

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4800444号
(P4800444)

(45) 発行日 平成23年10月26日 (2011.10.26)

(24) 登録日 平成23年8月12日 (2011.8.12)

(51) Int. Cl.	F I
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 1 N
C 2 2 C 38/06 (2006.01)	C 2 2 C 38/06
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60
C 2 1 D 1/06 (2006.01)	C 2 1 D 1/06 A
C 2 1 D 6/00 (2006.01)	C 2 1 D 6/00 D
請求項の数 23 (全 35 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2010-546684 (P2010-546684)	(73) 特許権者	000006655
(86) (22) 出願日	平成22年1月15日 (2010.1.15)		新日本製鐵株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/050742		東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(87) 国際公開番号	W02010/082685	(74) 代理人	100099759
(87) 国際公開日	平成22年7月22日 (2010.7.22)		弁理士 青木 篤
審査請求日	平成23年3月15日 (2011.3.15)	(74) 代理人	100077517
(31) 優先権主張番号	特願2009-7756 (P2009-7756)		弁理士 石田 敬
(32) 優先日	平成21年1月16日 (2009.1.16)	(74) 代理人	100087413
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 古賀 哲次
早期審査対象出願		(74) 代理人	100113918
			弁理士 亀松 宏
		(74) 代理人	100140121
			弁理士 中村 朝幸
		(74) 代理人	100111903
			弁理士 永坂 友康
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面硬化用機械構造用鋼及び機械構造用部品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 %未満および

Al : 0.01 ~ 0.5 %

を含有し、

B : 0.0003 %未満、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

P : 0.0001 ~ 0.03 %および

O : 0.0001 ~ 0.0050 %

に制限し、

MnとSの比Mn / Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避免的不純物からなり、

窒化処理後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上となる表面硬化性を有することを特徴とする表面硬化用機械構造用鋼。

【請求項2】

質量%で、

10

20

C : 0.3 ~ 0.6 %、
 Si : 0.02 ~ 2.0 %、
 Mn : 0.35 ~ 1.5 %未満、
 Al : 0.01 ~ 0.5 %および
 B : 0.0003 ~ 0.005 %
 を含有し、
 S : 0.0001 ~ 0.021 %、
 N : 0.003 ~ 0.0055 %、
 P : 0.0001 ~ 0.03 %および
 O : 0.0001 ~ 0.0050 %

10

に制限し、
 MnとSの比Mn/Sが70以上30000以下を満たし、
 残部はFeおよび不可避免的不純物からなり、
 窒化処理後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650
 以上となる表面硬化性を有することを特徴とする表面硬化用機械構造用鋼。

【請求項3】

前記鋼が、さらに、質量%で、
 W : 0.0025 ~ 0.5 %、
 Cr : 0.2 ~ 2.0 %、
 Mo : 0.05 ~ 1.0 %、
 V : 0.05 ~ 1.0 %、
 Nb : 0.005 ~ 0.3 %、
 Ti : 0.005 ~ 0.2 %、
 Ni : 0.05 ~ 2.0 %および
 Cu : 0.01 ~ 2.0 %

20

のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項2に記載の表面硬化用機械構造用鋼。

【請求項4】

前記鋼が、質量%で、さらに、
 Ca : 0.0005 ~ 0.01 %、
 Mg : 0.0005 ~ 0.01 %、
 Zr : 0.0005 ~ 0.05 %および
 Te : 0.0005 ~ 0.1 %

30

のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1または2に記載の表面硬化用機械構造用鋼。

【請求項5】

質量%で、
 C : 0.3 ~ 0.6 %、
 Si : 0.02 ~ 2.0 %、
 Mn : 0.35 ~ 1.5 %未満、
 Al : 0.01 ~ 0.5 %および
 B : 0.0003 ~ 0.005 %
 を含有し、
 W : 0.0025 ~ 0.5 %、
 Cr : 0.2 ~ 2.0 %、
 Mo : 0.05 ~ 1.0 %、
 V : 0.05 ~ 1.0 %、
 Nb : 0.005 ~ 0.3 %、
 Ti : 0.005 ~ 0.2 %、
 Ni : 0.05 ~ 2.0 %および

40

50

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

Ca : 0.0005 ~ 0.01 %、

Mg : 0.0005 ~ 0.01 %、

Zr : 0.0005 ~ 0.05 % および

Te : 0.0005 ~ 0.1 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

P : 0.0001 ~ 0.03 % および

O : 0.0001 ~ 0.0050 %

に制限し、

Mn と S の比 Mn/S が 70 以上 30000 以下を満たし、

残部は Fe および不可避免的不純物からなり、

窒化処理後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上となる表面硬化性を有することを特徴とする表面硬化用機械構造用鋼。

【請求項6】

請求項1または2に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項7】

請求項1または2に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項8】

請求項1または2に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項9】

質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 % 未満 および

Al : 0.01 ~ 0.5 %

を含有し、

W : 0.0025 ~ 0.5 %、

Cr : 0.2 ~ 2.0 %、

Mo : 0.05 ~ 1.0 %、

V : 0.05 ~ 1.0 %、

Nb : 0.005 ~ 0.3 %、

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 % および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

B : 0.0003 % 未満、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

10

20

30

40

50

P : 0.0001 ~ 0.03 % および

O : 0.0001 ~ 0.0050 %

に制限し、

Mn と S の比 Mn/S が 70 以上 30000 以下を満たし、

残部は Fe および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0.2 mm の深さまで、300 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 650 以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項 10】

質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 % 未満および

Al : 0.01 ~ 0.5 %

を含有し、

W : 0.0025 ~ 0.5 %、

Cr : 0.2 ~ 2.0 %、

Mo : 0.05 ~ 1.0 %、

V : 0.05 ~ 1.0 %、

Nb : 0.005 ~ 0.3 %、

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 % および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの 1 種または 2 種以上を含有し、

B : 0.0003 % 未満、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

P : 0.0001 ~ 0.03 % および

O : 0.0001 ~ 0.0050 %

に制限し、

Mn と S の比 Mn/S が 70 以上 30000 以下を満たし、

残部は Fe および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、300 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 650 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μm 以上の深さまで、円相当径で 0.1 ~ 1 μm の空孔が、10000 個/mm² 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項 11】

質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 % 未満および

Al : 0.01 ~ 0.5 %

を含有し、

W : 0.0025 ~ 0.5 %、

Cr : 0.2 ~ 2.0 %、

Mo : 0.05 ~ 1.0 %、

V : 0.05 ~ 1.0 %、

Nb : 0.005 ~ 0.3 %、

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 % および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの 1 種または 2 種以上を含有し、

10

20

30

40

50

B : 0 . 0 0 0 3 % 未満、
S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 1 %、
N : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 0 5 5 %、
P : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 3 % および
O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %
 に制限し、

Mn と S の比 Mn / S が 7 0 以上 3 0 0 0 0 以下を満たし、

残部は Fe および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μm 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μm の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm² 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

10

【請求項 1 2】

請求項 3 に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項 1 3】

請求項 3 に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μm 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μm の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm² 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

20

【請求項 1 4】

請求項 3 に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μm 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μm の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm² 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項 1 5】

請求項 4 に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

30

【請求項 1 6】

請求項 4 に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μm 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μm の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm² 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項 1 7】

請求項 4 に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μm 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μm の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm² 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

40

【請求項 1 8】

質量%で、
C : 0 . 3 ~ 0 . 6 %、
Si : 0 . 0 2 ~ 2 . 0 %、
Mn : 0 . 3 5 ~ 1 . 5 % 未満および
Al : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 %
 を含有し、
W : 0 . 0 0 2 5 ~ 0 . 5 %、

50

C r : 0 . 2 ~ 2 . 0 %、
M o : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、
V : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、
N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 3 %、
T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 %、
N i : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 %および
C u : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 %
 のうちの1種または2種以上を含有し、
C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、
M g : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、
Z r : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 5 %および
T e : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 1 %
 のうちの1種または2種以上を含有し、
B : 0 . 0 0 0 3 %未満、
S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 1 %、
N : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 0 5 5 %、
P : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 3 %および
O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %

10

に制限し、

M nとSの比M n / Sが70以上30000以下を満たし、
残部はF eおよび不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記
表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビ
ッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

20

【請求項19】

質量%で、

C : 0 . 3 ~ 0 . 6 %、
S i : 0 . 0 2 ~ 2 . 0 %、
M n : 0 . 3 5 ~ 1 . 5 %未満および
A l : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 %
 を含有し、
W : 0 . 0 0 2 5 ~ 0 . 5 %、
C r : 0 . 2 ~ 2 . 0 %、
M o : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、
V : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、
N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 3 %、
T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 %、
N i : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 %および
C u : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 %
 のうちの1種または2種以上を含有し、
C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、
M g : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、
Z r : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 5 %および
T e : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 1 %
 のうちの1種または2種以上を含有し、
B : 0 . 0 0 0 3 %未満、
S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 1 %、
N : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 0 5 5 %、
P : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 3 %および
O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %
 に制限し、

30

40

50

MnとSの比Mn／Sが70以上30000以下を満たし、
残部はFeおよび不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入
れ窒化層を形成し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前
記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1～1μmの空孔が、
10000個／mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項20】

質量%で、

C：0.3～0.6%、

Si：0.02～2.0%、

Mn：0.35～1.5%未満および

Al：0.01～0.5%

を含有し、

W：0.0025～0.5%、

Cr：0.2～2.0%、

Mo：0.05～1.0%、

V：0.05～1.0%、

Nb：0.005～0.3%、

Ti：0.005～0.2%、

Ni：0.05～2.0%および

Cu：0.01～2.0%

のうちの1種または2種以上を含有し、

Ca：0.0005～0.01%、

Mg：0.0005～0.01%、

Zr：0.0005～0.05%および

Te：0.0005～0.1%

のうちの1種または2種以上を含有し、

B：0.0003%未満、

S：0.0001～0.021%、

N：0.003～0.0055%、

P：0.0001～0.03%および

O：0.0001～0.0050%

に制限し、

MnとSの比Mn／Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入
れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300
℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から
5μm以上の深さまで、円相当径で0.1～1μmの空孔が、10000個／mm²以上
存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項21】

請求項5に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記
 表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビ
 ッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項22】

請求項5に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入
 れ窒化層を形成し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前
 記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1～1μmの空孔が、
 10000個／mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【請求項23】

請求項5に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入
 れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300

10

20

30

40

50

℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5 μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1 μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面硬化用機械構造用鋼及び機械構造用部品に関する。詳しくは、自動車等の動力伝達部品に適用される高い面疲労強度を有する部品、特に歯車、無段変速機、軸受け、等速ジョイント、ハブ等の機械構造用部品に関する。

【背景技術】

10

【0002】

機械構造用部品、例えば、自動変速機の歯車や無段変速機のシブ、軸受け、等速ジョイント、ハブなどの動力伝達部品は、高い面疲労強度が要求される。従来、上記した部品には、素材にJIS SCSr420、SCM420等のCが0.2%前後の肌焼鋼を用い、浸炭焼入れ処理を施して部品の表面に、Cが0.8%前後のマルテンサイト組織の硬化層を形成して面疲労強度を高めて使用されることが一般的である。

しかしながら、浸炭焼入れは950℃前後の高温でのオーステナイト変態を伴い、5~10時間、場合によっては10時間以上もの長時間での処理となるため、結晶粒粗大化による熱処理変形（焼入れ歪）が大きくなることは避けられない。このため高い寸法精度が要求される部品は、浸炭焼入れされた後、研削やホーニング等の仕上げ加工を施さなければならなかった。

20

近年、自動車のエンジン等の騒音を低減する要求が高まっていることから、浸炭焼入れ処理に比べて熱歪が小さい表面硬化処理である高周波焼入れや軟窒化処理が注目されるようになっている。

高周波焼入れは、鋼材を短時間に加熱して、表層部の必要な部分のみを、オーステナイト化し焼入れするため、焼入れ歪が小さく、寸法精度の高い表面硬化部品を得ることができる。

しかしながら、高周波焼入れのみで浸炭焼入れ材と同等の硬さを得るには、0.8%以上のCを鋼材に添加する必要があると関係のない、素材内部の硬さも上昇し、被削性の著しい劣化が生じる。したがって、鋼材中のC量をむやみに増加させることはできないため、高周波焼入れのみで面疲労強度を向上させることには限界がある。

30

軟窒化処理は変態点以下の500~600℃位の温度域で、主として窒素と炭素を同時に鋼材表面に拡散浸透させることにより硬化層を形成し、耐摩耗性・耐焼付性・耐疲労性等を向上させる表面硬化法である。

鋼材表面では拡散した窒素が鋼中に窒化物を生成し、一般的に鋼材の最表層に主にFe₃N、Fe₄N等のFe窒化物からなる化合物層を形成し、鋼材の最表層より内部には、Nが拡散した窒化層を生成する。

軟窒化処理は低温で行うことができ、しかも浸炭焼入れをする場合に比べて、処理時間が2~4時間程度の短時間で良いことから、低歪が要求される鋼部品への適用は多い。

40

しかしながら軟窒化処理だけでは硬化層深さは小さいため、高い面圧が加わるトランスミッションの歯車等には適用することが困難である。

最近では、高周波焼入れと軟窒化処理の欠点を補い、より優れた機械的性質、特に面疲労強度を向上させる方法として、軟窒化処理後に高周波焼入れを施すことが試みられている。

特許文献1では、ガス軟窒化処理と高周波焼入れを組み合わせることにより、それぞれ単独での欠点を補い、軟化抵抗を向上させて、優れた機械的性質、特に高い面疲労強度を得る製造方法が提案されている。

特許文献1の製造方法では、鋼材にガス軟窒化を施して化合物層を形成し、その後、高周波焼き入れにより、ガス軟窒化で形成された化合物層中の窒素化合物を鋼中に分解、拡

50

散させて焼入れ窒化層を形成するものである。

なお、以下の説明では、軟窒化処理で鋼材の最表層に形成された Fe_3N 、 Fe_4N 等の Fe 窒化物からなる層を「化合物層」と、鋼材の最表層より内部で N が拡散し形成された窒化層のうち、高周波焼入れを施さずに形成されたものを「窒化層」と、高周波焼入れを施して形成されたものを「焼入れ窒化層」と呼び、区別するものとする。

特許文献1の製造方法で製造される鋼材は、表面硬度は高いものの、焼入れ窒化層中の N 濃度が低いため、高温時における鋼材の硬さは低く、稼動中に高温となる歯車等の表面において十分な軟化抵抗を発揮することが出来ず、その結果、高い面疲労強度を得ることができていない。

特許文献2には、軟窒化処理と高周波焼入れを組み合わせることで、機械的性質に優れた機械構造用部品を得る製造方法が提案されている。特許文献2の製造方法では、 N との親和性が高い元素を鋼材に添加することにより、鋼材中の窒化物を分解、拡散させている。

10

しかしながら、特許文献2の製造方法では、鋼材中の窒化物を分解、拡散させる元素の添加量が充分ではないために、鋼材を 900°C 以上 1200°C 以下という非常に高い温度にまで高周波加熱し、 N を鋼中に固溶させることが必要である。そのため、鋼材表面に厚い酸化層が生成され、その酸化層により、鋼材の機械的性質が著しく劣化してしまうことが避けられない。

また、軟窒化処理で得た化合物層を、高周波焼入れによって焼入れ窒化層にするに際し、特許文献2の製造方法では、焼入れ窒化層を厚くするための方法が考慮されていない。

20

したがって、特許文献2の製造方法で得られた機械構造用部品は、焼入れ窒化層の厚さが充分でないため、高い面圧での使用に耐え得る良好な面疲労強度を有しない。

特許文献3には、窒化処理と高周波焼入れを組み合わせることで優れた機械的性質を有する機械構造用部品を得る技術が提案されている。特許文献3の機械構造用部品は、鋼材に 600°C 以上の高温で窒化処理を行って化合物層を形成し、その後、高周波焼き入れを施して焼入れ窒化層を形成するものである。

しかしながら、特許文献3における窒化処理は 600°C 以上の高温で行われるため、形成される化合物層は薄く、化合物層中の N 濃度も低い。したがって、窒化後に高周波焼入れを施しても、窒化処理で形成された化合物層中の窒素化合物が分解されて、鋼材内部に拡散する N 量も少ない。

30

つまり、 600°C 以上の高温で行う窒化処理では、化合物層を形成して、その後に高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成することはできても、焼入れ窒化層の厚さが不足し、十分な軟化抵抗が得られず、その結果、良好な面疲労強度を有する機械構造用部品を得ることはできない。

特許文献4には、窒化層深さが $150\mu\text{m}$ 以上となる条件で軟窒化処理を行った後、窒化層がオーステナイト化する条件で高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成する機械構造部品の製造方法が提案されている。

しかしながら、特許文献4で提案される製造方法で製造された機械構造用部品は、焼入れ窒化層の厚さが最高でも 0.3mm であり、面疲労強度が充分ではない。

特許文献5では、熱間加工した鋼材に黒鉛析出熱処理を施した後、冷間加工し、ついで窒化処理を行って得られる機械構造用部品が提案されている。

40

しかしながら、特許文献5の機械構造用部品は、析出黒鉛により被削性を改善するものであり、鋼材表面に存在する析出黒鉛が面疲労強度を低下させる。

したがって、特許文献5の機械構造用部品に高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成したとしても、機械構造用部品の表面に高い面圧が負荷されるトランスミッションの歯車等の動力伝達部品として、特許文献5の機械構造用部品を使用することは困難である。

また、一般的に、歯車等の動力伝達部品用部品は、鍛造後の素材に施される切削加工で部品形状に仕上げられ、その後、表面硬化処理を施されて完成品となる。上記特許文献1～5の提案は、合金元素を添加した中炭素鋼に表面硬化処理を施すことにより稼動面の高強度化を図っている技術である。

50

したがって、被削性について考慮されていないため、鋼材内部の硬さの不必要な上昇により、切削加工時の生産性が低下し、製造コスト上昇が避けられない。

よって、鋼材の面疲労強度向上を図りつつ、鋼材内部の硬さの上昇を抑えて被削性を低下させないことも望まれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平6-172961号公報

【特許文献2】特開平7-90363号公報

【特許文献3】特開2007-77411号公報

【特許文献4】特開平7-90364号公報

【特許文献5】特開2008-169485号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、上記の実情に鑑み、浸炭焼入処理では得られない良好な寸法精度を有し、軟窒化処理のみ、あるいは、高周波焼入れのみでは不足する、表面硬さ、内部硬さ、及び軟化抵抗を向上させ、高い面疲労強度を有し、常温はもちろんのこと、300℃前後の高温においても、高い面圧が負荷される部品にも使用することができる、表面硬化用機械構造用鋼、及びその表面硬化用機械構造用鋼を用いた機械構造用鋼部品を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

鋼部品の面疲労強度向上には、表面硬さの向上、表面硬化層深さの増大、及び高温化（300℃前後）する稼働面での高温強度を維持をするための軟化抵抗の向上を図る必要がある。

また、生産性の低下を防止するため、面疲労強度向上に伴って素材の被削性を低下させないことや、稼働面同士の焼付きや凝着を防止するための潤滑膜を鋼材表面に形成することも、併せて望まれている。

これらの課題を実現するため、本発明者らは、軟窒化処理と高周波焼入れとを組合せ、鋼材の面疲労強度を向上させることができる、鋼材の表面硬化性について種々の検討を行い、被削性や潤滑膜についても併せて検討した。その結果、以下の知見を得た。

a) 軟化抵抗の増大には、鋼材表面に形成される焼入れ窒化層を厚くし、かつ、焼入れ窒化層中のN濃度を高くすることが有効である。

軟窒化処理は、鋼材の最表層に化合物層を形成し、その最表層より内部に窒化層を形成することができる。しかしながら、軟窒化処理で形成される化合物層は大変薄く、化合物層より内部に形成される窒化層も、軟化抵抗を増大させるのに十分な厚さを有しておらず、窒化層中のN濃度も充分ではない。

そこで、軟窒化処理後に高周波焼入れを施し、軟窒化処理で形成される化合物層（主に Fe_3N 、 Fe_4N 等のFe窒化物からなる層）を、高周波加熱により分解し、鋼内部に十分な量のNを拡散させ、焼入れ窒化層を形成する。

このようにして得られた焼入れ窒化層は、鋼材に十分な軟化抵抗を付与し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上となる。そして、このような焼入れ窒化層を有する鋼材は、良好な面疲労強度を有し、常温はもちろんのこと、300℃前後の高温時にも使用することができる。

図1は、軟窒化処理のままの鋼材と、軟窒化処理後に高周波焼入れを施した鋼材とで、鋼材の表面から芯部方向への断面硬さ分布を比較した一例を示す図である。図1中、符号1は軟窒化処理のままの鋼材の断面硬さ分布、符号2は軟窒化処理後に高周波焼入れを施した鋼材の硬さ分布を示す。

図1に示すように、軟窒化処理のままの鋼材1は、最表層には化合物層が形成され、非

10

20

30

40

50

常に高い硬さを示すが化合物層の厚さは薄い。一方、軟窒化処理後に高周波加熱を施した鋼材 2 は、高周波加熱により最表層の化合物層中に存在する F e 窒化合物が分解され、その分解された F e 窒化合物を起源とする N を鋼材の内部に拡散する。その結果、鋼材 2 の最表層の硬さはやや低下しているものの、最表層より内部に、十分な硬さを有する焼入れ窒化層が、厚く形成されている。つまり、軟窒化処理によって形成された最表層の化合物層は、焼入れ窒化層を形成するための N 源として機能している。

なお、高周波焼入れ後における、鋼材 2 の表層はマルテンサイト組織で、芯部はフェライト・パーライト組織である。

高周波加熱により分解される化合物層の厚さを 1 0 μ m 以上とすることで、高い N 濃度の焼入れ窒化層が深く得られる。軟窒化処理によって形成される化合物層は、軟窒化条件によって脆いものとなり、機械的性質を劣化させる場合があるので、化合物層は薄くすることが一般的である。

10

本発明では、化合物層を積極的に厚くする。即ち、化合物層を 1 0 μ m 以上とすることで、高周波焼入れによって形成される焼入れ窒化層を、高 N 濃度のマルテンサイト組織とすることができ、鋼材の軟化抵抗が飛躍的に増大する。

b) 軟窒化処理で厚い化合物層を形成するためには、鋼と N の化合を妨げる S を低減することが有効である。鋼材中の S が単独で固溶していると、鋼材表面へ S が濃化しやすくなり、N が鋼材表面に侵入することを阻害する。これを防止するため、一定量以上の M n を添加し、S を M n S の形態で鋼中に固定し無害化する。このような無害化は、 $M n / S \geq 70$ とすることでその効果が顕著に現れ、その結果、1 0 μ m 以上の厚さの化合物層の形成することができる。

20

c) 面疲労強度を向上させても、被削性が劣化しないようにするためには、鋼材内部の硬さを必要以上に上昇させないことが好ましく、さらには、面疲労強度を向上させつつ、被削性を改善する元素を添加することが好ましい。

鋼材内部の硬さを必要以上に上昇させないようするためには、M n、N 等の合金元素を過剰添加しないことが有効である。

そして、面疲労強度を向上させしつつ、被削性を改善する元素として、A l と B を複合添加してもよい。B は、鋼中の N と化合することにより B N として鋼中に存在し、被削性を改善する。

B は、鍛造工程における冷却中に B N を形成する。鍛造工程では、鋼材の冷却速度が通常遅いため、B N を形成しても硬度を上昇させることはなく、被削性を低下させることはない。

30

鍛造工程で形成される B N は、高周波焼入れ時の高周波加熱により、分解され固溶 B となり、焼入れ時の急冷によって、鋼材の表層硬さを大きく上昇させ、面疲労強度向上にも寄与する。

A l は、固溶状態で鋼に存在することにより被削性を著しく向上させる元素である。A l は鋼材の硬さ上昇には影響しない。また、軟窒化処理時においては、A l は N と化合物を形成し、表層近傍の N 濃度を高める効果があり、面疲労強度向上にも有効な元素である。

また、A l と B を複合添加すると、B が被削性の改善に有効な B N を生成する。そして、この B N は高周波焼入れにより B と N とに分解され、N 濃度の高い焼入れ窒化層を得ることができ、分解された B により鋼材の焼入れ性を向上させるために、高い面疲労強度を得ることができる。

40

さらに、B N を形成することにより鋼材中の N を消費することで、A l と N とが化合することを抑制し、より多くの固溶 A l を得ることが可能となり、被削性も向上する。

d) 稼働面の焼付きや凝着を防止するためには、潤滑剤油膜が鋼部品の表面で途切れなく形成されるように油溜まりを設けることが有効である。本発明の鋼材は、軟窒化処理により化合物層を形成した後、化合物層中の F e 窒化合物を高周波加熱により分解するとともに、鋼材をオーステナイト化して焼入れ処理を施すことで得られる焼入れ窒化層を有する。

50

図2は、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡で観察した焼入れ窒化層の組織を示す図である。図2(a)は光学顕微鏡で観察した組織、図2(b)は走査型電子顕微鏡で観察した組織を示す。

図2に示すように、焼入れ窒化層10は、化合物層中の窒素化合物の分解により形成された多数の空孔20を有し、硬質の多孔質層30となっている。この多孔質層30は、油溜まりとして機能し、潤滑効果を向上させるとともに、鋼材の耐摩耗性、耐久性を一層向上させる。

なお、軟窒化処理条件及び高周波加熱条件を制御することにより、空孔20の大きさは円相当径で0.1~1 μ mに、空孔20の存在密度は10000個/mm²以上に、空孔20の存在範囲は鋼部品の表面から5 μ m以上の深さにすることができ、油溜りとして有効に機能する。

10

本発明は、上記の知見に基づいて完成したものであり、その要旨は以下の通りである。

(1) 質量%で、

C: 0.3~0.6%、

Si: 0.02~2.0%、

Mn: 0.35~1.5%未満および

Al: 0.01~0.5%

を含有し、

B: 0.0003%未満、

S: 0.0001~0.021%、

20

N: 0.003~0.0055%、

P: 0.0001~0.03%および

O: 0.0001~0.0050%

に制限し、

MnとSの比Mn/Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避的不純物からなり、

窒化処理後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上となる表面硬化性を有することを特徴とする表面硬化用機械構造用鋼。

(2) 質量%で、

C: 0.3~0.6%、

30

Si: 0.02~2.0%、

Mn: 0.35~1.5%未満、

Al: 0.01~0.5%および

B: 0.0003~0.005%

を含有し、

S: 0.0001~0.021%、

N: 0.003~0.0055%、

P: 0.0001~0.03%および

O: 0.0001~0.0050%

に制限し、

40

MnとSの比Mn/Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避的不純物からなり、

窒化処理後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上となる表面硬化性を有することを特徴とする表面硬化用機械構造用鋼。

(3) 前記鋼が、さらに、質量%で、

W: 0.0025~0.5%、

Cr: 0.2~2.0%、

Mo: 0.05~1.0%、

V: 0.05~1.0%、

Nb: 0.005~0.3%、

50

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 % および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする上記(2)に記載の表面硬化用機械構造用鋼。

(4) 前記鋼が、質量%で、さらに、

Ca : 0.0005 ~ 0.01 %、

Mg : 0.0005 ~ 0.01 %、

Zr : 0.0005 ~ 0.05 % および

Te : 0.0005 ~ 0.1 %

10

のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする上記(1)または(2)に記載の表面硬化用機械構造用鋼。

(5) 質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 % 未満、

Al : 0.01 ~ 0.5 % および

B : 0.0003 ~ 0.005 %

を含有し、

W : 0.0025 ~ 0.5 %、

20

Cr : 0.2 ~ 2.0 %、

Mo : 0.05 ~ 1.0 %、

V : 0.05 ~ 1.0 %、

Nb : 0.005 ~ 0.3 %、

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 % および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

Ca : 0.0005 ~ 0.01 %、

Mg : 0.0005 ~ 0.01 %、

30

Zr : 0.0005 ~ 0.05 % および

Te : 0.0005 ~ 0.1 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

P : 0.0001 ~ 0.03 % および

O : 0.0001 ~ 0.0050 %

に制限し、

MnとSの比Mn/Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避免的不純物からなり、

40

窒化処理後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上となる表面硬化性を有することを特徴とする表面硬化用機械構造用鋼。

(6) 上記(1)または(2)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

(7) 上記(1)または(2)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼

50

部品。

(8) 上記(1)または(2)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(9) 質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 %未満および

Al : 0.01 ~ 0.5 %

を含有し、

W : 0.0025 ~ 0.5 %、

Cr : 0.2 ~ 2.0 %、

Mo : 0.05 ~ 1.0 %、

V : 0.05 ~ 1.0 %、

Nb : 0.005 ~ 0.3 %、

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 %および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

B : 0.0003 %未満、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

P : 0.0001 ~ 0.03 %および

O : 0.0001 ~ 0.0050 %

に制限し、

MnとSの比Mn/Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

(10) 質量%で、

C : 0.3 ~ 0.6 %、

Si : 0.02 ~ 2.0 %、

Mn : 0.35 ~ 1.5 %未満および

Al : 0.01 ~ 0.5 %

を含有し、

W : 0.0025 ~ 0.5 %、

Cr : 0.2 ~ 2.0 %、

Mo : 0.05 ~ 1.0 %、

V : 0.05 ~ 1.0 %、

Nb : 0.005 ~ 0.3 %、

Ti : 0.005 ~ 0.2 %、

Ni : 0.05 ~ 2.0 %および

Cu : 0.01 ~ 2.0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

B : 0.0003 %未満、

S : 0.0001 ~ 0.021 %、

N : 0.003 ~ 0.0055 %、

P : 0.0001 ~ 0.03 %および

10

20

30

40

50

O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %

に制限し、

M n と S の比 $M n / S$ が 7 0 以上 3 0 0 0 0 以下を満たし、

残部は F e および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μ m 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μ m の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm^2 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(1 1) 質量 % で、

C : 0 . 3 ~ 0 . 6 %、

S i : 0 . 0 2 ~ 2 . 0 %、

M n : 0 . 3 5 ~ 1 . 5 % 未満および

A l : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 %

を含有し、

W : 0 . 0 0 2 5 ~ 0 . 5 %、

C r : 0 . 2 ~ 2 . 0 %、

M o : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、

V : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、

N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 3 %、

T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 %、

N i : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 % および

C u : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 %

のうちの 1 種または 2 種以上を含有し、

B : 0 . 0 0 0 3 % 未満、

S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 1 %、

N : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 0 5 5 %、

P : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 3 % および

O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %

に制限し、

M n と S の比 $M n / S$ が 7 0 以上 3 0 0 0 0 以下を満たし、

残部は F e および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μ m 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μ m の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm^2 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(1 2) 上記 (3) に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

(1 3) 上記 (3) に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μ m 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μ m の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm^2 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(1 4) 上記 (3) に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μ m 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μ m の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm^2 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(1 5) 上記 (4) に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

(1 6) 上記 (4) に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを

10

20

30

40

50

施して焼入れ窒化層を形成し、 300°C で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から $5\mu\text{m}$ 以上の深さまで、円相当径で $0.1\sim 1\mu\text{m}$ の空孔が、 $10000\text{個}/\text{mm}^2$ 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(17) 上記(4)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0.2mm の深さまで、 300°C で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から $5\mu\text{m}$ 以上の深さまで、円相当径で $0.1\sim 1\mu\text{m}$ の空孔が、 $10000\text{個}/\text{mm}^2$ 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(18) 質量%で、

C : $0.3\sim 0.6\%$ 、

Si : $0.02\sim 2.0\%$ 、

Mn : $0.35\sim 1.5\%$ 未満および

Al : $0.01\sim 0.5\%$

を含有し、

W : $0.0025\sim 0.5\%$ 、

Cr : $0.2\sim 2.0\%$ 、

Mo : $0.05\sim 1.0\%$ 、

V : $0.05\sim 1.0\%$ 、

Nb : $0.005\sim 0.3\%$ 、

Ti : $0.005\sim 0.2\%$ 、

Ni : $0.05\sim 2.0\%$ および

Cu : $0.01\sim 2.0\%$

のうちの1種または2種以上を含有し、

Ca : $0.0005\sim 0.01\%$ 、

Mg : $0.0005\sim 0.01\%$ 、

Zr : $0.0005\sim 0.05\%$ および

Te : $0.0005\sim 0.1\%$

のうちの1種または2種以上を含有し、

B : 0.0003% 未満、

S : $0.0001\sim 0.021\%$ 、

N : $0.003\sim 0.0055\%$ 、

P : $0.0001\sim 0.03\%$ および

O : $0.0001\sim 0.0050\%$

に制限し、

MnとSの比Mn/Sが70以上30000以下を満たし、

残部はFeおよび不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0.2mm の深さまで、 300°C で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

(19) 質量%で、

C : $0.3\sim 0.6\%$ 、

Si : $0.02\sim 2.0\%$ 、

Mn : $0.35\sim 1.5\%$ 未満および

Al : $0.01\sim 0.5\%$

を含有し、

W : $0.0025\sim 0.5\%$ 、

Cr : $0.2\sim 2.0\%$ 、

Mo : $0.05\sim 1.0\%$ 、

V : $0.05\sim 1.0\%$ 、

Nb : $0.005\sim 0.3\%$ 、

Ti : $0.005\sim 0.2\%$ 、

10

20

30

40

50

N i : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 % および

C u : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、

M g : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、

Z r : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 5 % および

T e : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 1 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

B : 0 . 0 0 0 3 % 未満、

S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 1 %、

N : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 0 5 5 %、

P : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 3 % および

O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %

に制限し、

M n と S の比 $M n / S$ が 7 0 以上 3 0 0 0 0 以下を満たし、

残部は F e および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μ m 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μ m の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm^2 以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(2 0) 質量%で、

C : 0 . 3 ~ 0 . 6 %、

S i : 0 . 0 2 ~ 2 . 0 %、

M n : 0 . 3 5 ~ 1 . 5 % 未満および

A l : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 %

を含有し、

W : 0 . 0 0 2 5 ~ 0 . 5 %、

C r : 0 . 2 ~ 2 . 0 %、

M o : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、

V : 0 . 0 5 ~ 1 . 0 %、

N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 3 %、

T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 %、

N i : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 % および

C u : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、

M g : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %、

Z r : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 5 % および

T e : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 1 %

のうちの1種または2種以上を含有し、

B : 0 . 0 0 0 3 % 未満、

S : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 1 %、

N : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 0 5 5 %、

P : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 3 % および

O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %

に制限し、

M n と S の比 $M n / S$ が 7 0 以上 3 0 0 0 0 以下を満たし、

残部は F e および不可避免的不純物からなる鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から 0 . 2 mm の深さまで、3 0 0 °C で焼戻ししたときのビッカース硬さが 6 5 0 以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から 5 μ m 以上の深さまで、円相当径で 0 . 1 ~ 1 μ m の空孔が、1 0 0 0 0 個 / mm^2 以上

10

20

30

40

50

存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(21) 上記(5)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であることを特徴とする機械構造用鋼部品。

(22) 上記(5)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

(23) 上記(5)に記載の表面硬化用機械構造用鋼に、窒化処理後、高周波焼入れを施して焼入れ窒化層を形成し、前記表面硬化用機械構造用鋼表面から0.2mmの深さまで、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上であり、前記焼入れ窒化層の表面から5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が、10000個/mm²以上存在することを特徴とする機械構造用鋼部品。

【発明の効果】

【0006】

本発明の表面硬化用機械構造用鋼を、軟窒化処理後に高周波焼入れすることで、鋼材表面の硬度が著しく上昇し、かつ、軟化抵抗の増大により、高い面疲労強度を得ることができる。

本発明の機械構造用部品は、常温はもちろんのこと、300℃前後の高温となる使用条件下においても高い面疲労強度が要求される自動車等の動力伝達部品、例えば、歯車、無段変速機、等速ジョイント、ハブ等に使用することができ、自動車等の高出力化及び低コスト化等に大きく寄与する。

【図面の簡単な説明】

【0007】

図1は、軟窒化処理のままの鋼材と、軟窒化処理後に高周波焼入れを施した鋼材とで、鋼材の表面から芯部方向への断面硬さ分布を比較した一例を示す図である。

図2は、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡で観察した焼入れ窒化層の組織を示す図である。図2(a)は光学顕微鏡で観察した組織、図2(b)は走査型電子顕微鏡で観察した組織を示す。

図3は、軟窒化処理したときのMn/Sと化合物厚さとの関係を示す図である。

図4は、高周波焼入れ後における、鋼の表面から0.2mmの深さでの、N濃度と300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さ(Hv)との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明は、Si、Mn、Alを適正量添加した鋼素材を、軟窒化処理後に高周波焼入れし、N濃度の高い焼入れ窒化層を深く形成して、表面硬さ及び軟化抵抗を向上させることで、常温はもちろんのこと、300℃前後の高温においても、高い面疲労強度を得て、発明を完成したものである。

まず、本発明の必須添加元素の規定理由を説明する。なお、成分についての%は質量%を表す。

C: 0.3~0.6%

Cは、鋼の強度を得るために重要な元素であり、特に、高周波焼入れの前組織としてのフェライト分率を低減し、高周波焼入れ時の硬化能を向上させ、硬化層深さを大きくするために必要な元素である。C添加量が0.3%未満ではフェライト分率が高く、高周波焼入れ時の硬化が不足するので、C添加量下限は0.3%とした。一方、C添加量が過剰な場合、部品製作時の切削性や鍛造性を著しく害し、さらに高周波焼入れ時に焼割れが発生する可能性が大きくなるため、C添加量の上限は0.6%とした。

Si: 0.02~2.0%

Siは、焼入れ層の軟化抵抗を増大させることにより、面疲労強度を向上させる効果がある。その効果を得るにはSi添加量は0.02%以上とすることが必要である。一方、S

10

20

30

40

50

i 添加量が 2.0% を超えると鍛造時の脱炭が著しくなるため、2.0% を上限とした。

Mn: 0.35 ~ 1.5% 未満

Mn は、焼入れ性向上、軟化抵抗増大により面疲労強度を向上させるのに有効な元素である。さらに、鋼中の S を MnS として固定することにより、S が鋼材表面に濃化して、N が鋼中に侵入することを阻害するのを防止し、軟窒化処理で厚い化合物層を形成することを促進する効果がある。MnS として S を鋼中に固定し無害化するためには、 $Mn/S \geq 70$ とすることが必要である。また、高周波焼入れの前組織としてのフェライト分率を低下させ、高周波焼入れ時の硬化能を向上する。その効果を得るには、Mn は 0.35% 以上の添加が必要である。Mn を適量添加した場合、高周波焼入れ時の焼入性が向上するため、焼入れ後の鋼材の硬さが上昇し、面疲労強度が向上する。しかしながら、Mn を 1.5% 以上添加すると、素材硬さが必要以上に上昇し、軟窒化処理前の素材の切削加工性が著しく劣化し、生産性を低下させることになる。このため、Mn 添加量は 1.5% 未満とする。

10

Mn/S : 70 以上 30000

上述のとおり、S の鋼材表面への濃化を防止するために、S に対して Mn を一定以上の比で添加し、MnS による S の無害化を図る必要がある。Mn と S の添加量の比 Mn/S が 70 以上であると、S の無害化効果が著しく向上する。しかしながら、 Mn/S が 70 未満であると、鋼材表面に S が濃化し、軟窒化処理時の化合物層の形成が妨げられるため、 Mn/S を 70 以上とした。

図 3 は、後述する条件で軟窒化処理したときの Mn/S と化合物厚さとの関係を示す図である。図 3 から明らかなように、 Mn/S を 70 以上にすることにより、軟窒化処理後に $10 \mu m$ 以上の厚さの化合物層が得られる。一方、 Mn/S が 30000 を超えても、S の無害化の効果は飽和するため、 Mn/S の上限は 30000 とした。

20

Al: 0.01 ~ 0.5%

Al は、Al 窒化物として鋼中に析出分散することにより、高周波焼入処理時のオーステナイト組織の細粒化に有効に働き、さらに焼入れ性を高めて硬化層深さを大きくする元素である。また、被削性向上にも有効な元素である。したがって、Al 添加量は 0.01% 以上とする必要がある。そして、軟窒化処理時に N と化合物を形成し、鋼材の表層近傍の N 濃度を高める効果があり、面疲労強度向上にも有効な元素である。したがって、Al 添加量は 0.01% 以上とする必要である。一方、Al 添加量が 0.5% を超えると、析出物 (Al 窒化物) が粗大化して鋼を脆化させるため上限を 0.5% とした。

30

B: 0.0003% 未満

B が、鋼中に不可避免的に含有されても、B の含有量を 0.0003% 未満に制限することで、本発明の効果を損ねることはない。

B: 0.0003 ~ 0.005%

B が鋼中に添加されると、鋼中の N と B とが化合し、鋼中に BN を形成するが、高周波加熱時に BN が分解されて B となり、焼入れ性を大きく改善し、面疲労強度が向上する。その効果を得るには、B 添加量は 0.0003% 以上とする必要がある。一方、B 添加量が 0.005% を超えてもその効果は飽和し、さらに、圧延や鍛造時の割れの原因ともなるため、0.005% を上限とした。なお、BN は、冷却速度の遅い熱処理や、冷却速度が通常遅い冷間加工の冷却中に形成される。したがって、冷間加工後、軟窒化処理及び高周波焼入れ前に行われる切削加工時には、BN が被削性を向上させ、切削加工が行われた後、高周波焼入れによって BN が分解されて焼入れ窒化層となり、その焼入れ窒化層が面疲労強度を向上させるため、高い面疲労強度が要求される機械構造用部品を製造するのに好都合である。

40

S: 0.0001 ~ 0.021%

S は、被削性を向上させる効果がある。しかしながら、S は、鋼材表面に濃化することにより軟窒化処理時に N の鋼材への侵入を妨げる軟窒化阻害元素である。S 添加量が 0.021% を超えると、鋼材への N の侵入を著しく妨げ、さらに鍛造性も著しく劣化する。したがって、被削性向上のため、S を含有させたとしても 0.021% 以下とする必要が

50

ある。一方、S添加量の下限は工業的限界の0.0001%とした。なお、上述したとおり、MnSとしてSを鋼中に固定し、軟窒化阻害を無害化するため、Mn/Sの下限は70とする。一方、Mn/Sが30000をこえても、軟窒化阻害を無害化する効果は飽和するため、Mn/Sの上限は30000とする必要がある。

N: 0.003~0.0055%

Nは、各種窒化物を形成して高周波焼入時のオーステナイト組織の細粒化に有効であり、その効果を得るには、N添加量は0.003%以上とする必要がある。一方、過剰なNが添加されると硬さが上昇し、さらに、NとAlとが化合してAlNを生成し、被削性向上に有効な固溶Alが減少するため被削性が劣化する。また、過剰に添加されたNは、高温域の延性を低下させ、さらに、粗大AlNや粗大BNを生成するため素材を著しく脆化し、圧延や鍛造の際に割れを発生させる。したがって、N添加量は0.0055%以下に制限する必要がある。

10

P: 0.0001~0.03%

Pは、粒界に偏析して靱性を低下させるため極力低減することが好ましく、0.03%以下に制限することが必要である。P添加量の下限は工業的限界の0.0001%とする。

O: 0.0001~0.0050%以下

Oは、 Al_2O_3 や SiO_2 等の酸化物系介在物として鋼中に存在するが、Oが多いとこのような酸化物が大型化する。この大型化した酸化物を起点として、動力伝達部品は破損に至るため、O含有量は0.0050%以下に制限する必要がある。O含有量は少ないほど好ましいため、0.0020%以下とすることがより好ましく、高寿命を指向する動力伝達部品の場合には、0.0015%以下とすることがさらに好ましい。なお、O含有量の下限は工業的限界の0.0001%とする。

20

次に、任意添加元素の規定理由について説明する。

[鋼材強化元素]

W: 0.0025~0.5%

Wは、焼入性向上により面疲労強度を向上する元素である。しかしながら、Wの添加により鋼材の硬さが上昇し、被削性が劣化するため、Wの添加には制限がある。焼入れ性を向上させて、面疲労強度の大幅な向上を達成するためには、W添加量は0.0025%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.03%以上である。一方、W添加量が0.5%を超えると、その効果は飽和し経済性が損なわれるため0.5%を上限とした。

30

Cr: 0.2~2.0%

Crは、添加することにより窒化特性と焼入層の軟化抵抗を向上させ、面圧疲労強度を向上させる効果がある。その効果を得るには、Cr添加量は0.2%以上とすることが好ましい。一方、Cr添加量が2.0%を超えると切削性が悪化するため、Cr添加量の上限は2.0%とすることが好ましい。

Mo: 0.05~1.0%

Moは、添加することにより焼入層の軟化抵抗を向上させ、面疲労強度を向上させる効果に加えて、焼入層を強靱化して曲げ疲労強度を向上させる効果を併せもつ。これらの効果を得るには、Mo添加量は0.05%以上とすることが好ましい。一方、Mo添加量が1.0%を超えても、これらの効果は飽和し経済性を損ねるため、Mo添加量の上限は1.0%とすることが好ましい。

40

V: 0.05~1.0%

Vは、添加することにより窒化物として鋼中に析出分散し、高周波焼入れの際にオーステナイト組織を細粒化するのに有効である。その効果を得るには、V添加量は0.05%以上とすることが好ましい。一方、V添加量が1.0%を超えてもその効果は飽和し経済性を損ねるため、V添加量の上限は1.0%とすることが好ましい。

Nb: 0.005~0.3%

Nbは、添加することにより窒化物として鋼中に析出分散し、高周波焼入れの際にオーステナイト組織を細粒化するのに有効である。その効果を得るには、Nb添加量は0.0

50

0.5%以上とすることが好ましい。一方、Nb添加量が0.3%を超えてもその効果は飽和し経済性を損ねるため、Nb添加量の上限は0.3%とすることが好ましい。

Ti: 0.005~0.2%

Tiは、添加することにより窒化物として鋼中に析出分散し、高周波焼入れの際にオーステナイト組織を細粒化するのに有効である。その効果を得るには、Ti添加量は0.005%以上とすることが好ましい。一方、Ti添加量が0.2%を超えると、析出物(Tiの窒化物)が粗大化して鋼を脆化させるため、Ti添加量の上限は0.2%とすることが好ましい。

Ni: 0.05~2.0%

Niは、添加することにより靱性をさらに向上させる効果がある。その効果を得るには、Ni添加量は0.05%以上とすることが好ましい。一方、Ni添加量が2.0%を超えると、被削性が悪化するため、Ni添加量の上限は2.0%とすることが好ましい。

Cu: 0.01~2.0%

Cuは、フェライトを強化し、焼入れ性や耐食性の向上に有効である。Cu添加量が0.01%未満ではその効果は認められないため、Cu添加量は0.01%以上とすることが好ましい。一方、Cu添加量が2.0%を超えても、焼入れ性向上による機械的性質の向上効果は飽和するため、Cu添加量の上限は2.0%とすることが好ましい。なお、Cuを添加すると、熱間延性を低下させ、圧延時の疵の原因となりやすいため、CuはNiと同時に添加することが好ましい。

[曲げ強度向上元素]

機械構造用部品が曲げ疲労強度の向上を求められる場合には、次の含有量のCa、Mg、Zr、Teのうちの1種または2種以上を、次に示す範囲で添加してもよい。

Ca: 0.0005~0.01%、Mg: 0.0005~0.01%、Zr: 0.0005~0.05%、Te: 0.0005~0.1%

Ca、Mg、Zr及びTeはいずれも、鋼中に存在するMnSの延伸を抑制し、一層曲げ疲労強度を向上させ、歯車の曲げ疲労破壊や、軸部品のスプライン底の疲労破壊を発生し難くする元素である。MnSの延伸抑制効果は、Caで0.0005%以上、Mgで0.0005%以上、Zrで0.0005%以上、Teで0.0005%以上添加することにより得られる。したがって、Ca: 0.0005%、Mg: 0.0005%、Zr: 0.0005%、Te: 0.0005%を、それぞれの添加量の下限とすることが好ましい。一方、Caで0.01%、Mgで0.01%、Zrで0.05%、Teで0.1%を超えて添加しても、MnSの延伸抑制効果は飽和し経済性を損なう。したがって、Ca: 0.01%、Mg: 0.01%、Zr: 0.05%、Te: 0.1%を、それぞれの添加量の上限とすることが好ましい。

また、上記で規定した元素の他、本発明の効果を損なわない範囲で、Pb、Bi、Sn、Zn、Rem、Sbを含有させることができる。

次に、鋼部品の表層の焼入れ窒化層の厚さと硬さについて説明する。

本発明の鋼部品は、軟窒化処理後、高周波焼入れを施し、焼入れ窒化層を形成した鋼部品である。焼入れ窒化層を形成した後の鋼の表面硬化性は、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上とすることが必要である。300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650未満であると、十分に軟化抵抗が増大せず、その結果、高温化(300℃前後)する稼働面(鋼部品表面)に亀裂が発生し面疲労破壊する。

そして、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以上である範囲は、鋼の表面から0.2mmの深さまでであることが好ましい。300℃で焼き戻ししたときのビッカース硬さが650以上である範囲が、鋼の表面から0.2mmより浅いと、負荷される面圧に鋼部品が耐えることができず、特に300℃前後の高温下で負荷される面圧に耐えることができず、鋼部品が疲労破壊する。

また、焼入れ窒化層の厚さは0.4mm以上であることが好ましい。焼入れ窒化層の厚さが0.4mm未満であると、鋼部品に高い面圧が負荷された際に、表面亀裂が発生し、その表面亀裂が起点となって破壊する前に、スポーリングによる内部破壊が発生し、鋼部

10

20

30

40

50

品の疲労寿命が短くなってしまうからである。

実際の鋼部品において、軟窒化処理後に高周波焼入れを施した鋼部品であることは、鋼部品からサンプルを採取してナイトール腐食後に光学顕微鏡で観察されるミクロ組織分布と、表面から芯部への硬さ分布により判別することができる。

焼入れ窒化層を形成して高い面疲労強度を得るためには、鋼最表層に化合物層（主に Fe_3N 、 Fe_4N 等の Fe 窒化物からなる層）を形成することができる軟窒化処理を行うことが必要である。この化合物層中の Fe 窒化物は、軟窒化処理後に施される高周波加熱で分解され、鋼中に十分な量の N を拡散させ焼入れ窒化層を形成する。つまり、焼入れ窒化層形成のための N 供給源となる化合物層を形成するために軟窒化処理を行うことが必要である。そして、軟窒化処理後に高周波焼入れを施して得られた焼入れ窒化層は、高い N 濃度を示す。

10

鋼中に十分な量の N を拡散させ、硬く、そして、軟化抵抗、特に焼入れ軟化抵抗を向上させることができる焼入れ窒化層を厚く形成するには、軟窒化処理後の化合物層の厚さを $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

また、軟窒化処理温度は $500\sim600\text{ }^\circ\text{C}$ の範囲とすることが好ましい。軟窒化処理温度が $600\text{ }^\circ\text{C}$ 超では、化合物層を $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることができず、さらに化合物層中の N 濃度も低くなる。また、軟窒化処理温度が $600\text{ }^\circ\text{C}$ 超では、鋼材の熱変形、粒界酸化等も発生する。一方、軟窒化処理温度が $500\text{ }^\circ\text{C}$ 未満であると、鋼材への N の侵入が著しく低下するため、軟窒化処理温度の下限は $500\text{ }^\circ\text{C}$ とすることが好ましい。

軟窒化処理時間を長くすると、化合物層及び窒化層深さは大きくなるが、その効果は 3 時間程度で飽和するため、軟窒化処理時間は $1\sim3$ 時間とすることが好ましい。

20

軟窒化処理後の冷却は、空冷、 N_2 ガス冷却、油冷等いずれの方法で行ってもよい。

また軟窒化処理としては、ガス軟窒化処理、塩浴軟窒化処理のいずれも適用することができる。

なお、鋼材表面に窒素を供給し、鋼材の最表層に $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の化合物層が形成される方法であれば、軟窒化処理のみならず窒化処理（ NH_3 のみで長時間処理する表面硬化方法のことを意味し、 NH_3 と CO_2 との混合雰囲気（場合によっては N_2 もさらに混合する混合雰囲気）で $1\sim3$ 時間の短時間で処理することができる軟窒化処理とは工業的に区別されている。）を適用してもよい。

本発明において、短時間で鋼材の最表層に $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の化合物層を形成することができる点で、窒化処理と比べて軟窒化処理の方がより好ましいが、軟窒化処理に限定されるものではない。

30

また、軟窒化処理で鋼材の最表層に形成された化合物層を分解し、その最表層よりも鋼材の内部へ N を拡散し、 $300\text{ }^\circ\text{C}$ で焼戻ししたときのビッカース硬さが 650 以上となる高い表面硬化性を得るためには、軟窒化処理後に鋼材を高周波加熱によりオーステナイト化して焼入れし、焼入れ窒化層を形成する高周波焼入れを施すことが必要である。

高周波焼入れを施す際の加熱方法は、軟窒化処理で形成される化合物層の分解を考慮しなければならない。高周波加熱温度は、オーステナイト変態点以上 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 未満とする。また、保持時間は $0.05\sim5$ 秒とする。なお、保持時間とは、高周波加熱した鋼材の温度がオーステナイト変態点に達した時点から、オーステナイト変態点以上 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 未満の範囲に鋼材の温度を保持する時間のことをいう。

40

図 4 に、高周波焼入れ後における、鋼の表面から 0.2 mm の深さでの、 N 濃度と $300\text{ }^\circ\text{C}$ で焼戻ししたときのビッカース硬さ（ Hv ）との関係を調査した結果を示す。

図 4 から明らかなように、鋼の表面から 0.2 mm の深さでの $300\text{ }^\circ\text{C}$ 焼戻しビッカース硬さが 650 以上の場合には、鋼の表面から 0.2 mm の深さでの N 濃度は 0.4% 以上であった。

また、高周波加熱の温度が $900\text{ }^\circ\text{C}$ 以上であると、 N が不必要に内部まで拡散し、表面から 0.2 mm の深さでの N 濃度が 0.4% 以上とならず、 $300\text{ }^\circ\text{C}$ で焼戻ししたときのビッカース硬さが 650 以下になり、その結果、面疲労強度を向上させることができない。そして、高周波加熱の温度が $900\text{ }^\circ\text{C}$ 以上であると、鋼材表面の酸化層の増大により機

50

械的性質の劣化を引き起こす。

一方、高周波加熱の温度がオーステナイト変態点以下であると、鋼材がマルテンサイト変態しないことから高い表面硬度を得ることができない。

保持時間が0.05秒未満であると、化合物層の分解や、化合物層が分解して生成したNの拡散が不十分となる。一方、保持時間が5秒を超えると、Nが不必要に内部まで拡散し、鋼の表面から0.2mmの深さでのN濃度が0.4%以上とならず、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが650以下になり、その結果、面疲労強度を向上させることができない。

高周波加熱をする際の周波数は、小物部品であれば400kHz前後、大物部品であれば5kHz前後とすることが好ましい。

焼入れに用いる冷媒は、水、ポリマー焼入材など水系で冷却能が大きなものを使用するとよい。

高周波焼入れ後は、一般的な浸炭焼入れ品に準じて、150℃前後の低温焼戻しを施して部品の靱性を確保することが好ましい。

次に、本発明の鋼材及び鋼部品の表層組織について説明する。

本発明の鋼材及び鋼部品は、軟窒化処理後、高周波焼入れを施しているため、表面から深さ5μm以上の深さまで、円相当径で0.1~1μmの空孔が10000個/mm²以上存在するものである。

例えば、歯車のような転がりによる面疲労が原因で破壊する部材では、稼働面の潤滑が重要で、潤滑が充分でなければ部品同士が接触することにより焼付きや凝着が発生し、面疲労破壊が発生する。十分な潤滑膜を形成するためには稼働面に潤滑剤油膜が途切れなく形成されるように油溜まりを設けることが有効である。

本発明の鋼材及び鋼部品は、鋼材の最表層に軟窒化処理によりFe₃N、Fe₄N等のFe窒化物主体の化合物層を形成した後、これらのFe窒化物を高周波加熱により分解するとともに、鋼をオーステナイト化して焼入れ処理を施すことで得られる焼入れ窒化層を有する。この焼入れ窒化層は、化合物層中のFe窒化物が分解され、その分解されたNが鋼材の内部へ拡散することで形成される。その形成過程において、化合物層中のFe窒化物が存在していた部位は、多数の分散された空孔となり、焼入れ窒化層は硬質の多孔質層となる。そして、これらの多数の分散された空孔が油溜りとして機能することで潤滑効果が向上し、鋼材の耐摩耗性、耐久性が一層向上する。

空孔は、その大きさが円相当径で0.1~1μm、密度が10000個/mm²以上であり、そして、これらの空孔が表面から5μm以上の深さまで存在すると油溜りとして有効に機能する。このような空孔は、軟窒化処理や高周波加熱の条件を制御することで得られる。

軟窒化処理のままの化合物層でも、少数の空孔は存在するため、油溜りとしての機能を有するが、軟窒化処理のままの化合物層は極めて脆く、大きな面圧に耐えることはできないため、軟窒化処理のままの鋼材は、面疲労破壊を招く。

空孔の大きさが円相当径で1μmを超えると、鋼部品の表面粗さが劣化してピッチング等の面疲労破壊の起点となり、面疲労強度を低下させる。一方、空孔の寸法が円相当径で0.1μm未満の場合、油溜りとして十分な機能が得られない。

空孔の密度が10000個/mm²未満であると、油溜りとして有効に機能しない。

また、歯車等の摺動部材は、部材の表面から5μm程度摩耗するまで使用されることが一般的であるため、空孔は鋼部品の表面から5μm以上の深さまで存在させることが好ましい。

この空孔の大きさと密度は、軟窒化処理及び高周波加熱の条件に依存する。油溜りとして有効に機能する空孔の大きさと密度を得るには、好ましくは軟窒化処理温度を580℃以上600℃未満、高周波加熱温度を880℃以上900℃未満、保持時間を1~4秒とすることが好ましい。なお、これらの条件が、高い面疲労強度を有する鋼材及び鋼部品が具える焼入れ窒化層を得るための条件を満足していることはもちろんである。

また、焼入れ後の表層はマルテンサイト組織で、芯部はフェライトーパーライト組織の

10

20

30

40

50

ままとする。これは表層のみマルテンサイト変態させることで表層に圧縮残留応力を付与し、面疲労強度を向上させるためである。芯部までマルテンサイト変態させてしまうと、表層の圧縮残留応力が減少してしまい、面疲労強度が低下するためである。

なお、上述したところは、本発明の実施形態を例示したものにすぎず、請求の範囲の記載範囲内において種々変更を加えることができる。

【実施例】

【0009】

次に、本発明を実施例でさらに説明するが、実施例での条件は、本発明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り、本発明は、この一条件例に限定されるものではない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

表1～2及び表4～5に示す成分組成を有する各鋼材に鍛造と焼鈍を施した後、面疲労強度を評価するためのローラーピッチング試験片として、直径26mm、幅28mmの円筒部を有する小ローラー試験片と、直径130mm、幅18mmの大ローラー試験片を製作した。

小ローラー試験片及び大ローラー試験片は、軟窒化処理（表3及び表6に示す温度で2時間の窒化後、 N_2 ガス冷却、窒化ガス組成： N_2 （ $0.45Nm^3/h$ ）+ NH_3 （ $0.5Nm^3/h$ ）+ CO_2 （ $0.05Nm^3/h$ ））を行い、ついで高周波焼入れ（周波数100kHz）を施した。高周波焼入れ時の冷媒は水道水またはポリマー焼入剤を用いた。その後、150℃で60分の焼戻し処理を行い疲労試験に供した。

製作した小ローラー試験片と大ローラー試験片を用いて標準的な面疲労試験であるローラーピッチング疲労試験を行った。

ローラーピッチング疲労試験は、小ローラー試験片に種々のヘルツ応力（面圧）で大ローラー試験片を押し付け、滑り率を40%（大ローラー試験片の周速が、小ローラー試験片と大ローラー試験片との接触部で、小ローラー試験片よりも40%大きい）で試験を行った。なお、小ローラー試験片と大ローラー試験片との接触部での回転方向は同一とする。また、小ローラー試験片と大ローラー試験片との接触部に供給するギア油の油温は90℃とした。

試験打ち切り回数は、一般的な鋼の疲労限を示す1000万回（ 10^7 回）とし、小ローラー試験片においてピッチングが発生せずに1000万回の回転数に達した最大ヘルツ応力を小ローラー試験片の疲労限とした。ピッチング発生を検出は、試験機に備え付けてある振動計によって行い、振動検出後に、小ローラー試験片と大ローラー試験片の両方の回転を停止させ、ピッチングの発生と回転数を確認した。

また、焼戻し軟化抵抗評価用に、直径26mm、長さ100mmの円筒状の硬さ測定試験片を製作した。硬さ測定試験片は、小ローラー試験片及び大ローラー試験片と同一条件で軟窒化処理及び高周波焼入れを施した。その後、300℃で60分の焼戻し処理を行い、断面切断後、硬さ測定試験片の表面から芯部への硬さ分布をピッカース硬度計で測定した。なお、高周波焼入れ後における硬さ測定試験片の表層はマルテンサイト組織で、芯部はフェライトパーライト組織のままであった。また、併せて、硬さ測定試験片の表面から0.2mmの深さのN濃度をEPMAで測定した。

そして、円相当径で0.1～1μmの大きさを有する空孔の密度は、小ローラー試験片及び大ローラーと試験片と同一条件で軟窒化処理及び高周波焼入れを施した硬さ測定試験片を、圧延と直角な断面で切断し、樹脂埋込みを行い、鏡面研磨したものの最表層部を画像処理して求めた。画像処理は3000倍で1視野50μm²を40視野以上行った。画像処理して求めた空孔数を1mm²当たりの空孔数に換算した。

さらに、被削性評価用に、直径45mm、長さ100mmの円筒試験片を製作した。被削性は、軟窒化処理及び高周波焼入れ前の素材の状態で評価を行うため、被削性評価用試験片は、鍛造、焼鈍のままとした。被削性評価は、歯車やクランクシャフト等の自動車部品の生産に用いられるNCマシニングセンタによるMQL（Minimum Quantity Lubrication：最少量潤滑）を用いた深穴穿孔試験とし、表7に示す

10

20

30

40

50

条件で穿孔した際のドリル折損までの穿孔個数を計測した。ただし1000個以上の穿孔を達成したものは、被削性良好として試験を打ち切った。

表3及び表6に結果を示す。表3に示すように、実施例1～40の発明例はいずれもローラーピッチング疲労試験における1000万回（ 10^7 回）での面疲労強度（最大ヘルツ応力）が3700MPa以上の高い値であり、優れた面疲労強度を有していることが明らかになり、表6に示す実施例41～62の比較例に対して良好な結果を得ることができることを確認した。このような優れた面疲労強度により、本発明の鋼材及び鋼部品は、常温はもちろんのこと、300℃前後の高温においても、高い面圧が負荷される部材に使用することができる。

例えば、実施例1～8の発明例は、Si、Mn、Alを適正量添加した鋼であるが、600℃未満の軟窒化処理による10μm以上の厚さの化合物層の形成と、その後のオーステナイト変態点以上900℃以下での0.08～4.9秒の高周波焼入れにより、300℃焼戻しでのビッカース硬さ650以上が得られ、その結果、優れた面疲労強度を得られていることを確認できた。また、実施例1～8の発明例の焼入れ窒化層厚さは0.4mm以上であり、表面から0.2mm位置でのN濃度が高いことも併せて確認できた。そして、穿孔個数が1000個以上であることにより、鍛造後（軟窒化処理及び高周波焼入れ前）における被削性も優れていることを確認した。

また、実施例9～24の任意添加元素を添加したものにおいても、ローラーピッチング疲労試験における1000万回（ 10^7 回）での面疲労強度（最大ヘルツ応力）が3700MPa以上の高い値を示しており、良好な面疲労強度が得られていることが確認できた。

そして、実施例25～40の発明例は、焼入れ窒化層の表面から5μmの深さまで円相当径で0.1～1μmの空孔を10000個/mm²以上存在させたものであるが、ローラーピッチング疲労試験における1000万回（ 10^7 回）での面疲労強度（最大ヘルツ応力）が3700MPa以上の高い値を示しており、良好な面疲労強度が得られていることが確認できた。

これに対し、成分組成が本発明の範囲から外れた鋼を、軟窒化処理後に高周波焼入れを施した実施例41～62の比較例は、疲労試験寿命がいずれも、1000万回（ 10^7 回）寿命での面疲労強度（最大ヘルツ応力）が3700MPaに満たない値を示し、発明例に比べて、面疲労強度が劣ることを確認できた。

実施例42の比較例ではB添加量が、実施例43の比較例ではN添加量が、本発明の上限を超えているため、鋼が著しく脆化し、鍛造時に割れが発生し評価できなかった。

実施例44、48の比較例ではMn/Sが低く、Sの鋼材表面への濃化を防止できず、そのため軟窒化処理後の化合物層の厚さが薄く、300℃焼戻しでのビッカース硬さが650に満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低い。そして、高周波焼入れ後の鋼部品の焼入れ窒化層厚さは0.4mm未満と薄く、表面から0.2mmの深さまでのN濃度も低い。

実施例49の比較例は、Mn/Sが低いため化合物層の厚さが薄く、300℃焼戻しでのビッカース硬さが650未満であり、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低いことを確認した。

実施例51～54の比較例は、成分組成は本発明の範囲であるが、300℃焼戻しでのビッカース硬さが650未満であり、その結果、最大ヘルツ応力が3000MPaに満たないことを確認した。これは、実施例51～54は、いずれも、軟窒化処理後の化合物層は十分な厚さであるものの、実施例51は、高周波加熱温度が高過ぎるため、Nが不必要に鋼材の内部まで拡散され、焼入れ窒化層の厚さは0.65mmと充分であるものの、300℃焼戻しビッカース硬さが506と650に満たず、さらに、鋼材表面に酸化層が形成されるため面疲労強度（最大ヘルツ応力）を低下させている。そして、鋼材の表面から0.2mmの深さでのN濃度も0.09%と低い。実施例53は、保持時間（高周波加熱時間）が長すぎるため、Nが不必要に鋼材の内部まで拡散され、焼入れ窒化層の厚さは0.70mmと充分であるものの、300℃焼戻しでのビッカース硬さが540と650に

10

20

30

40

50

満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低い。そして、鋼材の表面から 0.2 mm の深さでの N 濃度も 0.20 % と低い。

実施例 55～56 の比較例は、300℃焼戻しでのビッカース硬さが 650 未満であり、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が 3000 MPa に満たないことを確認した。これは、軟窒化処理後の化合物層が薄いため、それにより、焼入れ窒化層の厚さも薄いためである。例えば、実施例 56 では、成分組成は本発明の範囲を満たしているものの、軟窒化処理温度が低過ぎるために化合物層が薄く、300℃焼戻しでのビッカース硬さが 650 に満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低い。また、焼入れ窒化層の厚さは 0.16 mm と薄い。

実施例 57 の比較例は、Mn 添加量が本発明の範囲より少なく、S 添加量が本発明の範囲より多く、Mn/S が本発明の範囲より小さく、そして、軟窒化処理温度も高過ぎるため、化合物層が薄く、300℃焼戻しでのビッカース硬さが 387 と 650 に満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低いことを確認した。また、焼入れ窒化層の厚さは 0.15 mm と薄く、鋼材の表面から 0.2 mm の深さでの N 濃度は 0.08 % と低い。

実施例 58～60 の比較例は、300℃焼戻しでのビッカース硬さが 650 に満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低い。これは、実施例 58～60 は、いずれも、化合物層が薄く、高周波加熱条件も適正ではないため、焼入れ窒化層が薄いからである。例えば、実施例 58 は、Mn 添加量が本発明の範囲より低く、Mn/S が本発明の範囲より小さいため、化合物層が薄く、また、高周波加熱温度が高いため、300℃での焼戻しでのビッカース硬さが 507 と 650 に満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）が低い。また、焼入れ窒化層厚さは 0.14 mm と薄く、鋼材の表面から 0.2 mm の深さでの N 濃度は 0.07 % と低い。

実施例 62 の比較例は、Mn/S が 15 と本発明の範囲より低く、軟窒化処理温度が高いため、化合物層は薄く、また高周波加熱温度が高いため、300℃焼戻しでのビッカース硬さが 650 に満たず、その結果、面疲労強度（最大ヘルツ応力）は 2600 MPa と非常に低い。また、焼入れ窒化層の厚さは 0.23 mm と薄く、鋼材の表面から 0.2 mm の深さでの N 濃度は 0.16 % と低い。

以上より、Si、Mn、Al を適正量添加し、Mn/S を適正範囲にした鋼を、軟窒化処理し、その後、高周波焼入れを施し、300℃で焼戻ししたときのビッカース硬さが 650 以上となる表面硬化性を有する発明例は、最大ヘルツ応力が 3700 MPa 以上の優れた面疲労強度を示すことが確認できた。

【表 1】

表 1

実施例	区分	化学成分 (質量%)								
		C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	B
1	発明例	0.32	0.61	0.66	0.014	0.006	0.120	0.002	0.0034	0.0004
1a	発明例	0.55	0.19	0.81	0.020	0.008	0.030	0.001	0.0039	0.0001
1b	発明例	0.53	0.19	0.79	0.025	0.010	0.022	0.002	0.0044	0.0002
2	発明例	0.37	0.59	1.15	0.022	0.008	0.035	0.001	0.0034	0.0005
3	発明例	0.49	0.45	1.16	0.009	0.009	0.069	0.004	0.0042	0.0010
4	発明例	0.51	1.20	1.40	0.025	0.016	0.153	0.002	0.0040	0.0006
5	発明例	0.54	0.25	0.80	0.019	0.007	0.126	0.003	0.0031	0.0015
6	発明例	0.55	0.85	0.96	0.012	0.010	0.159	0.001	0.0038	0.0023
7	発明例	0.55	1.32	1.23	0.021	0.014	0.080	0.002	0.0041	0.0004
8	発明例	0.59	0.85	0.72	0.021	0.006	0.099	0.004	0.0049	0.0038
9	発明例	0.54	1.30	0.85	0.017	0.009	0.025	0.002	0.0030	0.0004
10	発明例	0.46	0.85	0.79	0.023	0.009	0.021	0.003	0.0043	0.0009
11	発明例	0.44	0.69	1.07	0.015	0.010	0.192	0.001	0.0044	0.0008
12	発明例	0.41	1.41	1.44	0.014	0.011	0.102	0.001	0.0040	0.0017
13	発明例	0.51	0.79	0.85	0.022	0.012	0.110	0.001	0.0036	0.0005
14	発明例	0.55	0.34	1.12	0.015	0.008	0.099	0.001	0.0044	0.0009
15	発明例	0.45	0.91	0.67	0.020	0.009	0.089	0.001	0.0042	0.0006
16	発明例	0.45	0.75	1.29	0.021	0.018	0.021	0.003	0.0037	0.0005
17	発明例	0.35	0.40	0.50	0.020	0.005	0.089	0.004	0.0049	0.0005
18	発明例	0.46	0.54	0.71	0.020	0.007	0.021	0.002	0.0041	0.0005
19	発明例	0.45	1.41	0.53	0.010	0.007	0.087	0.005	0.0050	0.0021
20	発明例	0.51	0.29	0.85	0.023	0.007	0.045	0.004	0.0050	0.0005
21	発明例	0.50	1.67	0.56	0.021	0.004	0.089	0.004	0.0042	0.0004
22	発明例	0.49	0.55	0.83	0.013	0.010	0.310	0.004	0.0050	0.0029
23	発明例	0.48	1.00	1.20	0.024	0.010	0.110	0.004	0.0040	0.0008
24	発明例	0.45	0.89	1.32	0.011	0.011	0.109	0.002	0.0038	0.0010
25	発明例	0.40	0.25	0.55	0.010	0.005	0.082	0.001	0.0041	0.0006
26	発明例	0.45	1.43	0.69	0.011	0.009	0.096	0.001	0.0042	0.0015
27	発明例	0.48	0.59	1.00	0.020	0.009	0.085	0.002	0.0038	0.0029
28	発明例	0.51	1.00	0.85	0.018	0.007	0.101	0.003	0.0031	0.0006
29	発明例	0.55	1.56	0.75	0.013	0.008	0.123	0.002	0.0042	0.0005
30	発明例	0.56	1.90	0.84	0.020	0.006	0.030	0.003	0.0040	0.0005
31	発明例	0.43	0.25	0.43	0.017	0.003	0.193	0.003	0.0051	0.0033
32	発明例	0.50	0.95	0.75	0.020	0.005	0.102	0.003	0.0043	0.0006
33	発明例	0.48	0.72	1.02	0.013	0.007	0.110	0.003	0.0035	0.0010
34	発明例	0.41	0.81	0.75	0.013	0.009	0.099	0.002	0.0040	0.0004
35	発明例	0.45	0.31	0.83	0.020	0.011	0.123	0.001	0.0033	0.0004
36	発明例	0.53	0.51	1.01	0.011	0.013	0.025	0.002	0.0041	0.0009
37	発明例	0.57	0.46	1.07	0.015	0.015	0.243	0.002	0.0051	0.0022
38	発明例	0.50	0.66	1.13	0.010	0.011	0.034	0.002	0.0046	0.0007
39	発明例	0.45	1.01	0.83	0.018	0.010	0.025	0.003	0.0046	0.0010
40	発明例	0.42	0.26	0.58	0.016	0.006	0.027	0.002	0.0036	0.0004

10

20

30

40

【表 2】

表 2 (表 1 の続き)

実施例	区分	化学成分 (質量%)												Mn/S
		Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Ca	Mg	Zr	Te	
1	発明例													116
1a	発明例													101
1b	発明例													79
2	発明例													142
3	発明例													126
4	発明例													90
5	発明例													108
6	発明例													94
7	発明例													91
8	発明例													126
9	発明例	0.75												93
10	発明例		0.28											90
11	発明例			0.19	0.23									112
12	発明例						0.13							135
13	発明例	0.51			0.12									74
14	発明例	1.13					0.09							145
15	発明例	1.30			0.10									71
16	発明例	0.79	0.31											72
17	発明例	0.43		0.14	0.22		0.09							99
18	発明例	1.84	0.12	0.14	0.44		0.10							105
19	発明例					0.02	0.11							77
20	発明例			0.30			0.10			0.0011		0.0011		121
21	発明例		0.38			0.05		0.48	0.11		0.0044			148
22	発明例	1.63	0.69		0.25	0.12	0.14						0.009	82
23	発明例	0.79	0.35	0.11	0.13					0.0009	0.0008			122
24	発明例	0.78	0.09	0.11	0.15	0.06	0.07	0.24	0.08	0.0006	0.0006	0.0027	0.009	123
25	発明例													120
26	発明例													76
27	発明例													108
28	発明例													128
29	発明例													95
30	発明例													142
31	発明例	1.13												132
32	発明例						0.10							140
33	発明例	0.79					0.12							142
34	発明例	1.01		0.07	0.11									80
35	発明例	0.52	0.01		0.10									73
36	発明例	1.10	0.07	0.06	0.10		0.02							76
37	発明例	0.61						0.26	0.11					71
38	発明例	0.95	0.09	0.06	0.11			0.62	0.14					101
39	発明例	0.85	0.11		0.12		0.02	0.25	0.11					82
40	発明例	0.94	0.05	0.12	0.13	0.06	0.04	0.36	0.09	0.0005	0.0006	0.0026	0.010	91

【表 3】

表 3

実施例	区分	被削性 穿孔 個数 (個)	軟窒化処理		高周波加熱条件		高周波焼入れ後			面疲労 強度 (最大ヘルツ 応力) (MPa)
			温度 (℃)	化合物 層厚さ (μm)	温度 (℃)	時間 (秒)	焼入れ 窒化層 厚さ (mm)	表面から0.2mm の深さでの300 ℃焼戻しビッカース 硬さ	空孔 密度 (個/mm ²)	
1	発明例	>1000	552	28	897	1.6	0.40	691	7435	3700
1a	発明例	>1000	575	24	899	4.9	0.40	720	8352	3700
1b	発明例	>1000	575	26	898	4.9	0.41	709	7257	3700
2	発明例	>1000	582	30	877	2.5	0.42	705	7432	3700
3	発明例	>1000	566	23	837	4.2	0.42	718	6614	3700
4	発明例	>1000	575	21	894	2.9	0.41	691	5457	3700
5	発明例	>1000	583	24	881	4.9	0.40	764	6684	3700
6	発明例	>1000	577	23	832	4.4	0.41	819	6357	3700
7	発明例	>1000	590	19	854	4.9	0.40	675	8532	3700
8	発明例	>1000	553	21	893	2.4	0.42	894	8533	3700
9	発明例	>1000	598	27	898	0.9	0.41	689	7607	3750
10	発明例	>1000	552	20	861	0.08	0.42	709	8381	3750
11	発明例	>1000	587	25	859	3.2	0.42	757	7006	3800
12	発明例	>1000	588	22	801	2.4	0.40	759	8725	3750
13	発明例	>1000	575	20	890	1.8	0.42	679	5469	3750
14	発明例	>1000	582	26	882	0.9	0.41	728	5453	3750
15	発明例	>1000	591	28	892	0.5	0.40	704	5737	3750
16	発明例	>1000	595	29	855	3.4	0.42	698	5133	3750
17	発明例	>1000	570	22	885	2.2	0.42	746	8739	3800
18	発明例	>1000	569	25	893	4.5	0.40	765	8153	3800
19	発明例	>1000	590	24	882	4.4	0.41	805	7211	3750
20	発明例	>1000	571	22	881	2.5	0.41	801	7724	3800
21	発明例	>1000	580	31	872	4.5	0.42	693	7031	3750
22	発明例	>1000	574	27	898	0.5	0.40	909	7759	3750
23	発明例	>1000	571	24	895	0.8	0.41	715	7058	3750
24	発明例	>1000	588	28	822	3.2	0.41	840	8906	3800
25	発明例	>1000	589	25	882	1.2	0.40	831	20880	3800
26	発明例	>1000	582	28	890	2.9	0.42	791	26862	3800
27	発明例	>1000	593	27	899	2.4	0.41	909	19154	3800
28	発明例	>1000	591	26	896	1.9	0.42	701	42901	3800
29	発明例	>1000	581	25	894	2.4	0.42	690	21158	3800
30	発明例	>1000	598	28	882	2.8	0.42	696	43255	3800
31	発明例	>1000	583	33	893	1.2	0.41	994	11438	3800
32	発明例	>1001	599	30	888	3.4	0.41	707	20960	3800
33	発明例	>1002	587	29	884	1.2	0.42	744	17667	3800
34	発明例	>1000	585	24	889	3.4	0.42	798	37155	3850
35	発明例	>1000	596	26	893	1.3	0.41	678	29928	3850
36	発明例	>1000	596	29	888	1.3	0.41	841	47635	3850
37	発明例	>1000	581	23	882	3.1	0.42	809	34410	3800
38	発明例	>1000	588	28	893	2.8	0.42	778	30449	3850
39	発明例	>1000	581	26	898	1.2	0.41	739	10752	3850
40	発明例	>1000	596	27	895	2.1	0.41	790	47202	3850

10

20

30

40

【表 4】

表 4

実施例	区分	化学成分 (質量%)								
		C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	B
41	比較例	0.15	0.83	1.45	0.022	0.016	0.015	0.002	0.0090	
42	比較例	0.55	0.10	0.89	0.009	0.011	0.025	0.001	0.0052	0.0152
43	比較例	0.45	0.25	0.50	0.010	0.006	0.450	0.001	0.0160	0.0030
44	比較例	0.44	1.33	0.51	0.015	0.051	0.074	0.002	0.0090	
48	比較例	0.55	0.28	0.31	0.010	0.025	0.020	0.005	0.0047	
49	比較例	0.56	0.26	0.85	0.005	0.013	0.030	0.001	0.0056	
50	比較例	0.11	0.80	2.59	0.013	0.012	0.029	0.001	0.0110	0.0005
51	比較例	0.35	0.32	1.44	0.016	0.010	0.025	0.002	0.0053	0.0008
52	比較例	0.40	0.25	1.35	0.018	0.011	0.017	0.002	0.0052	0.0009
53	比較例	0.44	0.68	1.23	0.012	0.013	0.013	0.003	0.0047	0.0008
54	比較例	0.45	0.10	1.11	0.014	0.012	0.025	0.003	0.0051	0.0006
55	比較例	0.47	0.45	1.45	0.013	0.011	0.026	0.004	0.0047	0.0006
56	比較例	0.55	0.45	1.34	0.021	0.018	0.052	0.003	0.0050	0.0005
57	比較例	0.44	0.86	0.30	0.022	0.024	0.027	0.002	0.0047	0.0006
58	比較例	0.45	0.25	0.25	0.005	0.015	0.030	0.001	0.0050	0.0010
59	比較例	0.55	0.25	0.33	0.005	0.013	0.029	0.001	0.0047	0.0006
60	比較例	0.55	0.25	0.28	0.003	0.010	0.033	0.001	0.0053	
61	比較例	0.11	0.12	0.79	0.009	0.010	0.020	0.001	0.0090	
62	比較例	0.20	0.25	0.25	0.010	0.017	0.015	0.001	0.0047	

【表 5】

表 5 (表 4 の続き)

実施例	区分	化学成分 (質量%)												Mn/S
		Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Ca	Mg	Zr	Te	
41	比較例													91
42	比較例													81
43	比較例													83
44	比較例	0.51	1.43											10
48	比較例	0.60	0.11		0.37									12
49	比較例	0.49	0.59		0.51		0.0018							65
50	比較例												0.050	216
51	比較例													144
52	比較例	1.89	0.41											123
53	比較例	0.91												95
54	比較例		0.48	0.07	0.31									93
55	比較例	1.34			0.22							0.0020		132
56	比較例				0.15									105
57	比較例	0.54	0.09		0.30			0.10						13
58	比較例				0.50		0.0016							17
59	比較例				0.49		0.0017							25
60	比較例													28
61	比較例	0.30												79
62	比較例	0.90			0.50		0.50							15

【表 6】

表 6

実施例	区分	被削性 穿孔 個数 (個)	軟窒化処理		高周波加熱条件		高周波焼入れ後			面疲労 強度 (最大ヘルツ 応力) (MPa)
			温度 (℃)	化合物 層厚さ (μm)	温度 (℃)	時間 (秒)	焼入れ 窒化層 厚さ (mm)	表面から0.2mm の深さでの300 ℃焼戻しビッカース 硬さ	空孔 密度 (個/mm ²)	
41	比較例	81	593	15	876	1.4	0.33	595	3312	2900
42	比較例	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43	比較例	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	比較例	189	590	2	850	3.2	0.13	465	4934	2600
48	比較例	65	559	4	884	5.0	0.29	570	2754	2800
49	比較例	66	585	1	879	3.2	0.09	467	2038	2300
50	比較例	45	587	12	880	4.7	0.65	575	4271	2900
51	比較例	>1000	590	24	980	4.0	0.65	506	2394	2700
52	比較例	>1000	595	25	700	3.5	0.20	398	2816	2150
53	比較例	>1000	577	20	890	8.0	0.70	540	1865	2900
54	比較例	>1000	580	21	845	0.03	0.07	425	880	2600
55	比較例	>1000	680	5	837	4.9	0.10	401	3082	2600
56	比較例	>1000	490	4	880	3.0	0.16	551	1155	2700
57	比較例	>1000	700	3	886	2.1	0.15	387	4670	2500
58	比較例	>1000	570	2	910	2.5	0.14	507	575	2600
59	比較例	>1000	570	3	690	1.2	0.10	401	4366	2200
60	比較例	33	570	3	920	4.2	0.12	565	2865	2700
61	比較例	89	590	10	1000	4.0	0.32	572	3482	2800
62	比較例	45	650	4	1000	2.0	0.23	518	1293	2600

【表 7】

表 7

切削条件	ドリル	その他
切削速度：65m/min 送り：0.17mm/rev 給油：ミスト給油(MQL)	サイズ：φ5mm×長さ168mm 材質：セラミックコーティング 超硬合金 突出し：105mm	穴開深さ：90mm 寿命判定：ドリル折損までの 総穴個数 (1000個で打切り)

なお、上述したところは、本発明の実施形態を例示したものにすぎず、本発明は、請求の範囲の記載範囲内で種々変更を加えることができる。

【産業上の利用可能性】

【0010】

前述したように、本発明の表面硬化用機械構造用鋼を、軟窒化処理後に高周波焼入れすることで、鋼材表面の硬度が著しく上昇し、かつ、軟化抵抗の増大により、高い面疲労強度を得ることができる。本発明は、工業上、利用価値の高いものである。

また、本発明の機械構造用部品は、常温はもちろんのこと、300℃前後の高温となる使用条件下においても高い面疲労強度が要求される自動車等の動力伝達部品、例えば、歯車、無段変速機、軸受け、等速ジョイント、ハブ等に使用することができ、自動車等の高出力化及び低コスト化等に大きく寄与し、工業上、顕著な効果を奏するものである。

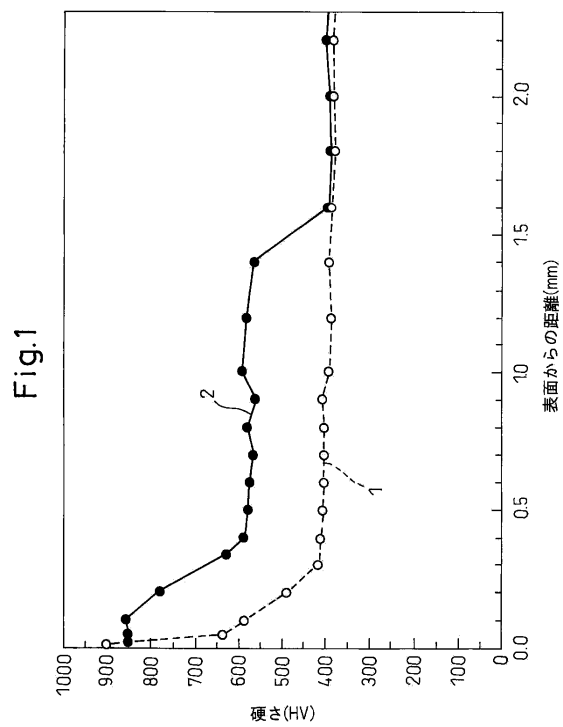
【符号の説明】

【0011】

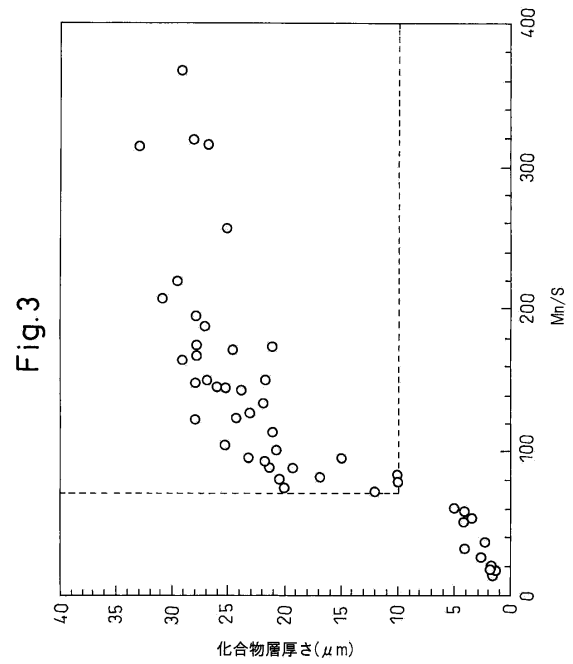
- 1 軟窒化処理のままの鋼材の断面硬さ分布

- 2 軟窒化処理後に高周波焼入れを施した鋼材の断面硬さ分布
- 1 0 焼入れ窒化層
- 2 0 空孔
- 3 0 多孔質層
- 4 0 最表層

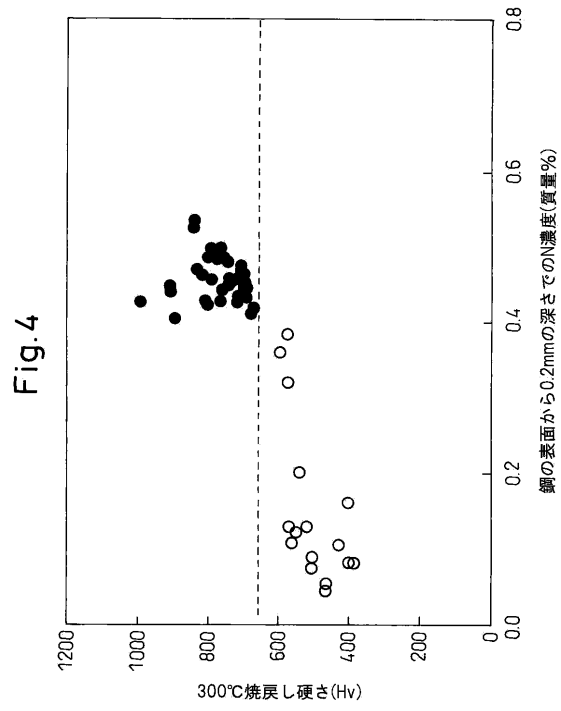
【図 1】



【図 3】



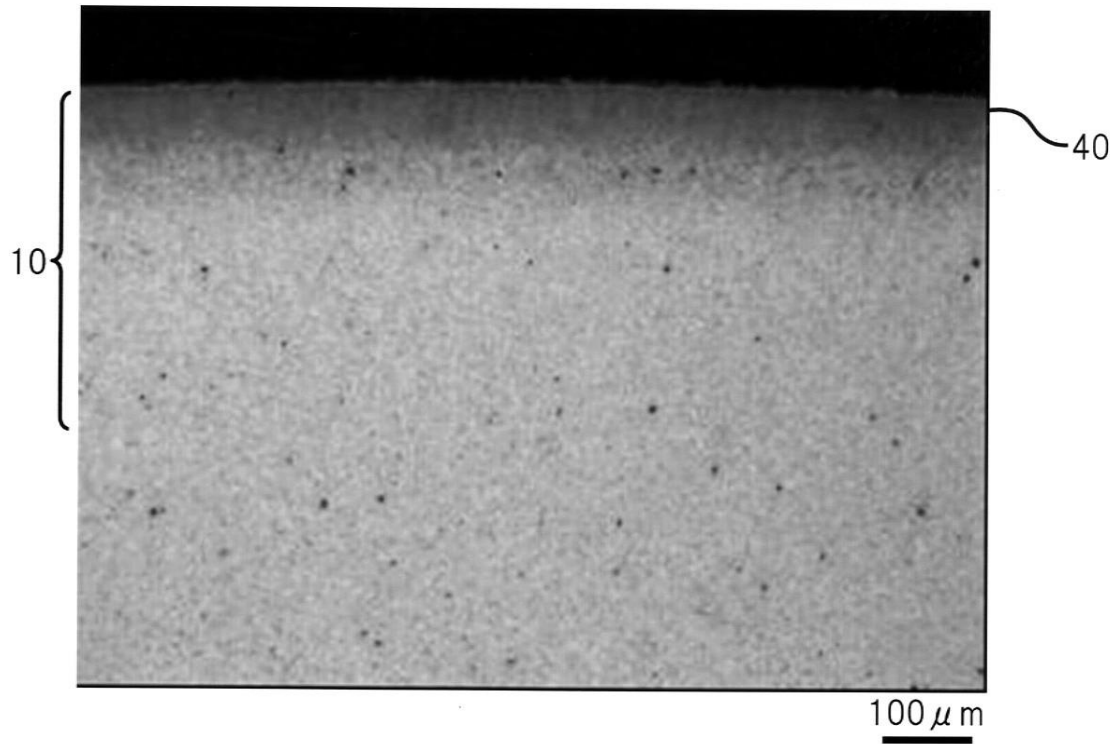
【図 4】



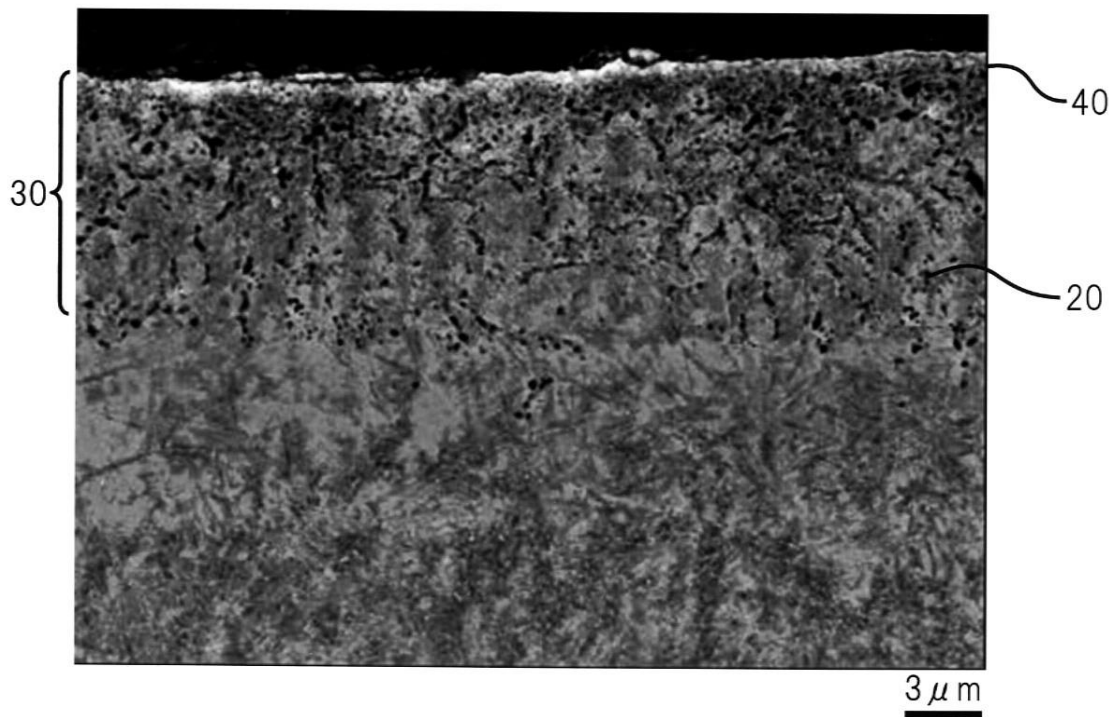
【図 2】

Fig.2

(a)



(b)



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
C 2 1 D	9/32	(2006.01)	C 2 1 D	6/00 W
C 2 1 D	9/40	(2006.01)	C 2 1 D	9/32 Z
C 2 3 C	8/26	(2006.01)	C 2 1 D	9/40 Z
			C 2 3 C	8/26

(72)発明者 永野 淳
 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内

(72)発明者 橋村 雅之
 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内

(72)発明者 宮西 慶
 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内

(72)発明者 小澤 修司
 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内

審査官 井上 猛

(56)参考文献 特開平 0 7 - 0 9 0 3 6 3 (J P, A)
 特開平 0 7 - 0 9 0 3 6 4 (J P, A)
 特開平 1 0 - 2 5 9 4 2 1 (J P, A)
 特開 2 0 0 7 - 1 7 7 3 1 7 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

C22C 38/00-38/60
 C21D 1/06
 C21D 1/10
 C21D 6/00
 C21D 9/32
 C21D 9/40
 C23C 8/26
 C23C 8/32