

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6212190号
(P6212190)

(45) 発行日 平成29年10月11日(2017.10.11)

(24) 登録日 平成29年9月22日(2017.9.22)

(51) Int.Cl.		F I	
C 2 3 C	8/26	(2006.01)	C 2 3 C 8/26
C 2 1 D	1/06	(2006.01)	C 2 1 D 1/06 A
C 2 1 D	1/76	(2006.01)	C 2 1 D 1/76 M
C 2 1 D	9/32	(2006.01)	C 2 1 D 9/32 A

請求項の数 1 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2016-188525 (P2016-188525)	(73) 特許権者	306039120 DOWAサーモテック株式会社
(22) 出願日	平成28年9月27日(2016.9.27)		東京都千代田区外神田4丁目14番1号
(62) 分割の表示	特願2013-501086 (P2013-501086) の分割	(74) 代理人	100101557 弁理士 萩原 康司
原出願日	平成24年2月22日(2012.2.22)		
(65) 公開番号	特開2017-36509 (P2017-36509A)	(74) 代理人	100096389 弁理士 金本 哲男
(43) 公開日	平成29年2月16日(2017.2.16)		
審査請求日	平成28年9月28日(2016.9.28)	(74) 代理人	100095957 弁理士 亀谷 美明
(31) 優先権主張番号	特願2011-37032 (P2011-37032)		
(32) 優先日	平成23年2月23日(2011.2.23)	(74) 代理人	100187849 弁理士 齊藤 隆史
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	清水 雄一郎 東京都千代田区外神田四丁目14番1号 DOWAサーモテック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化鋼部材の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

機械構造用炭素鋼鋼材または機械構造用合金鋼鋼材からなる鋼部材を、全圧を1としたときに、NH₃ガスの分圧比を0.08~0.34、H₂ガスの分圧比を0.54~0.82、N₂ガスの分圧比を0.09~0.18とする窒化处理ガス雰囲気中で、前記窒化处理ガスの前記鋼部材に接触する流速を1m/s以上とし、500~620で窒化处理することにより、前記鋼部材の表面に厚さが2~17μmの鉄窒化化合物層を形成することを特徴とする、窒化鋼部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化处理により、表面を窒化した窒化鋼部材の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば自動車用の変速機に用いられる歯車には、高い耐ピッチング性と曲げ強度が要求されており、かかる要求に応えるべく、従来より歯車などの鋼部材を強度化させる手法として浸炭処理が広く実施されている。また、耐ピッチング性の更なる向上を目指し、浸炭窒化处理による高強度化に関する発明が提案されている(特許文献1)。一方、プラネタリギヤにおいては、噛み合い次数が高いため、ギヤノイズに対する歯形精度(ひずみ)の影響が大きく、特に内歯ギヤにおいては薄肉大径であるためひずみ易いという問題があっ

た。そこで、鋼部材の歪が少なく、歪ばらつきも小さいガス軟窒化処理に関する発明も提案されている（特許文献2）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平5-70925号公報

【特許文献2】特開平11-72159号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ガス軟窒化処理により高強度化された鋼部材は、歪量、歪ばらつきこそ小さいものの浸炭や浸炭窒化によって高強度化された鋼部材と比較すると耐ピッチング性や曲げ強度等の疲労強度が劣る。

【0005】

また、特許文献1に記載されている浸炭窒化による高強度浸炭窒化部材は、耐ピッチング性こそ浸炭材以上であるが、曲げ強度が低いという問題がある。また、鋼のオーステナイト変態温度域で熱処理がなされるため、歪量が大きくなるという問題がある。さらに浸炭や浸炭窒化処理は焼き入れ工程が必須であるためロット内やロット間の歪ばらつきが大きいという問題がある。

【0006】

また、特許文献2などに記載されたガス軟窒化処理を施した窒化部材は、化合物層を薄くすることで、従来のガス軟窒化処理で得られる化合物層に比べ、耐ピッチング性（最表面の化合物層が剥離する問題）の向上が図られているが、浸炭処理に比べると劣っている。

【0007】

本発明の目的は、高い耐ピッチング性と曲げ強度を有し、さらに浸炭や浸炭窒化処理と比較して低歪である高強度・低歪窒化鋼部材の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意研究した結果、機械構造用炭素鋼・合金鋼からなる鋼部材に所定の窒化処理を実施し、構造（組織）が制御された鉄窒化化合物層を鋼部材の表面に生成することで、低歪かつ十分な耐ピッチング性と曲げ強度を有する高強度・低歪窒化鋼部材が得られることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0009】

本発明によれば、機械構造用炭素鋼・合金鋼からなる鋼部材を、全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.08~0.34、 H_2 ガスの分圧比を0.54~0.82、 N_2 ガスの分圧比を0.09~0.18とする窒化処理ガス雰囲気中で、前記窒化処理ガスの前記鋼部材に接触する流速を1m/s以上（秒速1m以上）とし、500~620の温度範囲で窒化処理することにより、前記鋼部材の表面に厚さが2~17 μm の鉄窒化化合物層を形成することを特徴とする、窒化鋼部材の製造方法が提供される。

【0010】

なお、本明細書中において、「鉄窒化化合物層」とは、ガス窒化処理によって形成された鋼部材表面の γ - Fe_4N や δ - Fe_3N 等に代表される鉄の窒化化合物をいう。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、十分な耐ピッチング性と曲げ強度を有し、さらに浸炭や浸炭窒化処理と比較して低歪である窒化鋼部材の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】熱処理装置の説明図である。

10

20

30

40

50

【図2】ガス窒化処理の工程説明図である。

【図3】ローラーピッチング試験の説明図である。

【図4】小野式回転曲げ疲労試験の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面を参照して、本発明の窒化鋼部材について詳細に説明する。

【0014】

本発明の窒化鋼部材は、機械構造用炭素鋼鋼材または機械構造用合金鋼鋼材からなる鋼部材（母材）の表面に、 ϵ 相を主成分とする鉄窒化化合物層を有するものである。

【0015】

本発明の機械構造用炭素鋼鋼材はJIS G 4051（「機械構造用炭素鋼鋼材」）等
10
等に示される。本発明の窒化鋼部材に用いる機械構造用炭素鋼鋼材として例えばS45C、S35Cなどが好ましい。

【0016】

また、本発明の機械構造用合金鋼鋼材は、JIS G 4053（「機械構造用合金鋼鋼材」）、JIS G 4052（「焼入性を保証した構造用鋼鋼材（H鋼）」）JIS G 4202（「アルミニウムクロムモリブデン鋼鋼材」）等
20
に示される鋼材を意味し、例えばクロム鋼、クロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼が好ましい。さらには、種類の記号では、SCr420、SCM420、SCr420H、SCM420H、SACM645、SNCM等が本発明の機械構造用合金鋼鋼材として特に好ましい。

【0017】

本発明の窒化鋼部材は、以上の鋼材種からなる鋼部材をガス窒化処理することにより、
表面上に ϵ 相を主成分とする鉄窒化化合物層が形成されている。また、鉄窒化化合物層の厚さが、 $2 \sim 17 \mu\text{m}$ である。鉄窒化化合物層の厚さが $2 \mu\text{m}$ 未満では薄すぎて疲労強度向上は限定的と考えられる。一方、鉄窒化化合物層の厚さが $17 \mu\text{m}$ を超えると ϵ 相の窒素拡散速度が遅いことにより、 ϵ 層中の窒素濃度が厚さの増加とともに高くなり ϵ 相の割合が増加する。その結果、鉄窒化化合物層全体が脆くなることから剥離が発生し易くなり疲労強度向上は期待できない。前記鉄窒化化合物層の厚さが $4 \sim 16 \mu\text{m}$ であることが、前記理由および量産時の膜厚のばらつきを考慮した場合、さらに好ましい。

【0018】

本発明の窒化鋼部材の耐ピッチング性と曲げ強度が優れる理由は次の通り考えられる。

ϵ 相は Fe_4N で表される鉄窒化化合物で、その結晶構造はFCC（面心立方晶）であり、12個のすべり系を有するため、結晶構造自体が韌性に富んでいる。さらに、微細な等軸組織を形成するため、疲労強度が向上すると考えられる。これに対し、 ϵ 相は Fe_3N で表される鉄窒化化合物で、その結晶構造はHCP（六方最密充填）であり、底面すべりが優先されるため、結晶構造自体に「変形しにくく脆い」という性質があると考えられる。また、 ϵ 相は粗大な柱状晶を形成しており、疲労強度には不利な組織形態をしている。

【0019】

本発明の窒化鋼部材の表面に形成された鉄窒化化合物層の、X線管球として銅管球を使用したときのX線回折（XRD）プロファイルによる 2θ :41.2度付近に出現する ϵ 相- Fe_4N の(111)結晶面のX線回折ピーク強度 $I_{\text{Fe}_4\text{N}(111)}$ と 2θ :43.7度付近に出現する ϵ 相- Fe_3N の(111)結晶面のX線回折ピーク強度 $I_{\text{Fe}_3\text{N}(111)}$ において、 $I_{\text{Fe}_4\text{N}(111)} / \{ I_{\text{Fe}_4\text{N}(111)} + I_{\text{Fe}_3\text{N}(111)} \}$ で表される強度比が0.5以上となる。前述の通り、「鉄窒化化合物層」は、 ϵ 相- Fe_3N 及び/または ϵ 相- Fe_4N 等からなる層であり、鋼部材表面についてX線回折分析を実施したとき、前記X線ピーク強度の比を測定することにより ϵ 相が主成分であるか否かを判定する。本発明においては前記強度比が0.5以上であれば、窒化鋼部材の表面に形成された鉄窒化化合物層は ϵ 相が主成分であると判定することができ、窒化鋼部材の耐ピッチング性と曲げ強度が優れたものとなる。前記強度比は0.8以上が好ましく、さらには0.9以上であることがより好ましい。
40
50

【 0 0 2 0 】

また、窒素拡散層を有することを特徴とする。窒素拡散層は前記鉄窒素化合物層の下に窒化処理工程において形成され、母材の機械的強度を向上させるとともに、疲労強度の向上にも寄与する。その厚さ（母材表面からの深さ）は窒化鋼部材の用途によるため特に規定されるものではないが 0.1 ~ 1.0 mm 程度であれば良い。

【 0 0 2 1 】

ここで、鋼部材に施されるガス窒化処理は、例えば図 1 に示される熱処理装置 1 を用いて行われる。図 1 に示すように、熱処理装置 1 は、搬入部 10、加熱室 11、冷却室 12、搬出コンベア 13 を有している。搬入部 10 に置かれたケース 20 内には、例えば自動変速機に用いられる歯車などの機械構造用炭素鋼鋼材または機械構造用合金鋼鋼材からなる鋼部材が収納されている。加熱室 11 の入り口側（図 1 において左側）には、開閉自在な扉 21 を備えた入り口フード 22 が取り付けられている。

10

【 0 0 2 2 】

加熱室 11 内には、ヒータ 25 が設けられている。加熱室 11 内には、 N_2 ガス、 NH_3 ガス、 H_2 ガスからなる処理ガスが導入され、加熱室 11 内に導入された処理ガスがヒータ 25 で所定の温度にされて、加熱室 11 内に搬入された鋼部材の窒化処理が行われる。加熱室 11 の天井には、加熱室 11 内の処理ガスを攪拌し、鋼部材の加熱温度を均一化させ、また鋼部材にあたる処理ガスの風速を制御するファン 26 が装着されている。加熱室 11 の出口側（図 1 において右側）には、開閉自在な中間扉 27 が取り付けられている。

20

【 0 0 2 3 】

冷却室 12 には、鋼部材が収納されたケース 20 を昇降させるエレベータ 30 が設けられている。冷却室 12 の下部には、冷却用の油 31 を溜めた油槽 32 が設けられている。冷却室 12 の出口側（図 1 において右側）には、開閉自在な扉 35 を備えた出口フード 36 が取り付けられている。

【 0 0 2 4 】

かかる熱処理装置 1 において、鋼部材が収納されたケース 20 が、プッシャー等により、搬入部 10 から加熱室 11 内に搬入される。そして、加熱室 11 内に処理ガスが導入され、加熱室 11 内に導入された処理ガスがヒータ 25 で所定の高温にされて、ファン 26 で処理ガスを攪拌しながら加熱室 11 内に搬入された鋼部材の窒化処理が行われる。

30

【 0 0 2 5 】

（昇温工程）

ここで、加熱室 11 内には、例えば図 2 に示すように、先ず、20 分間、 N_2 ガス 40 L/min と NH_3 ガス 10 L/min が導入され、ヒータ 25 で加熱されて、600 の窒化処理温度まで昇温する工程が行われる。昇温工程は加熱中に鋼部材の酸化を防止できれば精密な雰囲気制御の必要はなく、例えば不活性ガスである N_2 や Ar 雰囲気中で加熱を行っても良い。また上記のように NH_3 ガス等を適量混合して還元性の雰囲気としても良い。

【 0 0 2 6 】

（窒化処理工程）

その後、 NH_3 ガスと H_2 ガスが流量を制御されて所定の窒化処理ガス組成になるように加熱室 11 内に導入され、ヒータ 25 で加熱されて、例えば 120 分間、600 に均熱され、鋼部材を窒化処理する工程が行われる。鋼部材を窒化処理する工程では、加熱室 11 内の NH_3 ガスの分圧比、 H_2 ガスの分圧比及び N_2 ガスの分圧比が所定の範囲に制御される。これらのガス分圧比は加熱室 11 に供給する NH_3 ガスの流量と H_2 ガスの流量により調整することができる。なお、 N_2 ガスは窒化処理温度において NH_3 ガスが分解することで得られる。さらに N_2 ガスを添加してもよく、その流量を調整して前記分圧比に制御しても良い。

40

【 0 0 2 7 】

鋼部材を窒化処理する工程は、加熱室 11 内に導入する NH_3 ガスの流量と H_2 ガスの

50

流量が制御され、さらに必要に応じて N_2 ガスが導入され、鋼部材の加熱温度は $500 \sim 620$ に維持されるのが好ましい。窒化処理温度が 620 よりも高いと部材の軟化、歪が増大する恐れがあり、 500 より低いと鉄窒化化合物層の形成速度が遅くなりコスト的に好ましくなく、また相を形成しやすくなる。より好ましくは $550 \sim 610$ である。さらには 560 以上で窒化処理することが好ましい。

【0028】

窒化処理工程におけるガス分圧比は、全圧を1としたときに、 NH_3 ガスが $0.08 \sim 0.34$ 、 H_2 ガスが $0.54 \sim 0.82$ 、 N_2 ガスが $0.09 \sim 0.18$ となるように制御する。 H_2 ガスの分圧比が 0.54 より小さいと相が主成分の鉄窒化化合物が生成しやすく、 0.82 を超えると鉄窒化化合物の生成速度が非常に遅くなるか生成しなくなる恐れがある。また、 NH_3 ガスの分圧比が 0.34 より大きいと相が主成分の鉄窒化化合物が生成しやすく、 0.08 より小さいと鉄窒化化合物の生成速度が非常に遅くなるか生成しなくなる恐れがある。なお、窒化処理工程における全圧は減圧あるいは加圧雰囲気でも良い。ただし、熱処理装置の製造コストや扱いやすさから略大気圧、例えば $0.9 \sim 1.1$ 気圧であることが好ましい。また、前記ガス分圧比は、全圧を1としたときに、 NH_3 ガスが $0.09 \sim 0.20$ 、 H_2 ガスが $0.60 \sim 0.80$ 、 N_2 ガスが $0.09 \sim 0.17$ であることがさらに好ましい。

【0029】

本発明の窒化処理工程において、加熱室内のファンなどにより、窒化処理ガスが被処理物にあたるガスの速度（風速）、すなわち被処理物表面に接触する窒化処理ガスの相対的な速度、を 1 m/s 以上、さらには 1.5 m/s 以上に制御することが好ましい。 1 m/s より風速が小さいと鉄窒化化合物の形成にムラが発生したり、鉄窒化化合物が形成されない恐れもある。また、風速は大きい方が鉄窒化化合物層を均一に形成することができるが、風速を大きくするためにはファンの能力などを上げるなどの装置上の対応が必要である。ただし装置作製のコスト、大きさなどを考えると風速は大きくても 6 m/s 程度であることが好ましい。なお、従来のガス軟窒化処理においては、例えば風速が 0 m/s でも相が主成分の窒化化合物は不具合なく形成される。なお、従来のガスの流速（風速）は、ファンで攪拌したとしても 0.5 m/s 程度であり、炉内でも風速にバラつきがある。

【0030】

（冷却工程）

そして、鋼部材を窒化処理する工程が終了すると、次に、鋼部材が収納されたケース20が冷却室12に搬送される。そして、冷却室12では、エレベータ30によって、鋼部材が収納されたケース20が油槽32に沈められて、鋼部材の冷却が例えば15分間行われる。そして、冷却が終了すると、鋼部材が収納されたケース20が搬出コンベア13に搬出される。こうして、窒化処理が終了する。なお、冷却工程における冷却は、上記油冷である必要はなく、空冷、ガス冷、水冷などの方法で行ってもよい。

【0031】

かかる条件で窒化処理が行われることにより、表面に相を主成分とする鉄窒化化合物層を有する窒化鋼部材を得ることができる。こうして得られた鋼部材は、内部に窒素拡散層および窒化物が形成されて強化されると共に、表面に相リッチな鉄窒化化合物層が形成されて、十分な耐ピッチング性と曲げ強度を有する。前述のX線回折による分析の他にも、鋼部材をEBSP (Electron BackScatter Diffraction Pattern) 解析を実施すると、表面の鉄窒化化合物層が相リッチな（相が主成分である）構造となっていることが分かる。

なお、鉄窒化化合物の厚さは、本発明の窒化処理ガス雰囲気中において、時間と温度で制御することができる。すなわち時間を長くすると鉄窒化化合物は厚くなり、温度を高くすると鉄窒化化合物の生成スピードが大きくなる。

【0032】

また、浸炭や浸炭窒化処理と比較して本発明の窒化処理はオーステナイト変態温度以下の処理であるため歪量が小さい。また、浸炭・浸炭窒化処理で必須工程である焼き入れ

10

20

30

40

50

工程が省略できるため、歪ばらつき量も小さい。その結果、低歪で、かつ、高強度・低歪窒化鋼部材を得ることができた。

【0033】

また、疲労強度は部材表面に形成される鉄窒化化合物層の組成（ γ 相または δ 相）が支配的であると考えられる。以下実施例に示す。

【実施例】

【0034】

[実施例1]

まず、試供材として機械構造用合金鋼鋼材SCM420からなる鋼部材を用意した。鋼部材の形状は、窒化品質確認用の円板状の試験片、ローラーピッチング試験片、回転曲げ試験片、歪量の評価用として、ギヤ試験片を用意し、歯形の変化、及び真円度の変化を評価した。

10

【0035】

次に、窒化の前処理として各試験片について真空洗浄で脱脂乾燥を実施した。

【0036】

次に、鋼部材に窒化处理を実施した。まず、昇温工程においては、炉内（加熱室内）に供給する NH_3 ガスの流量を $10\text{L}/\text{min}$ 、 N_2 ガスの流量を $40\text{L}/\text{min}$ として、窒化处理温度まで昇温した。続いて実施した窒化处理の条件としては、温度 600 、窒化時間は 1.5h （時間）とし、 NH_3 ガスと H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を 1 としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を 0.15 （ NH_3 ガスの分圧 15.2kPa ）、 H_2 ガスの分圧比を 0.72 （ H_2 ガスの分圧 73.0kPa ）、 N_2 ガスの分圧比を 0.13 （ N_2 ガスの分圧 13.2kPa ）とした。なお、窒化处理時の炉内の全圧は大気圧であり、窒化ガスをファンの回転数をあげて強撹拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速（風速）を $2\sim 2.6\text{m}/\text{s}$ とした。その後、 130 の油に各試験片を浸漬して油冷し各評価を行った。

20

なお、窒化处理ガス中の NH_3 分圧の分析は「ガス軟窒化炉 NH_3 分析計」（HORI B A製、形式FA-1000）、 H_2 分圧の分析は「連続式ガス分析計」（A B B製、形式AO2000）で実施し、残部を N_2 分圧とした。また、ガス流速は「風車式風速計」（testo製、形式350M/XL）で予め窒化处理前に室温である以外は窒化处理工程と同じ条件（窒化处理ガス組成、ファンの回転数など）で測定した。

30

【0037】

[実施例2]

窒化处理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの流量を調整し、炉内の全圧を 1 としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を 0.14 （ NH_3 ガスの分圧 14.2kPa ）、 H_2 ガスの分圧比を 0.77 （ H_2 ガスの分圧 78.0kPa ）、 N_2 ガスの分圧比を 0.09 （ N_2 ガスの分圧 9.1kPa ）として、温度 600 、窒化時間は 2 時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

【0038】

[実施例3]

窒化处理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を 1 としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を 0.12 （ NH_3 ガスの分圧 12.2kPa ）、 H_2 ガスの分圧比を 0.72 （ H_2 ガスの分圧 73.0kPa ）、 N_2 ガスの分圧比を 0.16 （ N_2 ガスの分圧 16.2kPa ）として、温度 600 、窒化時間は 2 時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

40

【0039】

[実施例4]

窒化处理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を 1 としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を 0.1 （ NH_3 ガスの分圧 10.1kPa ）、 H_2 ガスの分圧比を 0.76 （ H_2 ガスの分圧 77.0kPa ）

50

Pa)、 N_2 ガスの分圧比を0.14(N_2 ガスの分圧14.2kPa)として、温度610、窒化時間は8時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

【0040】

[実施例5]

試供材としてSCr420からなる鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.16(NH_3 ガスの分圧16.2kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.74(H_2 ガスの分圧75.0kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.1(N_2 ガスの分圧10.1kPa)として、温度600、窒化時間は2時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

10

【0041】

[実施例6]

試供材としてSACM645からなる鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.16(NH_3 ガスの分圧16.2kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.74(H_2 ガスの分圧75.0kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.1(N_2 ガスの分圧10.1kPa)として、温度600、窒化時間は2時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

【0042】

20

[実施例7]

試供材としてSNCM220からなる鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.16(NH_3 ガスの分圧16.2kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.74(H_2 ガスの分圧75.0kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.1(N_2 ガスの分圧10.1kPa)として、温度600、窒化時間は2時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

【0043】

[実施例8]

試供材としてS35Cからなる鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.16(NH_3 ガスの分圧16.2kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.74(H_2 ガスの分圧75.0kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.1(N_2 ガスの分圧10.1kPa)として、温度600、窒化時間は2時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

30

【0044】

[比較例1]

窒化処理の条件として、温度570、窒化時間は2時間とし、 NH_3 ガスと H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.4(NH_3 ガスの分圧40.5kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.28(H_2 ガスの分圧28.4kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.32(N_2 ガスの分圧32.4kPa)とし、さらに窒化ガスをファンの回転数を小さくして攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速(風速)を0~0.5m/sとした以外は、実施例1と同様の製造方法で試験片を作製した。

40

【0045】

[比較例2]

窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.1(NH_3 ガスの分圧10.1kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.85(H_2 ガスの分圧86.1kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.05(N_2 ガスの分圧5.1kPa)として、温度610

50

、窒化時間は2時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

【0046】

[比較例3]

窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.1 (NH_3 ガスの分圧10.1 kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.82 (H_2 ガスの分圧83.1 kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.08 (N_2 ガスの分圧8.1 kPa)として、温度610、窒化時間は2時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

10

【0047】

[比較例4]

窒化処理の条件として、 NH_3 ガス、 H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.14 (NH_3 ガスの分圧14.2 kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.73 (H_2 ガスの分圧74.0 kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.13 (N_2 ガスの分圧13.2 kPa)として、温度610、窒化時間は7時間とした以外は、実施例1と同様の製造方法によって試験片を作製した。

【0048】

[比較例5]

実施例1と同様の試験片を、従来のガス浸炭法により浸炭処理後、油焼入れして試験片を作製した。

20

【0049】

[比較例6]

窒化ガスをファンの回転数を小さくして攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速(風速)を0~0.5 m/sとした以外は、実施例1と同様の方法で試験片を作製した。すなわち、本願発明の窒化処理ガスのガス流速より小さい条件で窒化処理を実施した。

【0050】

[比較例7]

試供材としてSCr420からなる鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、温度600、窒化時間は2時間とし、 NH_3 ガスと H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.4 (NH_3 ガスの分圧40.5 kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.28 (H_2 ガスの分圧28.4 kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.32 (N_2 ガスの分圧32.4 kPa)とし、さらに窒化ガスをファンの回転数を小さくして攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速(風速)を0~0.5 m/sとした以外は、実施例1と同様の製造方法で試験片を作製した。

30

【0051】

[比較例8]

試供材としてSACM645からなる鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、温度600、窒化時間は2時間とし、 NH_3 ガスと H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.4 (NH_3 ガスの分圧40.5 kPa)、 H_2 ガスの分圧比を0.28 (H_2 ガスの分圧28.4 kPa)、 N_2 ガスの分圧比を0.32 (N_2 ガスの分圧32.4 kPa)とし、さらに窒化ガスをファンの回転数を小さくして攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速(風速)を0~0.5 m/sとした以外は、実施例1と同様の製造方法で試験片を作製した。

40

【0052】

[比較例9]

50

試供材としてS N C M 2 2 0 からの鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、温度 6 0 0 、窒化時間は 2 時間とし、N H ₃ ガスと H ₂ ガス及び N₂ ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を 1 としたときに、N H ₃ ガスの分圧比を 0 . 4 (N H ₃ ガスの分圧 4 0 . 5 k P a)、H ₂ ガスの分圧比を 0 . 2 8 (H ₂ ガスの分圧 2 8 . 4 k P a)、N₂ ガスの分圧比を 0 . 3 2 (N₂ ガスの分圧 3 2 . 4 k P a) とし、さらに窒化ガスをファンの回転数を小さくして攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速 (風速) を 0 ~ 0 . 5 m / s とした以外は、実施例 1 と同様の製造方法で試験片を作製した。

【 0 0 5 3 】

[比較例 1 0]

試供材として S 3 5 C からの鋼部材を用意し、窒化処理の条件として、温度 5 8 0 、窒化時間は 1 . 5 時間とし、N H ₃ ガスと H ₂ ガス及び N₂ ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を 1 としたときに、N H ₃ ガスの分圧比を 0 . 4 (N H ₃ ガスの分圧 4 0 . 5 k P a)、H ₂ ガスの分圧比を 0 . 2 8 (H ₂ ガスの分圧 2 8 . 4 k P a)、N₂ ガスの分圧比を 0 . 3 2 (N₂ ガスの分圧 3 2 . 4 k P a) とし、さらに窒化ガスをファンの回転数を小さくして攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速 (風速) を 0 ~ 0 . 5 m / s とした以外は、実施例 1 と同様の製造方法で試験片を作製した。

【 0 0 5 4 】

[評価方法]

1 . 鉄窒化化合物層の厚さ測定

円板状の試験片を切断機で切断し、エメリー紙で断面を研磨し、バフで研磨面を鏡面仕上げした。金属 (光学) 顕微鏡を用いて倍率 4 0 0 倍で前記断面を観察し、鉄窒化化合物層の厚さ測定した。

【 0 0 5 5 】

2 . 窒素拡散層の深さ (厚さ) (硬さ分布の測定)

J I S Z 2 2 4 4 (2 0 0 3) 記載の「ピッカーズ硬さ試験・試験方法」に準拠して、試験力を 1 . 9 6 N とし、円板状の試験片表面から所定の間隔で硬さを測定し、J I S G 0 5 6 2 「鉄鋼の窒化層深さ測定方法」に準拠し、表面から母材硬さより 5 0 H V 高い硬さの点に至るまでの距離を拡散層の厚さとした。

【 0 0 5 6 】

3 . X 線回折

X 線管球は C u 管球を使用し、電圧 : 4 0 k V、電流 : 2 0 m A、走査角度 2 θ : 2 0 ~ 8 0 °、スキャンステップ 1 ° / m i n で円板状の試験片の表面の X 線回折を行った。

【 0 0 5 7 】

このとき、X 線回折プロファイルによる 2 θ : 41.2 度付近に出現する Fe₄N の (1 1 1) 結晶面の X 線回折ピーク強度 I Fe₄N (1 1 1) と、2 θ : 43.7 度付近に出現する Fe₃N の (1 1 1) 結晶面の X 線回折ピーク強度 I Fe₃N (1 1 1) において、I Fe₄N (1 1 1) / { I Fe₄N (1 1 1) + I Fe₃N (1 1 1) } で表されるピーク強度の強度比 (X R D 回折強度比) を測定した。なお、ピーク強度とは、具体的には、X 線回折プロファイルにおけるピーク高さを示す。

【 0 0 5 8 】

4 . ローラーピッチング試験

R P 2 0 1 型疲労強度試験機を用い、すべり率 : - 4 0 %、潤滑剤 : A T F (オートマチックトランスミッション用潤滑剤)、潤滑剤温度 : 9 0 、潤滑材の量 : 2 . 0 L / m i n、ダイローラークラウニング : R 7 0 0 の条件で試験した。図 3 に示すように、小ローラー 1 0 0 に大ローラー 1 0 1 を加重 P で押し当てながら、小ローラー 1 0 0 を回転させた。小ローラー回転数 : 1 5 6 0 r p m、面圧 : 1 3 0 0 M P a と 1 5 0 0 M P a の 2 条件、また、大・小のローラーピッチング試験片は同一材料で同一の窒化処理を行った。

【 0 0 5 9 】

5 . 小野式回転曲げ疲労試験

10

20

30

40

50

小野式回転曲げ疲労試験機にて、下記の試験条件で評価した。図4に示すように、曲げモーメントMを加えた状態で試験片102を回転させることにより、上側で圧縮応力、下側で引っ張り応力を試験片102に繰り返し加えて疲労試験を行った。

温度：室温

雰囲気：大気中

回転数：3500rpm

【0060】

6. ギヤ歪量

評価のために、機械加工により、外形 120mm、歯先内径 106.5mm、ギヤ幅 30mm、モジュール 1.3、歯数 78、ねじれ角/圧力角 20度の内歯歯車を製作し、前記窒化処理、もしくは浸炭処理を施し、歯形の変化、および真円度の変化を測定し、評価した。評価としての歯形、歯すじ傾きを用いた。歯すじの傾きは、1個のギヤにおいて90度ごとに4歯測定し、且つ、10個のギヤを同様に測定し最大幅を歯すじの傾きばらつきとした。また真円度として真円度の変化量を評価し、10個のギヤにおける真円度の変化量の平均値を真円度の変化量とした。

【0061】

(評価結果)

1. 鉄窒化化合物層の厚さ測定

実施例における鉄窒化化合物層の厚さはそれぞれ、6 μ m(実施例1)、2 μ m(実施例2)、9 μ m(実施例3)、13 μ m(実施例4)、10 μ m(実施例5)、3 μ m(実施例6)、7 μ m(実施例7)、11 μ m(実施例8)であった。また、比較例における鉄窒化物層の厚さはそれぞれ、15 μ m(比較例1)、約0~0.5 μ mでバラツキあり(比較例2)、1 μ m(比較例3)、18 μ m(比較例4)、約0.5~1 μ mでバラツキあり(比較例6)、18 μ m(比較例7)、15 μ m(比較例8)、17 μ m(比較例9)、16 μ m(比較例10)であった。

【0062】

2. 窒素拡散層の深さ(厚さ)

実施例における窒素拡散層の厚さはそれぞれ、0.22mm(実施例1)、0.28mm(実施例2)、0.20mm(実施例3)、0.52mm(実施例4)、0.23mm(実施例5)、0.18mm(実施例6)、0.20mm(実施例7)、0.11mm(実施例8)であった。また、比較例における窒素拡散層の厚さはそれぞれ、0.22mm(比較例1)、0.21mm(比較例2)、0.21mm(比較例3)、0.47mm(比較例4)、0.20mm(比較例6)、0.24mm(比較例7)、0.19mm(比較例8)、0.21mm(比較例9)、0.10mm(比較例10)であった。

【0063】

3. X線回折による化合物層の分析

実施例におけるX線回折の強度比はそれぞれ、0.978(実施例1)、0.986(実施例2)、0.981(実施例3)、0.982(実施例4)、0.971(実施例5)、0.979(実施例6)、0.980(実施例7)、0.980(実施例8)であり、いずれも強度比は0.5以上であり、鉄窒化化合物層は γ' 相が主成分であると判定された。また、実施例5~8も鉄窒化化合物層は γ' 相が主成分であると判定された。

【0064】

また、比較例におけるX線回折の強度比はそれぞれ、0.010(比較例1)、0.195(比較例2)、0.983(比較例3)、0.985(比較例4)、0.197(比較例6)、0.012(比較例7)、0.011(比較例8)、0.010(比較例9)、0.011(比較例10)であった。すなわち、本発明におけるX線回折の強度比から判定する鉄窒化化合物層は、比較例1、2の鉄窒化化合物層は γ' 相が主成分と判定された。また、比較例6~10の鉄窒化化合物層も γ' 相が主成分と判定された。また、比較例3、4は γ' 相が主成分と判定された。

【0065】

10

20

30

40

50

なお、試験片の断面の鉄窒化化合物層中における γ' 相の面積率について、EBSP（電子後方散乱パターン）分析を用いて調べたところ、63%（実施例1）、85%（実施例2）、59%（実施例3）、78%（実施例4）であり γ' 相がリッチであることが確認できた。また、比較例1において γ' 相は0%であり、ほぼ γ 相の単相であることが確認された。さらに、EBSP分析によると、比較例3の γ' 相の面積率は10%であり、比較例4は28%であった。したがって、比較例3と比較例4は γ 相が主成分（ γ 相リッチ）であると推定される。ただし、前述のX線回折強度比における判定ではこれらの比較例は γ' 相が主成分（ γ' 相リッチ）と判定されている。この2つの分析手法の違いによる判定結果の相違は次のように考察される。例えば、比較例4のEBSPの断面分析の写真を観察すると、鉄窒化化合物層において表面側が γ' 相リッチであり、内部が γ 相リッチであることが認められた。しかし、X線回折においてはその分析の特徴として表面側の情報しか得られないので γ' 相リッチと判定されることになる。実際の鉄窒化化合物層の内部は脆い γ 相リッチであるため、後述のローラーピッチング試験の結果が実施例と比べ劣ったと考えられる。

【0066】

4. ローラーピッチング試験

ローラーピッチング試験の結果、実施例1～実施例8においては、面圧1300MPaにおいて 1.0×10^7 サイクル試験後においても試験片表面の鉄窒化化合物層の剥離は認められず、本発明で目標とする疲労強度条件をクリアした。また、実施例1においては面圧1500MPaにおいても 1.0×10^7 サイクル試験後において試験片表面の窒化層の剥離は認められなかった。

【0067】

これに対し、比較例1の試験片は、面圧1300MPaでは 1.0×10^4 サイクル試験後、1500MPaでは 1×10^3 サイクル試験後において表面に形成されていた鉄窒化化合物層の多くの部分に剥離不良の発生が認められ、本発明で目的とする疲労強度条件を満たさなかった。また、比較例2の試験片は面圧1300MPaで 4.2×10^6 サイクル試験後においてピッチング不良発生、比較例3の試験片は面圧1300MPaで 5.5×10^6 サイクル試験後においてピッチング不良発生、比較例4は面圧1300MPaで 1.0×10^4 サイクル試験後において鉄窒化化合物層の剥離不良が発生し、いずれも本発明の目的とする疲労強度条件を満たさなかった。また、比較例7の試験片は面圧1300MPaで 1.0×10^3 サイクル試験後において鉄窒化化合物層の剥離不良、比較例8の試験片は面圧1300MPaで 1.0×10^3 サイクル試験後において鉄窒化化合物層の剥離不良、比較例9は面圧1300MPaで 5.0×10^4 サイクル試験後において鉄窒化化合物層の剥離不良、比較例10は面圧1300MPaで 5.0×10^4 サイクル試験後において鉄窒化化合物層の剥離不良が発生し、いずれも本発明の目的とする疲労強度条件を満たさなかった。

【0068】

以上より、鉄窒化化合物層の厚さが約0～0.5 μm （比較例2）及び1 μm （比較例3）では 4.2×10^6 サイクル、 5.5×10^6 サイクルでピッチング不良が発生し疲労強度の向上が大きく望めず、また鉄窒化化合物層の厚さが18 μm （比較例4）では 1.0×10^4 サイクルで剥離不良が発生し、疲労強度の向上は大きく望めないことがわかった。また、鉄窒化化合物層が15～18 μm であっても γ 相を主成分とする比較例1、比較例7～10は、前述の通り疲労強度が小さかった。また、比較例6についてローラーピッチング試験を実施していないが、本願発明より薄い γ 相リッチの鉄窒化化合物層であるため、比較例2、比較例3と同様に、疲労強度の向上は大きく望めない結果が予想される。

【0069】

5. 小野式回転曲げ試験

回転曲げ疲労試験の結果、実施例1では 1.0×10^5 サイクルにおける強度が500MPaである。一方、比較例1では440MPaであり、本発明による実施例1の窒化処

10

20

30

40

50

理が高い曲げ疲労強度を有することが明らかである。

【0070】

6. 歪量

歪量の評価用ギヤ試験片において、歯すじ修正量は $5\mu\text{m}$ （実施例1）、 $7\mu\text{m}$ （実施例2）、 $4\mu\text{m}$ （実施例3）、 $8\mu\text{m}$ （実施例4）、 $6\mu\text{m}$ （比較例1）、 $8\mu\text{m}$ （比較例2）、 $6\mu\text{m}$ （比較例3）、 $7\mu\text{m}$ （比較例4）、 $38\mu\text{m}$ （比較例5）であった。また、真円度評価用試験片において、真円度は $15\mu\text{m}$ （実施例1）、 $17\mu\text{m}$ （実施例2）、 $12\mu\text{m}$ （実施例3）、 $18\mu\text{m}$ （実施例4）、 $15\mu\text{m}$ （比較例1）、 $17\mu\text{m}$ （比較例2）、 $15\mu\text{m}$ （比較例3）、 $16\mu\text{m}$ （比較例4）、 $47\mu\text{m}$ （比較例5）であった。

10

【0071】

浸炭処理した比較例5と比べて、実施例1～4の本願発明の歪量は、従来の窒化処理である比較例1と同等であり、歪量が小さいまま高い疲労強度、曲げ強度を達成できていることを確認した。

【0072】

実施例1～8と比較例1～10の鋼材種類、窒化処理条件（温度、処理時間、 N_2 ガス分圧、 NH_3 ガス分圧、 H_2 ガス分圧を表1にまとめて示す。実施例1～8と比較例1～10の鋼材種類の成分組成を、表2～6に示す。実施例1～8と比較例1～10の特性（ローラーピッチング試験）は、表7に示す結果となった。

20

【0073】

[実施例9]

窒化処理温度を変更しても本発明の窒化鋼部材が作製できるか調査した。まず、試供材として機械構造用合金鋼鋼材SCM420からなる鋼部材を用意した。鋼部材の形状は、窒化品質確認用の円板状の試験片とした。次に、窒化の前処理として試験片について真空洗浄で脱脂乾燥を実施した。次に、鋼部材に窒化処理を実施した。

まず、昇温工程においては、炉内（加熱室内）に供給する NH_3 ガスの流量を $10\text{L}/\text{min}$ 、 N_2 ガスの流量を $40\text{L}/\text{min}$ として、窒化処理温度まで昇温した。続いて実施した窒化処理の条件としては、温度 570°C 、窒化時間は3h（時間）とし、 NH_3 ガスと H_2 ガス及び N_2 ガスの炉内へのそれぞれの供給ガス流量を調整し、炉内の全圧を1としたときに、 NH_3 ガスの分圧比を0.17（ NH_3 ガスの分圧 17.2kPa ）、 H_2 ガスの分圧比を0.73（ H_2 ガスの分圧 74.0kPa ）、 N_2 ガスの分圧比を0.10（ N_2 ガスの分圧 10.1kPa ）とした。なお、窒化処理時の炉内の全圧は大気圧であり、窒化ガスをファンの回転数をあげて強攪拌することにより試験片に接触する炉内ガスのガス流速（風速）を $2\sim 2.6\text{m}/\text{s}$ とした。その後、 130°C の油に各試験片を浸漬して油冷し評価を行った。なお、窒化処理ガス中の NH_3 分圧、 H_2 分圧、 N_2 分圧、ガス流速は前述の実施例1と同様に測定した。

30

【0074】

[実施例10]

試供材としてSCr420からなる円板状の鋼部材を用意した以外は、実施例9と同様の製造方法で試験片を作製した。

40

【0075】

[実施例11]

試供材としてSACM645からなる円板状の鋼部材を用意した以外は、実施例9と同様の製造方法で試験片を作製した。

【0076】

（評価結果）

前述の方法により、実施例9～11の試験片の鉄窒化化合物層の厚さの測定、窒素拡散層の深さ（厚さ）の測定、X線回折による化合物層の分析を行った。実施例9～11における鉄窒化化合物層の厚さはそれぞれ、 $7\mu\text{m}$ （実施例9）、 $5\mu\text{m}$ （実施例10）、 $2\mu\text{m}$ （実施例11）であった。実施例9～11における窒素拡散層の厚さはそれぞれ、0

50

．142mm（実施例9）、0.131mm（実施例10）、0.121mm（実施例11）であった。実施例9～11におけるX線回折の強度比はそれぞれ、0.981（実施例9）、0.981（実施例10）、0.984（実施例11）であり、いずれも強度比は0.5以上であり、窒窒化合物層は'相が主成分であると判定された。以上より、比較的低温域での窒窒処理においても本発明の窒窒鋼部材を製造することができることが確認された。

【0077】

【表1】

	鋼材種類	窒窒処理条件（各分圧は、全圧を1としたときの比を示す。）				備考
		温度	処理時間	N ₂ ガス分圧比	NH ₃ ガス分圧比	
実施例1	SCM420	600°C	1.5h	0.13	0.15	0.72
実施例2	SCM420	600°C	2h	0.09	0.14	0.77
実施例3	SCM420	600°C	2h	0.16	0.12	0.72
実施例4	SCM420	610°C	8h	0.14	0.1	0.76
実施例5	SCr420	600°C	2h	0.10	0.16	0.74
実施例6	SACM645	600°C	2h	0.10	0.16	0.74
実施例7	SNCM220	600°C	2h	0.10	0.16	0.74
実施例8	S35C	600°C	2h	0.10	0.16	0.74
実施例9	SCM420	570°C	3h	0.10	0.17	0.73
実施例10	SCr420	570°C	3h	0.10	0.17	0.73
実施例11	SACM645	570°C	3h	0.10	0.17	0.73
比較例1	SCM420	570°C	2h	0.32	0.4	0.28
比較例2	SCM420	610°C	2h	0.05	0.1	0.85
比較例3	SCM420	610°C	2h	0.08	0.1	0.82
比較例4	SCM420	610°C	7h	0.13	0.14	0.73
比較例5	SCM420	—	—	—	—	—
比較例6	SCM420	600°C	1.5h	0.13	0.15	0.72
比較例7	SCr420	600°C	2h	0.32	0.4	0.28
比較例8	SACM645	600°C	2h	0.32	0.4	0.28
比較例9	SNCM220	600°C	2h	0.32	0.4	0.28
比較例10	S35C	580°C	1.5h	0.32	0.4	0.28

10

20

30

40

【表 2】

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	鋼種名
鋼種1	0.21	0.25	0.81	0.008	0.016	1.12	0.17	0.008	SCM420

(mass%)

【表 3】

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	鋼種名
鋼種2	0.205	0.25	0.725	0.03以下	0.03以下	1.05	-		SrCr420

(mass%)

10

【表 4】

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	鋼種名
鋼種3	0.45	0.325	0.06以下	0.03以下	0.03以下	1.5	0.225	0.95	SACM645

(mass%)

【表 5】

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	鋼種名
鋼種4	0.2	0.25	0.55	0.03以下	0.03以下	0.525	0.225	1.8	SNM420

(mass%)

20

【表 6】

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	鋼種名
鋼種5	0.35	0.25	0.75	0.03以下	0.035以下	-	-		S35C

(mass%)

【 表 7 】

	鉄窒化合物層			窒素拡散層の		ローラーピッチング試験結果		小野式回転曲げ疲労試験		ギヤ歪量	
	厚さ	XRD回折強度比	EBSP分析 γ'相の面積率	形態	深さ	条件(面圧)	結果	条件(サイクル)	結果	歯すじの傾き 変化量	真円度 変化量
実施例1	6 μm	0.978	63%	γ'相リッチ	0.22mm	1500MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	1.0 × 10 ⁵ サイクル	500MPa	5 μm	15 μm
実施例2	2 μm	0.986	85%	γ'相リッチ	0.28mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	7 μm	17 μm
実施例3	9 μm	0.981	59%	γ'相リッチ	0.20mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	4 μm	12 μm
実施例4	13 μm	0.982	78%	γ'相リッチ	0.52mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	8 μm	18 μm
実施例5	10 μm	0.981	—	γ'相リッチ	0.23mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	—	—
実施例6	3 μm	0.979	—	γ'相リッチ	0.18mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	—	—
実施例7	7 μm	0.980	—	γ'相リッチ	0.20mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	—	—
実施例8	11 μm	0.980	—	γ'相リッチ	0.11mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁷ サイクル剥離無し	—	—	—	—
実施例9	7 μm	0.981	—	γ'相リッチ	0.142mm	—	—	—	—	—	—
実施例10	5 μm	0.981	—	γ'相リッチ	0.131mm	—	—	—	—	—	—
実施例11	2 μm	0.984	—	γ'相リッチ	0.121mm	—	—	—	—	—	—
比較例1	15 μm	0.010	0%	ε相リッチ	0.22mm	1500MPa	1.0 × 10 ³ サイクル剥離発生	1.0 × 10 ⁵ サイクル	440MPa	6 μm	15 μm
比較例2	0~0.5 μm	0.195	—	ε相リッチ	0.21mm	1300MPa	4.2 × 10 ⁶ サイクルピッチング発生	—	—	8 μm	17 μm
比較例3	1 μm	0.983	10%	ε相リッチ	0.21mm	1300MPa	5.5 × 10 ⁶ サイクルピッチング発生	—	—	6 μm	15 μm
比較例4	18 μm	0.985	28%	ε相リッチ	0.47mm	1300MPa	1.0 × 10 ⁴ サイクル剥離発生	—	—	7 μm	16 μm
比較例5	浸炭処理										
比較例6	0~0.5 μm	0.197	—	ε相リッチ	0.20mm	—	—	—	—	—	—
比較例7	18 μm	0.012	—	ε相リッチ	0.24mm	1300MPa	1.0 × 10 ³ サイクル剥離発生	—	—	—	—
比較例8	15 μm	0.011	—	ε相リッチ	0.19mm	1300MPa	1.0 × 10 ³ サイクル剥離発生	—	—	—	—
比較例9	17 μm	0.010	—	ε相リッチ	0.21mm	1300MPa	5.0 × 10 ⁴ サイクル剥離発生	—	—	—	—
比較例10	16 μm	0.011	—	ε相リッチ	0.10mm	1300MPa	5.0 × 10 ⁴ サイクル剥離発生	—	—	—	—

【 産業上の利用可能性 】

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

本発明は、鋼の窒化技術に有用である。

【符号の説明】

【 0 0 7 9 】

1 熱処理装置

10 搬入部

11 加熱室

12 冷却室

13 搬出コンベア

20 ケース

21 扉

22 入り口フード

26 ファン

30 エレベータ

31 油

32 油槽

35 扉

36 出口フード

100 小ローラー

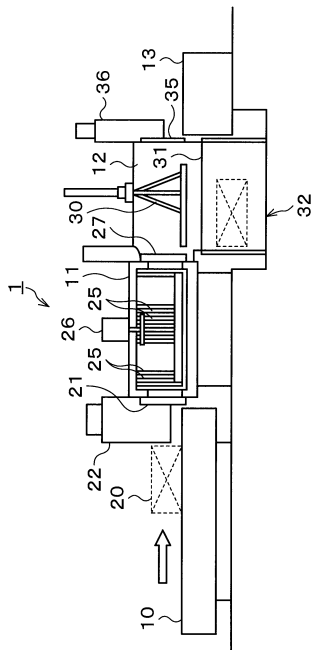
101 大ローラー

102 試験片

10

20

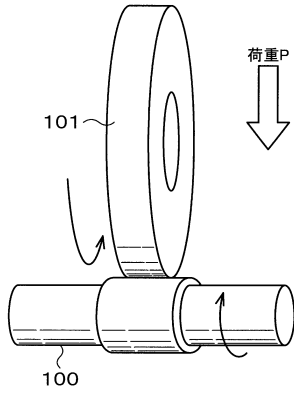
【 図 1 】



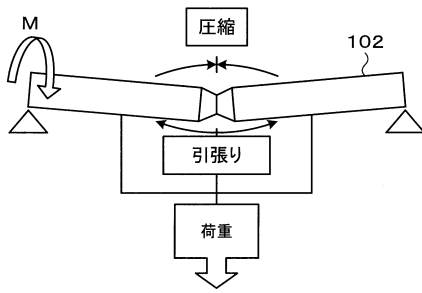
【 図 2 】

温度 (°C)	昇温工程	窒化処理工程 (均熱)	油冷
処理時間	20min	600	15min
残留NH ₃ (%)		120min 調整	
N ₂ ガス	40L/min	0L/min 調整	50L/min
NH ₃ ガス	10L/min	調整	-
H ₂ ガス	-	調整	-

【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 小林 厚
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 前田 晋
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 金山 正男
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 DOWAサーモテック株式会社内
- (72)発明者 秋元 清隆
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 DOWAサーモテック株式会社内

審査官 祢屋 健太郎

- (56)参考文献 特開2007-131933(JP,A)
特開2005-016386(JP,A)
特開2003-254095(JP,A)
特公昭49-037498(JP,B1)
特開昭55-089470(JP,A)
特開2006-028588(JP,A)
特開2000-045060(JP,A)
米国特許出願公開第2009/324825(US,A1)
特開平06-033219(JP,A)
米国特許出願公開第2002/0162523(US,A1)
米国特許出願公開第2009/0215573(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C23C 8/00-12/02