 2 C 38/58	(2006.01)	C 2 2 C 38/58			
C 2 1 D 8/06	(2006.01)	C 2 1 D 8/06	A		

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2016-82293 (P2016-82293)	(71) 出願人	000006655
(22) 出願日	平成28年4月15日 (2016. 4. 15)		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
		(74) 代理人	100099759
			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100077517
			弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100113918
			弁理士 亀松 宏
		(74) 代理人	100187702
			弁理士 福地 律生
		(74) 代理人	100160543
			弁理士 河野上 正晴

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鋼線およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 破断するまでに大きなエネルギーを吸収することができる鋼線を提供する。

【解決手段】 質量%で、C：0.05～0.25%、Si：0.3～1.0%、Mn：0.10～3.00%、S：0.005～0.015%、N：0.005～0.013%、およびAl：0.005%以下の化学成分を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなる鋼線であって、前記鋼線断面におけるフェライトの結晶粒径が9 μm以下であり、断面面積率で8%以上の残留オーステナイトを含み、破断までの単位面積当たりの吸収エネルギーが1300 J/cm²以上である、ことを特徴とする鋼線。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量 % で、

C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 5 %、

Si : 0 . 3 ~ 1 . 0 %、

Mn : 0 . 1 0 ~ 3 . 0 0 %、

S : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 5 %、

N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 3 %、および

Al : 0 . 0 0 5 % 以下

の化学成分を含有し、

10

残部が Fe および不可避不純物からなる鋼線であって、

前記鋼線断面におけるフェライトの結晶粒径が $9 \mu\text{m}$ 以下であり、

断面面積率で 8 % 以上の残留オーステナイトを含み、

破断までの単位面積当たりの吸収エネルギーが $1300 \text{ J} / \text{cm}^2$ 以上である、

ことを特徴とする鋼線。

【請求項 2】

質量 % で更に、Cr : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 0 %、Ni : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 0 %、Cu : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 0 %、Mo : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 0 % のうち一種または二種以上を含有することを特徴とする、請求項 1 に記載の鋼線。

20

【請求項 3】

質量 % で、

C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 5 %、

Si : 0 . 3 ~ 1 . 0 %、

Mn : 0 . 1 0 ~ 3 . 0 0 %、

S : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 5 %、

N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 3 %、および

Al : 0 . 0 0 5 % 以下

の化学成分を含有し、

残部が Fe および不可避不純物からなる鋼材を、1 . 0 以上の塑性歪を与えて伸線すること、

30

前記伸線した鋼材を、 A_{C1} 変態点温度以上且つ $(A_{C1} \text{ 変態点温度} + A_{C3} \text{ 変態点温度}) / 2$ 以下の加熱温度まで $8 \text{ }^\circ\text{C} / \text{秒}$ 以上の昇温速度で加熱し、前記加熱温度にて 15 秒 ~ 120 秒保持すること、

前記加熱した鋼材を、 $8 \text{ }^\circ\text{C} / \text{秒}$ 以上の冷却速度で式 (2) :

$$M_s (^\circ\text{C}) = 550 - 350C - 40Mn - 10Cu - 17Ni - 20Cr - 10Mo + 30Al \quad (2)$$

で示される M_s 変態点温度を基準として、 $(M_s \text{ 変態点温度} + 50 \text{ }^\circ\text{C})$ 以下且つ $(M_s \text{ 変態点温度} - 50 \text{ }^\circ\text{C})$ 以上の温度まで冷却し、その温度で 50 ~ 320 秒間保持すること、および

前記冷却した鋼材を、室温までさらに空冷すること、

40

を特徴とする鋼線の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、大きな吸収エネルギーを示す鋼線およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

崖や切通しに接している道路や線路への落石の侵入を防止するために、落石防護ネットが用いられている。落石防護ネットには、落石時に落石の運動エネルギーを吸収して落石を受け止め、落石を静止させることが要求される。

50

【 0 0 0 3 】

落石防護ネットに用いられる鋼線の破壊に至るまでのエネルギー吸収量は、概ね引張強度と伸びに比例する。伸びが変わらないのであれば引張強度を上げるほど、引張強度が変わらないのであれば伸びが大きくなるほど、鋼線の吸収エネルギーは大きくなる。しかしながら、通常、引張強度をあげると引張強度の上昇率以上に伸びが低下するため、吸収エネルギーは小さくなる。このため、落石防護ネット用の鋼線は軟質で伸びが大きななまし線が多用されてきた。伸びを低下することなく引張強度の上昇を図ることができれば、落石防護ネットの吸収エネルギーは飛躍的に増大する。

【 0 0 0 4 】

鋼材の伸びを低下することなく引張強度の上昇を図る手法として、残留オーステナイトを活用する方法が知られている。即ち、伸び（変形）の途中で残留オーステナイトが次々マルテンサイトに変態し（加工誘起変態）、破断の起点となる脆弱部分を強化して、伸びを確保する方法である。

10

【 0 0 0 5 】

残留オーステナイトを活用した落石防護に関する技術として特許文献 1 の技術がある。特許文献 1 に記載の技術は、主に落石防護柵、落石防護ネット等の落石防止設備を支えるロープでエネルギーを吸収する技術である。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

20

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 1 9 1 7 7 4 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、特許文献 1 等の従来の残留オーステナイトを活用する方法で落石防護ネット等の落石防止設備を作製した場合でも、依然として、受け止められる落石エネルギーの大きさが不十分であった。より大きな落石エネルギーを受け止めるためには、落石防護ネット等の落石防止設備自体に用いることが可能な鋼線のエネルギー吸収能を上げることが必要である。

【 0 0 0 8 】

30

そのため、従来よりも、破断するまでに大きなエネルギーを吸収することが可能な鋼線が求められている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明の要旨は以下のとおりである：

(1) 質量 % で、

C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 5 % 、

S i : 0 . 3 ~ 1 . 0 % 、

M n : 0 . 1 0 ~ 3 . 0 0 % 、

S : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 5 % 、

40

N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 3 % 、 および

A l : 0 . 0 0 5 % 以下

の化学成分を含有し、

残部が F e および不可避不純物からなる鋼線であって、

前記鋼線断面におけるフェライトの結晶粒径が $9 \mu\text{m}$ 以下であり、

断面面積率で 8 % 以上の残留オーステナイトを含み、

破断までの単位面積当たりの吸収エネルギーが $1300 \text{ J} / \text{cm}^2$ 以上である、

ことを特徴とする鋼線。

(2) 質量 % で更に、 C r : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 0 % 、 N i : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 0 % 、 C u : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 0 % 、 M o : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 0 % のうち一種または二種以上を含有

50

することを特徴とする、上記(1)に記載の鋼線。

(3) 質量%で、

C : 0.05 ~ 0.25 %、

Si : 0.3 ~ 1.0 %、

Mn : 0.10 ~ 3.00 %、

S : 0.005 ~ 0.015 %、

N : 0.005 ~ 0.013 %、および

Al : 0.005 % 以下

の化学成分を含有し、

残部が Fe および不可避不純物からなる鋼材を、1.0 以上の塑性歪を与えて伸線すること、 10

前記伸線した鋼材を、 A_{C1} 変態点温度以上且つ (A_{C1} 変態点温度 + A_{C3} 変態点温度) / 2 以下の加熱温度まで 8 / 秒以上の昇温速度で加熱し、前記加熱温度にて 15 秒 ~ 120 秒保持すること、

前記加熱した鋼材を、8 / 秒以上の冷却速度で式(2)：

$$M_s () = 550 - 350C - 40Mn - 10Cu - 17Ni - 20Cr - 10Mo + 30Al \quad (2)$$

で示される M_s 変態点温度を基準として、(M_s 変態点温度 + 50) 以下且つ (M_s 変態点温度 - 50) 以上の温度まで冷却し、その温度で 50 ~ 320 秒保持すること、および 20

前記冷却した鋼材を、室温までさらに空冷すること、
を特徴とする鋼線の製造方法。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、大きな吸収エネルギーを示す鋼線を得ることができる。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明は、質量%で、C : 0.05 ~ 0.25 %、Si : 0.3 ~ 1.0 %、Mn : 0.10 ~ 3.00 %、S : 0.005 ~ 0.015 %、N : 0.005 ~ 0.013 %、および Al : 0.005 % 以下の化学成分を含有し、残部が Fe および不可避不純物からなる鋼線であって、前記鋼線断面におけるフェライトの結晶粒径が 9 μ m 以下であり、断面面積率で 8 % 以上の残留オーステナイトを含み、破断までの単位面積当たりの吸収エネルギーが 1300 J / cm^2 以上である、ことを特徴とする鋼線を対象とする。 30

【0012】

本発明に係る鋼線は、所定の化学成分並びに残部として Fe および不可避不純物からなり、断面におけるフェライトの結晶粒径が 9 μ m 以下であり、且つ 8 % 以上の残留オーステナイトを含む鋼線である。本発明に係る鋼線は、従来のなまし線に比べて、引張強度と延性のバランスに優れており、大きな吸収エネルギーを示す。本願において、吸収エネルギーとは、鋼線の引張強度試験時における荷重—変位曲線を変位で積分した値である。

【0013】

本発明に係る鋼線を用いて落石防護ネット用の金網を編むことができる。本発明に係る鋼線を用いて作製した金網を備えた落石防護ネットは、落石の衝突等で特定部位に高い負荷がかかった場合、その部位の鋼線が加工誘起マルテンサイトの生成により強化され、他の部位の鋼線に変形が分散されて、従来よりも大きな吸収エネルギーを示すことができる。また、本発明に係る鋼線は大きな吸収エネルギーを示すため、本発明に係る鋼線を用いて落石防護ネット用の金網を作製する場合、落石防護ネット用の金網を単線で構成することができるので、落石防護ネットを安価に作製することができる。本願において、単線とは、撚り線ではないことを意味する。撚り線は、複数の線を撚り合わせたものである。

【0014】

以下に、本発明に係る鋼線の組成を説明する。以下の組成の説明において、パーセント 50

表示は、鋼線的全質量を基準とする質量%である。

【0015】

本発明に係る鋼線は、質量%で、

C : 0.05 ~ 0.25 %、

Si : 0.3 ~ 1.0 %、

Mn : 0.10 ~ 3.00 %、

S : 0.005 ~ 0.015 %、

N : 0.005 ~ 0.013 %、および

Al : 0.005 %以下を含有する。

【0016】

10

鋼線は、0.05 ~ 0.25 %のCを含む。Cは、残留オーステナイトの生成のため重要な元素で、鋼線が0.05 %以上のCを含むことによって十分な量の残留オーステナイトを得ることができ、良好な伸びが得られる。鋼線は、好ましくは0.10 %以上のCを含む。鋼線中のC含有量が0.25 %を超えると、鋼線が硬くなりすぎ伸びが低下して、金網に成形することが困難になるため、C含有量の上限を0.25 %以下、好ましくは0.23 %以下とする。

【0017】

20

鋼線は、0.3 ~ 1.0 %のSiを含む。Siは、変態過程においてBCC相（フェライト）から変態FCC相（オーステナイト）へのCの濃化を促し、残留オーステナイトの生成を容易にする元素である。鋼線が0.3 %以上のSiを含むことによって、残留オーステナイトの生成を促進することができる。鋼線は、好ましくは0.4 %以上のSiを含む。鋼線中のSi含有量が1.0 %を超えると、スケール剥離性に問題が生じるため、Si含有量の上限を1.0 %以下、好ましくは0.9 %以下、より好ましくは0.8 %以下、さらに好ましくは0.7 %以下とする。

【0018】

30

鋼線は、0.10 ~ 3.00 %のMnを含む。Mnは、拡散型変態であるフェライト変態およびパーライト変態の変態速度を低下させ、残留オーステナイトを生成し易くする効果のある元素である。鋼線が0.10 %以上のMnを含むことによって、フェライト粒の粗大化を抑制し十分な量の残留オーステナイトを生成することができる。鋼線は、好ましくは0.20 %以上のMnを含む。鋼線中のMn含有量が3.00 %を超えると熱間延性の低下を招き製造性が著しく低下するため、Mn含有量の上限を3.00 %以下、好ましくは2.50 %以下とする。

【0019】

40

鋼線は、0.005 ~ 0.015 %のSを含む。Sは、MnSを形成しスケール剥離性を向上させる重要な元素である。鋼線が0.005 %以上のSを含むことによって、スケール剥離性を向上することができる。鋼線は、好ましくは0.008 %以上のSを含む。鋼線中のS含有量が0.015 %を超えると、MnSを起点とした破壊が顕著になり延性が低下するため、S含有量の上限を0.015 %以下、好ましくは0.012 %以下とする。本発明に係る鋼線は高い引張強度を有するが、MnSが多く生成されると引張強度への悪影響が極めて大きいため、鋼線中のS含有量は厳格に制限される。

【0020】

鋼線は、0.005 ~ 0.013 %のNを含む。Nは、Cと同様に、残留オーステナイト生成のために重要な元素である。鋼線が0.005 %以上のNを含むことによって、残留オーステナイトを生成させる効果が非常に大きくなる。鋼線は、好ましくは0.008 %以上のNを含む。鋼線中のN含有量が0.013 %を超えると、溶製が困難になるため、N含有量の上限を0.013 %以下、好ましくは0.010 %とする。このように、残留オーステナイト生成および溶製の観点から、鋼線中のN含有量は厳格に制限される。

【0021】

50

本発明に係る鋼線において、Al含有量はできる限り少ない方がよく、鋼線中のAl含有量を0.005 %以下、より好ましくは0.003 %以下とする。Alは、Siと同様

、未変態オーステナイトへのCの濃化を促し、残留オーステナイトの生成を容易にし得るが、鋼線の吸収エネルギーを大きくすることはできない。また、Alは、製錬時にOと反応して硬質な Al_2O_3 を生成し、伸線時の断線の原因となるため、Al含有量は可能な限り低減する必要がある。本発明に係る鋼線は高い引張強度を有するが、生成し得る Al_2O_3 の引張強度への悪影響が極めて大きいため、鋼線中のAl含有量は厳格に制限される。

【0022】

好ましくは、鋼線は、質量%で更に、0.05~2.00%のCr、0.05~2.00%のNi、0.05~1.00%のCu、および0.05~1.00%のMoのうち一種または二種以上を含有する。

10

【0023】

Cr、Ni、Cu、およびMoはそれぞれ、鋼の強化元素であり、残留オーステナイトを生成し易くする元素である。Cr、Ni、Cu、およびMoを、それぞれ、鋼線中に好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.2%以上、さらに好ましくは0.5%以上、さらにより好ましくは1.1%以上添加することが好ましい。CrおよびNiについては、過剰の添加はコストを上昇させるので、鋼線中の含有量の上限を2.00%以下とする。CuおよびMoについても、過剰の添加はコストを上昇させるので、鋼線中の含有量の上限を1.00%以下とする。

【0024】

鋼線の残部は、Feおよび不可避不純物である。

20

【0025】

鋼線の断面におけるフェライトの結晶粒径は、9 μm 以下、好ましくは8 μm 以下、より好ましくは7 μm 以下、さらに好ましくは6 μm 以下である。フェライトの結晶粒径の下限は特に限定されるものではないが、例えば1 μm 程度にすることができる。フェライトの結晶粒径が上記範囲にあることにより、残留オーステナイトを多く生成することができる。また、フェライトの結晶粒径が上記範囲にあることにより、伸びを大きくすることもできる。

【0026】

鋼線は、断面面積率で8%以上、好ましくは9%以上、より好ましくは10%以上、さらに好ましくは11%以上の残留オーステナイトを含む。残留オーステナイトの上限は特に限定されるものではないが、例えば30%以下にすることができる。残留オーステナイトの断面面積率が上記範囲にあることにより、伸びに優れ、且つ破断までの単位面積当たりの吸収エネルギーが大きい鋼線を得ることができる。

30

【0027】

鋼線の、破断までの単位面積当たりの吸収エネルギーは、1300J/cm²以上、好ましくは1400J/cm²以上、より好ましくは1500J/cm²以上、さらに好ましくは1600J/cm²以上である。

【0028】

上記範囲の吸収エネルギーを示す鋼線は、落石防護ネットの作製に好適に用いることができる。

40

【0029】

本発明に係る鋼線の引張強度(TS)は、好ましくは500MPa以上、より好ましくは550MPa以上、さらに好ましくは575MPa以上、さらにより好ましくは600MPa以上である。

【0030】

本発明に係る鋼線の伸び(EL)は、引張強度とのバランスで、吸収エネルギーが大きくなるような伸び(EL)であればよく、好ましくは30%~70%程度の範囲であることができる。

【0031】

本発明はまた、質量%で、C:0.05~0.25%、Si:0.3~1.0%、

50

Mn : 0 . 1 0 ~ 3 . 0 0 %、S : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 5 %、N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 3 %、および Al : 0 . 0 0 5 % 以下の化学成分を含有し、残部が Fe および不可避不純物からなる鋼材を、1 . 0 以上の塑性歪を与えて伸線すること、前記伸線した鋼材を、 A_{c1} 変態点温度以上且つ $(A_{c1} \text{ 変態点温度} + A_{c3} \text{ 変態点温度}) / 2$ 以下の加熱温度に 8 / 秒以上の昇温速度で加熱し、前記加熱温度にて 1 5 秒 ~ 1 2 0 秒保持すること、前記加熱した鋼材を、8 / 秒以上の冷却速度で式 (2) :

$$M_s () = 550 - 350C - 40Mn - 10Cu - 17Ni - 20Cr - 10Mo + 30Al \quad (2)$$

で示される M_s 変態点温度を基準として、 $(M_s \text{ 変態点温度} + 50)$ 以下且つ $(M_s \text{ 変態点温度} - 50)$ 以上の温度まで冷却し、その温度で 5 0 ~ 3 2 0 秒間保持すること、および前記冷却した鋼材を、室温までさらに空冷すること、を特徴とする鋼線の製造方法を対象とする。

10

【0032】

以下に、本発明に係る鋼線の製造方法の各構成を説明する。

【0033】

質量%で、C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 5 %、Si : 0 . 3 ~ 1 . 0 %、Mn : 0 . 1 0 ~ 3 . 0 0 %、S : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 5 %、N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 3 %、および Al : 0 . 0 0 5 % 以下の化学成分を含有し、残部が Fe および不可避不純物からなる鋼材を、伸線して鋼線を得る。好ましくは、鋼材を、落石防護ネットを製網するための線径にまで伸線する。本発明に係る鋼線を用いて作製し得る落石防護ネットの網の構造は、好ましくは菱型金網である。落石防護ネットの網目寸法は、好ましくは 3 0 ~ 8 0 mm である。

20

【0034】

伸線は、冷間伸線であり、通常のダイスを用いた乾式伸線やローラーを用いた圧延等により行うことができる。

【0035】

次いで、伸線した鋼線を、フェライト - オーステナイト 2 相域に加熱すると、伸線時に導入された高転位密度の部位を核として、フェライトが再結晶する。

【0036】

フェライト再結晶時の粒径は、核の数が多い程微細になるため、加熱前の伸線歪 (塑性歪) は高い方が好ましい。加熱前の塑性歪を 1 . 0 以上とすることにより、フェライト粒径の粗大化を抑制しフェライト粒径を十分に細かくすることができ、残留オーステナイトを生成しやすくなり伸びが向上する。そのため、塑性歪の下限を 1 . 0 以上、好ましくは 1 . 1 以上、より好ましくは 1 . 2 以上、さらに好ましくは 1 . 3 以上とする。塑性歪 ε は、伸線前の元線径 D_1 と伸線後の線径 D_2 から、式 (1) :

30

$$\varepsilon = 2 \times \ln (D_1 / D_2) \quad (1)$$

により算出される。

【0037】

伸線後の加熱温度を、 A_{c1} 変態点温度以上にすることにより、フェライト - オーステナイト 2 相域にすることができる。

【0038】

また、伸線後の加熱温度を、 $(A_{c1} \text{ 変態点温度} + A_{c3} \text{ 変態点温度}) / 2$ 以下にすることにより、フェライト粒径の粗大化を抑制し、且つフェライト - オーステナイト 2 相域中のオーステナイト相の炭素濃度をさらに高めることができる。オーステナイト相の炭素濃度をさらに高めることによって、オーステナイト相が安定化し、冷却時にオーステナイトからフェライトへの変態量が減少して、冷却後の残留オーステナイト量を増加させることができる。一方で、伸線後の加熱温度を、 $(A_{c1} \text{ 変態点温度} + A_{c3} \text{ 変態点温度}) / 2$ よりも高くすると、加熱時のオーステナイト量は増えるが、冷却時にオーステナイトからフェライトへの変態量が増加して、残留オーステナイト量は大きく減少する。

40

【0039】

したがって、加熱温度を、 A_{c1} 変態点温度以上且つ $(A_{c1} \text{ 変態点温度} + A_{c3} \text{ 変態$

50

点温度) / 2 以下に限定することにより、鋼線の伸びを向上することができる。

【 0 0 4 0 】

なお、伸線時に中間焼鈍を行う場合には、焼鈍時に歪がクリアされるため、ここで規定する塑性歪とは、最終中間焼鈍後の伸線歪である。

【 0 0 4 1 】

塑性歪が 1 . 0 以上であっても、昇温速度が 8 / 秒未満であると、昇温中にフェライトが再結晶して粗大化し、残留オーステナイトが減少し伸びが減少するため、昇温速度の下限を 8 / 秒以上、好ましくは 1 0 / 秒、より好ましくは 2 0 / 秒以上とする。

【 0 0 4 2 】

フェライト - オーステナイト 2 相域温度での保持により、オーステナイト中へ炭素が濃化して、残留オーステナイトが生成し易くなる。2 相域温度に到達後の保持時間が 1 0 秒未満であると、オーステナイトへの炭素の濃化が十分でなく伸びが減少するため、下限を 1 5 秒以上、好ましくは 2 0 秒以上とする。また、2 相域温度に長時間保持するとフェライトが成長して粗大化して、残留オーステナイトは十分生成するが、伸びが大きくなり、結果として吸収エネルギーが低くなるため、保持時間の上限を 1 2 0 秒以下、好ましくは 1 0 0 秒以下、より好ましくは 9 0 秒以下とする。この 2 相域温度での加熱処理により、低炭素で微細なフェライト地に高炭素のオーステナイト粒が分散した組織となる。

【 0 0 4 3 】

その後の冷却過程において、未変態オーステナイト中への炭素の濃化に寄与しないパーライト変態をできる限り起こさないような冷却速度で冷却する必要がある。8 / 秒未満の冷却速度ではパーライト変態が生じ、残留オーステナイトが減少し伸びが減少するため、冷却速度の下限を 8 / 秒以上、好ましくは 1 0 / 秒以上、より好ましくは 2 0 / 秒以上とする。

【 0 0 4 4 】

2 相域温度での加熱処理後の冷却停止温度は、ベイナイト変態が生じる温度域で停止する必要がある。この温度域での保持により、ベイナイトから残留オーステナイトへ C が排出され、残留オーステナイトの C 濃度が上昇して、残留オーステナイトが安定化する。

【 0 0 4 5 】

ベイナイト変態が生じるような温度でも、温度が高すぎると、ベイナイトから残留オーステナイト相へ C が排出されるよりも早く、ベイナイト内部に炭化物が析出してしまうため、冷却停止温度の上限を式 (2) :

$$M_s () = 550 - 350C - 40Mn - 10Cu - 17Ni - 20Cr - 10Mo + 30Al \quad (2)$$

で示される母相平均濃度から計算される M_s 変態点温度を基準として、(M_s 変態点温度 + 5 0)、好ましくは (M_s 変態点温度 + 4 0)、より好ましくは (M_s 変態点温度 + 3 0) とする。式 (2) において、鋼材に含まれない成分については、ゼロを代入する。

【 0 0 4 6 】

式 (2) において、 M_s 変態点温度は母相平均濃度から計算されるが、残留オーステナイトの C 濃度は平均濃度より高く、式 (2) で求められる M_s 変態点温度においても、マルテンサイトは生成しない。しかし、温度が低すぎるとマルテンサイト変態が生じてしまい、伸びが低下するため、冷却停止温度の下限を (M_s 変態点温度 - 5 0)、好ましくは (M_s 変態点温度 - 4 0)、より好ましくは (M_s 変態点温度 - 3 0) とする。

【 0 0 4 7 】

2 相域温度での加熱処理後の冷却は、好ましくは、空冷、強制空冷、ソルトバス、及び水冷から選択される 1 以上の方法により行うことができる。

【 0 0 4 8 】

冷却停止温度における保持時間は、ベイナイトから残留オーステナイトへの C の濃化に必要である。5 0 秒未満では残留オーステナイトへの C 濃化が十分に生じず、残留オーステナイトが安定化せず伸びが低下するため、保持時間の下限を 5 0 秒以上、好ましくは 6

10

20

30

40

50

0 秒以上とする。保持時間が 3 2 0 秒を超えると、ベイナイト変態の進行により十分な量の残留オーステナイト量を確保できず伸びが低下するため、保持時間の上限を 3 2 0 秒以下、好ましくは 3 0 0 秒以下、より好ましくは 2 4 0 秒以下とする。

【 0 0 4 9 】

上記の成分および製造方法で製造された鋼線は、8 % 以上の残留オーステナイト量および $9 \mu\text{m}$ 以下の断面におけるフェライト粒径を有し、破断までの吸収エネルギーが $1300 \text{ J} / \text{cm}^2$ 以上を示す。そのため、前記鋼線は、落石防護ネットに好適に用いられる。

【 0 0 5 0 】

本発明により製造された鋼線は、鋼線中の残留オーステナイトが鋼線変形時に加工誘起変態をすることにより、破断するまでに断面単位面積当たり $1300 \text{ J} / \text{cm}^2$ 以上のエネルギーを吸収する。この鋼線を用いて落石防護ネットを作成すれば、大きな落石が道路や線路を塞ぐことを防ぐことが可能となる。

【 実施例 】

【 0 0 5 1 】

表 1 に、準備した鋼の化学成分と変態温度を示す。加熱温度の上限である (A_{C1} 変態点温度 + A_{C3} 変態点温度) / 2 を「参照温度」と記載した。

【 0 0 5 2 】

表 1 に示した実施例および比較例となる鋼種 1 ~ 2 0 を、 $\phi 12 \text{ mm}$ 、 $\phi 7.5 \text{ mm}$ 、および $\phi 5.5 \text{ mm}$ まで熱間圧延したものを、表 2 の伸線条件で (冷間) 乾式伸線した。

【 0 0 5 3 】

伸線した鋼材を熱処理した。表 3 に熱処理条件を示す。加熱温度と冷却停止温度も重要な熱処理条件因子であるが、成分が変わると、 A_{C1} 変態点温度、 A_{C3} 変態点温度、およびマルテンサイト変態開始温度が変わるため、表 4 に記載した。

【 0 0 5 4 】

所定の温度に加熱保持した鋼材を、空冷及び強制空冷により冷却停止温度まで冷却し、所定時間保持した後、室温まで空冷した。

【 0 0 5 5 】

表 4 に、鋼種 (化学成分)、伸線条件、熱処理条件および冷却停止温度の各条件により製造された鋼線の各種試験結果を示す。残留オーステナイト量を「残留 γ 」と記載した。

【 0 0 5 6 】

得られた鋼線を樹脂埋めして研磨し、研磨した試験片の横断面をナイトール腐食した。ナイトール腐食した横断面の中心部について 5 0 0 倍の光学顕微鏡写真を撮影し、切断法 (JIS 規格準拠: JIS G 0551) により、鋼線のフェライト結晶粒径を求めた。鋼線中の残留オーステナイト量は、試験片の横断面の中心部について、コリメーター径 $\phi 1.0 \text{ mm}$ の X 線回折装置 (Rigaku 製、AutoMate M) を用いて測定した。引張強度 (TS) および伸び (EL) は、JIS 9 A 号引張試験片を用い、標点間距離 1 0 0 mm、掴み部の間隔 1 5 0 mm、引張速度 1 mm / 分の定速引張により測定した。吸収エネルギーは、JIS 9 A 号引張試験片を用い、掴み部間隔 5 0 mm、引張速度 1 0 mm / 秒で引っ張って破断させ、その時の荷重の時間変化をクロスヘッドの移動量で積分して求めた。

【 0 0 5 7 】

本発明によれば、フェライト結晶粒径が $9 \mu\text{m}$ 以下、残留オーステナイトが 8 % 以上、および吸収エネルギーが $1300 \text{ J} / \text{cm}^2$ 以上の鋼線が得られた。

【 0 0 5 8 】

10

20

30

40

【表 1】

	鋼種	化学成分 (mass%)										変態点温度 (°C)			参照温度 (°C)
		C	Si	Mn	S	Al	N	Cr	Ni	Cu	Mo	A _{Cl}	A _{C3}	M _s	
実施例	1	0.09	0.7	0.51	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	754	919	495	837
	2	0.18	0.8	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	754	887	467	820
	3	0.23	0.8	0.50	0.011	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	752	863	450	808
	4	0.10	0.4	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	749	902	495	826
	5	0.11	0.9	0.49	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	758	930	495	844
	6	0.11	0.8	0.20	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	759	931	507	845
	7	0.10	0.8	2.53	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	733	885	415	809
	8	0.10	0.7	0.51	0.008	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	754	919	495	837
	9	0.09	0.7	0.50	0.012	0.003	0.008	1.14	0.00	0.00	0.00	781	914	473	847
	10	0.10	0.7	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.50	0.20	0.00	738	903	485	820
	11	0.10	0.7	0.50	0.012	0.003	0.008	0.50	0.20	0.00	0.20	766	919	480	843
比較例	12	0.03	0.7	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	756	953	520	854
	13	0.29	0.8	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	751	830	425	790
	14	0.11	0.2	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	745	891	495	818
	15	0.10	1.2	0.50	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	763	947	495	855
	16	0.11	0.8	0.05	0.011	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	761	934	513	847
	17	0.10	0.8	3.29	0.012	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	723	870	383	797
	18	0.10	0.7	0.50	0.003	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	754	919	495	837
	19	0.10	0.7	0.49	0.018	0.003	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	754	919	495	837
	20	0.11	0.7	0.50	0.012	0.008	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	753	920	495	837
	21	0.10	0.7	0.50	0.012	0.003	0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	754	919	495	837
	22	0.21	1.1	1.40	0.004	0.032	0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	743	877	421	810

【表 2】

	符合	元径 (mm)	伸線後径 (mm)	伸線歪
実施例	A	12	7	1.1
	B	12	3	2.8
	C	7.5	4	1.3
	D	5.5	3	1.2
	E	5.5	1	3.4
比較例	F	12	8	0.8
	G	5.5	4	0.6

10

【0060】

20

【表 3】

	符合	加熱時の 昇温速度 (°C/秒)	加熱 保持時間 (秒)	冷却速度 (°C/秒)	冷却時 保持時間 (秒)
実施例	a	10	90	20	240
	b	10	90	20	240
	c	20	90	20	240
	d	10	20	20	240
	e	10	100	20	240
	f	10	60	10	240
	g	10	90	50	60
	h	10	90	50	300
比較例	i	5	90	20	240
	j	10	10	20	240
	k	10	150	20	240
	l	10	90	5	240
	m	10	90	50	40
	n	10	90	50	360

30

40

【0061】

【表 4】

	No.	鋼種	伸線条件	熱処理条件	加熱温度(°C)	冷却停止温度(°C)	粒径(μm)	残留γ(%)	TS(MPa)	EL(%)	吸収エネルギー(J/cm ²)	その他
実施例	1	1	B	a	800	480	6.2	11.0	615	57	1409	
	2	1	B	b	830	480	6.2	10.9	611	57	1388	
	3	1	B	c	800	480	6.2	11.7	615	57	1409	
	4	1	B	d	800	480	2.8	11.0	613	57	1397	
	5	1	B	e	800	480	7.0	11.9	618	58	1421	
	6	1	B	f	800	480	6.2	11.5	615	57	1409	
	7	1	B	g	800	480	6.2	17.9	650	61	1581	
	8	1	B	h	800	480	6.2	9.5	603	56	1353	
	9	1	A	a	800	480	8.4	11.7	615	57	1409	
	10	1	D	e	800	480	8.9	12.1	618	58	1421	
	11	1	E	e	800	480	6.2	11.8	618	58	1421	
	12	2	C	a	800	480	8.3	18.3	859	45	1553	
	13	3	C	a	800	480	8.0	22.5	1019	37	1495	
	14	3	B	b	800	480	5.6	22.2	1015	36	1471	
	15	4	C	a	800	480	8.8	10.7	650	53	1367	
	16	4	B	b	820	480	6.2	9.7	646	52	1347	
	17	5	C	c	800	480	8.8	11.5	591	60	1429	
	18	5	B	b	830	480	6.2	11.0	587	60	1409	
	19	6	C	c	800	480	8.8	10.3	580	58	1356	
	20	6	B	b	830	480	6.3	9.5	575	58	1336	
	21	7	C	f	800	420	7.4	11.2	729	58	1687	
	22	7	B	b	800	420	5.2	10.6	725	57	1665	
	23	8	C	f	800	480	9.0	10.8	615	57	1409	
	24	8	B	b	830	480	6.2	10.1	611	57	1388	
	25	9	D	h	800	480	8.6	10.1	615	66	1613	
	26	9	B	a	800	480	5.9	12.9	627	67	1673	
	27	10	D	h	800	480	8.8	10.1	612	55	1351	
	28	10	B	a	800	480	6.0	12.0	623	56	1406	
	29	11	D	h	800	480	8.7	10.9	654	54	1424	
	30	11	B	a	800	480	6.0	12.4	666	56	1481	
比較例	31	1	F	a	800	480	10.3	7.3	593	35	829	
	32	1	G	a	800	480	11.1	6.8	593	35	829	
	33	3	A	a	850	480	8.5	0.0	904	25	902	
	34	4	A	a	700	480	9.4	0.7	600	47	1136	
	35	5	A	i	800	480	9.4	7.0	568	38	863	
	36	5	A	j	800	480	5.0	3.4	547	36	785	
	37	6	C	k	800	480	10.5	11.6	583	39	904	延性低下
	38	7	C	i	800	420	7.4	2.5	684	33	907	
	39	8	B	g	800	550	6.2	0.3	559	32	706	
	40	9	B	g	800	420	5.9	0.1	566	40	915	
	41	10	B	m	800	480	6.0	5.0	589	33	776	
	42	11	B	n	800	480	6.0	3.4	616	31	753	
	43	12	C	a	800	480	9.3	4.8	391	49	769	
	44	13	C	b	800	420	7.6	18.2	1190	14	682	
	45	14	A	a	800	480	9.4	2.7	637	26	654	
	46	15	A	b	800	480	9.4	8.9	535	43	920	スケール剥離性
	47	16	D	c	800	480	9.3	3.8	536	35	753	
	48	17	D	d	800	420	3.2	12.6	922	33	1217	製造性低下
	49	18	B	e	800	480	7.0	12.2	618	43	1050	スケール剥離性
	50	19	B	f	800	480	6.2	11.1	615	37	917	延性低下
	51	20	E	g	800	480	5.5	12.6	623	38	947	伸線性低下
	52	21	E	h	800	480	5.5	5.2	584	34	795	
	53	22	E	h	800	480	4.7	15.2	944	21	794	伸線性低下

10

20

30

40

フロントページの続き

(72)発明者 藤田 崇史

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

(72)発明者 成宮 洋輝

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

(72)発明者 小坂 誠

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

F ターム(参考) 4K032 AA01 AA04 AA05 AA11 AA12 AA14 AA16 AA17 AA19 AA21
AA23 AA24 AA29 AA31 BA02 CH01 CH04 CJ03 CK02