

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年9月29日(29.09.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/201381 A1

(51) 国際特許分類:

C22C 38/00 (2006.01) C21D 8/06 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01) C21D 9/52 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/012350

(22) 国際出願日: 2021年3月24日(24.03.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 寺本 真也 (TERAMOTO, Shinya); 〒1008071 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 Tokyo (JP). 千葉圭介(CHIBA, Keisuke); 〒1008071 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 Tokyo (JP). 根石 豊(NEISHI, Yutaka); 〒1008071 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 Tokyo (JP).

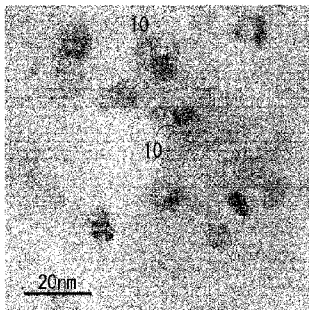
(74) 代理人: アセンド特許業務法人 (ASCEND IP LAW FIRM); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島一丁目5番17号 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: STEEL MATERIAL

(54) 発明の名称: 鋼材

FIG.1



(57) Abstract: Provided is a steel material with which it is possible to inhibit roughening of the surface after a shaving process. The steel material according to the present embodiment has a chemical composition containing, by mass, 0.50 to 0.80% of C, 1.20 to 2.90% of Si, 0.25 to 1.00% of Mn, 0.40 to 1.90% of Cr, 0.05 to 0.60% of V, 0.020% or less of P, 0.020% or less of S, 0.0100% or less of N, 0 to 0.50% of Mo, 0 to 0.050% of Nb, 0 to 0.60% of W, 0 to 0.50% of Ni, 0 to 0.30% of Co, 0 to 0.0050% of B, 0 to 0.050% of Cu, 0 to 0.0050% of Al, and 0 to 0.050% of Ti, with the remainder made up by Fe and unavoidable impurities. In the microstructure of the steel material, the pearlite area ratio is 90% or above, and in ferrite in the pearlite, the number density of V-based precipitates having a maximum diameter of 2 to 20 nm is 3000 to 80,000 / μm^3 .

(57) 要約: シェービング処理後の表面の肌荒れを抑制できる鋼材を提供する。本実施形態による鋼材の化学組成は、質量%で、C: 0.50~0.80%、Si: 1.20~2.90%、Mn: 0.25~1.00%、Cr: 0.40~1.90%、V: 0.05~0.60%、P: 0.020%以下、S: 0.020%以下、N: 0.0100%以下、Mo: 0~0.50%、Nb: 0~0.050%、W: 0~0.60%、Ni: 0~0.50%、Co: 0~0.30%、B: 0~0.0050%、Cu: 0~0.050%、Al: 0~0.0050%、及び、Ti: 0~0.050%を含有し、残部がFe及び不純物からなる。鋼材のミクロ組織において、パーライト面積率が90%以上であり、パーライト中のフェライトにおいて、最大径が2~20nmのV系析出物の数密度が3000~80000個/ μm^3 である。



HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：鋼材

技術分野

[0001] 本発明は、鋼材に関し、さらに詳しくは、ダンパーばね又は弁ばね等のばねの素材となる鋼材に関する。

背景技術

[0002] 自動車及び一般機械では、ばねが多用されている。自動車及び一般機械に使用されるばねのうち、ダンパーばねは、外部からの衝撃又は振動を吸収する。ダンパーばねはたとえば、自動車の動力をトランスミッションに伝達するトルクコンバーターに使用される。ダンパーばねでは、高い疲労強度が求められる。また、自動車及び一般機械に使用されるばねのうち、弁ばねは、自動車及び一般機械の機器内の弁の開閉を調整する。弁ばねはたとえば、自動車の内燃機関（エンジン）の給排気弁の開閉制御に使用される。したがって、ダンパーばねと同様に、弁ばねにおいても、高い疲労強度が求められる。

[0003] ダンパーばね及び弁ばね等に代表されるばねの製造工程は次のとおりである。ばねの素材となる鋼材（線材）を準備する。鋼材に対して、シェービング（皮むき）処理を実施する。ここで、シェービング処理とは、鋼材（線材）をシェービングダイスに通して、鋼材の表面（周面）全体を削り取る（皮むきする）処理を意味する。シェービング処理を実施することにより、鋼材の表面の疵及び脱炭層を除去する。

[0004] シェービング処理後の鋼材に対して伸線加工を実施して鋼線とする。鋼線に対して調質処理（焼入れ及び焼戻し）を実施する。調質処理後の鋼線に対して冷間コイルングを実施して、コイル状の中間鋼材を製造する。中間鋼材に対して歪取り焼鈍を実施する。歪取り焼鈍後の中間鋼材に対して、必要に応じて表面硬化熱処理（窒化処理等）を実施する。歪取り焼鈍後又は表面硬化熱処理後の中間鋼材に対して、ショットピーニングを実施して、表層に圧

縮残留応力を付与する。以上の製造工程により、ばねが製造される。

[0005] このようなばねの素材となる鋼材に関する技術が、特開平 7-173577 号公報（特許文献 1）及び特開 2007-327084 号公報（特許文献 2）に提案されている。

[0006] 特許文献 1 に開示されたばね用鋼材は、質量%で、C : 0.3~0.6%、Si : 1.0~3.0%、Mn : 0.1~0.5%、Cr : 0.5~1.5%、を含有し、さらに、Ni : 1.0%以下（0 を含まない）及び／又は Mo : 0.1~0.5% を含有し、残部 Fe 及び不可避不純物からなる。さらに、この鋼材では、 $FP = (0.23 [C] + 0.1) \times (0.7 [Si] + 1) \times (3.5 [Mn] + 1) \times (2.2 [Cr] + 1) \times (0.4 [Ni] + 1) \times (3 [Mo] + 1)$ が 2.5~4.5 である。これにより、上記鋼材は、焼入れ焼戻し後に 1900 MPa 以上の高い強度を有し、かつ、優れた耐食性を有する、と特許文献 1 には記載されている。

[0007] 特許文献 2 に開示された線材は、質量%で、C : 0.6~1.1%、Si : 0.1~2.0%、Mn : 0.1~1%、P : 0.020%以下（0% を含まない）、S : 0.020%以下（0% を含まない）、N : 0.006%以下（0% を含まない）、Al : 0.03%以下（0% を含まない）、O : 0.003%以下（0% を含まない）を含み、残部が Fe 及び不可避不純物からなる。この線材はさらに、第二相フェライト面積率が 11.0%以下であり、パーライトラメラ間隔が 120 μm 以上であるパーライト組織を有する。上記構成により、この線材は、伸線速度の上昇や減面率の増大にもかかわらず、断線が発生しにくく、かつ、伸線加工に用いられるダイス寿命を延長させることができる、と特許文献 2 には記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献 1 : 特開平 7-173577 号公報

特許文献 2 : 特開 2007-327084 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ところで、上述のとおり、ばねの素材となる鋼材では、ばねの製造工程時において、シェービング処理（皮むき）が実施される。この場合、シェービング処理後の鋼材の表面において、「ばり」や「むしれ」や「き裂」といった、シェービングに起因する疵（以下、シェービング起因疵という）が発生してしまう場合がある。ここで、「ばり」とは、シェービング処理時に鋼材表面に発生する切り屑の一部が鋼材表面に残存することにより生じる疵である。「むしれ」とは、切り屑が鋼材表面から離脱するときに、切り屑の根元近傍の鋼材表面の一部をむしり取ることにより発生する疵である。「き裂」とは、切り屑が鋼材表面から離脱するときに、切り屑の根元近傍の鋼材表面の一部に割れを発生させることにより生じる疵である。シェービング起因疵が発生した鋼材表面は、平滑性が低下しており、肌荒れの状態となっている。表面に肌荒れが生じている鋼材を用いて製造されたばねでは、疲労強度が低下する。そのため、ばねの素材となる鋼材では、シェービング処理が実施された後の鋼材表面の肌荒れの抑制が求められる。

[0010] 上述の特許文献 1 及び 2 には、シェービング処理後の鋼材の肌荒れを抑制する技術については、何ら開示されていない。

[0011] 本開示の目的は、シェービング処理が実施された場合に表面の肌荒れを抑制できる鋼材を提供することである。

課題を解決するための手段

[0012] 本実施形態の鋼材は、
化学組成が、質量％で、
C : 0.50～0.80％、
Si : 1.20～2.90％、
Mn : 0.25～1.00％、
Cr : 0.40～1.90％、
V : 0.05～0.60％、
P : 0.020％以下、

S : 0.020%以下、

N : 0.0100%以下、

Mo : 0~0.50%、

Nb : 0~0.050%、

W : 0~0.60%、

Ni : 0~0.50%、

Co : 0~0.30%、

B : 0~0.0050%、

Cu : 0~0.050%、

Al : 0~0.0050%、及び、

Ti : 0~0.050%、を含有し、

残部がFe及び不純物からなり、

前記鋼材のミクロ組織において、パーライト面積率が90%以上であり、

前記パーライト中のフェライトにおいて、

最大径が2~20nmのV系析出物の数密度が3000~80000個/ μm^3 である。

発明の効果

[0013] 本開示による鋼材は、シェービング処理が実施された場合に鋼材表面の肌荒れを抑制できる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、薄膜試料のパーライト中のフェライトでの透過型電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope) 画像の一例である。

[図2]図2は、本実施形態の鋼材の製造工程を示すフロー図である。

[図3]図3は、図2中の仕上げ圧延工程での鋼材の温度履歴の一例を示す図である。

[図4]図4は、図3中の本実施形態の鋼材の冷却工程での連続冷却変態曲線 (CCT曲線) を示す図である。

[図5]図5は、本実施形態の鋼材を用いたばねの製造工程を示すフロー図である。

発明を実施するための形態

[0015] 本発明者らは、はじめに、ダンパーばね及び弁ばね等に代表されるばねの素材として適切な鋼材の化学組成及びミクロ組織を検討した。鋼材を素材としてばねが製造された場合のばねの疲労強度が得られる化学組成が、ばね用途の鋼材として適切である。さらに、ばねの製造工程中のシェービング処理（皮むき）において鋼材がシェービングされ得る組織が、ばね用途の鋼材として適切である。検討の結果、鋼材の化学組成が、質量％で、C：0.50～0.80％、Si：1.20～2.90％、Mn：0.25～1.00％、Cr：0.40～1.90％、V：0.05～0.60％、P：0.020％以下、S：0.020％以下、N：0.0100％以下、Mo：0～0.50％、Nb：0～0.050％、W：0～0.60％、Ni：0～0.50％、Co：0～0.30％、B：0～0.0050％、Cu：0～0.050％、Al：0～0.0050％、及び、Ti：0～0.050％を含有し、残部がFe及び不純物からなり、ミクロ組織におけるパーライト面積率が90％以上であれば、その鋼材がばね用途に適切であると考えた。

[0016] そこで、本発明者らは、上述の化学組成及びミクロ組織を有する鋼材において、シェービング処理を実施した後の鋼材表面の肌荒れを抑制する手段について検討を行った。その結果、次の知見を得た。

[0017] シェービング処理（皮むき）は、上述のとおり、シェービングダイスを用いて、鋼材（線材）の表面全体を剥く（切削する）処理である。シェービング処理では鋼材表面全体を皮むきするため、鋼材表面のスケールや脱炭層を除去でき、さらに、圧延疵等の欠陥を除去できる。その結果、シェービング処理後の鋼材表面が平滑になる。しかしながら、シェービング処理において鋼材表面がスムーズに切削されない場合、シェービング処理後の鋼材表面にバリ、むしれ、又は、き裂といったシェービング起因疵が発生する。シェービング起因疵は鋼材表面の平滑性を低下し、鋼材表面に肌荒れ状態を形成す

る。そこで、本発明者らは、シェービング処理時における鋼材表面の切削メカニズムについて調査した。その結果、次の知見を得た。

[0018] シェービング処理中において、鋼材の表面は、シェービングダイスにより切削される。切削された鋼材部分は切り屑として、鋼材表面から分断される。このとき、シェービングダイスにより鋼材の表面から切削された切り屑が鋼材表面から分断されにくければ、シェービング処理時において、切り屑の一部が鋼材表面に残存したり、切り屑の根元近傍の鋼材部分がむしれたり、切り屑の根元近傍の鋼材表面にき裂が発生したりする。このような切り屑の一部の残存や切り屑の根元で発生したむしれやき裂が、シェービング起因疵となり、鋼材表面の肌荒れを形成する。したがって、本発明者らは、シェービング処理時において、シェービングダイスによる切削により生成した切り屑が鋼材表面から分断されやすければ、切り屑が短く分断され则认为した。切り屑が短く分断されれば、短い切り屑は鋼材表面から容易に切り離されやすい。そのため、切り屑の一部が鋼材表面に残存したり、切り屑の根元近傍の鋼材部分がむしれたり、切り屑の根元近傍の鋼材表面にき裂が入ったりするのを抑制できる。その結果、シェービング起因疵の発生が抑制され、鋼材表面の肌荒れが抑制され、鋼材表面の平滑性を確保できる。

[0019] そこで、本発明者らは、上述の化学組成及びミクロ組織を有する鋼材において、シェービング処理での切り屑を短く分断できる手段について、さらに検討を行った。

[0020] 一般的に、鋼材中の介在物であるMnSが鋼材の被削性を高めることが知られている。そこで、本発明者らは初めに、鋼材中の介在物であるMnSの形態を制御することにより、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを抑制することを考えた。

[0021] しかしながら、ばねにおいて、介在物であるMnSは疲労特性を低減し得る。そのため、シェービング後の鋼材表面の肌荒れを抑制するために鋼材中のMnSを活用することは適切でないと本発明者らは考えた。そこで、本発明者らは、MnSとは異なる他の手段により、シェービング処理後の鋼材表

面の肌荒れを抑制することを考えた。

[0022] ここで、本発明者らは、ばねの素材となる鋼材のミクロ組織に注目した。ばねの素材となる鋼材のミクロ組織は、上述のとおり、パーライト面積率が90%以上のパーライト主体の組織である。パーライトはフェライトとセメンタイトとで構成される。フェライトは、セメンタイトと比較して軟質であるため、シェービング処理時において、セメンタイトよりも分断されにくい。そこで、本発明者らは、パーライト組織中のフェライトに注目し、フェライトを分断しやすくする手段を検討した。

[0023] 検討の結果、本発明者らは、シェービング処理時のフェライトを分断しやすくするために、MnSのような介在物ではなく、フェライト中に析出する析出物を利用することを考えた。そして、フェライト中にナノサイズの微細なV系析出物を意図的に多く生成すれば、シェービング処理時のフェライトが分断しやすくなると考えた。ここで、微細なV系析出物とは、Vを含有する析出物であって、後述するTEM（透過型電子顕微鏡）での観察視野において、最大径が2～20nmの析出物を意味する。Vを含有する析出物とは例えば、V炭化物、V炭窒化物等である。

[0024] V系析出物は相界面析出により、フェライト中に生成させることができる。そして、V系析出物はMnSと比較して非常に微細である。具体的にはMnSのサイズは微細なものでも1μm程度であるのに対して、V系析出物は2～20nm程度で生成させることができる。析出物のサイズが小さければ、疲労破壊の起点になりにくい。そのため、V系析出物はばねの疲労強度を低下しにくい。一方で、V系析出物がフェライト中に多数生成すれば、ピーリング処理時において、V系析出物により、フェライトが短く分断しやすくなる。その結果、切り屑の一部の残存、むしろ、き裂といったシェービング起因疵が発生しにくくなると考えられる。

[0025] V系析出物はさらに、シェービングダイスの摩耗も抑制できると考えられる。V系析出物の硬度は高い。シェービング処理時において、切り屑に含まれるV系析出物の一部は、シェービングダイスの刃先に付着する。付着した

V系析出物は、シェービングダイスの刃先の耐摩耗性を高める。シェービングダイスの刃先の耐摩耗性が高まれば、シェービングダイスの切削力（シェービング力）を維持できる。そのため、鋼材表面から切り屑の分断しやすさも維持できる。

[0026] つまり、フェライト中にV系析出物を多数生成させることにより、鋼材自体の切り屑の分断のしやすさを高めるだけでなく、シェービングダイスの刃先の耐摩耗性を維持することによる切り屑の分断のしやすさも高めることができる。その結果、シェービング処理後の鋼材の肌荒れを顕著に抑制できると考えられる。

[0027] 以上の技術思想に基づいて、本発明者らは、シェービング処理での鋼材の肌荒れを十分に抑制可能な、鋼材中のV系析出物の数密度についてさらに詳細に検討を行った。その結果、本発明者らは、化学組成中の各元素含有量が上述の範囲内であって、ミクロ組織中のパーライト面積率が90%以上の鋼材において、パーライト中のフェライトにおける最大径が2～20 nmのV系析出物の数密度が3000～80000個/ μm^3 であれば、シェービング処理後の鋼材の肌荒れを十分に抑制できることを見出した。

[0028] 上記メカニズムは推定であるものの、パーライト中のフェライトにおける最大径が2～20 nmのV系析出物の数密度が3000～80000個/ μm^3 であれば、シェービング処理後の鋼材の肌荒れが十分に抑制されていることは、後述の実施例により立証されている。

[0029] 本実施形態の鋼材は、上述の技術思想により完成したものである。本実施形態による鋼材は、次の構成を有する。

[0030] [1]

鋼材であって、

化学組成が、質量%で、

C : 0.50～0.80%、

Si : 1.20～2.90%、

Mn : 0.25～1.00%、

C r : 0.40~1.90%、
V : 0.05~0.60%、
P : 0.020%以下、
S : 0.020%以下、
N : 0.0100%以下、
M o : 0~0.50%、
N b : 0~0.050%、
W : 0~0.60%、
N i : 0~0.50%、
C o : 0~0.30%、
B : 0~0.0050%、
C u : 0~0.050%、
A l : 0~0.0050%、及び、
T i : 0~0.050%、を含有し、
残部がF e 及び不純物からなり、
前記鋼材のミクロ組織において、パーライト面積率が90%以上であり、
前記パーライト中のフェライトにおいて、
最大径が2~20nmのV系析出物の数密度が3000~80000個/
 μm^3 である、
鋼材。

[0031] [2]

[1] に記載の鋼材であって、
前記化学組成において、
M o : 0.01~0.50%、
N b : 0.001~0.050%、
W : 0.01~0.60%、
N i : 0.01~0.50%、
C o : 0.01~0.30%、及び、

B : 0.0001 ~ 0.0050 % からの群から選択される 1 種以上を含有する、

鋼材。

[0032] 以下、本実施形態の鋼材について詳述する。元素に関する「%」は、特に断りがない限り、質量%を意味する。

[0033] [鋼材の化学組成]

鋼材の化学組成は、次の元素を含有する。

[0034] C : 0.50 ~ 0.80 %

炭素 (C) は、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を高める。C 含有量が 0.50 % 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、C 含有量が 0.80 % 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、粗大なセメンタイトが生成する。粗大なセメンタイトは、鋼材の延性を低下する。粗大なセメンタイトはさらに、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を低下する。したがって、C 含有量は 0.50 ~ 0.80 % である。C 含有量の好ましい下限は 0.51 % であり、さらに好ましくは 0.52 % であり、さらに好ましくは 0.53 % であり、さらに好ましくは 0.54 % である。C 含有量の好ましい上限は 0.79 % であり、さらに好ましくは 0.78 % であり、さらに好ましくは 0.76 % であり、さらに好ましくは 0.74 % であり、さらに好ましくは 0.72 % であり、さらに好ましくは 0.70 % であり、さらに好ましくは 0.68 % である。

[0035] Si : 1.20 ~ 2.90 %

シリコン (Si) は、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を高める。Si はさらに、鋼を脱酸する。Si はさらに、鋼材の焼戻し軟化抵抗を高める。そのため、ばねの製造工程において調質処理 (焼入れ及び焼戻し処理) を実施した後であっても、ばねの疲労強度が高く維持される。Si 含有量が 1.20 % 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、Si 含有量が 2.90 % 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、ばねの素材となる鋼材の延性が過剰に低下する。さらに、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度が低下する。したがって、S i 含有量は1.20～2.90%である。S i 含有量の好ましい下限は1.25%であり、さらに好ましくは1.30%であり、さらに好ましくは1.35%であり、さらに好ましくは1.40%であり、さらに好ましくは1.45%であり、さらに好ましくは1.50%であり、さらに好ましくは1.55%であり、さらに好ましくは1.60%である。S i 含有量の好ましい上限は2.85%であり、さらに好ましくは2.80%であり、さらに好ましくは2.75%であり、さらに好ましくは2.70%であり、さらに好ましくは2.65%であり、さらに好ましくは2.60%である。

[0036] Mn : 0.25～1.00%

マンガン (Mn) は、鋼材の焼入れ性を高め、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を高める。Mn 含有量が0.25%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1.00%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、ばねの製造工程中において、鋼材の強度が過剰に高くなり、鋼材の加工性が低下する。したがって、Mn 含有量は0.25～1.00%である。Mn 含有量の好ましい下限は0.28%であり、さらに好ましくは0.30%であり、さらに好ましくは0.35%であり、さらに好ましくは0.40%であり、さらに好ましくは0.45%であり、さらに好ましくは0.50%であり、さらに好ましくは0.55%である。Mn 含有量の好ましい上限は0.95%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%であり、さらに好ましくは0.80%であり、さらに好ましくは0.75%である。

[0037] Cr : 0.40～1.90%

クロム (Cr) は、鋼材の焼入れ性を高め、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を高める。Cr 含有量が0.40%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、C r 含有量が1.90%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、粗大なC r 炭化物が過剰に生成する。粗大なC r 炭化物は、ばねの疲労強度を低下する。したがって、C r 含有量は0.40~1.90%である。C r 含有量の好ましい下限は0.45%であり、さらに好ましくは0.50%であり、さらに好ましくは0.55%であり、さらに好ましくは0.60%であり、さらに好ましくは0.65%であり、さらに好ましくは0.70%であり、さらに好ましくは0.75%であり、さらに好ましくは0.80%である。C r 含有量の好ましい上限は1.85%であり、さらに好ましくは1.80%であり、さらに好ましくは1.75%であり、さらに好ましくは1.70%であり、さらに好ましくは1.65%であり、さらに好ましくは1.60%である。

[0038] V : 0.05~0.60%

バナジウム(V)は、C及び／又はNと結合して最大径が2~20nmのV系析出物をパーライトのフェライト中に形成する。V系析出物は、シェービング処理時において、フェライトを分断しやすくする。そのため、V系析出物は、シェービング処理時において切り屑を短く分断しやすくする。その結果、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れが抑制され、鋼材表面の平滑性が高まる。V含有量が0.05%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、V含有量が0.60%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、最大径が20nmを超える粗大なV系析出物が鋼材中に多数生成する。粗大なV系析出物は、ばねの疲労強度を低下する。したがって、V含有量は0.05~0.60%である。V含有量の好ましい下限は0.06%であり、さらに好ましくは0.07%であり、さらに好ましくは0.08%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%であり、さらに好ましくは0.17%であり、さらに好ましくは0.18%であり、さらに好ましくは0.20%である。V含有量の好ましい上限は0.58%で

あり、さらに好ましくは0.57%であり、さらに好ましくは0.55%であり、さらに好ましくは0.53%であり、さらに好ましくは0.50%であり、さらに好ましくは0.45%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%であり、さらに好ましくは0.30%である。

[0039] P : 0.020%以下

リン(P)は不純物である。Pは粒界に偏析して、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を低下する。したがって、P含有量は0.020%以下である。P含有量の好ましい上限は0.018%であり、さらに好ましくは0.016%であり、さらに好ましくは0.014%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。P含有量はなるべく低い方が好ましく、P含有量は0%が最も好ましい。しかしながら、P含有量の過剰な低減は製造コストを引き上げる。したがって、通常の工業生産を考慮すれば、P含有量の好ましい下限は0%超であり、さらに好ましくは0.001%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%である。

[0040] S : 0.020%以下

硫黄(S)は不純物である。SはPと同様に粒界に偏析したり、Mnと結合してMnSを形成したりして、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を低下する。したがって、S含有量は0.020%以下である。S含有量の好ましい上限は0.018%であり、さらに好ましくは0.016%であり、さらに好ましくは0.014%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含有量はなるべく低い方が好ましく、S含有量は0%が最も好ましい。しかしながら、S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、S含有量の好ましい下限は0%超であり、さらに好ましくは0.001%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%である。

[0041] N : 0.0100%以下

窒素 (N) は不純物である。N は、Al 又は Ti と結合して AlN や TiN を形成し、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を低下する。したがって、N 含有量は 0.0100% 以下である。N 含有量の好ましい上限は 0.0095% であり、さらに好ましくは 0.0090% であり、さらに好ましくは 0.0085% であり、さらに好ましくは 0.0080% であり、さらに好ましくは 0.0075% であり、さらに好ましくは 0.0070% であり、さらに好ましくは 0.0065% 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く、N 含有量は 0% が最も好ましい。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、N 含有量の好ましい下限は 0% 超であり、さらに好ましくは 0.0001% であり、さらに好ましくは 0.0003% であり、さらに好ましくは 0.0005% であり、さらに好ましくは 0.0007% であり、さらに好ましくは 0.0010% である。

[0042] 本実施形態による鋼材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、鋼材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、本実施形態の鋼材に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。

[0043] [任意元素 (optional elements) について]

本実施形態による鋼材の化学組成はさらに、Fe の一部に代えて、Mo、Nb、W、Ni、Co 及び B からなる群から選択される 1 種以上を含有してもよい。これらの元素は任意元素であり、いずれも、本実施形態の鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を高める。

[0044] Mo : 0 ~ 0.50%

モリブデン (Mo) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Mo 含有量は 0% であってもよい。含有される場合、つまり、Mo 含有量が 0% 超である場合、Mo は鋼材の焼入れ性を高めて、鋼材を素材として製造されたばねの疲労強度を高める。Mo はさらに、鋼材の焼戻し軟化抵抗を高

める。そのため、ばねの製造工程において調質処理を実施した後であっても、ばねの疲労強度が高く維持される。Moが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Mo含有量が0.50%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、ばねの素材となる鋼材の強度が過剰に高くなり、鋼材の加工性が低下する。したがって、Mo含有量は0~0.50%であり、Moが含有される場合、Mo含有量は0超~0.50%である。Mo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%である。Mo含有量の好ましい上限は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%であり、さらに好ましくは0.30%である。

[0045] Nb : 0~0.050%

ニオブ(Nb)は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Nb含有量は0%であってもよい。含有される場合、つまり、Nb含有量が0%超である場合、NbはC及び/又はNと結合して炭化物又は炭窒化物(以下、Nb炭窒化物等という)を生成する。Nb炭窒化物等は、オーステナイト結晶粒を微細化する。そのため、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度が高まる。Nbが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、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、粗大なNb炭窒化物等が生成する。粗大なNb炭窒化物等は、ばねの疲労強度を低下する。したがって、Nb含有量は0~0.050%であり、Nbが含有される場合、Nb含有量は0%超~0.050%である。Nb含有量の好ましい下限は0.001%であり、さらに好ましくは0.005%であり、さらに好ましくは0.010%である。Nb含有量の好ましい上限は0.045%であり、さらに好ましくは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%である。

[0046] W : 0~0.60%

タングステン（W）は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、W含有量は0%であってもよい。含有される場合、つまり、W含有量が0%超である場合、Wは鋼材の焼入れ性を高めて、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を高める。Wはさらに、鋼材の焼戻し軟化抵抗を高める。そのため、ばねの製造工程において調質処理を実施した後であっても、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度が高く維持される。Wが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、W含有量が0.60%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、鋼材の強度が過剰に高くなり、鋼材の加工性が低下する。したがって、W含有量は0~0.60%であり、Wが含有される場合、W含有量は0%超~0.60%である。W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%である。W含有量の好ましい上限は0.55%であり、さらに好ましくは0.50%であり、さらに好ましくは0.45%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%であり、さらに好ましくは0.30%である。

[0047] Ni : 0~0.50%

ニッケル（Ni）は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Ni含有量は0%であってもよい。含有される場合、つまり、Ni含有量が0%超である場合、Niは鋼材の焼入れ性を高めて、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を高める。Niが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Ni含有量が0.50%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、鋼材の強度が過剰に高くなり、鋼材の加工性が低下する。したがって、Ni含有量は0~0.50%であり、Niを含有する場合、Ni含有量は0%超~0.50%である。Ni含有量の好ましい下限は0.01%であり、さらに好ましくは0.02%であり、さらに好ましくは0.03%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%である。Ni含有量の好ましい上限は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。

[0048] Co : 0 ~ 0.30 %

コバルト (Co) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Co含有量は0%であってもよい。含有される場合、つまり、Co含有量が0%超である場合、Coは鋼材の焼戻し軟化抵抗を高める。そのため、ばねの製造工程において調質処理を実施した後であっても、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度が高く維持される。Coが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Co含有量が0.30%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、鋼材の強度が過剰に高くなり、鋼材の加工性が低下する。したがって、Co含有量は0 ~ 0.30%であり、Coを含有する場合、Co含有量は0%超 ~ 0.30%である。Co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%である。Co含有量の好ましい上限は0.28%であり、さらに好ましくは0.26%であり、さらに好ましくは0.24%であり、さらに好ましくは0.22%であり、さらに好ましくは0.20%である。

[0049] B : 0 ~ 0.0050 %

ボロン (B) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、B含有量は0%であってもよい。含有される場合、つまり、B含有量が0%超である場合、Bは鋼材の焼入れ性を高めて、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を高める。Bが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、B含有量が0.0050%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、鋼材の強度が過剰に高くなり、鋼材の加工性が低下する。したがって、B含有量は0 ~ 0.0050%であり、Bを含有する場合、B含有量は0%超 ~ 0.0050%である。B含有量の好ましい下限は0.0001%であり、さらに好ましくは0.0005%であり、さらに好ましくは0.0010%であり、さらに好ましくは0.0015%であり、さらに好ましくは0.0020%である。B含有量の好ましい上限は0

、0.0049%であり、さらに好ましくは0.0048%であり、さらに好ましくは0.0047%であり、さらに好ましくは0.0045%であり、さらに好ましくは0.0043%であり、さらに好ましくは0.0040%である。

[0050] [不純物元素について]

なお、本実施形態による鋼材の化学組成はさらに、不純物として、Feの一部に代えて、Cu、Al及びTiからなる群から選択される1種以上を含有していてもよい。これらの元素含有量が以下に記載の範囲内であれば、本実施形態による鋼材の上述の効果は十分に得られる。

[0051] Cu : 0～0.050%

銅(Cu)は不純物であり、含有されない方が好ましい。つまり、Cu含有量は0%であってもよい。Cu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、鋼材の加工性が顕著に低下する。したがって、Cu含有量は0～0.050%である。Cu含有量の好ましい上限は0.045%であり、さらに好ましくは0.040%であり、さらに好ましくは0.038%であり、さらに好ましくは0.036%である。上述のとおり、Cu含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、Cu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、Cu含有量の好ましい下限は0%超であり、さらに好ましくは0.001%であり、さらに好ましくは0.002%である。

[0052] Al : 0～0.0050%

アルミニウム(Al)は不純物であり、含有されない方が好ましい。つまり、Al含有量は0%であってもよい。Alは粗大な非金属介在物を形成して、鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を低下する。Al含有量が0.0050%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、ばねの疲労強度が顕著に低下する。したがって、Al含有量は0～0.0050%である。Al含有量の好ましい上限は0.0045%であり、さらに好ましくは0.0040%であり、さらに好ましくは0.0035%であり

、さらに好ましくは0.0032%であり、さらに好ましくは0.0030%である。上述のとおり、A1含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、A1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、A1含有量の好ましい下限は0%超であり、さらに好ましくは0.0001%であり、さらに好ましくは0.0005%である。

[0053] Ti: 0~0.050%

チタン(Ti)は不純物であり、含有されない方が好ましい。つまり、Ti含有量は0%であってもよい。Tiは粗大なTiNを形成する。TiNは破壊の起点となりやすい。そのため、TiNは鋼材を用いて製造されたばねの疲労強度を低下する。Ti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、ばねの疲労強度が顕著に低下する。したがって、Ti含有量は0~0.050%である。Ti含有量の好ましい上限は0.045%であり、さらに好ましくは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0.032%であり、さらに好ましくは0.030%である。上述のとおり、Ti含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、Ti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、Ti含有量の好ましい下限は0%超であり、さらに好ましくは0.001%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。

[0054] [鋼材のミクロ組織]

本実施形態の鋼材のミクロ組織は、パーライト主体の組織である。ここで、「ミクロ組織がパーライト主体の組織である」とは、ミクロ組織において、パーライト面積率が90%以上であることを意味する。なお、パーライト以外の相はたとえば、析出物、介在物、フェライト、硬質相（マルテンサイト及び／又はベイナイト）である。なお、析出物及び介在物の面積率は、他の相と比較すると、無視できるほど小さい。

[0055] [パーライト面積率の測定方法]

パーライト面積率は、次の方法により求めることができる。

- [0056] 鋼材の長手方向に垂直な方向、つまり、鋼材の線径方向で切断した断面（表面）を観察面とする。観察面を鏡面研磨する。鏡面研磨された観察面に対して、5%ピクリン酸アルコール（ピクラール腐食液）によるエッチングを実施する。エッチングされた観察面のうち、鋼材表面（観察面の外周）から径方向に直径の1/4深さ位置を観察視野とする。10箇所の観察視野を2000倍の走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて観察し、10観察視野の写真画像を生成する。各視野のサイズは40 μm ×60 μm とする。
- [0057] 各観察視野において、パーライト、フェライト、硬質相、析出物、介在物等の各相は、相ごとにコントラストや相の形態が異なる。したがって、コントラストや形態に基づいて、パーライトを特定する。パーライトはセメンタイトとフェライトとが交互に重なった層状の形態である。そのため、当業者であれば、コントラスト及び形態により、パーライトを他の相と容易に区別できる。各観察視野でのパーライトの総面積（ μm^2 ）を求める。全ての観察視野の総面積（24000 μm^2 ）に対する、全ての観察視野におけるパーライトの総面積の割合を、パーライト面積率（%）と定義する。パーライト面積率は、小数第一位の値を四捨五入して得られた値（つまり整数）とする。
- [0058] 本実施形態の鋼材のミクロ組織におけるパーライト面積率は90%以上である。そのため、硬質相（マルテンサイト及び／又はベイナイト）を主体とする鋼材と比較して、シェービング処理において鋼材表面を研削しやすく、冷間加工性も高い。上述のとおり、ばねの製造工程では、鋼材に対してシェービング処理を実施し、さらに、伸線加工を実施する。したがって、本実施形態の鋼材は、ばねの製造に適する。なお、本実施形態の鋼材において、パーライト面積率の好ましい下限は91%であり、さらに好ましくは92%である。
- [0059] [V系析出物の数密度]
- 本実施形態の鋼材では、パーライト中のフェライトにおいて、最大径が2～20nmであるV系析出物の数密度が3000～80000個/ μm^3 である。本明細書において、V系析出物の数密度とは、単位面積（本明細書では

1 μm^3) 当たりのV系析出物の個数を意味する。

[0060] 本明細書において、V系析出物とは、Vを含有する析出物である。V系析出物は、Vとともに、Crを含有してもよい。V系析出物はたとえば、V炭化物及びV炭窒化物である。V系析出物は、V炭化物とV、Cr、C以外の他の元素とを含有する複合析出物であってもよいし、V炭窒化物とV、Cr、C及びN以外の他の元素とを含有する複合析出物であってもよい。V系析出物は、セメンタイト等のFe炭化物と比べて極めて微細である。そのため、セメンタイト等のFe炭化物と容易に区別でき、V系析出物を特定できる。なお、後述するとおり、V系析出物は、エネルギー分散型X線分光器 (Energy dispersive X-ray spectroscopy: EDS) での元素分析でV、又はV及びCrが検出され、かつ、ナノビーム回折図形 (Nano Beam Electron Diffraction: NBD) を用いた解析により、結晶構造が立方晶であり、格子定数がa、b、cともに $0.4167\text{ nm} \pm 5\%$ (ICDD (国際解析データセンター: International Center for Diffraction Data) No. 065-8822に準拠) である。

[0061] 本実施形態の鋼材では、パーライト中のフェライトにおいて、最大径が2~20 nmの微細なV系析出物を多数析出させる。本実施形態の鋼材に対してシェービング処理を実施する場合、これらの微細なV系析出物が、シェービング処理により鋼材表面から生じた切り屑中のフェライトを分断しやすくする。そのため、切り屑が短く分断されやすくなる。その結果、切り屑の一部が鋼材表面に残存したり、切り屑の根元近傍の鋼材部分がむしれたり、切り屑の根元近傍の鋼材表面にき裂が発生したりするのを抑制できる。つまり、シェービング起因疵の発生が抑制され、鋼材表面の肌荒れが抑制される。

[0062] パーライト中のフェライトにおいて、最大径が2~20 nmのV系析出物の数密度が3000個/ μm^3 未満であれば、V系析出物の数密度が不足している。この場合、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを十分に抑制することができない。パーライト中のフェライトにおいて、最大径が2~20 n

mのV系析出物の数密度が $3000\text{個}/\mu\text{m}^3$ 以上であれば、パーライト中のフェライトにおいてV系析出物の数密度が十分に高い。そのため、鋼材を素材としてばねを製造する工程において、鋼材に対してシェービング処理を実施した場合、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを十分に抑制でき、鋼材表面の平滑性を高めることができる。したがって、本実施形態の鋼材において、化学組成中の各元素含有量が本実施形態の範囲内であることを前提として、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度は $3000\text{個}/\mu\text{m}^3$ 以上である。パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度の好ましい下限は $3500\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $4000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $4500\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $5000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $5500\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $6000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $6500\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $7000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $8000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $9000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $10000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $15000\text{個}/\mu\text{m}^3$ である。

[0063] なお、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度の上限は特に限定されない。しかしながら、鋼材の化学組成中の各元素含有量が本実施形態の範囲内の場合、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度の上限は $80000\text{個}/\mu\text{m}^3$ である。パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度の好ましい上限は $75000\text{個}/\mu\text{m}^3$ であり、さらに好ましくは $72000\text{個}/\mu\text{m}^3$ である。

[0064] [V系析出物の数密度の測定方法]

パーライト中のフェライトにおける、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度($\text{個}/\mu\text{m}^3$)は、次の方法で求めることができる。本実施形態による鋼材(線材)の線径方向に切断する。線径方向の断面を有し、鋼材の中心軸方向の厚さが 0.5mm の円板を採取する。エメリー紙を用いて、円板の

両側から研削研磨を行い、円板の厚さを $60\mu\text{m}$ とする。その後、円板から直径 3mm のサンプルを採取する。サンプルを 10% 過塩素酸－氷酢酸溶液中に浸漬して、電解研磨を実施して、厚さ 100nm の薄膜試料を作成する。

[0065] 作成された薄膜試料を、透過型電子顕微鏡（TEM）で観察する。具体的には、薄膜試料の線径方向の表面（観察面）の5箇所（観察視野）において、観察倍率を 200000 倍とし、加速電圧を 200kV として観察する。このとき、パーライト中のフェライト内において、観察視野を選定する。各観察視野は $0.09\mu\text{m}\times 0.09\mu\text{m}$ とする。

[0066] 上述のとおり、パーライトは、コントラスト及び形態により、他の相と容易に区別できる。具体的には、TEM観察において、パーライトは、白領域と黒領域との縞模様であるラメラ構造として特定できる。ここで、ラメラ構造のうち、白領域はフェライトであり、黒領域はセメンタイトである。したがって、コントラストにより、パーライト中のフェライトを、パーライト中のセメンタイトと容易に区別して特定できる。したがって、コントラストに基づいて、パーライト中のフェライト内において、5箇所の観察視野を選定する。

[0067] さらに、各観察視野において、析出物はコントラストにより特定できる。そこで、特定された複数の析出物のうち、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ の析出物を特定する。ここで、最大径とは、析出物と母相との界面の任意の2点を選択し、その2点を結ぶ線分全体が当該析出物内に含まれる場合の、最大の線分長さを意味する。

[0068] 観察視野において、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ の析出物はV系析出物である。したがって、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ の析出物をV系析出物と認定する。なお、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ の析出物がV系析出物であることは、EDS及びNBEDを用いて確認することができる。具体的には、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ の各析出物に対してビームを照射して特性X線を検出し、析出物中の元素分析を実施する。さらに、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ の各析出物に対して、ナノビー

ム回折法（極微電子回折法）によりナノビーム回折図形（NBD）を得る。得られたナノビーム回折図形を解析して、当該析出物の結晶構造及び格子定数を求める。EDSによりV、又は、V及びCrが検出され、さらに、NBDを解析した結果、結晶構造が立方晶であり、格子定数a、b、cがいずれも $0.4167\text{ nm} \pm 5\%$ であれば、その析出物はV系析出物である。

[0069] 図1は、薄膜試料のパーライト中のフェライトのTEM画像の一例である。図1のTEM画像において、符号10はV系析出物である。

[0070] 以上の方法により、5つの観察視野において、最大径が $2 \sim 20\text{ nm}$ のV系析出物の総個数を求める。求めたV系析出物の総個数と、5つの観察視野の総体積とに基づいて、最大径が $2 \sim 20\text{ nm}$ のV系析出物の数密度（個/ μm^3 ）を求める。

[0071] 以上の説明のとおり、本実施形態の鋼材は、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、ミクロ組織におけるパーライト面積率が90%以上である。さらに、パーライト中のフェライトにおいて、最大径が $2 \sim 20\text{ nm}$ のV系析出物の数密度が $3000 \sim 80000$ 個/ μm^3 である。そのため、本実施形態の鋼材は、ばねの製造工程中のシェービング処理において、シェービング処理後の鋼材表面に、ばり、むしれ、き裂といったシェービング起因疵の発生を十分に抑制できる。その結果、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを十分に抑制でき、鋼材表面の平滑性を十分に高めることができる。

[0072] [本実施形態の鋼材の製造方法]

以下、本実施形態の鋼材の製造方法の一例を説明する。なお、本実施形態の鋼材は、上記構成を有すれば、製造方法は以下の製造方法に限定されない。ただし、以下に説明する製造方法は、本実施形態の鋼材を製造する好適な一例である。

[0073] 図2は、本実施形態の鋼材の製造工程の一例を示すフロー図である。図2を参照して、本実施形態の鋼材の製造方法は、素材準備工程（S110）と、粗圧延工程（S120）と、仕上げ圧延工程（S130）とを含む。以下

、各工程について詳述する。

[0074] [素材準備工程 (S 1 1 0)]

素材準備工程 (S 1 1 0) では、上述の化学組成を有する素材を製造する。ここでいう素材はブルーム又はインゴットである。素材準備工程 (S 1 1 0) では初めに、化学組成中の各元素含有量が本実施形態の範囲内である溶鋼を、周知の精錬方法により製造する。製造された溶鋼を用いて、素材 (ブルーム又はインゴット) を製造する。具体的には、溶鋼を用いて連続鋳造法によりブルームを製造する。又は、溶鋼を用いて造塊法によりインゴットを製造する。

[0075] [粗圧延工程 (S 1 2 0)]

粗圧延工程 (S 1 2 0) では、素材を熱間圧延してビレットを製造する。具体的には、粗圧延工程 (S 1 2 0) では初めに、素材を加熱する。素材の加熱には、加熱炉又は均熱炉を用いる。加熱炉又は均熱炉により、素材を 1 2 0 0 ~ 1 3 0 0 °C に加熱する。たとえば、1 2 0 0 ~ 1 3 0 0 °C の炉温にて、1 . 5 ~ 5 0 . 0 時間、素材を保持する。加熱後の素材を加熱炉又は均熱炉から抽出して、熱間圧延を実施する。粗圧延工程 (S 1 2 0) での熱間圧延はたとえば、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、ビレットを製造する。分塊圧延機の下流に連続圧延機が設置されている場合、分塊圧延後のビレットに対してさらに、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ビレットを製造してもよい。連続圧延機では、一对の水平ロールを有する圧延スタンド (水平スタンド) と、一对の垂直ロールを有する圧延スタンド (垂直スタンド) とが交互に一行に配列される。以上の工程により、粗圧延工程 (S 1 2 0) では、素材 (ブルーム又はインゴット) をビレットに製造する。

[0076] [仕上げ圧延工程 (S 1 3 0)]

仕上げ圧延工程 (S 1 3 0) では、ビレットを熱間圧延して鋼材 (線材) を製造する。仕上げ圧延工程 (S 1 3 0) では、初めに、加熱炉を用いて、粗圧延工程 (S 1 2 0) 後のビレットを加熱する。

[0077] [仕上げ圧延工程での加熱について]

仕上げ圧延工程での加熱炉での加熱温度は、 1050°C 以上とする。加熱温度が 1050°C 以上での保持時間は、たとえば、 $0.5\sim 5.0$ 時間とする。

[0078] 粗圧延工程（S120）で製造されたビレットでは、熱間圧延後の冷却により、ビレット中にV系析出物が生成している場合がある。ビレット中のV系析出物が残存したままのビレットに対して仕上げ圧延を実施すれば、仕上げ圧延工程後の鋼材のパーライト中のフェライトにおいて、粗大なV系析出物が過剰に生成してしまう。その結果、パーライト中のフェライトにおける、最大径が $2\sim 20\text{ nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\text{ 個}/\mu\text{ m}^3$ 未満となる。

[0079] 仕上げ圧延工程（S130）での加熱温度が 1050°C 以上であれば、粗圧延工程（S120）後のビレット中に残存している可能性のあるV系析出物を十分に固溶させることができる。そのため、他の製造条件を満たすことを前提として、最大径が 20 nm を超える粗大なV系析出物の生成が抑制され、仕上げ圧延工程後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2\sim 20\text{ nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\text{ 個}/\mu\text{ m}^3$ 以上となる。

[0080] [仕上げ圧延について]

加熱後のビレットに対して、仕上げ圧延機列を用いた熱間圧延（仕上げ圧延）を実施して、鋼材である線材を製造する。線材の外径は特に限定されないが、たとえば、線材の外径は、 $5\sim 10\text{ mm}$ である。最終製品であるばねの線径に基づいて、鋼材（線材）の外径が決定される。以下、仕上げ圧延機列、及び、仕上げ圧延機列を用いた熱間圧延について詳述する。

[0081] [仕上げ圧延機列について]

仕上げ圧延機列は、上流から下流に向かって一列に配列された複数の圧延スタンドを含む。各スタンドは、パスライン周りに配置された複数のロールを含む。各スタンドの圧延ロールには、孔型が形成されている。各スタンドの複数のロールにより形成された孔型にビレットを通して熱間圧延を実施し

て、ビレットの断面を段階的に小さくして、鋼材（線材）を製造する。

[0082] 仕上げ圧延機列の複数の圧延スタンドのうち、最上流の圧延スタンドから連続して配列された複数の圧延スタンド群を「粗圧延機列」と称する。粗圧延機列の下流に配置され、連続して配置される複数の圧延スタンド群を「中間圧延機列」と称する。中間圧延機列の下流に配置され、1又は連続して配置される複数の圧延スタンド群を「最終圧延機列」と称する。要するに、仕上げ圧延機列を便宜上、上流から下流に向かって、粗圧延機列、中間圧延機列、最終圧延機列、の3つの圧延スタンド群に区分する。粗圧延機列の圧延スタンド数、中間圧延機列の圧延スタンド数、最終圧延機列の圧延スタンド数は特に限定されない。後述する、仕上げ圧延中の鋼材の温度履歴を説明するために、仕上げ圧延機列を便宜上、3つの圧延スタンド群（粗圧延機列、中間圧延機列、最終圧延機列）に区分する。なお、粗圧延機列、中間圧延機列、及び、最終圧延機列のいくつかの圧延スタンド間では、鋼材を冷却するための水冷装置が配置されている。水冷装置はたとえば、前段の圧延スタンドを出て、次の圧延スタンドである後段の圧延スタンドに入る鋼材、つまり、前段の圧延スタンドと後段の圧延スタンドとの間の鋼材部分に対して水冷を実施して、鋼材温度を下げる。

[0083] [仕上げ圧延中の鋼材の温度履歴について]

図3は、仕上げ圧延中の鋼材の温度履歴の模式図である。図3を参照して、区間S131は、加熱炉から抽出された鋼材が仕上げ圧延機列の粗圧延機列の先頭の圧延スタンドに到達するまでの時間中の鋼材の温度履歴である。区間S132は、粗圧延機列中の鋼材の温度履歴である。区間S133は、中間圧延機列中の鋼材の温度履歴である。区間S134は、最終圧延機列中の鋼材の温度履歴である。区間S135は、最終圧延機列の末尾の圧延スタンドを出た後の鋼材の温度履歴である。仕上げ圧延工程では、図3に示すS131～S135の温度履歴を経て、本実施形態の鋼材が製造される。以下、各区間S131～S135について説明する。

[0084] 初めに、仕上げ圧延工程において鋼材（線材）を製造する場合の一般的な

鋼材の温度履歴について説明する。加熱炉を抽出してから粗圧延機列の先頭の圧延スタンドに到達するまでの期間では、鋼材温度は加熱炉での加熱温度で維持されている。そして、粗圧延機列での熱間圧延が開始されると、鋼材は圧延スタンドのロールに熱を奪われる。この現象をロール抜熱という。粗圧延機列での圧延中、ロール抜熱により、鋼材の温度は時間の経過とともに低下する。しかしながら、鋼材が複数の圧延スタンドにより段階的に圧下され、鋼材の累積圧下率がある程度まで高まると、鋼材において加工発熱が生じる。加工発熱が生じた鋼材では、鋼材温度が上昇する。そのため、通常の仕上げ圧延では、粗圧延機列の後段の圧延スタンドでの圧延中、又は、中間圧延機列での圧延中において、鋼材温度が再び上昇する。最終圧延機列においても鋼材温度は上昇を継続する。

[0085] そこで、本実施形態では、仕上げ圧延工程後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2 \sim 20 \text{ nm}$ のV系析出物の数密度が適切な範囲とするために、仕上げ圧延中の鋼材の温度履歴を次のとおり調整する。

[0086] 本実施形態の仕上げ圧延工程（S130）では、仕上げ圧延中におけるビレット表面温度が連続して $950 \sim 850^\circ\text{C}$ となる期間（特定温度滞在時間という）を $5 \sim 100$ 秒とする。特定温度滞在時間は、仕上げ圧延工程（S130）後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2 \sim 20 \text{ nm}$ のV系析出物の数密度に影響を与える。具体的には、仕上げ圧延中における特定温度滞在時間を $5 \sim 100$ 秒とすれば、他の製造条件を満たすことを前提として、仕上げ圧延工程後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2 \sim 20 \text{ nm}$ のV系析出物の数密度が $3000 \sim 80000$ 個/ μm^3 となる。

[0087] 特定温度滞在時間を $5 \sim 100$ 秒とすれば、他の製造条件を満たすことを前提として、仕上げ圧延工程後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2 \sim 20 \text{ nm}$ のV系析出物の数密度が $3000 \sim 80000$ 個/ μm^3 となる理由は定かではないが、次の理由が考えられる。特定温度滞在時間が $5 \sim 100$ 秒であれば、他の製造条件を満たすことを前提として、仕上

げ圧延中のビレット中にV原子、又は、V原子及びC r原子のクラスタが形成される。ここで、V原子、又は、V原子及びC r原子のクラスタ（以下、単にクラスタともいう）とは、V系析出物の生成の前段階に生成する原子の集合体を意味する。V系析出物が生成する前にクラスタが多数生成していれば、仕上げ圧延後の冷却処理（後述）において、V系析出物の相界面析出が促進される。その結果、鋼材のパーライト中のフェライトにおいて、最大径が2～20 nmのV系析出物が3000～80000個/ μm^3 となる。

[0088] 上述の特定温度滞在時間の温度域（950～850℃）は、V系析出物の溶体化温度域（約1000～1150℃）の直下である。したがって、特定温度滞在時間の温度域（950～850℃）では、溶体化温度域と比較して、V系析出物の核を生成する駆動力が小さく、V系析出物の核の生成が起こりにくい。一方、ビレット中に固溶しているV原子及び／又はC r原子は十分にビレット中に拡散される。その結果、V系析出物の核生成の前段階であるクラスタが形成される。特定温度滞在時間を5～100秒確保することにより、クラスタを多数生成することができる。その結果、仕上げ圧延工程（S130）の冷却処理後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が2～20 nmのV系析出物の数密度が3000～80000個/ μm^3 となる。

[0089] 上記メカニズムは推定ではある。しかしながら、仮に異なるメカニズムが作用しているとしても、特定温度滞在時間が5～100秒であれば、仕上げ圧延工程（S130）の冷却処理後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が2～20 nmのV系析出物の数密度が3000～80000個/ μm^3 となることは、後述の実施例が証明している。

[0090] 特定温度滞在時間が5秒未満であれば、クラスタの生成が不足する。その結果、仕上げ圧延工程（S130）の冷却処理後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が2～20 nmのV系析出物の数密度が3000個/ μm^3 未満となる。一方、特定温度滞在時間が100秒を超えれば、クラスタから析出物が生成する。そのため、仕上げ圧延工程後のV系析出物が粗

大となり、最大径が20nm超のV系析出物が多量に生成する。その結果、仕上げ圧延工程（S130）後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が2～20nmのV系析出物の数密度が3000個/ μm^3 未満となる。したがって、特定温度滞在時間を5～100秒とする。

[0091] 特定温度滞在時間の好ましい下限は8秒であり、さらに好ましくは10秒であり、さらに好ましくは12秒である。特定温度滞在時間の好ましい上限は90秒であり、さらに好ましくは80秒であり、さらに好ましくは70秒であり、さらに好ましくは60秒である。

[0092] 図3を参照して、粗圧延機列での圧延期間中（S132）では、ロールによる圧延に伴う加工発熱量よりも、ロールの表面とビレットの表面とが接触することによる抜熱量（ロール抜熱）の方が大きい。そのため、粗圧延機列での圧延期間中（S132）では、圧延スタンドを通過するごとに、ビレットの表面温度が低下する。

[0093] 一方、中間圧延機列での圧延期間中（S133）では、ロール抜熱量よりも、加工発熱量の方が大きくなりやすい。そのため、中間圧延機列での圧延期間中（S132）では、圧延スタンドを通過するごとに、ビレットの表面温度が上がりやすくなる。そこで、特定温度滞在時間を5～100秒確保するために、中間圧延機列での圧延期間中のビレットを水冷し、ビレット表面温度を低下させる。具体的には、中間圧延機列の圧延スタンド間に配置された水冷装置により、圧延スタンド間を通過中のビレット部分を水冷する。これにより、仕上げ圧延中において、特定温度滞在時間が5～100℃になるように、仕上げ圧延中のビレットの表面温度を調整する。

[0094] なお、上述の説明では、中間圧延機列での圧延期間中のビレットを冷却することにより、特定温度滞在時間を5～100秒確保している。しかしながら、仕上げ圧延中の特定温度滞在時間の調整方法は、上記方法に限定されない。粗圧延機列での圧延期間（S132）中のビレットの表面温度を水冷等により調整してもよいし、最終圧延機列での圧延期間（S134）中のビレットの表面温度を水冷等により調整してもよい。また、粗圧延機列での圧延

期間（S 1 3 2）、中間圧延機列での圧延期間（S 1 3 3）、最終圧延機列での圧延期間（S 1 3 4）のうち、2以上の区間において、ビレットの表面温度を水冷等により調整してもよい。

[0095] なお、ビレットの表面温度が950～850℃である場合の滞在時間（特定温度滞在時間）とは、上述のとおり、連続的にビレットの表面温度が950～850℃である状態が続いている状態の時間を意味する。

[0096] [仕上げ圧延温度について]

最終圧延機列での圧延期間（S 1 3 4）では、加工発熱によりビレットの表面温度が上がりやすい。ここで、最終圧延機列において最後に圧下する圧延スタンドの出側での鋼材の表面温度を「仕上げ圧延温度」（℃）と定義する。本実施形態では、仕上げ圧延温度を1000℃未満とする。仕上げ圧延温度が1000℃以上であれば、鋼材中のオーステナイト粒が粗大化する。この場合、後述の冷却処理でも説明のとおり、最大径が2nm未満の微細なV系析出物が多量に生成する。その結果、仕上げ圧延工程（S 1 3 0）後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が2～20nmのV系析出物の数密度が3000個/μm³未満となる。

[0097] たとえば、図3に示すように、粗圧延機列及び中間圧延機列での圧延期間（S 1 3 2及びS 1 3 3）において、特定温度滞在時間を5～100秒とし、かつ、中間圧延機列の末尾の圧延スタンドの出側でのビレット温度を950℃以下とすることにより、最終圧延機列の圧延期間（S 1 3 4）での仕上げ圧延温度を1000℃未満に抑えてもよい。また、最終圧延機列の圧延期間（S 1 3 4）中においてビレット表面を冷却して、仕上げ圧延温度を1000℃未満にしてもよい。なお、仕上げ圧延温度の好ましい下限は900℃である。

[0098] なお、図3に示すとおり、仕上げ圧延中において、特定温度滞在時間経過後から最終圧延機列での圧延が完了するまでの鋼材温度（鋼材の表面温度）は1000℃未満を維持する。

[0099] 図3では、中間圧延機列での圧延期間全体が特定温度滞在時間に含まれて

いる。しかしながら、特定温度滞在時間はこれに限定されない。中間圧延機列での圧延期間の一部が特定温度滞在時間に相当してもよい。また、特定温度滞在時間は中間圧延機列での圧延期間に限定されない。要するに、仕上げ圧延中において、鋼材温度が連続して $950^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$ となる期間（特定温度滞在時間）が $5\sim 100$ 秒であり、仕上げ圧延温度が 1000°C 未満であればよい。

[0100] なお、仕上げ圧延中の鋼材の温度履歴は、たとえば、次の方法で測定可能である。仕上げ圧延機列（粗圧延機列、中間圧延機列、最終圧延機列）の各スタンドの入側又は出側に、鋼材の表面温度を測定可能な測温計を配置する。これらの測温計での測定結果に基づいて、仕上げ圧延中の鋼材の温度履歴を求めることができる。

[0101] [冷却処理（区間S 1 3 5）]

仕上げ圧延機列（粗圧延機列、中間圧延機列、最終圧延機列）での仕上げ圧延を完了した直後の鋼材に対して、冷却処理を実施する（S 1 3 5）。冷却処理区間（S 1 3 5）では、急冷処理RCを実施し、次いで、徐冷処理SCを実施する。冷却処理により、仕上げ圧延工程（S 1 3 0）後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2\sim 20\text{ nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\sim 80000$ 個/ μm^3 とする。以下、急冷処理RC及び徐冷処理SCについて説明する。

[0102] [急冷処理（RC）]

急冷工程（RC）では、仕上げ圧延完了後の鋼材であって、表面温度が $950\sim 800^{\circ}\text{C}$ の温度域の鋼材に対して急冷を実施する。具体的には、仕上げ圧延完了後のピレットにおいて、表面温度が $950\sim 800^{\circ}\text{C}$ での平均冷却速度を 1.0°C 秒超とする。鋼材の表面温度が $950\sim 800^{\circ}\text{C}$ である場合の平均冷却速度を 1.0°C /秒以下であれば、他の製造条件が満たされていても、鋼材中のオーステナイト結晶粒が粗大化する。この場合、 2 nm 未満のV系析出物が多量に生成する。その結果、仕上げ圧延工程（S 1 3 0）後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2\sim 20\text{ nm}$ のV

系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満となる。

[0103] 鋼材の表面温度が $950\sim 800^{\circ}\text{C}$ である場合の平均冷却速度を $1.0^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 超であれば、他の製造条件が満たされることを前提として、仕上げ圧延工程（S130）後の鋼材のパーライト中のフェライトにおける、最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\sim 80000$ 個/ μm^3 となる。

[0104] 鋼材中のオーステナイト結晶粒の粗大化を抑制すれば、パーライト中のV系析出物が過剰に微細になるのを抑制することができる理由については定かではないが、次の理由が考えられる。

[0105] 図4は、本実施形態の鋼材の冷却処理の期間（S135）中での連続冷却変態曲線（CCT曲線）図である。図4を参照して、図4中のグラフ内の実線の曲線は、冷却時間に対する鋼材の温度変化を示す。図4中の破線の曲線Ps（曲線Ps1及びPs2）は、パーライトの変態開始温度を示す。鋼材中のオーステナイト結晶粒が微細であれば、曲線Psが短時間側（図中左側）にシフトする（図4中の曲線Ps1に相当）。曲線Psが短時間側にシフトすれば、急冷処理（RC）後の徐冷処理（SC）において、パーライトノーズPNよりも高温側でパーライト変態が開始される。パーライト変態が開始されれば、V系析出物がパーライトのフェライト中に相界面析出する。パーライトノーズPNよりも高温側でV系析出物が生成する。そのため、生成したV析出物がある程度成長する。その結果、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\sim 80000$ 個/ μm^3 とすることができる。

[0106] 一方、鋼材中のオーステナイト結晶粒が粗大である場合、曲線Psが長時間側（図中右側）にシフトする（図4中の曲線Ps2に相当）。この場合、曲線Ps1の場合よりも低温域でパーライト変態が開始される。そのため、V系析出物が生成するものの、V系析出物は成長しにくい。その結果、最大径が 2nm 未満のV系析出物が多数生成し、その結果、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度が 3000 個/

μm^3 未満となる。

[0107] [徐冷処理 (SC)]

徐冷処理 (SC) は急冷処理 (RC) 後に速やかに実施される。徐冷処理 (SC) では、鋼材の表面温度が 800°C 未満～ 600°C である場合の平均冷却速度が $2.00^\circ\text{C}/\text{秒}$ 未満となるように、鋼材を冷却する。鋼材の表面温度が 800°C 未満～ 600°C である場合の平均冷却速度が $2.00^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上であれば、他の製造条件が満たされていても、パーライト変態が不足する。その結果、パーライト面積率が 90% 未満となる。さらに、パーライト変態が不足するため、V系析出物の相界面析出も不足する。その結果、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\text{個}/\mu\text{m}^3$ 未満になる。

[0108] 徐冷処理 (SC) において、鋼材の表面温度が 800°C 未満～ 600°C である場合の平均冷却速度が $2.00^\circ\text{C}/\text{秒}$ 未満であれば、パーライト変態が十分に促進される。その結果、パーライト面積率が 90% 以上となる。さらに、V系析出物の相界面析出も十分に促進されるため、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\sim 80000\text{個}/\mu\text{m}^3$ になる。

[0109] 以上の製造工程により、本実施形態の鋼材 (線材) を製造することができる。なお、上述の製造方法は、本実施形態の鋼材を製造するための一例である。したがって、鋼材の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、ミクロ組織中のパーライト面積率が 90% 以上であり、パーライト中のフェライトにおける最大径が $2\sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度が $3000\sim 80000\text{個}/\mu\text{m}^3$ での鋼材を製造できれば、本実施形態の鋼材の製造方法は、上記製造方法に限定されない。

[0110] [ばねについて]

本実施形態の鋼材を素材とするばねは、例えば、自動車及び一般機械に使用されるばねである。自動車及び一般機械に使用されるばねは、例えば、ダンパーばね又は弁ばね等である。

[0111] [本実施形態の鋼材を素材とするばねの製造方法]

本実施形態の鋼材を素材とするばねは、周知の製造方法で製造される。例えば、次の方法により、本実施形態の鋼材を素材としたばねが製造される。

[0112] 図5は、本実施形態の鋼材を用いたばねの製造方法の一例を示すフロー図である。図5を参照して、本実施形態の鋼材を素材とするばねは、鋼線準備工程（S200）と、ばね製造工程（S300）とを含む。

[0113] 鋼線準備工程（S200）では、本実施形態の鋼材を用いて、ばね用鋼線を製造する。ここで、鋼線とは、熱間圧延材である鋼材（線材）に対して1回以上の伸線加工を実施した鋼材を意味する。鋼線準備工程（S200）は、シェービング処理工程（S210）と、焼鈍処理工程（S220）と、伸線加工工程（S230）と、調質処理工程（S240）とを含む。

[0114] [シェービング処理工程（S210）]

シェービング処理工程（S210）では、鋼材の表面（周面）の全体を皮むき（シェービング処理）する。シェービング処理は周知の方法で実施すれば足りる。シェービング処理では、鋼材（線材）をシェービングダイスに通して、鋼材表面を削り取る（皮むきする）。シェービング処理により、鋼材の表面の疵や脱炭層を除去する。

[0115] 上述のとおり、本実施形態の鋼材に対してシェービング処理を実施した場合、シェービング処理で鋼材表面に発生した切り屑が短く分断されやすくなる。そのため、シェービング処理後の鋼材表面において、バリ、むしれ、き裂といったシェービング起因疵の発生を十分に抑制できる。その結果、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを十分に抑制でき、鋼材表面の平滑性を十分に高めることができる。

[0116] [焼鈍処理工程（S220）]

焼鈍処理工程（S220）では、シェービング処理工程（S210）後の鋼材に対して焼鈍処理を実施して、シェービング処理により生成した鋼材中の歪を除去する。焼鈍処理は周知の方法で実施すれば足りる。焼鈍処理の温度はたとえば、300℃以上である。

[0117] [伸線加工工程 (S 2 3 0)]

伸線加工工程 (S 2 3 0) では、焼鈍処理工程 (S 2 2 0) 後の鋼材に対して、伸線加工を実施する。伸線加工を実施することにより、所望の外径を有する鋼線を製造する。伸線加工工程 (S 2 3 0) は周知の方法で実施すればよい。具体的には、鋼材に対して潤滑処理を実施して、リン酸塩皮膜や金属石鹼層に代表される潤滑被膜を鋼材の表面に形成する。潤滑処理後の鋼材に対して、常温にて、伸線加工を実施する。伸線加工では、周知の構成を有する伸線機を用いる。伸線機は、鋼材を伸線加工するためのダイスを備える。

[0118] [調質処理工程 (S 2 4 0)]

調質処理工程 (S 2 4 0) では、伸線加工工程 (S 2 3 0) 後の鋼線に対して、調質処理を実施する。調質処理工程 (S 2 4 0) では、焼入れ処理工程と、焼戻し処理工程とを含む。焼入れ処理工程では初めに、鋼線を A_{c3} 変態点以上に加熱する。加熱にはたとえば、高周波誘導加熱装置を用いる。加熱された鋼線を急冷する。急冷方法は水冷であってもよいし、油冷であってもよい。焼入れ処理工程により、鋼線のミクロ組織をマルテンサイト主体の組織とする。

[0119] ばね製造工程 (S 3 0 0) では、冷間コイルング工程 (S 3 1 0) と、歪取り焼鈍処理工程 (S 3 2 0) と、必要に応じて実施する窒化処理工程 (S 3 3 0) と、ショットピーニング工程 (S 3 4 0) とを備える。

[0120] [冷間コイルング工程 (S 3 1 0)]

冷間コイルング工程 (S 3 1 0) では、鋼線準備工程 (S 2 0 0) により製造された鋼線に対して、冷間コイルングを実施して、ばねの中間鋼材を製造する。冷間コイルングは周知のコイルング装置を用いて製造する。コイルング装置はたとえば、複数の搬送ローラーセットと、ワイヤーガイドと、複数のコイル成形治具 (コイルングピン) と、横断面が半円状の芯金とを備える。搬送ローラーセットは、互いに対向する一対のローラーを含む。複数の搬送ローラーセットは、一列に配列される。各搬送ローラーセットは、一対

のローラー間に鋼材を挟み、鋼線をワイヤーガイド方向に搬送する。鋼線はワイヤーガイドを通る。ワイヤーガイドから出た鋼線は、複数のコイリングピン及び芯金により円弧状に曲げられ、コイル状の中間鋼材に成形される。

[0121] [歪取り焼鈍処理工程（S 3 2 0）]

歪取り焼鈍処理工程（S 3 2 0）は必須の工程である。歪取り焼鈍処理工程（S 3 2 0）では、冷間コイリング工程（S 3 1 0）により中間鋼材に生じる残留応力を除去するために、焼鈍処理を実施する。焼鈍処理における処理温度（焼鈍温度）はたとえば、4 0 0～5 0 0℃とする。焼鈍温度での保持時間は特に限定されないが、たとえば1 0～5 0分である。保持時間経過後、中間鋼材を常温まで放冷又は徐冷する。

[0122] [窒化処理工程（S 3 3 0）]

窒化処理工程（S 3 3 0）は任意の工程であって、必須の工程ではない。つまり、窒化処理工程（S 3 3 0）は実施してもよいし、実施しなくてもよい。実施する場合、窒化処理工程（S 3 3 0）では、冷間コイリング工程（S 3 1 0）により成型され、歪取り焼鈍処理工程（S 3 2 0）を実施した中間鋼材に対して、窒化処理を実施する。ここでいう窒化処理は、軟窒化処理も含む。窒化処理では、中間鋼材の表層に窒素を侵入させて、固溶窒素による固溶強化や、窒化物生成による析出強化により、中間鋼材の表層に窒化層（硬化層）を形成する。

[0123] 窒化処理は周知の条件で実施すれば足りる。窒化処理では、 A_{c1} 変態点以下の処理温度（窒化温度）で実施する。窒化温度はたとえば、4 0 0～5 5 0℃である。窒化温度での保持時間は1 . 0時間～5 . 0時間である。窒化処理を実施する炉内雰囲気は、十分に窒素の化学ポテンシャルが高くなるような雰囲気であれば特に限定されない。窒化処理の炉内雰囲気はたとえば、軟窒化処理のように浸炭性のガス（RXガス等）を混合した雰囲気としてもよい。

[0124] [ショットピーニング工程（S 3 4 0）]

ショットピーニング工程（S 3 4 0）は必須の工程である。ショットピー

ニング工程（S 3 4 0）では、窒化処理工程（S 3 3 0）後の中間鋼材の表面に対してショットピーニングを実施する。これにより、ばねの表層に圧縮残留応力が付与され、ばねの疲労限度をさらに高めることができる。ショットピーニングは周知の方法で実施すればよい。ショットピーニングにはたとえば、直径が0.01～1.5 mmの投射材を用いる。投射材はたとえば、スチールショット、スチールビーズ等であり、周知のものを利用すればよい。投射材の直径、投射速度、投射時間、及び、単位時間当たりの単位面積への投射量に応じて、ばねに付与する圧縮残留応力を調整する。

[0125] 以上の製造工程により、本実施形態の鋼材を素材とするばねが製造される。

実施例

[0126] 以下、実施例により本実施形態の鋼材の効果をさらに具体的に説明する。以下の実施例での条件は、本実施形態の鋼材の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例である。したがって、本実施形態の鋼材はこの一条件例に限定されない。

[0127] 表1の化学組成を有する溶鋼を製造した。

[0128]

[表1]

鋼種 番号	化学組成 (単位は質量%、残部はFe及び不純物)													
	C	Si	Mn	Cr	V	P	S	N	Mo	Nb	W	Ni	Co	B
A	0.61	2.23	0.70	1.23	0.10	0.008	0.008	0.0048						
B	0.60	2.15	0.72	1.17	0.21	0.007	0.005	0.0053						
C	0.63	2.22	0.68	1.26	0.57	0.005	0.009	0.0057						
D	0.56	2.64	0.78	1.53	0.26	0.006	0.005	0.0043	0.28					
E	0.52	2.17	0.73	1.07	0.22	0.009	0.008	0.0047		0.021				
F	0.62	2.25	0.71	1.18	0.18	0.007	0.007	0.0056			0.23			
G	0.60	2.88	0.64	1.27	0.27	0.005	0.007	0.0059				0.32		
H	0.60	2.18	0.69	1.86	0.23	0.009	0.006	0.0061					0.18	
I	0.62	2.23	0.30	1.18	0.21	0.008	0.008	0.0051						0.0037
J	0.59	2.20	0.72	0.47	0.24	0.008	0.009	0.0058					0.032	
K	0.76	1.42	0.68	0.86	0.19	0.006	0.007	0.0055						0.0026
L	0.61	2.05	0.64	1.21	0.23	0.009	0.008	0.0047						
M	0.59	2.19	0.99	1.26	0.25	0.009	0.007	0.0046						0.025

[0129] 表1の空白部分は、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。上記溶鋼を用いて連続鑄造法によりブルームを製造した。ブルームに対して、粗圧延工程（S120）を実施した。具体的には、ブルームを加熱した後、分塊圧延、及び、その後の連続圧延機による圧延を実施して、長手方向に垂直な断面が162mm×162mmのビレットを製造した。粗圧延工程（S120）での加熱温度は1200～1250℃であり、加熱温度での保持時間は2.0時間であった。

[0130] 製造されたビレットを用いて、仕上げ圧延工程（S130）を実施して、直径6.5mmの鋼材（線材）を製造した。仕上げ圧延工程（S130）での加熱温度は、表2の「仕上げ圧延工程」欄の「加熱温度（℃）」欄に示した温度であった。加熱温度での保持時間は、いずれの試験番号においても、1.5時間であった。仕上げ圧延中における特定温度滞在時間（950～850℃の範囲内での連続滞在時間）は、表2の「仕上げ圧延工程」欄の「特定温度滞在時間（秒）」欄に示した時間であった。仕上げ圧延工程での仕上げ圧延温度（℃）は、表2の「仕上げ圧延工程」欄の「仕上げ圧延温度（℃）」欄に示した温度であった。なお、仕上げ圧延工程において、特定温度滞在時間経過後の鋼材温度は、いずれの試験番号においても、仕上げ圧延が完了するまで、仕上げ圧延温度未満であった。

[0131] 仕上げ圧延完了後の鋼材に対して、急冷処理（RC）を実施し、その後続けて、徐冷処理（SC）を実施した。急冷処理（RC）における、鋼材表面温度が950～800℃の範囲での平均冷却速度は、表2の「急冷処理での平均冷却速度（℃/秒）」欄に示した平均冷却速度（℃/秒）であった。徐冷処理（SC）における、鋼材表面温度が800℃未満～600℃の範囲での平均冷却速度は、表2の「徐冷処理での平均冷却速度（℃/秒）」欄に示した平均冷却速度（℃/秒）であった。

[0132]

[表2]

TABLE2		試験 番号	鋼種 番号	仕上げ圧延工程					パーライト 面積率 (%)	V系析出物 数密度 (個/ μm^3)	肌荒れ抑制評価	
				加熱温度 ($^{\circ}\text{C}$)	特定温度 滞在時間 (秒)	仕上げ圧延 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	急冷処理での 平均冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)	徐冷処理での 平均冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)			表面粗さ (μm)	評価
	1	A	1149	24	976	52.3	0.82	96	17901	1.0	E	
	2	B	1153	24	983	49.2	0.80	97	30247	1.1	E	
	3	C	1250	25	970	49.9	0.93	94	70679	0.9	E	
	4	D	1152	24	987	50.8	0.91	93	6790	0.8	E	
	5	E	1150	24	971	47.4	0.87	92	36728	1.0	E	
	6	F	1151	96	968	51.7	0.86	95	40123	1.2	E	
	7	G	1148	24	974	50.3	0.91	95	26852	0.9	E	
	8	H	1152	24	980	50.8	1.88	92	39815	0.8	E	
	9	I	1151	25	968	52.5	0.83	95	28704	1.1	E	
	10	J	1150	25	974	48.1	0.93	96	33333	1.0	E	
	11	K	1147	24	962	52.0	0.86	98	22840	1.2	E	
	12	L	1150	23	981	49.6	0.83	94	37654	0.8	E	
	13	M	1152	26	978	50.3	0.84	95	34568	0.9	E	
	14	B	1147	6	985	51.0	0.86	95	5247	0.8	E	
	15	B	1150	24	976	1.2	0.91	96	4012	1.0	E	
	16	A	1036	26	966	52.7	0.88	96	2778	5.6	NA	
	17	A	1154	105	974	51.4	0.93	95	926	6.1	NA	
	18	A	1147	3	970	49.6	0.90	94	2469	5.9	NA	
	19	A	1149	25	1023	48.3	0.94	96	2160	6.8	NA	
	20	A	1150	24	962	0.9	0.82	94	1852	7.4	NA	
	21	A	1153	26	983	51.8	2.23	86	2469	6.3	NA	
	22	D	1034	24	972	49.6	0.84	93	2160	6.0	NA	
	23	D	1150	107	967	48.3	0.82	92	1235	5.7	NA	
	24	D	1147	4	980	51.2	0.90	92	2469	5.9	NA	
	25	D	1154	26	1018	49.0	0.86	95	2778	6.5	NA	
	26	D	1152	26	969	0.9	0.89	96	1543	7.2	NA	
	27	D	1148	25	974	50.5	2.18	84	1852	6.1	NA	

[0133] 以上の製造工程により、鋼材を製造した。

[0134] [評価試験]

製造された各試験番号の鋼材に対して、ミクロ組織観察試験、V系析出物の数密度測定試験、及び、シェービング処理後肌荒れ評価試験を実施した。

[0135] [ミクロ組織観察試験]

各試験番号の鋼材のミクロ組織中のパーライト面積率(%)を次の方法で測定した。各試験番号の鋼材の線径方向で切断した断面(表面)を観察面とした。観察面を鏡面研磨した。鏡面研磨された観察面に対して、5%ピクリン酸アルコール(ピクラール腐食液)によるエッチングを実施した。エッチングされた観察面のうち、鋼材表面(観察面の外周)から径方向に直径の1/4深さ位置を観察視野とした。10箇所の観察視野を2000倍の走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察し、10観察視野の写真画像を生成した。各視野のサイズは40 μ m×60 μ mとした。

[0136] コントラスト及び相の形態に基づいて、パーライトを特定した。各視野でのパーライトの総面積(μ m²)を求めた。全ての観察視野の総面積(24000 μ m²)に対する、全ての観察視野におけるパーライトの総面積の割合を、パーライト面積率(%)とした。求めたパーライト面積率を表2の「パーライト面積率(%)」欄に示す。

[0137] [V系析出物の数密度測定試験]

各試験番号の鋼材において、最大径が2~20nmのV系析出物の個数密度(個/ μ m³)を次の方法で測定した。各試験番号の鋼材(線材)を線径方向に切断した。そして、線径方向の断面を有し、鋼材の中心軸方向の厚さが0.5mmの円板を採取した。エメリー紙を用いて、円板の両側から研削研磨を行い、円板の厚さを60 μ mとした。その後、円板から直径3mmのサンプルを採取した。サンプルを10%過塩素酸-氷酢酸溶液中に浸漬して、電解研磨を実施して、厚さ100nmの薄膜試料を作成した。

[0138] 作成された薄膜試料を、透過型電子顕微鏡(TEM)で観察した。具体的には、薄膜試料の線径方向の表面(観察面)の5箇所(観察視野)において、観察倍率を200000倍とし、加速電圧を200kVとして観察した。

このとき、パーライト中のフェライト内において、観察視野を選定した。各観察視野は $0.09\mu\text{m} \times 0.09\mu\text{m}$ とした。

[0139] 各観察視野において、コントラストにより析出物を特定した。さらに、特定された複数の析出物のうち、最大径が $2 \sim 20\text{nm}$ の析出物を特定した。ここで、最大径は、析出物と母相との界面の任意の2点を選択し、その2点を結ぶ線分全体が当該析出物内に含まれる場合の、最大の線分長さとした。

[0140] 最大径が $2 \sim 20\text{nm}$ の析出物を、V系析出物に認定した。なお、上述のEDS及びNBEDにより確認した結果、最大径が $2 \sim 20\text{nm}$ の析出物はV系析出物であった。

[0141] 以上の方法により、5つの観察視野において、最大径が $2 \sim 20\text{nm}$ のV系析出物の総個数を求めた。求めたV系析出物の総個数と、5つの観察視野の総体積とに基づいて、最大径が $2 \sim 20\text{nm}$ のV系析出物の数密度（個/ μm^3 ）を求めた。求めたV系析出物の数密度を表2中の「V系析出物数密度（個/ μm^3 ）」欄に示す。

[0142] [シェービング処理後肌荒れ評価試験]

各試験番号の鋼材に対して、シェービング処理工程を実施した。シェービング処理工程では、シェービングダイスを用いてシェービング処理を実施し、鋼材の表面を 0.15mm 深さまで皮むきした。シェービング処理後の鋼材（以下、試験片という）の表面粗さを測定した。具体的には、JIS B 0601（2013）に規定された十点平均粗さ R_z を求めた。評価長さは、基準長さ（カットオフ波長）の5倍とした。十点平均粗さ R_z の測定は、触針式の粗さ計を用いて行った。測定速度は、 $0.5\text{mm}/\text{sec}$ とした。測定結果を表2の「表面粗さ（ μm ）」欄に示す。十点平均粗さ R_z が $5.0\mu\text{m}$ 以下であれば、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを十分に抑制できたと判断した（表2中の「肌荒れ抑制評価」の「評価」欄で「E」で表記）。一方、十点平均粗さ R_z が $5.0\mu\text{m}$ を超えれば、シェービング処理後の鋼材表面の肌荒れを十分に抑制できなかったと判断した（表2中の「肌荒れ抑制評価」の「評価」欄で「NA」で表記）。

[0143] [試験結果]

表 2 に試験結果を示す。表 2 を参照して、試験番号 1 ～ 15 は、化学組成が適切であり、かつ、製造工程も適切であった。そのため、各試験番号の鋼材のミクロ組織では、パーライト面積率が 90% 以上であった。さらに、最大径が 2 ～ 20 nm の V 系析出物の数密度はいずれも 3000 ～ 80000 個/ μm^3 であった。そのため、試験番号 1 ～ 16 の鋼材に対して、シェービング処理工程を実施した場合でも、鋼材の表面粗さは 5.0 μm 以下であり、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することができた。

[0144] 試験番号 16 及び 22 では、仕上げ圧延時の加熱温度が低すぎた。そのため、最大径が 2 ～ 20 nm の V 系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満であった。その結果、鋼材の表面粗さが 5.0 μm を超え、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することができなかった。

[0145] 試験番号 17 及び 23 では、特定温度滞在時間が長すぎた。そのため、最大径が 2 ～ 20 nm の V 系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満であった。その結果、鋼材の表面粗さ（十点平均粗さ R_z ）が 5.0 μm を超え、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することができなかった。

[0146] 試験番号 18 及び 24 では、特定温度滞在時間が短すぎた。そのため、最大径が 2 ～ 20 nm の V 系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満であった。その結果、鋼材の表面粗さが 5.0 μm を超え、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することができなかった。

[0147] 試験番号 19 及び 25 では、仕上げ圧延温度が高すぎた。そのため、最大径が 2 ～ 20 nm の V 系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満であった。その結果、鋼材の表面粗さが 5.0 μm を超え、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することができなかった。

[0148] 試験番号 20 及び 26 では、急冷処理（RC）での 950 ～ 800℃ における平均冷却速度が遅すぎた。そのため、最大径が 2 ～ 20 nm の V 系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満であった。その結果、鋼材の表面粗さが 5.0 μm を超え、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することがで

きなかった。

[0149] 試験番号 21 及び 27 では、徐冷処理 (SC) での 800℃未満～600℃における平均冷却速度が速すぎた。そのため、パーライト面積率が 90% 未満であった。さらに、最大径が 2～20 nm の V 系析出物の数密度が 3000 個/ μm^3 未満であった。その結果、鋼材の表面粗さが 5.0 μm を超え、シェービング処理後の肌荒れを十分に抑制することができなかった。

[0150] 以上、本開示の実施の形態を説明した。しかしながら、上述した実施の形態は本開示を実施するための例示に過ぎない。したがって、本開示は上述した実施の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の形態を適宜変更して実施することができる。

請求の範囲

[請求項1]

鋼材であって、
化学組成が、質量％で、
C : 0.50～0.80％、
Si : 1.20～2.90％、
Mn : 0.25～1.00％、
Cr : 0.40～1.90％、
V : 0.05～0.60％、
P : 0.020％以下、
S : 0.020％以下、
N : 0.0100％以下、
Mo : 0～0.50％、
Nb : 0～0.050％、
W : 0～0.60％、
Ni : 0～0.50％、
Co : 0～0.30％、
B : 0～0.0050％、
Cu : 0～0.050％、
Al : 0～0.0050％、及び、
Ti : 0～0.050％、を含有し、
残部がFe及び不純物からなり、
前記鋼材のミクロ組織において、パーライト面積率が90％以上であり、
前記パーライト中のフェライトにおいて、
最大径が2～20nmのV系析出物の数密度が3000～8000
0個/ μm^3 である、
鋼材。

[請求項2]

請求項1に記載の鋼材であって、

前記化学組成は、

Mo : 0.01 ~ 0.50%、

Nb : 0.001 ~ 0.050%、

W : 0.01 ~ 0.60%、

Ni : 0.01 ~ 0.50%、

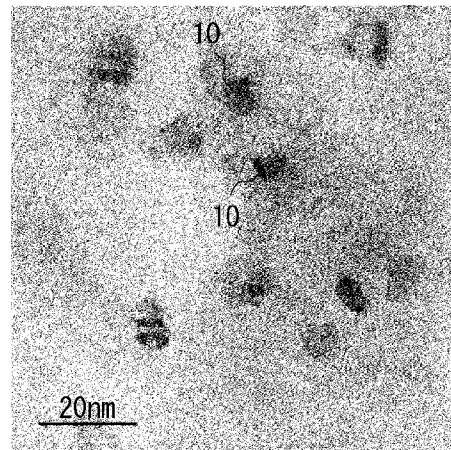
Co : 0.01 ~ 0.30%、及び、

B : 0.0001 ~ 0.0050%、からなる群から選択される 1
種以上を含有する、

鋼材。

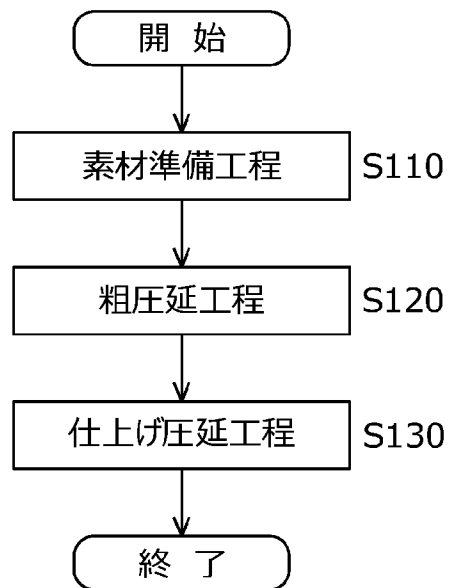
[図1]

FIG.1



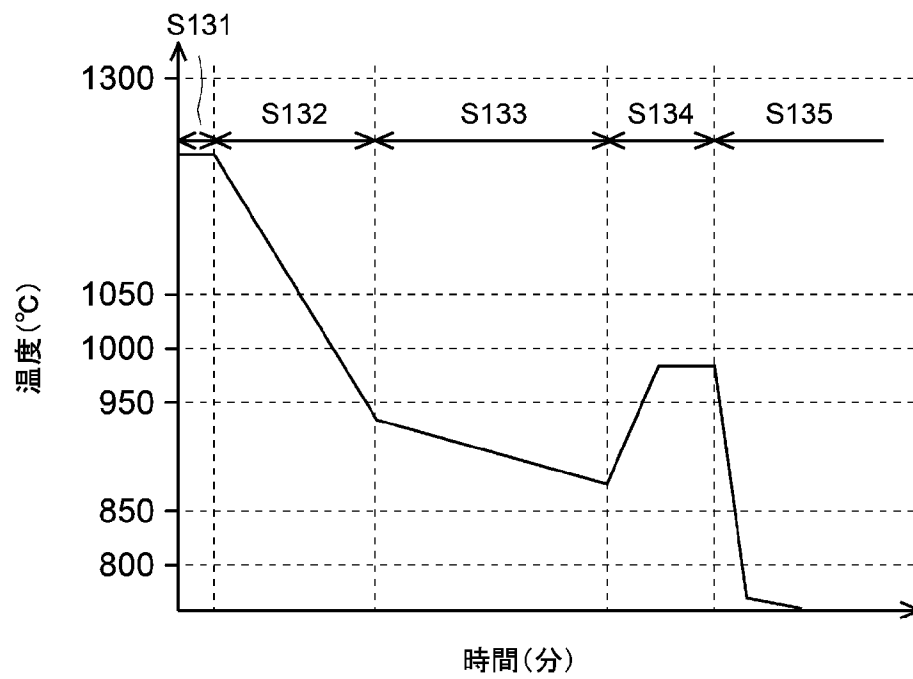
[図2]

FIG.2



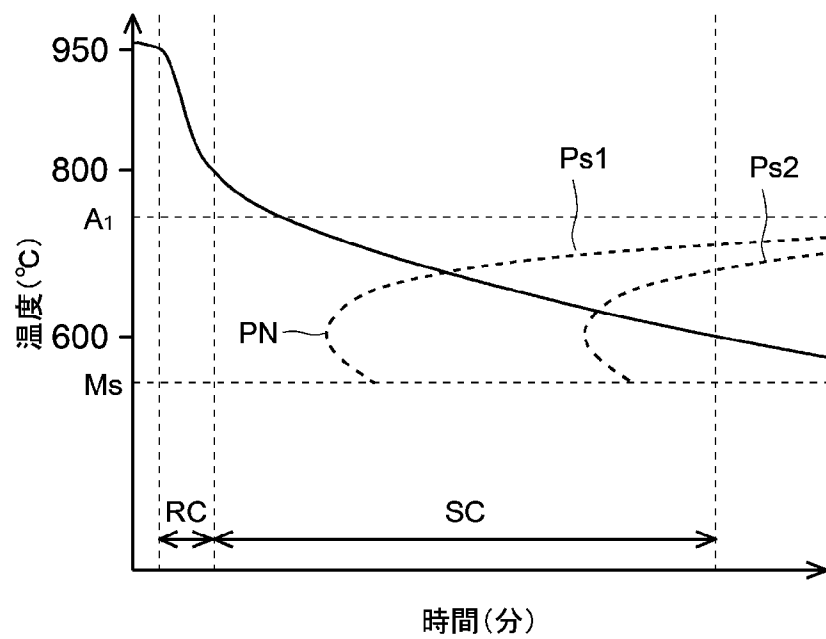
[図3]

FIG.3



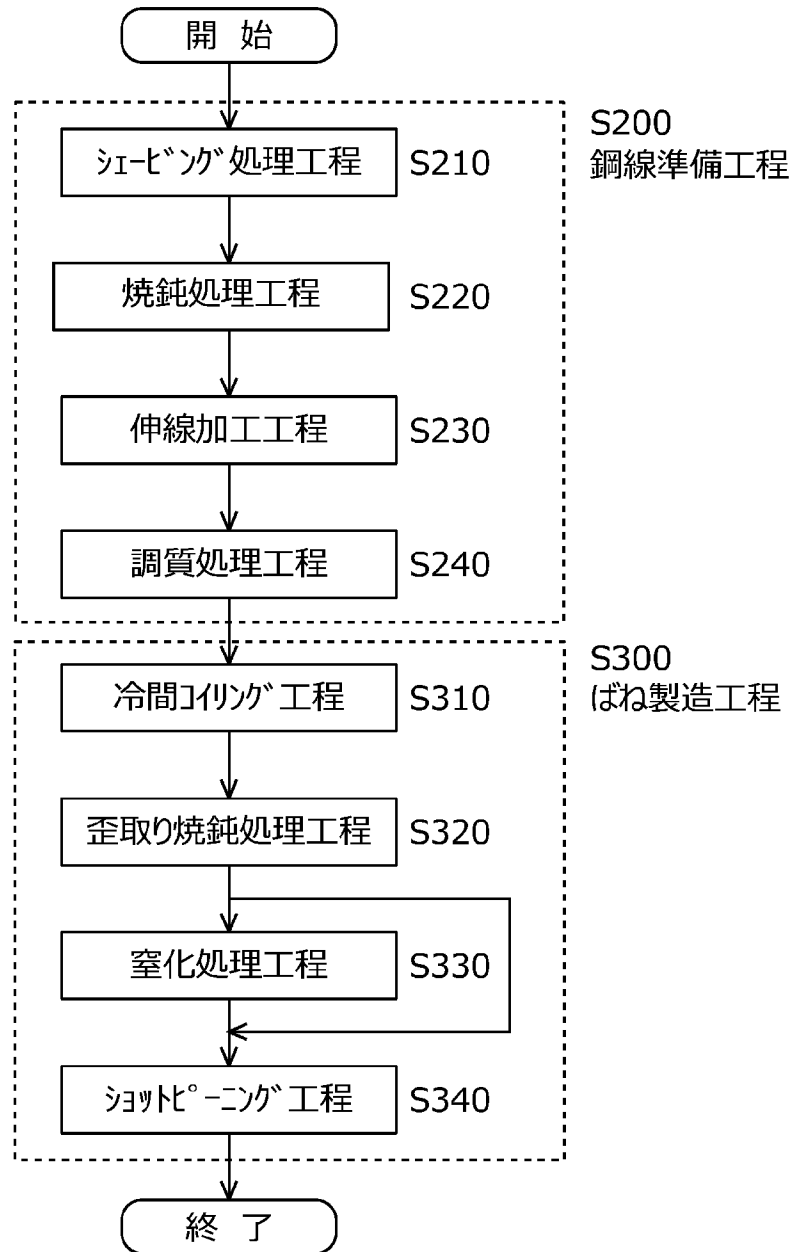
[図4]

FIG.4



[図5]

FIG.5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/012350

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/24(2006.01)i; C22C 38/54(2006.01)i; C21D 8/06(2006.01)n; C21D 9/52(2006.01)n

FI: C22C38/00 301Y; C22C38/24; C22C38/54; C21D8/06 A; C21D9/52 103B

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C38/00-38/60; C21D8/06; C21D9/52

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-180199 A (KOBELITE LTD) 26 June 2002 (2002-06-26)	1-2
A	JP 2014-208900 A (KOBELITE LTD) 06 November 2014 (2014-11-06)	1-2
A	JP 2002-180200 A (KOBELITE LTD) 26 June 2002 (2002-06-26)	1-2
A	JP 2017-179524 A (KOBELITE LTD) 05 October 2017 (2017-10-05)	1-2
A	KR 10-2018-0073389 A (POSCO) 02 July 2018 (2018-07-02)	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 04 June 2021 (04.06.2021)

Date of mailing of the international search report
 15 June 2021 (15.06.2021)

Name and mailing address of the ISA/
 Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/012350

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2002-180199 A	26 Jun. 2002	US 2003/0024610 A1 WO 2002/050328 A1 EP 1347072 A1 KR 10-0682150 B1	
JP 2014-208900 A	06 Nov. 2014	WO 2014/157142 A1 CN 105051230 A KR 10-2015-0119443 A	
JP 2002-180200 A	26 Jun. 2002	US 2003/0024610 A1 WO 2002/050328 A1 EP 1347072 A KR 10-0682150 B1	
JP 2017-179524 A	05 Oct. 2017	WO 2017/169667 A1	
KR 10-2018-0073389 A	02 Jul. 2018	CN 108220773 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/24(2006.01)i; C22C 38/54(2006.01)i; C21D 8/06(2006.01)n; C21D 9/52(2006.01)n FI: C22C38/00 301Y; C22C38/24; C22C38/54; C21D8/06 A; C21D9/52 103B		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C22C38/00-38/60; C21D8/06; C21D9/52 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2002-180199 A（株式会社神戸製鋼所） 26.06.2002（2002-06-26）	1-2
A	JP 2014-208900 A（株式会社神戸製鋼所） 06.11.2014（2014-11-06）	1-2
A	JP 2002-180200 A（株式会社神戸製鋼所） 26.06.2002（2002-06-26）	1-2
A	JP 2017-179524 A（株式会社神戸製鋼所） 05.10.2017（2017-10-05）	1-2
A	KR 10-2018-0073389 A（POSCO） 02.07.2018（2018-07-02）	1-2
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 04.06.2021		国際調査報告の発送日 15.06.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 宮脇 直也 4K 1588 電話番号 03-3581-1101 内線 3435

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/012350

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2002-180199	A	26.06.2002	US	2003/0024610	A1	
				WO	2002/050328	A1	
				EP	1347072	A1	
				KR	10-0682150	B1	
JP	2014-208900	A	06.11.2014	WO	2014/157142	A1	
				CN	105051230	A	
				KR	10-2015-0119443	A	
JP	2002-180200	A	26.06.2002	US	2003/0024610	A1	
				WO	2002/050328	A1	
				EP	1347072	A1	
				KR	10-0682150	B1	
JP	2017-179524	A	05.10.2017	WO	2017/169667	A1	
KR	10-2018-0073389	A	02.07.2018	CN	108220773	A	