

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005年11月10日 (10.11.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/106059 A1

(51) 国際特許分類7: C22C 38/00, C21D 9/30, C22C 38/06, 38/60, F16C 3/02, 3/06, F16D 3/20, 3/22, F16H 55/06

[JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/001738

(72) 発明者; および

(22) 国際出願日: 2005年2月1日 (01.02.2005)

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 黒澤 伸隆 (KURO-SAWA, Nobutaka) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 大森 靖浩 (OMORI, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 林 透 (HAYASHI, Tohru) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 松崎 明博 (MATSUZAKI, Akihiro) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 豊岡 高明 (TOYOOKA, Takaaki) [JP/JP]; 〒1000011 東

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

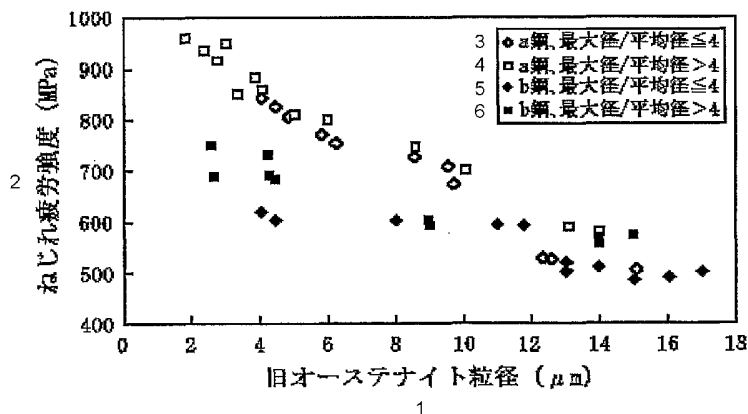
(30) 優先権データ:  
特願2004-134596 2004年4月28日 (28.04.2004) JP  
特願2004-210497 2004年7月16日 (16.07.2004) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): JFEスチール株式会社 (JFE STEEL CORPORATION)

[続葉有]

(54) Title: PARTS FOR MACHINE CONSTRUCTION AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(54) 発明の名称: 機械構造用部品およびその製造方法



- 1 OLD AUSTENITE GRAIN DIAMETER (μm)
- 2 TORSIONAL FATIGUE STRENGTH (MPa)
- 3 a STEEL, MAXIMUM DIAMETER/AVERAGE DIAMETER ≤ 4
- 4 a STEEL, MAXIMUM DIAMETER/AVERAGE DIAMETER > 4
- 5 b STEEL, MAXIMUM DIAMETER/AVERAGE DIAMETER ≤ 4
- 6 b STEEL, MAXIMUM DIAMETER/AVERAGE DIAMETER > 4

(57) Abstract: Parts for a machine construction at least a part of which has been subjected to a hardening treatment, wherein old austenite grains in said hardened structure have an average grain diameter of 12 μm or less and have the maximum grain diameter of a diameter being four times the average grain diameter or less. The above parts for a machine construction exhibit a fatigue strength being further improved as compared to conventional parts for a machine construction.

(57) 要約: 従来よりも疲労強度を一層向上させた機械構造用部品を提案する。具体的解決手段は以下の通り。少なくとも一部分に焼入れを施した機械構造用部品にお

[続葉有]



WO 2005/106059 A1



京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 落合 憲一郎 (OCHIAI, Kenichiro); 〒1000005 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 JFEテクノロジーサーチ株式会社特許出願部内 Tokyo (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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

## 機械構造用部品およびその製造方法

## 技術分野

本発明は、少なくとも一部分に高周波焼入れによる硬化層を有する機械構造用部品に関するものである。ここでいう機械構造用部品としては、自動車用のドライブシャフト、インプットシャフト、アウトプットシャフト、クランクシャフト、等速ジョイントの内輪および外輪、ハブ、そしてギア等を挙げることができる。

## 背景技術

従来、機械構造用部品、例えば自動車用ドライブシャフトや等速ジョイントなどの製造方法は以下のとおりである。すなわち、熱間圧延棒鋼に、熱間鍛造、さらには切削、冷間鍛造などを施して所定の形状に加工したのち、高周波焼入れ、焼戻しを行う。一般にこの方法によって、機械構造用部品としての重要な特性であるねじり疲労強度、曲げ疲労強度、転動疲労強度およびすべり転動疲労強度等の疲労強度を確保している。

他方、近年、環境問題から自動車用部品を軽量化する要求が強く、この観点から自動車用部品における疲労強度の一層の向上が要求されている。

上述したような疲労強度を向上させる手段としては、これまでも種々の方法が提案されている。

例えば、ねじり疲労強度を向上させるためには、高周波焼入れによる焼入れ深さを増加させることが考えられる。しかしながら、焼入れ深さを増加してもある深さで疲労強度は飽和する。

また、ねじり疲労強度の向上には、粒界強度の向上も有効である。この観点から、TiCを分散させることで、旧オーステナイト粒径を微細化する技術

が提案されている。例えば特許文献1に記載された技術は、高周波焼入れ加熱時に微細な TiC を多量に分散させることで、旧オーステナイト粒径の微細化を図るものである。しかし、この技術では、焼入れ前に TiC を溶体化しておく必要があり、熱間圧延工程で 1100℃ 以上に加熱する工程を採用している。そのため、熱延時に加熱温度を高くする必要があり、生産性に劣るといった問題があった。

また、上記の特許文献1に開示された技術でも、近年の疲労強度に対する要求には十分に答えられないという問題を残していた。

特許文献2には、硬化層深さ  $CD$  と高周波焼入れした軸部品の半径  $R$  との比 ( $CD/R$ ) を 0.3~0.7 に制限した上で、この  $CD/R$  と高周波焼入れ後の表面から 1 mm までのオーステナイト粒径  $\gamma_f$ 、高周波焼入れままでの ( $CD/R$ ) = 0.1 までの平均ビッカース硬さ  $H_f$ 、および高周波焼入れ後の軸中心部の平均ビッカース硬さ  $H_c$  で規定される値  $A$  を  $C$  量に応じて所定の範囲に制御することによって、ねじり疲労強度を向上させた機械構造用軸部品が提案されている。

しかしながら、上記の  $CD/R$  を制御したとしても疲労特性の向上には限界があり、やはり近年のねじり疲労強度に対する要求には十分に答えることができなかった。

特許文献1： 特開 2000-154819 号公報（特許請求の範囲）

特許文献2： 特開平 8-53714 号公報（特許請求の範囲）

#### 発明の開示

本発明は、上記の現状に鑑み開発されたもので、従来よりも疲労強度を一層向上させた機械構造用部品を、その有利な製造方法と共に提案することを目的とする。

さて、発明者らは、前記したような疲労特性を効果的に向上させるべく、特に高周波焼入れ組織について鋭意検討を行った。

その結果、高周波焼入れ組織の旧オーステナイト粒の粒径分布に着目し、旧オーステナイト粒の平均粒径および最大粒径を微細化することにより、ねじり疲労強度、曲げ疲労強度および転動疲労強度などの疲労特性が改善することを見出すに至った。

すなわち、本発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 少なくとも一部分に焼入れを施した鋼材を用いた機械構造用部品であつて、該焼入れ組織は、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\ \mu\text{m}$  以下かつ最大粒径が平均粒径の4倍以下であることを特徴とする機械構造用部品。

2. 質量%で、

C : 0.3%以上、1.5%以下、

Si : 0.05%以上、3.0%以下、

Mn : 0.2%以上、2.0%以下、

を含有し、かつ下記式(1)を満足し、残部はFeおよび不可避不純物の成分組成を有することを特徴とする1に記載の機械構造用部品。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) > 2.0 \quad \dots (1)$$

3. 前記成分組成として、さらに質量%で、

Al : 0.25%以下

を含有することを特徴とする2に記載の機械構造用部品。

4. 前記成分組成として、さらに、質量%で、

Cr : 0.03%以上、2.5%以下、

Mo : 0.05%以上、1.0%以下、

Cu : 0.03%以上、1.0%以下、

Ni : 0.05%以上、2.5%以下、

Co : 0.01%以上、1.0%以下、

V : 0.01%以上、0.5%以下、

W : 0.005%以上、1.0%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)に替えて下記式(2)を満足することを特徴とする2または3に記載の機械構造用部品。

## 記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (2)$$

5. 前記成分組成として、質量%で、

Ti : 0.005%以上、0.1%以下、

Nb : 0.005%以上、0.1%以下、

Zr : 0.005%以上、0.1%以下、

B : 0.0003%以上、0.01%以下、

Ta : 0.02%以上、0.5%以下、

Hf : 0.02%以上、0.5%以下、

Sb : 0.005%以上、0.015%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)又は(2)に替えて下記式(3)を満足することを特徴とする2、3または4に記載の機械構造用部品。

## 記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 1000B) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (3)$$

6. 前記成分組成として、さらに質量%で、

S : 0.1%以下、

Pb : 0.01%以上、0.1%以下、

Bi : 0.01%以上、0.1%以下、

Se : 0.003%以上、0.1%以下、

Te : 0.003%以上、0.1%以下、

Ca : 0.0001%以上、0.01%以下、

Mg : 0.0001%以上、0.01%以下および

REM : 0.0001%以上、0.1%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有することを特徴とする2、3、4または5に記載の機械構造用部品。

7. 微細なベイナイト組織および微細なマルテンサイト組織のいずれか一方または両方を合計で10体積%以上含有する鋼材を素材として、該素材の少なくとも一部分に、昇温速度400℃/s以上かつ到達温度1000℃以下の高周波加熱を1回以上施すことを特徴とする機械構造用部品の製造方法。

8. 7において、前記素材は、800~1000℃での総加工率が80%以上となる熱間加工工程と、該熱間加工工程後に700~500℃の温度域を0.2℃/s以上の冷却速度で冷却する冷却工程と、さらに、該冷却工程の前に700~800℃未満の温度域で20%以上の加工を施すか、あるいは該冷却工程の後にA<sub>1</sub>点変態点以下の温度域で20%以上の加工を施す第2加工工程と、を施して製造することを特徴とする機械構造用部品の製造方法。

9. 7または8において、1回の高周波加熱における800℃以上の滞留時間を5秒以下とすることを特徴とする機械構造用部品の製造方法。

10. 前記鋼材は、質量%で、

C : 0.3%以上、1.5%以下、

Si : 0.05%以上、3.0%以下、

Mn : 0.2%以上、2.0%以下、

を含有し、かつ下記式(1)を満足し、残部Feおよび不可避免の不純物からなる組成であることを特徴とする7、8または9のいずれかに記載の機械構造用部品の製造方法。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) > 2.0 \quad \dots (1)$$

11. 前記鋼材は、さらに、質量%で、

Al : 0.25%以下

を含有することを特徴とする 10 に記載の機械構造用部品の製造方法

12. 前記鋼材は、さらに、質量%で、

Cr : 0.03%以上、2.5%以下、

Mo : 0.05%以上、1.0%以下、

Cu : 0.03%以上、1.0%以下、

Ni : 0.05%以上、2.5%以下、

Co : 0.01%以上、1.0%以下、

V : 0.01%以上、0.5%以下、

W : 0.005%以上、1.0%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)に替えて下記式(2)を満足する組成であることを特徴とする10または11に記載の機械構造用部品の製造方法。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (2)$$

13. 前記鋼材は、さらに、質量%で、

Ti : 0.005%以上、0.1%以下、

Nb : 0.005%以上、0.1%以下、

Zr : 0.005%以上、0.1%以下、

B : 0.0003%以上、0.01%以下、

Ta : 0.02%以上、0.5%以下、

Hf : 0.02%以上、0.5%以下、

Sb : 0.005%以上、0.015%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)又は(2)に替えて下記式(3)を満足することを特徴とする10、11または12に記載の機械構造用部品の製造方法。



## 記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3 Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 1000B) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (3)$$

1 4. 前記鋼材は、さらに質量%で、

S : 0.1%以下、

Pb : 0.01%以上、0.1%以下、

Bi : 0.01%以上、0.1%以下、

Se : 0.003%以上、0.1%以下、

Te : 0.003%以上、0.1%以下、

Ca : 0.0001%以上、0.01%以下、

Mg : 0.0001%以上、0.01%以下、

REM : 0.0001%以上、0.1%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有することを特徴とする10、11、12または13に記載の機械構造用部品の製造方法。

#### 図面の簡単な説明

図1は、代表的なシャフトの正面図である。

図2は、疲労試験の要領を示す図であり、図2(a)はシャフトのねじり疲労試験の要領を、図2(b)は転動疲労試験の要領を示す。

図3は、焼入れ組織の光学顕微鏡観察像を示す写真である。

図4(a)、図4(b)は、平均旧オーステナイト粒径とねじり疲労強度との関係を示すグラフである。

図5(a)、図5(b)は、ねじり疲労強度に及ぼす、硬化層の旧オーステナイト粒径と、最大旧オーステナイト粒径/平均旧オーステナイト粒径との影響を示すグラフである。

図6(a)、図6(b)は、ねじり疲労強度に及ぼす、800℃未満の加工率および高周波焼入の条件の影響を示すグラフである。

図 7(a)、図 7(b)は、転動疲労寿命に及ぼす、硬化層の旧オーステナイト粒径と、最大旧オーステナイト粒径／平均旧オーステナイト粒径との影響を示すグラフである。

図 8 は、クランクシャフトの模式図である。

図 9 は、クランクシャフトの高周波焼入れ位置を示した図である。

図 10 は、耐久試験の概要を示した図である。

図 11 は、等速ジョイントの部分断面図である。

図 12 は、等速ジョイント外輪における焼入れ組織層を示す断面図である。

図 13 は、等速ジョイント外輪における焼入れ組織層を示す断面図である。

図 14 は、等速ジョイントの部分断面図である。

図 15 は、等速ジョイント内輪における焼入れ組織層を示す断面図である。

図 16 は、等速ジョイント内輪における焼入れ組織層を示す断面図である。

図 17 は、ハブおよびハブ軸受けユニットを示した図である。

図 18 は、ハブおよびハブ軸受けユニットを示した図である。

図 19 は、すべり転動疲労試験の概略を示した図である。

図 20 は、ギアの斜視図である。

図 21 は、ギアの歯および歯底における表面硬化層を示す断面図である。

図 1 から図 21 の図中の番号の説明は以下のとおりである。

- 1 シャフト
- 2 スプライン部
- 3 つかみ具
- 4 クランクシャフト
- 5 ジャーナル部
- 6 クランクピン
- 7 クランクウェブ部
- 8 カウンタウェイト部
- 9 焼入れ組織層

- 1 0 ドライブシャフト
- 1 1 ハブ
- 1 2 等速ジョイント
- 1 3 外輪
- 1 3 a マウス部
- 1 3 b ステム部
- 1 4 内輪
- 1 5 ボール
- 1 6 焼入れ組織層
- 1 7 ハブ
- 1 8 ハブの軸部
- 1 9 スペーサ
- 2 0 ハブの外輪
- 2 1 ボール
- 2 2 転動面
- 2 3 嵌合部
- 2 4 等速ジョイントの軸部
- 2 5 ギア
- 2 6 歯
- 2 7 歯底
- 2 8 焼入れ組織層
- 2 9 軸穴

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を具体的に説明する。

本発明の機械構造用部品は、自動車用のドライブシャフト、インプットシャフト、アウトプットシャフト、クランクシャフト、等速ジョイントの内

輪および外輪、ハブ、そしてギア等、部品毎に様々な形状並びに構造に成るが、いずれにおいても、特に疲労強度が要求される部分または全部に焼入れを施した硬化層を有し、この硬化層の焼入れ組織は、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下、さらに最大粒径が平均粒径の 4 倍以下であることが肝要である。

以下に、この知見を得るに到った研究結果について説明する。

下記 a 鋼または b 鋼に示す成分組成の鋼素材を 150kg 真空溶解炉にて溶製し、150mm 角に熱間鍛造後、ダミーピレットを製造し、種々の熱間加工条件に従って棒鋼圧延材を製造した。

[a 鋼] C : 0.48 質量%、Si : 0.55 質量%、Mn : 0.78 質量%、P : 0.011 質量%、S : 0.019 質量%、Al : 0.024 質量%、N : 0.0043 質量%、残部 Fe および不可避不純物。

[b 鋼] C : 0.48 質量%、Si : 0.51 質量%、Mn : 0.79 質量%、P : 0.011 質量%、S : 0.021 質量%、Al : 0.024 質量%、N : 0.0039 質量%、Mo : 0.45 質量%、Ti : 0.021 質量%、B : 0.0024 質量%、残部 Fe および不可避不純物。

ついで、この棒鋼を所定の長さに切断後、表面切削加工と一部冷間での引き抜き加工を加えて径を調整すると同時に、スプライン部の転造加工を施して、図 1 に示す寸法および形状になるスプライン部 2 を有するシャフト 1 を作製した。

このシャフトに、周波数 : 10~200kHz の高周波焼入れ装置を用いて、種々の条件下で加熱、焼入れを行った後、加熱炉を用いて  $170^{\circ}\text{C} \times 30$  分の条件で焼もどしを行い、その後ねじり疲労強度について評価した。

なお、ねじり疲労強度は、シャフトのねじり疲労試験において破断繰り返し数が  $1 \times 10^5$  回の時のトルク値 (N・m) で評価した。ねじり疲労試験は、油圧式疲労試験機を用い、図 2 (a) に示すように、スプライン部 2 a, 2 b をそれぞれ円盤状のつかみ具 3 a, 3 b に組み込み、つかみ具 3 a, 3 b との間に周波数 : 1~2 Hz で繰り返しねじりトルクを負荷することによ

り行った。

また、同じシャフトについて、その硬化層の組織を、光学顕微鏡を用いて観察し、旧オーステナイト平均粒径および最大旧オーステナイト粒径を求めた。

旧オーステナイト平均粒径の測定は、光学顕微鏡により、400倍（1視野の面積：0.25mm×0.225mm）から1000倍（1視野の面積：0.10mm×0.09mm）で、表面から硬化層厚の1/5位置、1/2位置および4/5位置のそれぞれの位置について5視野の観察を行い、各位置における平均旧オーステナイト粒径を測定し、その最大値を平均旧オーステナイト粒径とした。なお、硬化層厚は、表面からマルテンサイト組織の面積率が98%に減少するまでの深さ領域とした。

一方、最大旧オーステナイト粒径は、400倍（1視野の面積：0.25mm×0.225mm）で硬化層厚さ方向の上記各位置で5視野相当、計15視野相当の面積について測定し、全視野内の粒度分布から下記式で求められる値を最大粒径とした。

$$\text{最大粒径} = \text{平均粒径} + 3\sigma \quad (\sigma : \text{標準偏差})$$

なお、旧オーステナイト粒の測定は、硬化層の厚さ方向に切断した断面について、水500gに対しピクリン酸：50gを溶解させたピクリン酸水溶液に、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム：11g、塩化第1鉄：1gおよびシュウ酸：1.5gを添加したものを腐食液として作用させ、旧オーステナイト粒界を図3に示すように現出させて行った。

まず、図4に平均旧オーステナイト粒径とねじり疲労強度との関係を示す。図4(a)に示すように、平均粒径が小さくなる程、疲労強度が増加することが認められた。しかし、旧オーステナイト粒径が12μm以下と小さい場合、粒径が同程度の場合であっても疲労強度に差が生じることがあり、この原因が、粒径分布、特に最大の粒径に依存することを見出した。この点についてさらに鋭意検討を重ねた結果、最大粒径が平均粒径の4倍以下となると、

平均粒径を微細化することによる疲労強度の向上効果が顕著となることがわかった。図4(a)に示した、各プロットを最大粒径/平均粒径が4以下の場合を□または◇、最大粒径/平均粒径が4超の場合を■または◆としてプロットし直したものを図4(b)に示す。

このように、平均粒径および最大粒径が疲労強度に影響を及ぼす要因としては以下のように推定される。

疲労破壊の原因となる不純物元素は旧オーステナイト粒界に偏析し易い。従って、旧オーステナイト粒界の粒径が微細になるほど偏析する面積が増加し、個々の偏析箇所における不純物の濃度が減少し、破壊強度が増加する。また、切り欠き等による旧オーステナイト粒界への応力集中も粒径が微細になると分散され、個々の粒界へ作用する応力が減少し、結果として疲労強度が増加する。このような効果は平均粒径に影響されるだけでなく、最大粒径にも影響されると推定される。すなわち、大きな粒の近傍では、粒界の面積が少ないため、不純物の濃化も進み易い。さらに応力の分散も生じにくいと考えられる。

平均粒径の4倍を超えるような大きな粒が存在すると、上記のような作用により疲労強度を低下させる可能性が増加するものと推定される。

特に、旧オーステナイト粒の最大粒径は $20\mu\text{m}$ 以下であると、広範囲の部品形状において大きな疲労強度の向上が安定して期待できる。より好ましくは、平均粒径を $5\mu\text{m}$ 以下とする。さらに好ましくは平均粒径を $4\mu\text{m}$ 以下とする。

次に、図5(a)、図5(b)は、ねじり疲労強度に及ぼす、硬化層の平均旧オーステナイト粒径と、最大旧オーステナイト粒径/平均旧オーステナイト粒径との影響を示すグラフである。平均旧オーステナイト粒径が $12\mu\text{m}$ 以下である場合に、最大旧オーステナイト粒径/平均旧オーステナイト粒径が4以下とすることにより、疲労強度が格段に向上できることがわかる。また、平均オーステナイト粒径を $5\mu\text{m}$ 以下、さらには $3\mu\text{m}$ 以下とすると、最大

旧オーステナイト粒径／平均旧オーステナイト粒径が4以下であることによる疲労強度向上効果がさらに顕著になることがわかる。

図6(a)、図6(b)に、ねじり疲労強度に及ぼす、800℃未満の加工率および高周波加熱時の最高到達温度（加熱温度）および昇温速度の影響を示す。図6(a)、図6(b)より、800℃未満の温度域の加工率が25%以上、高周波焼入れ時の最高到達温度が1000℃以下および昇温速度が400℃/s以上の条件下で優れた疲労特性が得られることが分る。

さらに、平均旧オーステナイト粒径と、最大旧オーステナイト粒径／平均旧オーステナイト粒径とが、転動疲労特性に及ぼす影響を調査した。上記a鋼またはb鋼に示す成分組成の鋼素材を150kg真空溶解炉にて溶製し、150mm角に熱間鍛造後、ダミービレットを製造し、種々の条件にて熱間加工、冷間引き抜き加工を行った後、切削を施して12mmφの棒鋼とした。この棒鋼の表面に種々の条件にて高周波焼入れを施し、所定の長さにて切断して転動疲労試験片として、図2(b)に示したラジアル型転動疲労試験を実施した。

図7(a)、図7(b)には、この試験結果を示す。上述のねじり疲労の場合と同様に、平均旧オーステナイト粒径が12μm以下である場合に、最大旧オーステナイト粒径／平均旧オーステナイト粒径を4以下とすることにより、疲労強度を格段に向上できることがわかる。また、平均オーステナイト粒径を5μm以下、さらには3μm以下とすると、最大旧オーステナイト粒径／平均旧オーステナイト粒径が4以下であることによる疲労強度向上効果がさらに顕著になることがわかる。

なお、上述の図4(a)、図4(b)～6図6(a)、図6(b)を得るのに用いた試験結果を表1-1、表1-2に、図7(a)、図7(b)を得るのに用いた結果を表2-1表2-2に、それぞれ示す。なお、転動疲労特性は、破損に至るまでの時間を、従来品に相当する表2-1中の試験No.1の同時間に対する比として示した。

表 1-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%)	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			800°C以上の 滞留時 間	硬化層組織		最大/平均 最大/平均 最大旧オース テナイト粒徑 ( $\mu\text{m}$ )	ねじり疲労強度 ( $1 \times 10^5$ ) (MPa)	備考
		800~ 1000°Cの 総加工率	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	平均旧オース テナイト粒徑 ( $\mu\text{m}$ )		最大旧オース テナイト粒徑 ( $\mu\text{m}$ )				
1	a	80	0.1	0	0	800	870	1	17	72	4.2	500	従来例	
2	a	80	0.8	50	82	2000	870	1	4	8.7	2.2	844	発明例	
3	a	80	0.8	40	82	800	870	1	4.4	15	3.4	826	発明例	
4	a	80	0.8	25	82	2000	870	1	4.8	18	3.8	808	発明例	
5	a	80	0.8	10	82	2000	870	1	12.2	49	4.0	525	比較例	
6	a	80	0.8	0	82	2000	870	1	13	53	4.1	520	比較例	
7	a	80	0.8	25	82	800	870	1	5.8	12	2.1	772	発明例	
8	a	30	0.8	25	82	400	870	1	6.2	18	2.9	754	発明例	
9	a	80	0.8	10	82	800	870	1	12.5	50	4.0	523	比較例	
10	a	80	0.8	0	82	800	870	1	13.9	60	4.3	512	比較例	
11	a	80	0.8	0	82	400	870	1	14	80	5.7	510	比較例	
12	a	80	0.8	50	82	800	950	1	8.5	16	1.9	727	発明例	
13	a	80	0.8	25	82	800	950	1	9.5	23	2.4	709	発明例	
14	a	80	0.8	25	82	400	950	1	9.6	35	3.6	673	発明例	
15	a	80	0.8	25	82	100	950	1	11	50	4.5	592	比較例	
16	a	80	0.8	0	82	400	950	1	13	61	4.7	500	比較例	
17	a	80	0.8	25	82	800	1050	1	14	35	2.5	511	比較例	
18	a	80	0.8	10	82	800	1050	1	15	60	4.0	502	比較例	
19	a	80	0.8	0	82	800	1050	1	16	80	5.0	493	比較例	
20	a	80	0.8	0	82	100	1050	1	15	120	8.0	484	比較例	
21	a	80	0.8	25	82	100	980	1	11.8	70	5.9	592	比較例	
22	a	80	0.8	60	82	100	870	1	4	18	4.5	620	比較例	
23	a	80	0.8	70	82	100	870	1	4.4	32	7.3	600	比較例	
24	a	80	0.8	30	82	100	870	1	8	40	5.0	600	比較例	
25	b	80	0.8	50	82	2000	870	1	1.9	3.8	2.0	960	発明例	
26	b	80	0.8	40	82	800	870	1	2.4	8	3.3	940	発明例	
27	b	80	0.8	25	82	2000	870	1	2.8	10.8	3.9	920	発明例	
28	b	80	0.8	10	82	2000	870	1	2.6	14	5.4	750	比較例	
29	b	80	0.8	0	82	2000	870	1	2.7	21	7.8	690	比較例	
30	b	80	0.8	25	82	800	870	1	3.9	7.9	2.0	880	発明例	
31	b	80	0.8	25	82	400	870	1	4.1	12	2.9	860	発明例	
32	b	80	0.8	10	82	800	870	1	4.2	18.5	4.4	730	比較例	
33	b	80	0.8	0	82	800	870	1	4.3	22	5.1	690	比較例	
34	b	80	0.8	0	82	400	870	1	4.4	26	5.9	680	比較例	



表1-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%)	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件		硬化層組織		最大/平均	ねじり疲労強度 ( $1 \times 10^5$ ) (MPa)	備考
		800~ 1000°Cの 総加工率	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の 滞留時 間	平均旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)			
35	b	80	0.8	50	82	800	1000	1	6	11	1.8	発明例
36	b	80	0.8	25	82	800	1020	1	8.6	15	2.1	発明例
37	b	80	0.8	25	82	400	1030	1	10	30	3.5	発明例
38	b	80	0.8	25	82	100	950	1	9	40	4.4	比較例
39	b	80	0.8	0	82	400	1030	1	9	48	5.3	比較例
40	b	80	0.8	25	82	800	1050	1	13	38	2.9	比較例
41	b	80	0.8	10	82	800	1050	1	14	56	4.0	比較例
42	b	80	0.8	0	82	800	1050	1	15	75	5.0	比較例
43	b	80	0.8	0	82	100	1050	1	14	110	7.9	比較例
44	b	80	0.8	50	82	800	950	1	3	7.9	2.6	発明例
45	b	80	0.8	25	82	800	950	1	5	11	2.2	発明例
46	b	80	0.8	25	82	400	950	1	3.4	13	3.8	発明例

表2-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%)	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件		800°C以上の 滞留時 間	硬化層組織		最大/平均	転動疲労 (従来比)	備考
		800~ 1000°Cの 総加工率	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)		平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	a	80	0.1	0	0	800	870	1	17	72	4.2	1.0	従来例
2	a	80	0.8	50	82	2000	870	1	4	8.7	2.2	10.0	発明例
3	a	80	0.8	40	82	800	870	1	4.4	15	3.4	9.8	発明例
4	a	80	0.8	25	82	2000	870	1	4.8	18	3.8	9.5	発明例
5	a	80	0.8	10	82	2000	870	1	12.2	49	4.0	1.5	比較例
6	a	80	0.8	0	82	2000	870	1	13	53	4.1	1.4	比較例
7	a	80	0.8	25	82	800	870	1	5.8	12	2.1	6.4	発明例
8	a	30	0.8	25	82	400	870	1	6.2	18	2.9	6.3	発明例
9	a	80	0.8	10	82	800	870	1	12.5	50	4.0	1.5	比較例
10	a	80	0.8	0	82	800	870	1	13.9	60	4.3	1.4	比較例
11	a	80	0.8	0	82	400	870	1	14	80	5.7	1.3	比較例
12	a	80	0.8	50	82	800	950	1	8.5	16	1.9	4.4	発明例
13	a	80	0.8	25	82	800	950	1	9.5	23	2.4	4.2	発明例
14	a	80	0.8	25	82	400	950	1	9.6	35	3.6	3.4	発明例
15	a	80	0.8	25	82	100	950	1	11	50	4.5	2.2	比較例
16	a	80	0.8	0	82	400	950	1	13	61	4.7	1.0	比較例
17	a	80	0.8	25	82	800	1050	1	14	35	2.5	1.4	比較例
18	a	80	0.8	10	82	800	1050	1	15	60	4.0	1.1	比較例
19	a	80	0.8	0	82	800	1050	1	16	80	5.0	0.9	比較例
20	a	80	0.8	0	82	100	1050	1	15	120	8.0	0.9	比較例
21	a	80	0.8	25	82	100	980	1	11.8	70	5.9	2.2	比較例
22	a	80	0.8	60	82	100	870	1	4	18	4.5	3.0	比較例
23	a	80	0.8	70	82	100	870	1	4.4	32	7.3	2.9	比較例
24	a	80	0.8	30	82	100	870	1	8	40	5.0	2.1	比較例
25	b	80	0.8	50	82	2000	870	1	1.9	3.8	2.0	12.1	発明例
26	b	80	0.8	40	82	800	870	1	2.4	8	3.3	12.0	発明例
27	b	80	0.8	25	82	2000	870	1	2.8	10.8	3.9	11.0	発明例
28	b	80	0.8	10	82	2000	870	1	2.6	14	5.4	6.5	比較例
29	b	80	0.8	0	82	2000	870	1	2.7	21	7.8	5.5	比較例
30	b	80	0.8	25	82	800	870	1	3.9	7.9	2.0	10.7	発明例
31	b	80	0.8	25	82	400	870	1	4.1	12	2.9	10.8	発明例
32	b	80	0.8	10	82	800	870	1	4.2	18.5	4.4	4.5	比較例
33	b	80	0.8	0	82	800	870	1	4.3	22	5.1	4.3	比較例

表2-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%)	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		最大/平均	転動疲労 (従来比)	備考
		800~ 1000°Cの 総加工率	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の 滞留時 間	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
35	b	80	0.8	50	82	800	1000	1	6	11	1.8	10.4	発明例
36	b	80	0.8	25	82	800	1020	1	8.6	15	2.1	10.2	発明例
37	b	80	0.8	25	82	400	1030	1	10	30	3.5	9.9	発明例
38	b	80	0.8	25	82	100	950	1	9	40	4.4	3.5	比較例
39	b	80	0.8	0	82	400	1030	1	9	48	5.3	3.5	比較例
40	b	80	0.8	25	82	800	1050	1	13	38	2.9	2.3	比較例
41	b	80	0.8	10	82	800	1050	1	14	56	4.0	2.6	比較例
42	b	80	0.8	0	82	800	1050	1	15	75	5.0	2.3	比較例
43	b	80	0.8	0	82	100	1050	1	14	110	7.9	2.4	比較例
44	b	80	0.8	50	82	800	950	1	3	7.9	2.6	10.6	発明例
45	b	80	0.8	25	82	800	950	1	5	11	2.2	10.3	発明例
46	b	80	0.8	25	82	400	950	1	3.4	13	3.8	10.8	発明例

ここで、旧オーステナイト粒の平均粒径を  $12\mu\text{m}$  以下、さらに最大粒径を平均粒径の 4 倍以下とするためには、高周波焼入れ前の組織に、均一微細なベイナイト組織および／またはマルテンサイト組織を含有させておく方法が有利に適合する。以下に、この方法について説明する。

すなわち、高周波焼入れ前組織に関しては、ベイナイト組織および／またはマルテンサイト組織の組織分率を 10vol% 以上、好ましくは 25vol% 以上とする。焼入れ前組織にベイナイト組織あるいはマルテンサイト組織が多いと、ベイナイト組織あるいはマルテンサイト組織は炭化物が微細に分散した組織であるため、焼入れ加熱時にオーステナイトの核生成サイトであるフェライト／炭化物界面の面積が増加し、生成したオーステナイトは微細化するため、焼入れ硬化層の旧オーステナイト粒径を微細化するのに有効に寄与する。焼入れ加熱時にオーステナイト粒径が微細化することで粒界強度が上昇し、疲労強度は向上する。

均一微細なベイナイト組織および／またはマルテンサイト組織の組織分率を 10vol% 以上とするには、後述する成分組成の鋼を  $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$  での総加工率が 80% 以上となる熱間加工を施し、この熱間加工後に  $700\sim 500^{\circ}\text{C}$  の温度域を  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上の冷却速度で冷却するとよい。なぜなら、 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$  での総加工率が 80% 未満であると、十分に均一微細なベイナイト組織あるいはマルテンサイト組織が得られないからである。また、熱間加工後に  $700\sim 500^{\circ}\text{C}$  の温度域を  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上の冷却速度で冷却しないと、ベイナイト組織および／またはマルテンサイト組織を合計で 10vol% 以上とできない。

さらに、高周波焼入れ後の硬化層について、旧オーステナイトの平均粒径および最大粒径を微細化するためには、高周波焼入れ前に  $800^{\circ}\text{C}$  未満の温度域で 20% 以上の加工を施す（第 2 加工工程）必要がある。 $800^{\circ}\text{C}$  未満の温度域での加工は、熱間加工工程で、前記冷却速度の冷却前（ $700\sim 800^{\circ}\text{C}$  未満の温度域）に行ってもよいし、冷却後に別途冷間加工を施すか、あるいは

A<sub>1</sub> 変態点以下の温度で再加熱して温間加工を施しても良い。800℃未満での加工率は、30%以上とする事がより好ましい。

なお、加工法としては、例えば冷間鍛造、冷間しごき、転造加工、ショット等が挙げられる。

次に、このような前組織を得るための好適な鋼成分について説明する。

**C** : 0.3~1.5 質量%

C は、焼入れ性への影響が最も大きい元素であり、焼入れ硬化層の硬さおよび深さを高めて疲労強度の向上に有効に寄与する。しかしながら、含有量が 0.3 質量%に満たないと、必要とされる疲労強度を確保するために焼入れ硬化層深さを飛躍的に高めねばならず、その際焼割れの発生が顕著となり、またベイナイト組織も生成し難くなるため、0.3 質量%以上を添加する。一方、1.5 質量%を越えて含有させると、粒界強度が低下し、それに伴い疲労強度も低下し、また切削性、冷間鍛造性および耐焼割れ性も低下する。このため、C は 0.3~1.5 質量%の範囲に限定した。好ましくは 0.4~0.6 質量%の範囲である。

**Si** : 3.0 質量%以下

Si は脱酸剤として作用するだけでなく、強度の向上にも有効に寄与するが、含有量が 3.0 質量%を超えると、被削性および鍛造性の低下を招くため、Si 量は 3.0 質量%以下が好ましい。

なお、強度向上のためには 0.05 質量%以上とすることが好ましい。

**Mn** : 2.0 質量%以下

Mn は、焼入れ性を向上させ、焼入れ時の硬化層深さを確保する上で有用な成分であるため添加する。含有量が 0.2 質量%未満ではその添加効果に乏しいので、0.2 質量%以上が好ましい。より好ましくは 0.3 質量%以上である。一方、Mn 量が 2.0 質量%を超えると焼入れ後の残留オーステナイトが増加し、かえって表面硬度が低下し、ひいては疲労強度の低下を招くので、Mn は 2.0 質量%以下が好ましい。なお、Mn は含有量が多いと、母材の硬

質化を招き、被削性に不利となるきらいがあるので、1.2 質量%以下とするのが好適である。さらに好ましくは 1.0 質量%以下である。

Al : 0.25 質量%以下

Al は、脱酸に有効な元素である。また、焼入れ加熱時におけるオーステナイト粒成長を抑制することによって焼入れ硬化層の粒径を微細化する上でも有用な元素である。しかし、0.25 質量%を超えて含有させてもその効果は飽和し、むしろ成分コストの上昇を招く不利が生じるので、Al は 0.25 質量%以下の範囲で含有させることが好ましい。好ましくは 0.001~0.10 質量%の範囲である。

本発明では、以上の 4 成分を基本成分とし、これら基本成分において、次式 (1) を満足することが肝要である。

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) > 2.0 \quad \dots (1)$$

これは、(1) 式を満たすように C、Si、Mn の含有量を調整することにより、高周波焼入前組織として、ベイナイトとマルテンサイトの合計組織分率を 10vol%以上とすることが可能となり、高周波焼入れ後の硬化層を本発明の組織とすることが可能となる。また、(1) 式の値が 2.0 以下では高周波焼入れ後の硬化層の硬さも小さくなり、さらに、硬化層深さを十分に確保することも困難となる。

以上、基本成分について説明したが、本発明ではその他にも、以下に述べる 6 成分のうちの 1 種または 2 種以上を適宜含有させることができる。

Cr : 2.5 質量%以下

Cr は、焼入れ性の向上に有効であり、硬化深さを確保する上で有用な元素である。しかし、過度に含有されると炭化物を安定化させて残留炭化物の生成を助長し、粒界強度を低下させて疲労強度を劣化させる。従って、Cr の含有は極力低減することが望ましいが、2.5 質量%までは許容できる。好ましくは 1.5 質量%以下である。なお、焼入れ性を向上させるには、0.03 質量%以上にすることが好ましい。

## Mo : 1.0 質量%以下

Mo は、オーステナイト粒の成長を抑制する上で有用な元素であり、そのためには 0.05 質量%以上で含有することが好ましいが、1.0 質量%を超えて添加すると、被削性の劣化を招くため、Mo は 1.0 質量%以下とすることが好ましい。

## Cu : 1.0 質量%以下

Cu は、焼入れ性の向上に有効であり、またフェライト中に固溶し、この固溶強化によって、疲労強度を向上させる。さらに、炭化物の生成を抑制することにより、炭化物による粒界強度の低下を抑制し、疲労強度を向上させる。しかしながら、含有量が 1.0 質量%を超えると熱間加工時に割れが発生するため、1.0 質量%以下の添加とすることが好ましい。なお、より好ましくは 0.5 質量%以下である。なお、0.03 質量%未満の添加では焼入れ性の向上効果および粒界強度の低下抑制効果が小さいので、0.03 質量 %以上含有させることが望ましい。

## Ni : 2.5 質量%以下

Ni は、焼入れ性を向上させる元素であるので、焼入れ性を調整する場合に用いる。また、炭化物の生成を抑制し、炭化物による粒界強度の低下を抑制して、疲労強度を向上させる元素でもある。しかしながら、Ni は極めて高価な元素であり、2.5 質量%を超えて添加すると鋼材のコストが上昇するので、2.5 質量%以下の添加とすることが好ましい。なお、0.05 質量%未満の添加では焼入れ性の向上効果および粒界強度の低下抑制効果が小さいので、0.05 質量%以上で含有させることが望ましい。さらに、好ましくは 0.1 ~1.0 質量%である。

## Co : 1.0 質量%以下

Co は、炭化物の生成を抑制して、炭化物による粒界強度の低下を抑制し、疲労強度を向上させる元素である。しかしながら、Co は極めて高価な元素であり、1.0 質量%を超えて添加すると鋼材のコストが上昇するので、1.0

質量%以下の添加とする。なお、0.01 質量%未満の添加では、粒界強度の低下抑制効果が小さいため、0.01 質量%以上は添加することが望ましい。より好ましくは0.02~0.5 質量%である。

V : 0.5 質量%以下

Vは、鋼中でC、Nと結合し析出強化元素として作用する。また、焼もどし軟化抵抗性を向上させる元素であり、これらの効果により疲労強度を向上させる。しかしながら、0.5 質量%を超えて含有させてもその効果は飽和するため、0.5 質量%以下とすることが好ましい。なお、0.01 質量%未満の添加では、疲労強度の向上効果が小さいため、0.01 質量%以上で添加することが望ましい。さらに好ましくは0.03~0.3 質量%の範囲である。

W : 1.0 質量%以下

Wは、オーステナイト粒の成長を抑制する上で有用な元素であり、そのためには0.005 質量%以上で含有することが好ましいが、1.0 質量%を超えて添加すると、被削性の劣化を招くため、Wは1.0 質量%以下とすることが好ましい。

上記の6成分のうちの1種または2種異常を、基本成分に添加する場合は、上記した式(1)と同様の理由から、次式(2)を満足する必要がある。

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (2)$$

さらに、本発明では、Ti : 0.1 質量%以下、Nb : 0.1 質量%以下、Zr : 0.1 質量%以下、B : 0.01 質量%以下、Ta : 0.5 質量%以下、Hf : 0.5 質量%以下およびSb : 0.015 質量%以下のうちから選んだ1種または2種異常を含有させることができる。

Ti : 0.1 質量%以下

Tiは、不可避不純物として混入するNと結合することで、BがBNとなってBの焼入れ性向上効果が焼失するのを防止し、Bの焼入れ性向上効果を十分に発揮させる作用を有する。この効果を得るためには、0.005 質量%



以上で含有することが好ましいが、0.1 質量%を超えて含有されると TiN が多量に形成される結果、これが疲労破壊の起点となって疲労強度の著しい低下を招くため、Ti は 0.1 質量%以下とすることが好ましい。好ましくは 0.01 ~ 0.07 質量%の範囲である。

Nb : 0.1 質量%以下

Nb は、焼入れ性の向上効果があるだけでなく、鋼中で C, N と結合し析出強化元素として作用する。また、焼もどし軟化抵抗性を向上させる元素でもあり、これらの効果によって疲労強度を向上させる。しかしながら、0.1 質量%を超えて含有させてもその効果は飽和するので、0.1 質量%以下とすることが好ましい。なお、0.005 質量%未満の添加では、析出強化作用および焼もどし軟化抵抗性の向上効果が小さいため、0.005 質量%以上添加することが望ましい。さらに好ましくは 0.01 ~ 0.05 質量%である。

Zr : 0.1 質量%以下

Zr は、焼入れ性向上効果があるだけでなく、鋼中で C, N と結合し析出強化元素として作用する。また、焼もどし軟化抵抗性を向上させる元素であり、これらの効果によって疲労強度を向上させる。しかしながら、0.1 質量%を超えて含有させてもその効果は飽和するため、0.1 質量%以下とすることが好ましい。なお、0.005 質量%未満の添加では、析出強化作用および焼もどし軟化抵抗性の向上効果が小さいため、0.005 質量%以上添加することが望ましい。さらに、好ましくは 0.01 ~ 0.05 質量%である。

B : 0.01 質量%以下

B は、粒界強化により疲労特性を改善するだけでなく、強度を向上させる有用な元素であり、好ましくは 0.0003 質量%以上で添加するが、0.01 質量%を超えて添加しても、その効果は飽和するため、0.01 質量%以下に限定した。

Ta : 0.5 質量%以下

Ta は、マイクロ組織変化の遅延に対して効果があり、疲労強度、特に転動

疲労の劣化防止する効果があるので、添加してもよい。しかし、その含有量が 0.5 質量%を超えて含有量を増加させても、それ以上強度向上に寄与しないので、0.5 質量%以下とする。なお、疲労強度の向上作用を発現させるためには、0.02 質量%以上とすることが好ましい。

Hf : 0.5 質量%以下

Hf は、ミクロ組織変化の遅延に対して効果があり、疲労強度、特に転動疲労の劣化防止する効果があるので、添加してもよい。しかし、その含有量が 0.5 質量%を超えて含有量を増加させても、それ以上強度向上に寄与しないので、0.5 質量%以下とする。なお、疲労強度の向上作用を発現させるためには、0.02 質量%以上とすることが好ましい。

Sb : 0.015 質量%以下

Sb は、ミクロ組織変化の遅延に対して効果があり、疲労強度、特に転動疲労の劣化防止する効果があるので、添加してもよい。しかし、その含有量が 0.015 質量%を超えて含有量を増加させると靱性が劣化するので、0.015 質量%以下、好ましくは 0.010 質量%以下とする。なお、疲労強度の向上作用を発現させるためには、0.005 質量%以上とすることが好ましい。

上記 7 成分のうちの 1 種または 2 種以上を、基本成分に添加する場合は、上記した式 (1) と同様の理由から、次式 (3) を満足する必要がある。

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 1000B) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (3)$$

さらにまた、本発明では、S : 0.1 質量%以下、Pb : 0.1 質量%以下、Bi : 0.1 質量%以下、Se : 0.1 質量%以下、Te : 0.1 質量%以下、Ca : 0.01 質量%以下、Mg : 0.01 質量%以下および REM : 0.1 質量%以下を含有させることができる。

S : 0.1 質量%以下

S は、鋼中で MnS を形成し、切削性を向上させる有用元素であるが、0.1 質量%を超えて含有させると粒界に偏析して粒界強度を低下させるため、S

は 0.1 質量%以下に制限した。好ましくは 0.04 質量%以下である。

Pb : 0.1 質量%以下

Bi : 0.1 質量%以下

Pb および Bi はいずれも、切削時の溶融、潤滑および脆化作用により、被削性を向上させるので、この目的で添加することができる。しかしながら、Pb : 0.1 質量%、Bi : 0.1 質量%を超えて添加しても効果が飽和するばかりか、成分コストが上昇するため、それぞれ上記の範囲で含有させるものとした。なお、被削性の改善のためには、Pb は 0.01 質量%以上、Bi は 0.01 質量%以上含有させることが好ましい。

Se : 0.1 質量%以下

Te : 0.1 質量%以下

Se および Te はそれぞれ、Mn と結合して MnSe および MnTe を形成し、これがチップブレイカーとして作用することにより被削性を改善する。しかしながら、含有量が 0.1 質量%を超えると、効果が飽和する上、成分コストの上昇を招くので、いずれも 0.1 質量%以下で含有させるものとした。また、被削性の改善のためには、Se の場合は 0.003 質量%以上および Te の場合は 0.003 質量%以上で含有させることが好ましい。

Ca : 0.01 質量%以下

REM : 0.1 質量%以下

Ca および REM はそれぞれ、MnS と共に硫化物を形成し、これがチップブレイカーとして作用することにより被削性を改善する。しかしながら、Ca および REM をそれぞれ、0.01 質量%および 0.1 質量%を超えて含有させても、効果が飽和する上、成分コストの上昇を招くので、それぞれ上記の範囲で含有させるものとした。なお、被削性の改善のためには、Ca は 0.0001 質量%以上および REM は 0.0001 質量%以上含有させることが好ましい。

Mg : 0.01 質量%以下

Mg は、脱酸元素であるだけでなく、応力集中源となって被削性を改善す

る効果があるので、必要に応じて添加することができる。しかしながら、過剰に添加すると効果が飽和する上、成分コストが上昇するため、0.01 質量%以下で含有させるものとした。なお、被削性の改善のためには、Mg は 0.0001 質量%以上で含有させることが好ましい。

以上説明した元素以外の残部は Fe および不可避不純物であることが好ましく、不可避不純物としては P, O, N が挙げられ、それぞれ、P : 0.10 質量%、N : 0.01 質量%、O : 0.008 質量%までをそれぞれ許容できる。

次に、本発明の製造方法について説明する。

上記した所定の成分組成に調整した鋼材を、棒鋼圧延後に熱間鍛造などの熱間加工を施して部品形状とし、部品の少なくとも一部に加熱温度：800～1000℃の条件下で高周波焼入れを施す。この少なくとも一部を疲労強度が要求される部位とする。

この一連の工程において、まず、熱間加工を 800～1000℃の温度域の総加工率を 80%以上として行った後、700～500℃の温度域を 0.2℃/s 以上の速度で冷却し、次いで、800℃未満の温度域で 20%以上の加工を施すか、あるいは、熱間加工を 800～1000℃の温度域の総加工率が 80%以上として行った後、800℃未満の温度域で 20%以上の加工を施した後、700～500℃の温度域を 0.2℃/s 以上の速度で冷却すること、さらに、以下に詳述する高周波焼入れ条件を採用することにより、旧オーステナイト粒径の平均粒径が 12 μm 以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下の焼入れ組織とすることが可能となる。

以下、各規制について詳しく説明する。

#### [加工条件]

熱間加工の際の 800～1000℃での総加工率を 80%以上とし、その後 700～500℃の温度域を 0.2℃/s 以上の速度で冷却する。この条件により、焼入れ前の組織を均一微細なベイナイトおよび/またはマルテンサイト組織とすることができ、その後の高周波焼入れの加熱時にオーステナイト粒が微細

化する。より好ましくは、冷却速度を  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上とする。

さらに、高周波焼入れ前に、 $800^{\circ}\text{C}$ 未満の温度域で 20%以上の加工を施す。 $800^{\circ}\text{C}$ 以下の温度域での加工は、熱間加工工程で、前記冷却速度の冷却の前 ( $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 未満の温度域)で行ってもよいし、冷却後に別途冷間加工を施すか、あるいは、 $A_1$ 変態点以下の温度で再加熱して温間加工を施しても良い。 $800^{\circ}\text{C}$ 未満での加工は、30%以上とする事が好ましい。なお、加工法としては、例えば、冷間鍛造、冷間しごき、転造加工、ショット等が挙げられる。 $800^{\circ}\text{C}$ 以下で加工を施すことにより、高周波焼入れ前のベイナイトあるいはマルテンサイト組織が微細化し、結果として高周波焼入れ後に得られる硬化層における旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$ 以下で、かつ最大粒径が平均粒径の4倍以下のものとなり、これにより、疲労強度が向上する。

なお、ここで言う、加工率とは、圧延、鍛造、伸線の場合には加工前後での断面減少率である。また、断面減少率で定義できないようなショット等のような場合には、断面減少率に対応する硬さ変化によって見積もるものとする。

#### [高周波焼入れ条件]

加熱温度を  $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ とし、 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ を  $400^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上の昇温速度で昇温する。加熱温度が  $800^{\circ}\text{C}$ 未満の場合、オーステナイト組織の生成が不十分となり、硬化層を得ることができない。一方、加熱温度が  $1000^{\circ}\text{C}$ を超えると、オーステナイト粒の成長速度が著しく増加し、平均粒径が増加すると同時に、急成長する温度域においては個々の粒成長速度にも著しい差が生じ易いため、最大粒径が平均粒径の4倍超となり疲労強度の低下を招く。

また、 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ の昇温速度が  $400^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 未満の場合にもオーステナイト粒の成長が促進されると同時に粒の大きさのばらつきが大きくなり、最大粒径が平均粒径の4倍超となり、疲労強度の低下を招く。これは、昇温速度が遅いとより低い温度でフェライトからオーステナイトへの逆変態が開始

し、場所により不均一な粒成長を生じ易いためと推定される。

なお、加熱温度は 800~950℃とすることが好ましく、600~800℃の昇温速度は 700℃/s 以上であることが好ましい。より好ましくは 1000℃/s 以上である。

また、高周波加熱時において 800℃以上の滞留時間が長くなると、オーステナイト粒が成長して、結果として最大粒径が平均粒径の 4 倍超となり易くなるので、800℃以上の滞留時間は 5 秒以下とすることが好ましい。

## 実施例

### 実施例 1

本発明の機械構造用部品として、自動車のドライブシャフト、アウトプットシャフト、インプットシャフトを模擬したシャフトを製造した。すなわち、表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続铸造により鑄片とした。鑄片サイズは 300×400mm であった。この鑄片を、ブレードダウン工程を経て 150mm 角ビレットに圧延した後、仕上温度を 800℃以上として、表 4-1、表 4-2 に示す熱間加工条件に従って棒鋼に圧延した。ここで、800~1000℃の総加工率は、この温度範囲における断面減少率である。また、圧延後の冷却は表 4-1、表 4-2 に示す条件とした。

ついで、この棒鋼を所定の長さに切断後、表面切削加工と一部冷間での引き抜き加工を加え径を調整すると同時に、スプライン部の転造加工を施して、図 1 に示す寸法・形状になるスプライン部 2 を有するシャフト 1 を作製した。なお、冷間加工率は、断面減少率である。

このシャフトに、周波数：15 kHz の高周波焼入れ装置を用いて、表 4-1、表 4-2 に示す条件下で焼入れを行った後、加熱炉を用いて 170℃×30 分の条件で焼もどしを行い、その後ねじり疲労強度について調査した。ここで、一部のシャフトについては、焼もどしを省略して、ねじり疲労強度の調査を行った。

なお、ねじり疲労強度は、シャフトのねじり疲労試験において破断繰り返し数が  $1 \times 10^5$  回の時のトルク値 (N・m) で評価した。ねじり疲労試験は、油圧式疲労試験機を用い、図 2 に示すようにスプライン部 2 a, 2 b をそれぞれ円盤状のつかみ具 3 a, 3 b に組み込み、つかみ具 3 a, 3 b との間に周波数 1 ~ 2 Hz で繰り返しねじりトルクを負荷することにより行った。

また、同じシャフトについて、その硬化層をピクリン酸を主成分とした腐食液 (水: 500 g に対しピクリン酸: 50 g を溶解させたピクリン酸水溶液に、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム: 11 g、塩化第 1 鉄: 1 g およびシユウ酸: 1.5 g を添加したもの) にてエッチング後、その組織を光学顕微鏡を用いて観察し、旧オーステナイト粒の平均粒径および最大粒径を求めた。平均粒径および最大粒径の測定にあたっては、前述した方法と同様とした。

さらに、同じシャフトについて、耐焼割れ性についても調査した。

この耐焼割れ性は、高周波焼入れ後のスプライン部の C 断面 5ヶ所を切断・研磨し、光学顕微鏡 (倍率: 100~200 倍) で観察した時の焼割れ発生個数で評価した。

得られた結果を表 4-1、表 4-2 に併記する。

表3

鋼記号	化学成分(mass%)								式(1)~ (3) の左辺の
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	その他	
A	0.48	0.55	0.78	0.011	0.019	0.024	0.0043	-	3.2
B	0.45	0.51	0.81	0.013	0.022	0.029	0.0041	0.3Mo、0.4Ni	6.6
C	0.43	0.51	0.79	0.011	0.021	0.024	0.0039	0.45Mo、0.021Ti、0.0024B	22.6
D	0.43	0.21	0.91	0.011	0.022	0.025	0.0041	0.9Cr、0.003Ca	8.1
E	0.25	0.21	0.92	0.011	0.022	0.024	0.0042	-	2.2
F	1.52	0.19	0.45	0.012	0.015	0.025	0.0042	1.32Cr	11.5
G	0.45	0.22	2.55	0.011	0.018	0.025	0.0045	-	6.7
H	0.32	0.21	0.55	0.012	0.015	0.025	0.0045	-	1.7
I	0.43	0.21	0.91	0.011	0.022	0.025	0.0041	1.1Cr	9.3
J	0.45	0.21	0.92	0.011	0.022	0.026	0.0041	0.4Mo	6.4
K	0.43	0.22	0.91	0.011	0.022	0.025	0.0042	0.8Cu	3.7
L	0.43	0.21	0.91	0.011	0.022	0.025	0.0041	0.8Ni	3.5
M	0.43	0.21	0.91	0.011	0.022	0.023	0.0043	0.15V	4.9
N	0.44	0.23	0.92	0.011	0.022	0.025	0.0041	0.7W	3.9
O	0.43	0.21	0.91	0.012	0.022	0.025	0.0039	0.06Ti	2.8
P	0.44	0.21	0.91	0.011	0.019	0.025	0.0041	0.03Nb	2.8
Q	0.43	0.21	0.91	0.011	0.022	0.024	0.0042	0.05Zr	2.8
R	0.43	0.21	0.91	0.011	0.022	0.024	0.0042	0.003B	2.8
S	0.48	0.55	0.78	0.011	0.004	0.024	0.0043	-	3.2
T	0.48	0.55	0.78	0.011	0.004	0.024	0.0043	0.02Pb	3.2
U	0.48	0.55	0.78	0.011	0.004	0.024	0.0043	0.02Pb	3.2
V	0.48	0.55	0.78	0.011	0.004	0.024	0.0043	0.01Se	3.2
W	0.48	0.55	0.78	0.011	0.004	0.024	0.0043	0.01Te	3.2
X	0.48	0.55	0.78	0.011	0.004	0.024	0.0043	0.003Ca	3.2
Y	0.48	0.55	0.78	0.011	0.022	0.024	0.0043	0.002Mg	3.2
Z	0.48	0.55	0.78	0.011	0.022	0.024	0.0043	0.002REM	3.2
AA	0.45	0.21	0.92	0.012	0.022	0.026	0.0041	0.4Mo、0.02Ti	6.4
AB	0.45	0.22	0.92	0.011	0.022	0.026	0.0041	0.02Ti、0.003B	11.6
AC	0.45	0.21	0.92	0.011	0.004	0.026	0.0041	0.4Mo	6.4
AD	0.43	0.21	0.91	0.012	0.004	0.025	0.0039	0.06Ti	2.8
AE	0.45	0.21	0.92	0.011	0.004	0.026	0.0041	0.4Mo、0.02Ti	6.4
AF	0.46	0.23	0.92	0.011	0.022	0.026	0.0041	0.02Pb	3.0
AG	0.45	0.21	0.92	0.011	0.019	0.026	0.0041	0.4Mo、0.02Pb	6.4
AH	0.46	0.21	0.91	0.011	0.019	0.025	0.0041	0.03Nb、0.02Pb	2.9
AI	0.45	0.21	0.92	0.011	0.019	0.026	0.0041	0.4Mo、0.02Ti、0.02Pb	6.4
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、0.02Ti、 0.0020B、0.003Ca	26.9
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、0.021Ti、 0.0020B、0.003Ca	22.6
AL	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	<0.001	0.0039	0.45Mo、0.021Ti、 0.0020B、0.003Ca	22.6



表4-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%)		焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼き割れ 個数 (N)	焼戻し の有無	ねじり疲労 強度 ( $1 \times 10^5$ ) (MPa)	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)	800°C未満の 加工(冷間 加工)率 (%)	昇温速度 (°C/s)		加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)	最大旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)					
1	A	30	0.7	20	800	73	880	1	6.5	35	0	有	559	比較例	
2	A	80	0.8	20	800	71	890	1	4.8	9.5	0	有	845	発明例	
3	A	80	0.7	50	800	72	870	1	2.5	5.3	0	有	891	発明例	
4	A	80	0.06	20	800	4	910	1	13.5	40	5	有	560	比較例	
5	A	80	0.8	0	800	72	890	1	7.5	48	0	有	570	比較例	
6	B	80	0.8	20	800	75	870	1	4.8	11	0	有	888	発明例	
7	C	30	0.7	20	800	84	880	1	5.6	30	0	有	680	比較例	
8	C	80	0.8	0	800	83	880	1	4.8	35	0	有	670	比較例	
9	C	80	0.7	20	800	85	880	1	2.5	7	0	有	880	発明例	
10	C	80	0.8	50	800	82	880	1	1.7	5	0	有	925	発明例	
11	C	80	0.08	20	800	7	880	1	6.5	35	0	有	670	比較例	
12	C	80	0.8	0	3000	86	880	1	3.5	20	2	有	620	比較例	
13	C	80	0.8	10	200	84	900	1	8.9	45	0	有	622	比較例	
14	C	80	0.8	20	800	85	700	0	不完全焼入れのため測定不能	不完全焼入れのため測定不能	0	有	320	比較例	
15	C	80	0.8	20	800	86	1050	1	15.5	50	0	有	610	比較例	
16	D	80	0.8	20	800	79	890	1	4.5	15	0	有	889	発明例	
17	E	80	0.7	20	800	9	890	1	7.5	45	5	有	542	比較例	
18	F	80	0.7	20	800	75	890	1	4.5	35	3	有	615	比較例	
19	G	80	0.7	20	800	70	890	1	4.8	32	0	有	720	比較例	
20	H	80	0.7	20	800	10	890	1	4.2	35	2	有	535	比較例	
21	A	80	0.8	20	2000	75	800	1	2.8	9	0	有	790	発明例	
22	I	80	0.8	20	800	68	890	1	4.2	12	0	有	845	発明例	
23	J	80	0.8	20	800	82	890	1	4.3	12	0	有	847	発明例	

表4-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%)			焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼き割れ 個数 (N)	焼戻し の有無	ねじり疲労 強度 ( $1 \times 10^6$ ) (MPa)	備考	
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)	800°C未満の 加工(冷間 加工)率 (%)	昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)		800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)	最大旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)							
24	K	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	3.9	11	0	有	849	発明例
25	L	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	851	発明例
26	M	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.2	12	0	有	852	発明例
27	N	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	855	発明例
28	O	80	0.8	20	800	890	1	72	800	890	1	3.9	11	0	有	858	発明例
29	P	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	861	発明例
30	Q	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	3.8	10	0	有	864	発明例
31	R	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	867	発明例
32	S	80	0.8	20	800	890	1	70	800	890	1	4.2	12	0	有	846	発明例
33	T	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	873	発明例
34	U	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.5	13	0	有	845	発明例
35	V	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	865	発明例
36	W	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	3.8	10	0	有	889	発明例
37	X	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	855	発明例
38	Y	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.2	12	0	有	858	発明例
39	Z	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	861	発明例
40	AA	80	0.8	20	800	890	1	85	800	890	1	3.9	11	0	有	864	発明例
41	AB	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	867	発明例
42	AC	80	0.8	20	800	890	1	80	800	890	1	3.8	10	0	有	846	発明例
43	AD	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	873	発明例
44	AE	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	3.9	11	0	有	855	発明例
45	AF	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.3	12	0	有	858	発明例
46	AG	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	3.8	10	0	有	861	発明例
47	AH	80	0.8	20	800	890	1	79	800	890	1	4.2	12	0	有	864	発明例
48	AI	80	0.8	20	800	890	1	85	800	890	1	3.7	10	0	有	867	発明例
49	C	80	0.8	50	800	880	1	82	800	880	1	1.7	5	0	無	1000	発明例
50	AJ	80	0.8	20	800	930	2	83	800	930	2	3.1	10	0	無	900	発明例
51	AK	80	0.8	20	500	930	3	81	500	930	3	3.9	10	0	無	910	発明例
52	AL	80	0.8	20	500	930	3	81	500	930	3	4.0	10	0	有	905	発明例

表 4-1、表 4-2 から明らかなように、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下である、焼入れ組織を有するシャフトはいずれも、高いねじり疲労強度および焼割れ個数：0 という優れた耐焼割れ性を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない焼入れ組織を有するシャフトはいずれも疲労強度が低い。

## 実施例 2

本発明の機械構造用部品として、図 8 に示すクランクシャフトを製造した。すなわち、このクランクシャフト 4 は、シリンダーへのジャーナル部 5、ピストン用コネクティングロッドの軸受け部であるクランクピン部 6、クランクウェブ部 7 およびカウンタウェイト部 8 をそなえていて、特にジャーナル部 5 およびクランクピン部 6 には高周波焼入れを施して、その疲労強度の向上を図っている。

表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続鋳造により鋳片とした。鋳片サイズは  $300\times 400\text{mm}$  であった。この鋳片を、熱間圧延により  $90\text{mm}\phi$  の棒鋼に圧延した。ついで、この棒鋼を所定の長さに切断後、 $700\sim 1100^\circ\text{C}$  の温度範囲で曲げから仕上げまでの各熱間鍛造を行い、さらにバリ取りを行ってクランクシャフト形状に成形後、表 5-1、表 5-2 に示す速度で冷却した。熱間鍛造にあたっては、鍛造工程を複数の工程に分割し、最終段の鍛造工程を  $700\sim 800^\circ\text{C}$  未満で行い、それ以外の鍛造工程は  $800\sim 1000^\circ\text{C}$  で行った。その際、それぞれの鍛造工程におけるクランクピン部 6 の径を調整することで、 $800\sim 1000^\circ\text{C}$  の総加工率および  $700\sim 800^\circ\text{C}$  未満の総加工率を調整した。

ついで、図 9 に示すクランクシャフト断面図のようにクランクシャフトのクランクピン部およびジャーナル部の表面に、それぞれ表 5-1、表 5-2 に示す条件で高周波焼入れを行って焼入れ組織層 9 を形成させたのち、加熱炉

を用いて 170℃、30 分の焼戻しを行い、さらに仕上げ加工を施して、製品とした。ここで、一部のクランクシャフトについては焼戻しを省略した。

かくして得られたクランクシャフトの曲げ疲労寿命について調べた結果を、表 5-1、表 5-2 に示す。

ここに、クランクシャフトの曲げ疲労寿命は、次のようにして評価した。

図 10 に示すように、クランクシャフトの端部は固定した状態で、各コネクティングロッドに一定の繰り返し荷重 (5000N) を負荷する耐久試験を行い、その時のピン部またはジャーナル部が破損するまでの繰り返し数によって、曲げ疲労寿命を評価した。

また、同じクランクシャフトについて、硬化層の旧オーステナイト平均粒径および旧オーステナイト最大粒径を、前述した方法と同様の手法にて求めた。

これらの結果も表 5-1、表 5-2 に併記する。

表5-1

No.	鋼記号	熱間加工条件			焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻し の有無	曲げ疲労 寿命 ( $\times 10^6$ )	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)	800°C未満 の総加工率 (%)		昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 ( $\mu m$ )	最大旧オース テナイト粒径 ( $\mu m$ )			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	2.2	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	9.5	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	12.0	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	2.2	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	2.3	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	11.8	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	4.1	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	3.9	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	11.4	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	14.3	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	3.9	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	3.0	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	45	有	3.1	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入れのため 測定不能	不完全焼入れのため 測定不能	有	0.7	比較例
15	C	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	2.9	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	11.9	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	45	有	2.0	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	2.9	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	5.0	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	2.0	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	9.4	発明例
22	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	9.5	発明例
23	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	9.6	発明例

表5-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻し の有無	曲げ疲労 寿命 ( $\times 10^6$ )	備考	
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)		800°C未満 の総加工率 (%)	昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 ( $\mu\text{m}$ )				最大旧オース テナイト粒径 ( $\mu\text{m}$ )
24	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	9.7	発明例
25	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	9.8	発明例
26	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	9.9	発明例
27	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.0	発明例
28	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	10.2	発明例
29	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.3	発明例
30	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	10.5	発明例
31	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.6	発明例
32	S	80	0.8	20	70	800	890	1	4.2	12	有	9.6	発明例
33	T	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.0	発明例
34	U	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	13	有	9.5	発明例
35	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.5	発明例
36	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	11.9	発明例
37	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.0	発明例
38	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	10.2	発明例
39	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.3	発明例
40	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	10.5	発明例
41	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.6	発明例
42	AC	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	9.6	発明例
43	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.0	発明例
44	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	10.0	発明例
45	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.2	発明例
46	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	10.3	発明例
47	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	10.5	発明例
48	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	10.6	発明例
49	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	15.2	発明例
50	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	10.5	発明例
51	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	10.5	発明例
52	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	10.5	発明例

表 5-1、表 5-2 から明らかなように、硬化層が旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下である、焼入れ組織を有するクランクシャフトはいずれも、破損までの繰返し数が  $9 \times 10^6$  回以上という優れた曲げ疲労寿命を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない比較例では、曲げ疲労強度が劣っている。

### 実施例 3

本発明の機械構造用部品として、図 11 に示す、ドライブシャフト 10 からの動力を車輪のハブ 11 に伝えるために介在させる、等速ジョイント 12 を製造した。

この等速ジョイント 12 は、外輪 13 および内輪 14 の組み合わせになる。すなわち、外輪 13 のマウス部 13a の内面に形成したボール軌道溝に嵌めるボール 15 を介して、マウス部 13a の内側に内輪 14 を揺動可能に固定してなり、この内輪 14 にドライブシャフト 10 を連結する一方、外輪 13 のステム部 13b をハブ 11 に例えばスプライン結合させることによって、ドライブシャフト 10 からの動力を車輪のハブ 11 に伝えるものである。

表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続鋳造により鋳片とした。鋳片サイズは  $300 \times 400\text{mm}$  であった。この鋳片を、ブレークダウン工程を経て  $150\text{mm}$  角ビレットに圧延したのち、 $50\text{mm}$   $\phi$  の棒鋼に圧延した。

ついで、この棒鋼を所定長さに切断後、 $800^\circ\text{C}$  以上の温度で表 6-1、表 6-2 または表 7-1、表 7-2 に示す条件にて熱間鍛造を行い、等速ジョイント外輪のマウス部（外径： $60\text{mm}$ ）およびステム部（直径： $20\text{mm}$ ）を一体に成形し、次いで切削または冷間鍛造によって等速ジョイント外輪のマウス部内面のボールの軌道溝などの成形を行うとともに、切削加工または鍛造加工によって等速ジョイント外輪のステム部にスプライン軸とする成形を行っ

た。熱間鍛造後の冷却は表 6-1、表 6-2 または表 7-1、表 7-2 に示す条件とした。熱間鍛造、転造加工における総加工率は、高周波焼入れが施される部位の軸方向に直交する断面の断面積変化率を調整することで行った。

そして、図 1 2 または図 1 3 に示すように、この等速ジョイント外輪 1 3 のマウス部 1 3 a の内周面またはステム部 1 3 b の外周面に、周波数：15 kHz の高周波焼入れ装置を用いて、焼入れを行い焼入れ組織層 1 6 を形成した後、加熱炉を用いて 180℃×2 h の条件で焼もどしを行って製品とした。ここで、焼入れ条件は表 6-1、表 6-2 または表 7-1、表 7-2 に示す条件とした。また、一部の等速ジョイント外輪については、焼もどしを省略した。かくして得られた等速ジョイント外輪は、そのマウス部にボール（鋼球）を介して、ドライブシャフトを連結した内輪を装着するとともに、ステム部をハブに嵌合させることによって、等速ジョイントユニットとした（図 1 1 参照）。なお、ボール、内輪およびハブの仕様は下記の通りである。

#### 記

ボール：高炭素クロム軸受鋼 SUJ 2 の焼入れ焼戻し鋼

内輪：クロム SCr の浸炭焼入れ焼もどし鋼

ハブ：機械構造用炭素鋼

次に、この等速ジョイントユニットを用いて、ドライブシャフトの回転運動を等速ジョイントの内輪そして外輪を経てハブに伝える動力伝達系において、マウス部の内周面に高周波焼入れを施したものについては転動疲労強度に関する耐久試験を、ステム部の外周面に高周波焼入れを施したものについては、ねじり疲労強度に関する耐久試験を行った。

転動疲労試験は、トルク：900N・m、作動角（外輪の軸線とドライブシャフト軸線とがなす角度）：20° および回転数：300rpm の条件下で動力伝達を行い、マウス部の内周部分が転動疲労破壊するまでの時間を転動疲労強度として評価した。

さらに、この動力伝達系において、ねじり疲労強度に関する耐久試験を実



施した。ここでのねじり疲労試験は、等速ジョイントユニットの作動角（外輪の軸線とドライブシャフト軸線とのなす角度）： $0^\circ$  とし、最大トルク： $4900\text{N}\cdot\text{m}$  のねじり疲労試験機を用いて、ハブとドライブシャフトとの間にねじり力を負荷するようにし、ステム部の最大トルクを変化させることで両振りで応力条件を変えて行い、 $1\times 10^5$ 回の寿命となる応力をねじり疲労強度として評価した。

なお、ねじり疲労試験にあたっては、等速ジョイント外輪のねじり疲労を評価するため、ハブ、ドライブシャフトの強度が十分大きくなるように、ハブ、ドライブシャフト形状、寸法を調整した。

同様に、転動疲労試験に当たっても、等速ジョイント内輪および鋼球等の寸法、形状を、耐久試験時に等速ジョイント外輪内周面が最弱部になるように設定した。

また、同じ条件で作製した等速ジョイント外輪について、硬化層の平均旧オーステナイト粒径および最大旧オーステナイト粒径を、前述した方法と同様の手法にて求めた。

表 6-1、表 6-2 または表 7-1、表 7-2 には、これらの結果も併記する。

表 6-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※1	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	軽動疲労 寿命 (hr)	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	79	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	136	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	148	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	79	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	81	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	147	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	99	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	97	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	145	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	158	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	97	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	89	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	45	有	89	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入れのため測定不能	不完全焼入れのため測定不能	有	50	比較例
15	C	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	87	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	148	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	45	有	76	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	88	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	98	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	75	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	139	発明例
22	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	136	発明例
23	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	136	発明例
24	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	137	発明例
25	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	137	発明例
26	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	138	発明例
27	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例

※1:表中の数値が0の場合は、マウス内周面を切削加工により形成、それ以外はマウス内周面を冷間鍛造により形成し表中数値はその際の加工率。

表 6-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※1	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	軽動疲労 寿命 (hr)	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オー ス テナイト粒径 (μm)	最大旧オー ス テナイト粒径 (μm)			
28	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	139	発明例
29	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	140	発明例
30	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	141	発明例
31	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	142	発明例
32	S	80	0.8	20	70	800	890	1	4.2	12	有	136	発明例
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、 0.02Ti、 0.45Mo、 0.02Ti、	26.9	12	有	143	発明例
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、 0.02Ti、	22.6	13	有	136	発明例
35	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	141	発明例
36	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	148	発明例
37	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
38	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	139	発明例
39	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	140	発明例
40	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	141	発明例
41	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	142	発明例
42	AC	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	136	発明例
43	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	143	発明例
44	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	139	発明例
45	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
46	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	140	発明例
47	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	141	発明例
48	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	142	発明例
49	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	172	発明例
50	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	140	発明例
51	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	138	発明例
52	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	135	発明例

※1:表中の数値が0の場合は、マウス内周面を切削加工により形成、それ以外はマウス内周面を冷間鍛造により形成し表中数値はその際の加工率。

表 7-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※2	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	ねじり疲労強度 (×10 <sup>5</sup> MPa)	備考
		800~1000°Cの総加工率 (%)	加工後の冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の滞留時間 (sec)	平均旧オーステナイト粒径 (μm)	最大旧オーステナイト粒径 (μm)			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	481	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	783	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	832	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	482	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	493	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	829	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	609	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	588	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	820	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	868	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	598	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	545	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	45	有	548	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入れのため測定不能	不完全焼入れのため測定不能	有	229	比較例
15	C	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	535	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	830	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	45	有	463	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	540	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	651	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	456	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	789	発明例
22	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	783	発明例
23	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	785	発明例
24	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	787	発明例
25	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	789	発明例
26	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	791	発明例
27	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	794	発明例

※2:表中の数値が0の場合は、スプラインを切削加工により形成、それ以外はスプライン転造加工により形成し表中数値はその際の加工率。

表 7-2

No.	鋼配号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※2	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	ねじり疲労強度 ( $\times 10^5$ MPa)	備考
		800~1000°Cの総加工率 (%)	加工後の冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の 滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)	最大旧オース テナイト粒径 ( $\mu$ m)			
28	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	797	発明例
29	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	800	発明例
30	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	803	発明例
31	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	806	発明例
32	S	80	0.8	20	70	800	890	1	4.2	12	有	784	発明例
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、 0.02Ti、 0.45Mo、 0.02Ti、 0.02Ti、	26.9	12	有	813	発明例
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、 0.02Ti、	22.6	13	有	783	発明例
35	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	804	発明例
36	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	830	発明例
37	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	794	発明例
38	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	797	発明例
39	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	800	発明例
40	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	803	発明例
41	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	806	発明例
42	AC	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	784	発明例
43	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	813	発明例
44	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	794	発明例
45	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	797	発明例
46	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	800	発明例
47	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	803	発明例
48	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	806	発明例
49	O	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	950	発明例
50	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	810	発明例
51	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	780	発明例
52	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	770	発明例

※2: 表中の数値が0の場合は、スプラインを切削加工により形成、それ以外はスプライン転造加工により形成し表中数値はその際の加工率。

表 6-1、表 6-2 または表 7-1、表 7-2 から明らかなように、硬化層が、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下である、焼入れ組織を有する等速ジョイント外輪はいずれも、優れた転動疲労特性およびねじり疲労強度を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない場合、転動疲労特性、ねじり疲労特性ともに悪い。

#### 実施例 4

本発明の機械構造用部品として、図 1 4 に示す、ドライブシャフト 1 0 から動力を車輪のハブ 1 1 に伝えるために介在させる、等速ジョイント 1 2 を製造した。

この等速ジョイント 1 2 は外輪 1 3 および内輪 1 4 の組み合わせになる。すなわち、外輪 1 3 のマウス部 1 3 a の内面に形成したボール軌道溝に嵌めるボール 1 5 を介して、マウス部 1 3 a の内側に内輪 1 4 を揺動可能に固定してなり、この内輪 1 4 にドライブシャフト 1 0 を連結する一方、外輪 1 3 のステム部 1 3 b をハブ 1 1 に例えばスプライン結合させることによって、ドライブシャフト 1 0 からの動力を車輪のハブ 1 1 に伝えるものである。

表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続铸造により鑄片とした。鑄片サイズは  $300\times 400\text{mm}$  であった。この鑄片を、ブレークダウン工程を経て  $150\text{mm}$  角ビレットに圧延したのち、 $55\text{mm}$   $\phi$  の棒鋼に圧延した。

ついで、この棒鋼を所定長さに切断後、熱間鍛造によって等速ジョイント内輪（外径： $45\text{mm}$  および内径： $20\text{mm}$ ）を成形し、次いで切削加工または転造加工によって嵌合面にスプライン結合のための条溝を形成した。また、切削加工または冷間鍛造によって、ボールの転動面を形成した。熱間鍛造後の冷却は表 8-1、表 8-2 または表 9-1、表 9-2 に示す条件とした。ここで、熱間鍛造、冷間鍛造における総加工率は、転動面の軸方向に直交する断

面の断面減少率を調整することで行った。

図 1 5 または図 1 6 に示すように、この等速ジョイント内輪のドライブシャフトとの嵌合面 1 4 b または等速ジョイント外輪との間に介在するボールの転動面 1 4 a に、周波数：15Hz の高周波焼入れ装置を用いて、表 8-1、表 8-2 または表 9-1、表 9-2 に示す条件下で焼入れを行って焼入れ組織層 1 6 とした後、加熱炉を用いて 180℃×2 h の条件で焼もどしを行って焼入れた。なお、一部の等速ジョイントについては焼もどしを省略した。かくして得られた等速ジョイント内輪は、その嵌合面にドライブシャフトを嵌合するとともに、等速ジョイント外輪のマウス部にボール（鋼球）を介して装着し、一方等速ジョイント外輪のステム部にハブを嵌合することによって、等速ジョイントユニットとした（図 1 1 参照）。なお、ボール、外輪、ドライブシャフトおよびハブの仕様は下記の通りである。

#### 記

ボール：高炭素クロム軸受鋼 SUJ 2 の焼入れ焼戻し鋼

外輪：機械構造用炭素鋼の高周波焼入れ焼戻し鋼

ハブ：機械構造用炭素鋼の高周波焼入れ焼戻し鋼

ドライブシャフト：機械構造用炭素鋼の高周波焼入れ焼戻し鋼

次に、この等速ジョイントを用いて、ドライブシャフトの回転運動を等速ジョイントの内輪そして内輪を経てハブに伝える動力伝達系において、ドライブシャフトとの嵌合面に高周波焼入れを施したのものについては、ドライブシャフトの嵌合部のすべり転動疲労強度に関する耐久試験を、ボールの転動面に高周波焼入れを施したのものについては、ボールの転動面の転動疲労強度に関する耐久試験を行った。

転動疲労試験は、トルク：900N・m、作動角（内輪の軸線とドライブシャフト軸線とがなす角度）：20° および回転数：300rpm の条件下で動力伝達を行い、等速ジョイント内輪の転動面にはく離が生じるまでの時間を転動疲労強度として評価した。なお、ここでドライブシャフト、等速ジョイント

外輪等の寸法、形状は、耐久試験時に等速ジョイントない輪が最弱部になるように設定した。

また、同じ条件で作製した等速ジョイント内輪について、硬化層の平均旧オーステナイト粒径および最大旧オーステナイト粒径を、前述した方法と同様の手法にて求めた。

表 8-1、表 8-2 または表 9-1、表 9-2 には、これらの結果も併記する。



表 8-1

No.	細記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※3	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	すべり転動 疲労寿命 (hr)	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	79	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	136	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	147	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	79	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	80	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	147	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	97	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	95	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	146	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	145	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	95	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	89	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	45	有	88	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入 のため 測定不能	不完全焼入 のため 測定不能	有	49	比較例
15	C	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	86	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	148	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	45	有	76	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	87	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	93	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	73	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	135	発明例
22	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	136	発明例
23	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	135	発明例
24	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	137	発明例
25	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	137	発明例
26	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	139	発明例
27	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例

※3:表中の数値が0の場合は、スプラインを切削加工により形成、それ以外はスプラインを転造加工により形成し表中数値はその際の加工率。

表 8-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※3	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	すべり転動 疲労寿命 (hr)	備考
		800~1000°Cの総加工率 (%)	加工後の冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の停留時間 (sec)	平均旧オーステナイト粒径 (μm)	最大旧オーステナイト粒径 (μm)			
28	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	139	発明例
29	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	140	発明例
30	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	141	発明例
31	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	142	発明例
32	S	80	0.8	20	70	800	890	1	4.2	12	有	142	発明例
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、 0.02Ti、	26.9	12	有	143	発明例
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、 0.02Ti、	22.6	13	有	136	発明例
35	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
36	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	149	発明例
37	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
38	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	140	発明例
39	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	140	発明例
40	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	141	発明例
41	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	143	発明例
42	AG	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	136	発明例
43	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	143	発明例
44	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	140	発明例
45	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
46	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	140	発明例
47	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	141	発明例
48	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	140	発明例
49	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	160	発明例
50	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	145	発明例
51	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	138	発明例
52	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	135	発明例

※3：表中の数値が0の場合は、スプラインを切削加工により形成、それ以外はスプラインを転造加工により形成し表中数値はその際の加工率。

表 9-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※4	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	転動疲労 寿命 (hr)	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	79	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	136	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	147	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	79	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	81	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	145	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	99	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	97	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	145	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	155	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	96	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	89	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	4.5	有	88	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入れのため 測定不能	不完全焼入れ のため 測定不能	有	48	比較例
15	C	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	87	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	147	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	4.5	有	76	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	88	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	97	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	75	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	136	発明例
22	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	136	発明例
23	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	136	発明例
24	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	137	発明例
25	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	137	発明例
26	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	138	発明例
27	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
28	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	139	発明例
29	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例

※4: 表中の数値が0の場合は、ボールの転動面を切削加工により形成、それ以外はボールの転動面を冷間鍛造により形成し  
表中数値はその際の加工率。

表 9-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の総加工率 (%) ※4	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	転動疲労 寿命 (hr)	備考
		800~1000°Cの総加工率 (%)	加工後の冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の滞留時間 (sec)	平均旧オーステナイト粒径 (μm)	最大旧オーステナイト粒径 (μm)			
30	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	141	発明例
31	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	141	発明例
32	S	80	0.8	20	70	800	890	1	4.2	12	有	136	発明例
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、0.02Ti	26.9	12	有	143	発明例
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、0.021Ti	22.6	13	有	136	発明例
35	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	141	発明例
36	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	147	発明例
37	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
38	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	139	発明例
39	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	140	発明例
40	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	141	発明例
41	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	142	発明例
42	AC	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	136	発明例
43	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	143	発明例
44	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	138	発明例
45	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	139	発明例
46	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	139	発明例
47	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	141	発明例
48	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	141	発明例
49	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	170	発明例
50	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	142	発明例
51	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	137	発明例
52	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	135	発明例

※4: 表中の数値が0の場合は、ボールの転動面を切削加工により形成、それ以外はボールの転動面を冷間鍛造により形成し  
表中数値はその際の加工率。

表 8-1、表 8-2 または表 9-1、表 9-2 から明らかなように、硬化層が、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下である、焼入れ組織を有する等速ジョイント内輪はいずれも、優れた疲労特性を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒径の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない場合、疲労特性は悪い。

#### 実施例 5

本発明の機械構造用部品として、図 17 に示す、自動車の車輪のハブを製造した。

この自動車の車輪のハブ 17 は、軸受けの内輪を兼ねる軸部 18 を有し、その外周面において外輪 20 との間に挿入したボール 21 を介して軸受けを構成している。なお、図 17 中の符号 19 はハブの軸部 18 と外輪 20 との間にボール 21 を保持するためのスペーサである。この図 17 に示したところにおいて、ハブの軸受けをなすボールが転動する外周面（転動面）22 では転動疲労寿命の向上が要求される。

表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続鑄造により鑄片とした。鑄片サイズは  $300\times 400\text{mm}$  であった。この鑄片を、ブレークダウン工程を経て  $150\text{mm}$  角ビレットに圧延したのち、 $24\text{mm}$   $\phi$  の棒鋼に圧延した。ついで、この棒鋼を所定の長さに切断後、熱間鍛造によってハブ形状に成形後、表 10-1、表 10-2 に示す冷却速度で冷却した。ついで、切削あるいは冷間鍛造によりハブ軸部の軸受けボールが転動する外周面について、表 10-1、表 10-2 に示す条件で高周波焼入れを行って焼入れ組織層を形成したのち、加熱炉を用いて  $170^{\circ}\text{C}$ 、30 分の焼戻しを行い、さらに仕上げ加工を施して、製品とした。ここで、一部のハブについては焼戻しを省略した。なお、熱間鍛造、冷間鍛造における総加工率は、転動面についての軸方向と直行する断面の面積変化率を調整することにより調整した。

かくして得られたハブの転動疲労寿命について調べた結果を表 10-1、

表 10-2 に示す。

ハブの転動疲労寿命は、次のようにして評価した。

ハブの軸部の外周面に軸受けボールを配置すると共に、外輪を装着し、ハブを固定した状態で、図 17 に示すように、ハブ外輪 20 に一定の荷重 (900N) を負荷した状態でハブ外輪 20 を一定の回転速度 (300rpm) で回転させる耐久試験を行って、高周波焼入れ組織層 22 が転動疲労破壊するまでの時間を転動疲労寿命として評価した。

そして、この転動疲労寿命は、表 10-1、表 10-2 中 No.22 の従来例 (本発明外の熱間加工、高周波焼入れ条件を適用したもの) の転動疲労寿命を 1 とした時の相対比で表した。

なお、ここで、他の外輪、鋼球等の寸法・形状は、耐久試験時にハブの軸部転動面が最弱部になるように設定した。

また、同じハブについて、その焼入れ組織を硬化層の平均旧オーステナイト粒径および最大旧オーステナイト粒径を、前述した方法と同様の手法にて求めた。

これらの結果も表 10-1、表 10-2 に併記する。

表 10-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率(%) ※5	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	転動疲労 寿命	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	2.5	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	10.1	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	12.3	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	2.6	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	2.6	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	12.4	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	4.3	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	4.1	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	12.1	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	12.3	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	4.1	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	3.4	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	45	有	3.4	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入れのため測定不能	不完全焼入れのため測定不能	有	0.8	比較例
15	G	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	3.2	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	12.5	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	45	有	2.3	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	3.3	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	3.9	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	2.1	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	4.0	比較例
22	A	80	0.1	0	0	200	1050	7	17	88	有	1.0	従来例
23	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	10.1	発明例
24	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	10.1	発明例
25	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	10.3	発明例
26	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.4	発明例
27	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	10.7	発明例
28	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.6	発明例

※5:表中の数値が0の場合は、ボールの転動面を切削加工により形成、それ以外はボールの転動面を冷間鍛造により形成し表中数値はその際の加工率。

表 10-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%) ※5	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻し の有無	転動疲労 寿命	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
29	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	10.7	発明例
30	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.9	発明例
31	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	11.1	発明例
32	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.3	発明例
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、 0.02Ti、 0.45Mo、 0.021Ti、	26.9	12	有	11.3	発明例
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、 0.021Ti、	22.6	12	有	11.5	発明例
35	U	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	13	有	10.1	発明例
36	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.7	発明例
37	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	12.7	発明例
38	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.6	発明例
39	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	10.9	発明例
40	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.9	発明例
41	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	11.1	発明例
42	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.5	発明例
43	AC	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	10.1	発明例
44	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.5	発明例
45	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	10.9	発明例
46	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.7	発明例
47	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	10.9	発明例
48	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	11.1	発明例
49	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	10.9	発明例
49	G	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	13.5	発明例
50	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	11.1	発明例
51	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	10.4	発明例
52	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	10.3	発明例

※5:表中の数値が0の場合は、ボールの転動面を切削加工により形成、それ以外はボールの転動面を冷間鍛造により形成し表中数値はその際の加工率。



表 10-1、表 10-2 から明らかなように、硬化層が、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下である、焼入れ組織を有するハブはいずれも、従来例に比べて 10 倍以上の優れた転動疲労寿命を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない比較例は転動疲労寿命が短い。

#### 実施例 6

本発明の機械構造用部品として、実施例 5 と同様に図 18 に示すハブを製造した。すなわち、表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続鋳造により鋳片とした。鋳片サイズは  $300\times 400\text{mm}$  であった。この鋳片を、ブレイクダウン工程を経て  $150\text{mm}$  角ビレットに圧延したのち、 $24\text{mm}$   $\phi$  の棒鋼に圧延した。ついで、この棒鋼を所定の長さに切断後、熱間鍛造によってハブ形状に成形後、表 11-1、表 11-2 に示す速度で冷却した。ついで、ハブ軸部に、等速ジョイントの軸部と嵌合するためのスプライン加工を、切削加工あるいは転造加工により設けた。

ついで、ハブ軸部の、等速ジョイントの軸部と嵌合する周面（図 18 中の嵌合部 23）について、表 10-1、表 10-2 に示す条件で高周波焼入れを行って焼入れ組織層を形成したのち、加熱炉を用いて  $170^{\circ}\text{C}$ 、30 分の焼戻しを行い、さらに仕上げ加工を施して、製品とした。なお、一部のハブについては焼戻しを省略した。なお、熱間鍛造、転造加工における総加工率は、ハブ軸部の等速ジョイントとの嵌合部がある部分について、その軸方向断面の変化率を調整することで行った。

かくして得られたハブの等速ジョイント軸部と嵌合する周面のすべり転動疲労寿命について調べた結果を、表 11-1、表 11-2 に示す。

ハブのすべり転動疲労寿命は次のようにして評価した。

#### すべり転動疲労寿命

図 19 に示すように、ハブの軸部の内周面に等速ジョイントの軸部 24 を

嵌合し、ハブを固定した状態で等速ジョイントの軸部を両振りで繰り返しねじり力を負荷した（最大トルク：700N、2サイクル/秒）時のハブスプライン部ですべり転動疲労による破損が起こるまでの繰り返し数で疲労寿命を評価した。

そして、このすべり転動疲労寿命は、表11-1、表11-2中 No.22 の従来例（本発明外の熱間加工、高周波焼入れ条件を適用したもの）のすべり転動疲労寿命を1とした時の相対比で表わした。

また、同じハブについて、硬化層の平均旧オーステナイト粒径および最大旧オーステナイト粒径を、前述した方法と同様の手法にて求めた。

これらの結果も表11-1、表11-2に併記する。

表 11-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%) ※6	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻し の有無	すべり転 動疲労 寿命	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	加工後の 冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上 の滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	A	30	0.7	20	73	800	880	1	6.5	35	有	2.5	比較例
2	A	80	0.8	20	71	800	890	1	4.8	9.5	有	10.3	発明例
3	A	80	0.7	50	72	800	870	1	2.5	5.3	有	12.3	発明例
4	A	80	0.06	20	4	800	910	1	13.5	40	有	2.6	比較例
5	A	80	0.8	0	72	800	890	1	7.5	48	有	2.6	比較例
6	B	80	0.8	20	75	800	870	1	4.8	11	有	12.6	発明例
7	C	30	0.7	20	84	800	880	1	5.6	30	有	3.9	比較例
8	C	80	0.8	0	83	800	880	1	4.8	35	有	3.9	比較例
9	C	80	0.7	20	85	800	880	1	2.5	7	有	12.1	発明例
10	C	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	有	12.3	発明例
11	C	80	0.08	20	7	800	880	1	6.5	35	有	3.8	比較例
12	C	80	0.8	0	86	3000	880	1	3.5	20	有	3.4	比較例
13	C	80	0.8	10	84	200	900	1	8.9	45	有	3.3	比較例
14	C	80	0.8	20	85	800	700	0	不完全焼入れのため 測定不能	不完全焼入れのため 測定不能	有	0.5	比較例
15	C	80	0.8	20	86	800	1050	1	15.5	50	有	3.2	比較例
16	D	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	15	有	12.5	発明例
17	E	80	0.7	20	9	800	890	1	7.5	45	有	2.3	比較例
18	F	80	0.7	20	75	800	890	1	4.5	35	有	3.3	比較例
19	G	80	0.7	20	70	800	890	1	4.8	32	有	3.9	比較例
20	H	80	0.7	20	10	800	890	1	4.2	35	有	2.1	比較例
21	A	80	0.8	20	75	2000	800	1	2.8	9	有	4.0	比較例
22	A	80	0.1	0	0	200	1050	7	17	88	有	1.0	従来例
23	I	80	0.8	20	68	800	890	1	4.2	12	有	10.1	発明例
24	J	80	0.8	20	82	800	890	1	4.3	12	有	10.1	発明例

※6: 表中の数値が0の場合は、スプラインを切削加工により形成、それ以外はスプラインを転造加工により形成し表中数値はその際の加工率。

表 11-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		800°C未満の加工(冷間加工)率 (%) ※6	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	すべり転動疲労寿命	備考
		800~1000°Cの総加工率 (%)	加工後の冷却速度 (°C/s)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の滞留時間 (sec)	平均旧オーステナイト粒径 (μm)	最大旧オーステナイト粒径 (μm)			
25	K	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	10.3	発明例
26	L	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.4	発明例
27	M	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	10.7	発明例
28	N	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.6	発明例
29	O	80	0.8	20	72	800	890	1	3.9	11	有	10.3	発明例
30	P	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.4	発明例
31	Q	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	10.7	発明例
32	R	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.6	発明例
AJ	0.45	0.45	0.82	0.011	0.031	0.002	0.004	0.4Mo、0.02Ti	26.9	12	有	11.3	発明例
AK	0.43	0.51	0.79	0.011	0.06	0.002	0.0039	0.45Mo、0.02Ti	22.6	12	有	11.5	発明例
35	U	80	0.8	20	79	800	890	1	4.5	13	有	10.1	発明例
36	V	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.7	発明例
37	W	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	12.7	発明例
38	X	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.7	発明例
39	Y	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	10.6	発明例
40	Z	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.3	発明例
41	AA	80	0.8	20	85	800	890	1	3.9	11	有	11.5	発明例
42	AB	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.1	発明例
43	AC	80	0.8	20	80	800	890	1	3.8	10	有	10.1	発明例
44	AD	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	11.5	発明例
45	AE	80	0.8	20	79	800	890	1	3.9	11	有	10.9	発明例
46	AF	80	0.8	20	79	800	890	1	4.3	12	有	10.7	発明例
47	AG	80	0.8	20	79	800	890	1	3.8	10	有	10.0	発明例
48	AH	80	0.8	20	79	800	890	1	4.2	12	有	11.1	発明例
49	AI	80	0.8	20	85	800	890	1	3.7	10	有	10.8	発明例
50	G	80	0.8	50	82	800	880	1	1.7	5	無	13.5	発明例
51	AJ	80	0.8	20	83	800	930	2	3.1	10	有	11.1	発明例
52	AK	80	0.8	20	81	500	930	3	3.9	10	有	11.5	発明例
53	AL	80	0.8	20	81	500	930	3	4.0	10	有	11.5	発明例

※6: 表中の数値が0の場合は、スプラインを切削加工により形成、それ以外はスプラインを製造加工により形成し表中数値はその際の加工率。

表 1 1-1、表 1 1-2 から明らかなように、硬化層が、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒系の 4 倍以下である、焼入れ組織を有するハブはいずれも、従来例に比べて 10 倍以上という優れたすべり転動疲労寿命を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない比較例はすべり転動疲労寿命が短い。

#### 実施例 7

本発明の機械構造用部品として、図 20 に示す、ギア 25 を製造した。

すなわち、図 20 に示す代表的なギア 25 は、その周面に多数の歯 26 を刻んで成る。そして、本発明に従うギアでは、図 21 に示すように、多数の歯 26 とこれら歯 26 相互間の歯底 27 との表層部分に、高周波焼入れによる焼入れ組織層 28 を有するものである。なお、図示例では、歯 26 および歯底 27 の表層部分に焼入れ組織層 28 を形成したが、その他の部分、例えば各種駆動軸が差し込まれる軸穴 29 の内周面に焼入れ組織層を設けることも可能である。

表 3 に示す成分組成になる鋼素材を、転炉により溶製し、連続鋳造により鋳片とした。鋳片サイズは  $300\times 400\text{mm}$  であった。この鋳片を、ブレークダウン工程を経て  $150\text{mm}$  角ビレットに圧延したのち、表 1 2-1、表 1 2-2 に示す条件の熱間加工条件として  $90\text{mm}\phi$  の棒鋼に圧延した。圧延後の冷却は表 1 2-1、表 1 2-2 に示す条件とした。ここで、加工率はそれぞれの温度範囲における断面減少率を示す。

ついで、この棒鋼から、下記のギアを切削加工により作製した。

#### 記

小径ギア：外径  $75\text{mm}$ 、モジュール 2.5、歯数 28、基準ピッチ円直径  $70\text{mm}$

大径ギア：外径  $85\text{mm}$ 、モジュール 2.5、歯数 32、基準ピッチ円直径  $80\text{mm}$

このギアに、周波数： $200\text{kHz}$  の高周波焼き入れ装置を用いて、表 1 2

-1、表 1 2-2 に示す条件下で焼入れを行った後、加熱炉を用いて  $180^{\circ}\text{C} \times 2$  h の条件で焼もどしを行い、その後ギア実体疲労試験を行った。なお、一部のギアについては焼もどしを省略した。

ギア実体疲労試験は、小径および大径のギアを噛み合わせて、回転速度 3000rpm および負荷トルク  $245\text{N} \cdot \text{m}$  の条件で回転させ、いずれかのギアが破損するまでのトルク負荷回数で評価した。

得られた結果を表 1 2-1、表 1 2-2 に併記する。

また、同じ条件で作製したギアについて、硬化層の平均オーステナイト粒径および最大旧オーステナイト粒径を、前述した方法と同様の手法にて求めた。

表 1 2-1、表 1 2-2 には、これらの結果も併記する。

表 12-1

No.	鋼記号	熱間加工条件		加工後の冷却速度 (°C/s)	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼戻しの有無	トルク付加回数 (×10 <sup>4</sup> )	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	700~800°C 未満の加工率 (%)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の 滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
1	A	30	20	0.7	73	800	880	1	6.5	35	有	36	比較例
2	A	80	20	0.8	71	800	890	1	4.8	9.5	有	1039	発明例
3	A	80	50	0.7	72	800	870	1	2.5	5.3	有	1691	発明例
4	A	80	20	0.06	4	800	910	1	13.5	40	有	36	比較例
5	A	80	0	0.8	72	800	890	1	7.5	48	有	39	比較例
6	B	80	20	0.8	75	800	870	1	4.8	11	有	1725	発明例
7	C	30	20	0.7	84	800	880	1	5.6	30	有	128	比較例
8	C	80	0	0.8	83	800	880	1	4.8	35	有	113	比較例
9	C	80	20	0.7	85	800	880	1	2.5	7	有	1621	発明例
10	C	80	50	0.8	82	800	880	1	1.7	5	有	1553	発明例
11	C	80	20	0.08	7	800	880	1	6.5	35	有	113	比較例
12	C	80	0	0.8	86	3000	880	1	3.5	20	有	73	比較例
13	C	80	10	0.8	84	200	900	1	8.9	45	有	70	比較例
14	C	80	20	0.8	85	800	700	0	不完全焼入れのため 測定不能	不完全焼入れのため 測定不能	有	2	比較例
15	C	80	20	0.8	86	800	1050	1	15.5	50	有	61	比較例
16	D	80	20	0.8	79	800	890	1	4.5	15	有	1745	発明例
17	E	80	20	0.7	9	800	890	1	7.5	45	有	29	比較例
18	F	80	20	0.7	75	800	890	1	4.5	35	有	65	比較例
19	G	80	20	0.7	70	800	890	1	4.8	32	有	99	比較例
20	H	80	20	0.7	10	800	890	1	4.2	35	有	22	比較例
21	A	80	20	0.8	75	2000	800	1	2.8	9	有	61	比較例
22	I	80	20	0.8	68	800	890	1	4.2	12	有	1745	発明例
23	J	80	20	0.8	82	800	890	1	4.3	12	有	997	発明例

表 12-2

No.	鋼記号	熱間加工条件		加工後の冷却速度 (°C/s)	焼入れ前組織 ベイナイト 組織分率 (vol%)	高周波焼入れ条件			硬化層組織		焼入れの有無	トルク付加回数 (×10 <sup>4</sup> )	備考
		800~1000°C の総加工率 (%)	700~800°C 未満の加工率 (%)			昇温速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	800°C以上の 滞留時間 (sec)	平均旧オース テナイト粒径 (μm)	最大旧オース テナイト粒径 (μm)			
24	K	80	20	0.8	79	800	890	1	3.9	11	有	1089	発明例
25	L	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1115	発明例
26	M	80	20	0.8	79	800	890	1	4.2	12	有	1195	発明例
27	N	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1169	発明例
28	O	80	20	0.8	72	800	890	1	3.9	11	有	1211	発明例
29	P	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1254	発明例
30	Q	80	20	0.8	79	800	890	1	3.8	10	有	1300	発明例
31	R	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1364	発明例
32	S	80	20	0.8	70	800	890	1	4.2	12	有	1364	発明例
33	T	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1445	発明例
34	U	80	20	0.8	79	800	890	1	4.5	13	有	1039	発明例
35	V	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1195	発明例
36	W	80	20	0.8	79	800	890	1	3.8	10	有	1839	発明例
37	X	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1169	発明例
38	Y	80	20	0.8	79	800	890	1	4.2	12	有	1249	発明例
39	Z	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1254	発明例
40	AA	80	20	0.8	85	800	890	1	3.9	11	有	1300	発明例
41	AB	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1425	発明例
42	AG	80	20	0.8	80	800	890	1	3.8	10	有	1051	発明例
43	AD	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1445	発明例
44	AE	80	20	0.8	79	800	890	1	3.9	11	有	1249	発明例
45	AF	80	20	0.8	79	800	890	1	4.3	12	有	1211	発明例
46	AG	80	20	0.8	79	800	890	1	3.8	10	有	1254	発明例
47	AH	80	20	0.8	79	800	890	1	4.2	12	有	1300	発明例
48	AI	80	20	0.8	85	800	890	1	3.7	10	有	1249	発明例
49	C	80	50	0.8	82	800	880	1	1.7	5	無	1700	発明例
50	AJ	80	20	0.8	83	800	930	2	3.1	10	有	1310	発明例
51	AK	80	20	0.8	81	500	930	3	3.9	10	有	1350	発明例
52	AL	80	20	0.8	81	500	930	3	4.0	10	有	1340	発明例



表 1 2-1、表 1 2-2 から明らかなように、硬化層が、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下である、トルク負荷回数約  $1000 \times 10^4$  回以上の優れた疲労特性を得ることができた。

これに対し、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12\mu\text{m}$  以下で、かつ最大粒径が平均粒径の 4 倍以下となっていない焼入れ組織を有するギアは疲労特性が悪い。

#### 産業上の利用可能性

本発明によれば、ねじり疲労特性をはじめとして、曲げ疲労特性、転動疲労特性およびすべり転動疲労特性等の全ての疲労特性に優れた機械構造用部品を安定して得ることができ、その結果、自動車用部品の軽量化等の要求に対し偉効を奏する。

## 請求の範囲

1. 少なくとも一部分に焼入れを施した鋼材を用いた機械構造用部品であつて、該焼入れ組織は、旧オーステナイト粒の平均粒径が  $12 \mu\text{m}$  以下かつ最大粒径が平均粒径の4倍以下であることを特徴とする機械構造用部品。

2. 質量%で、

C : 0.3%以上、1.5%以下、

Si : 0.05%以上、3.0%以下、

Mn : 0.2%以上、2.0%以下、

を含有し、かつ下記式(1)を満足し、残部はFeおよび不可避不純物の成分組成を有することを特徴とする請求項1に記載の機械構造用部品。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) > 2.0 \quad \dots (1)$$

3. 前記成分組成として、さらに質量%で、

Al : 0.25%以下

を含有することを特徴とする請求項2に記載の機械構造用部品。

4. 前記成分組成として、さらに、質量%で、

Cr : 0.03%以上、2.5%以下、

Mo : 0.05%以上、1.0%以下、

Cu : 0.03%以上、1.0%以下、

Ni : 0.05%以上、2.5%以下、

Co : 0.01%以上、1.0%以下、

V : 0.01%以上、0.5%以下、

W : 0.005%以上、1.0%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)に替えて下記式(2)を満足することを特徴とする請求項2または3に記載の機械構造用部品。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (2)$$

5. 前記成分組成として、質量%で、

Ti : 0.005%以上、0.1%以下、

Nb : 0.005%以上、0.1%以下、

Zr : 0.005%以上、0.1%以下、

B : 0.0003%以上、0.01%以下、

Ta : 0.02%以上、0.5%以下、

Hf : 0.02%以上、0.5%以下、

Sb : 0.005%以上、0.015%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)又は(2)に替えて下記式(3)を満足することを特徴とする請求項2、3または4に記載の機械構造用部品。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 1000B) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (3)$$

6. 前記成分組成として、さらに質量%で、

S : 0.1%以下、

Pb : 0.01%以上、0.1%以下、

Bi : 0.01%以上、0.1%以下、

Se : 0.003%以上、0.1%以下、

Te : 0.003%以上、0.1%以下、

Ca : 0.0001%以上、0.01%以下、

Mg : 0.0001%以上、0.01%以下および

REM : 0.0001%以上、0.1%以下

のうちから選んだ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、3、4または5に記載の機械構造用部品。

7. 微細なベイナイト組織および微細なマルテンサイト組織のいずれか一方または両方を合計で10体積%以上含有する鋼材を素材として、該素材の少なくとも一部分に、昇温速度400°C/s以上かつ到達温度1000°C以下の高周波加熱を1回以上施すことを特徴とする機械構造用部品の製造方法。

8. 請求項7において、前記素材は、800~1000°Cでの総加工率が80%以上となる熱間加工工程と、該熱間加工工程後に700~500°Cの温度域を0.2°C/s以上の冷却速度で冷却する冷却工程と、さらに、該冷却工程の前に700~800°C未満の温度域で20%以上の加工を施すか、あるいは該冷却工程の後にA<sub>1</sub>点変態点以下の温度域で20%以上の加工を施す第2加工工程と、を施して製造することを特徴とする機械構造用部品の製造方法。

9. 請求項7または8において、1回の高周波加熱における800°C以上の滞留時間を5秒以下とすることを特徴とする機械構造用部品の製造方法。

10. 前記鋼材は、質量%で、

C : 0.3%以上、1.5%以下、

Si : 0.05%以上、3.0%以下、

Mn : 0.2%以上、2.0%以下、

を含有し、かつ下記式(1)を満足し、残部 Fe および不可避的不純物からなる組成であることを特徴とする請求項7乃至9のいずれかに記載の機械構造用部品の製造方法。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) > 2.0 \quad \dots (1)$$

11. 前記鋼材は、さらに、質量%で、

Al : 0.25%以下

を含有することを特徴とする請求項10に記載の機械構造用部品の製造方法

12. 前記鋼材は、さらに、質量%で、

Cr : 0.03%以上、2.5%以下、

Mo : 0.05%以上、1.0%以下、

Cu : 0.03%以上、1.0%以下、

Ni : 0.05%以上、2.5%以下、

Co : 0.01%以上、1.0%以下、

V : 0.01%以上、0.5%以下、

W : 0.005%以上、1.0%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)に替えて下記式(2)を満足する組成であることを特徴とする請求項10または11に記載の機械構造用部品の製造方法。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (2)$$

13. 前記鋼材は、さらに、質量%で、

Ti : 0.005%以上、0.1%以下、  
 Nb : 0.005%以上、0.1%以下、  
 Zr : 0.005%以上、0.1%以下、  
 B : 0.0003%以上、0.01%以下、  
 Ta : 0.02%以上、0.5%以下、  
 Hf : 0.02%以上、0.5%以下、  
 Sb : 0.005%以上、0.015%以下

のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ前記式(1)又は(2)に替えて下記式(3)を満足することを特徴とする請求項10、11または12に記載の機械構造用部品の製造方法。

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7Si) (1 + 3Mn) (1 + 2.1Cr) (1 + 3.0Mo) (1 + 0.4Cu) \\ (1 + 0.3Ni) (1 + 5.0V) (1 + 1000B) (1 + 0.5W) > 2.0 \quad \dots (3)$$

14. 前記鋼材は、さらに質量%で、

S : 0.1%以下、  
 Pb : 0.01%以上、0.1%以下、  
 Bi : 0.01%以上、0.1%以下、  
 Se : 0.003%以上、0.1%以下、  
 Te : 0.003%以上、0.1%以下、  
 Ca : 0.0001%以上、0.01%以下、  
 Mg : 0.0001%以上、0.01%以下、  
 REM : 0.0001%以上、0.1%以下

のうちから選んだ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10、11、12または13に記載の機械構造用部品の製造方法。

図1

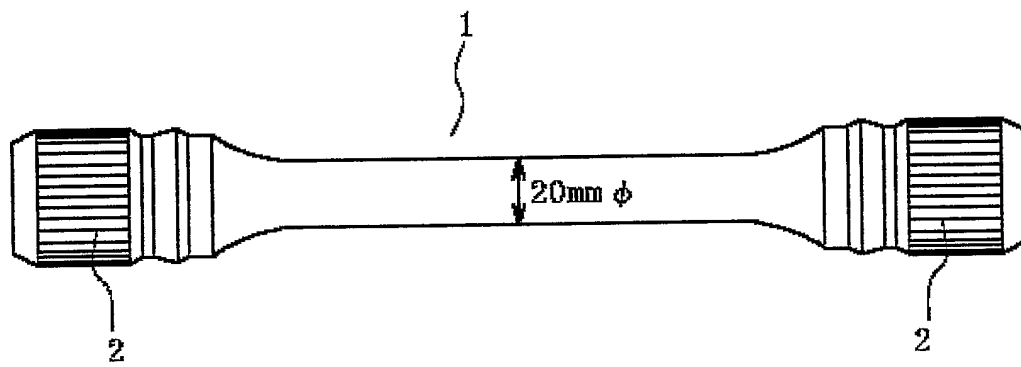


図2(a)

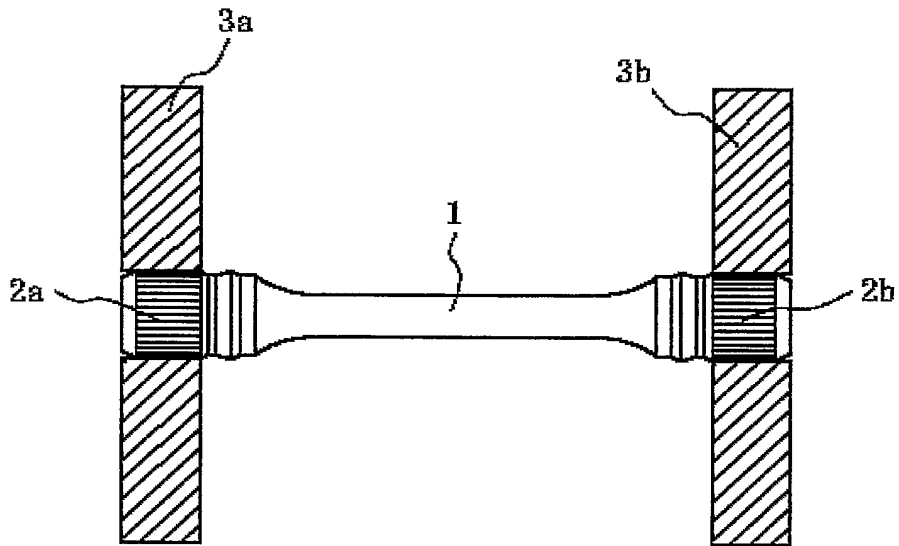


図2(b)

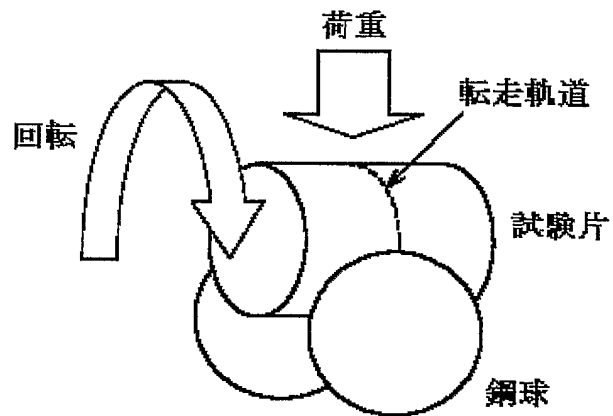
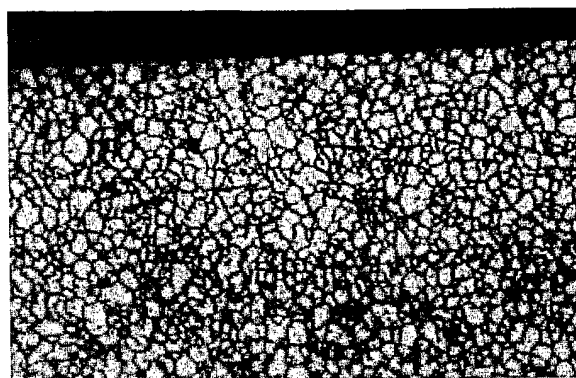




図3



10 μ m

図4(a)

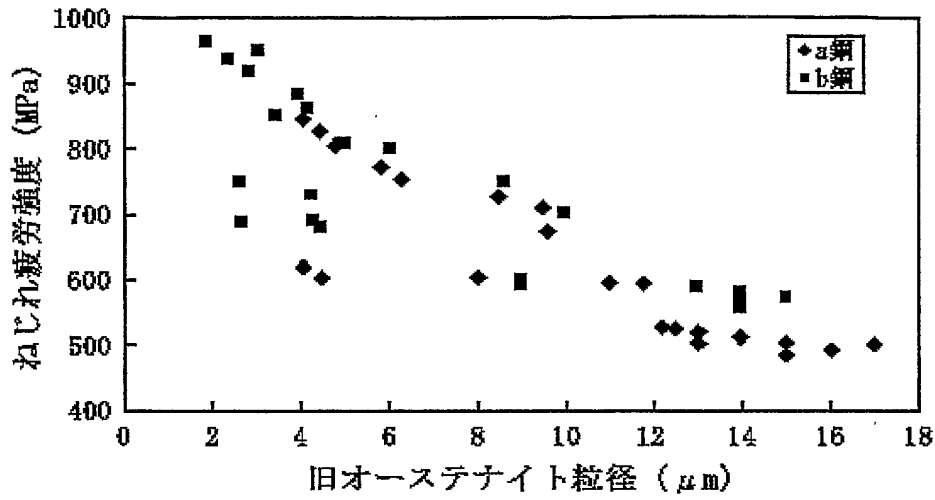


図4(b)

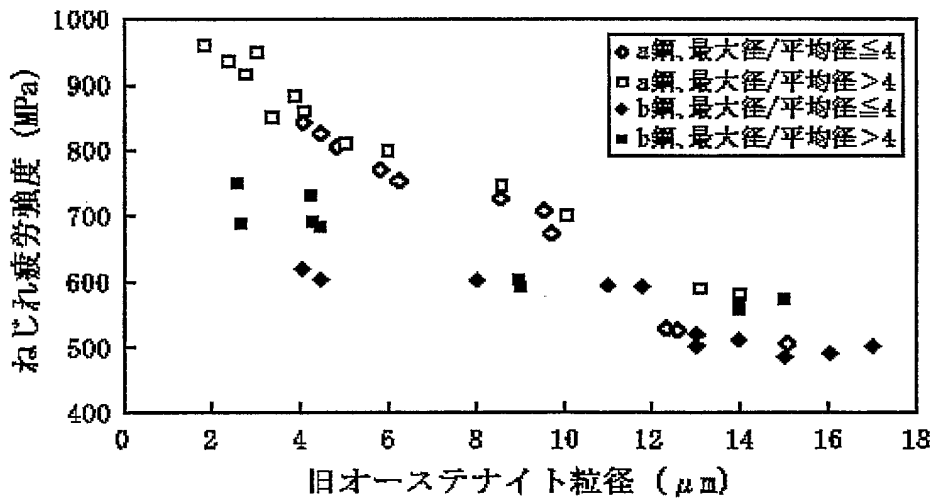


図5(a)

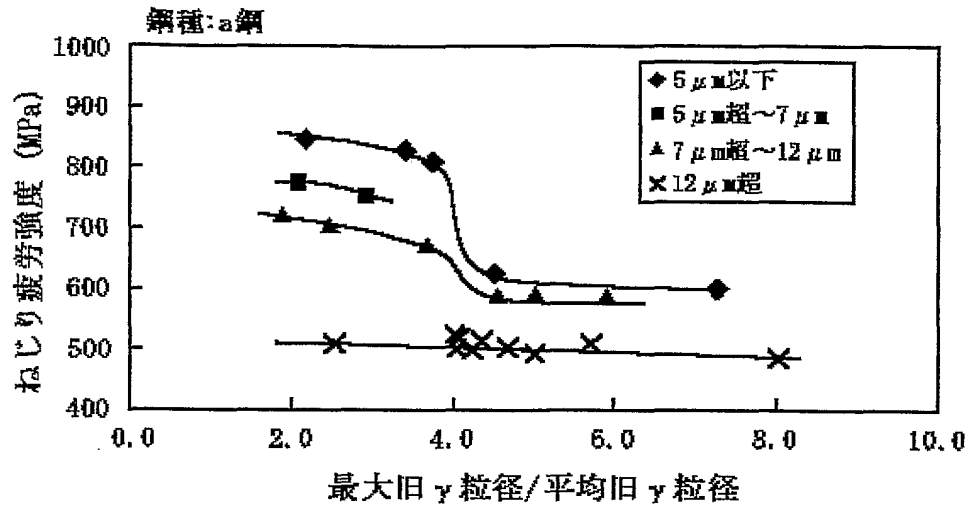


図5(b)

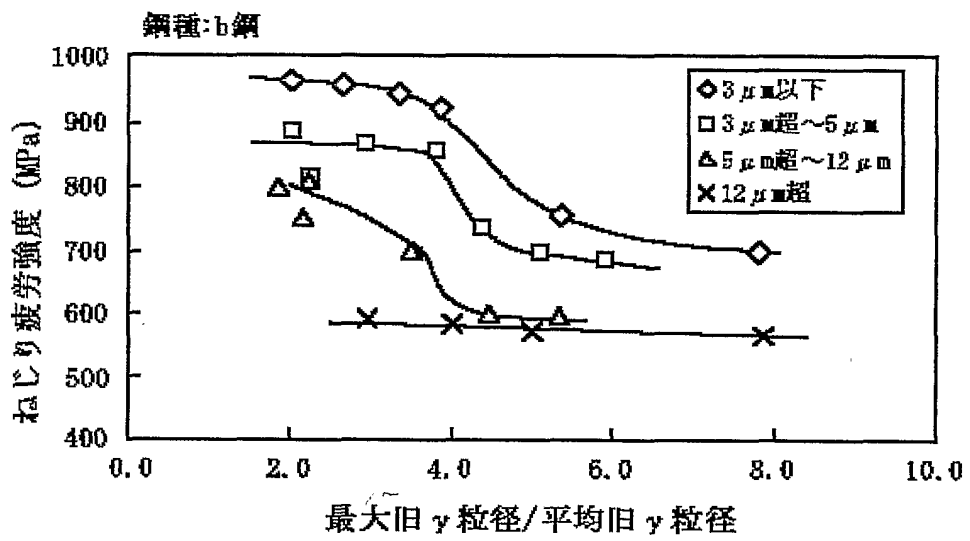


図6(a)

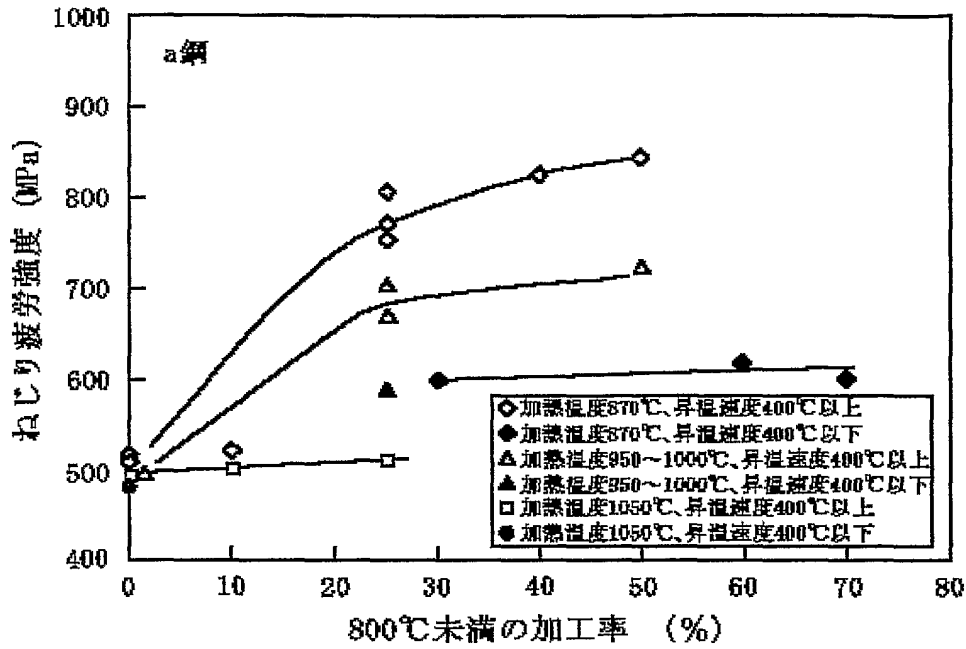


図6(b)

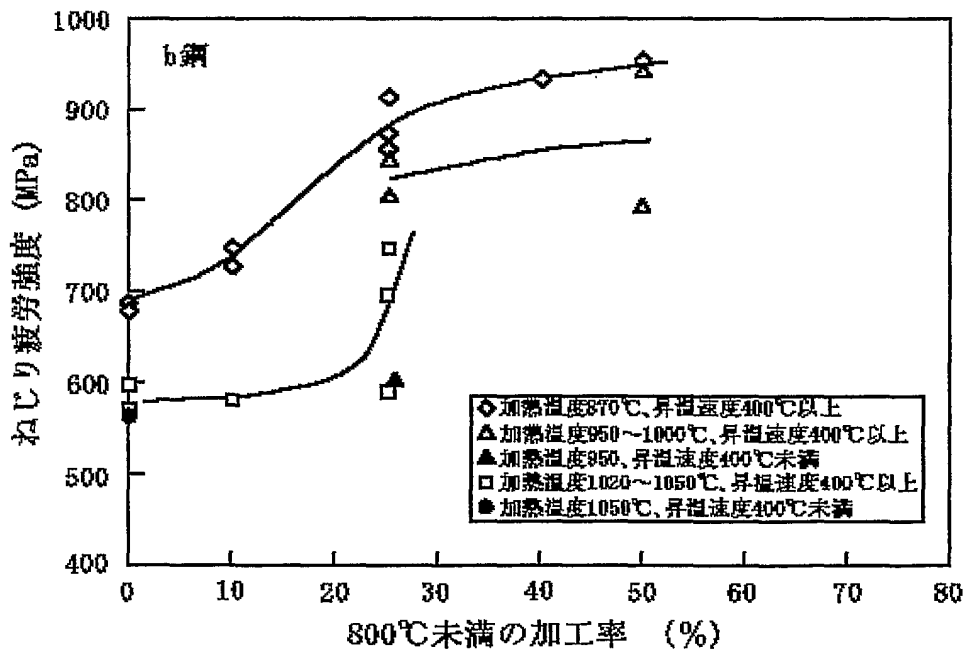


図7(a)

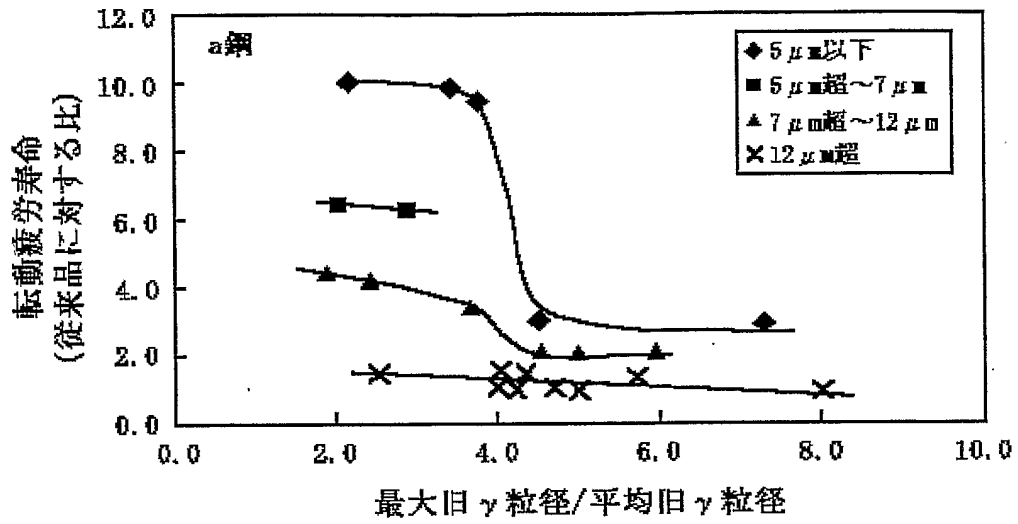
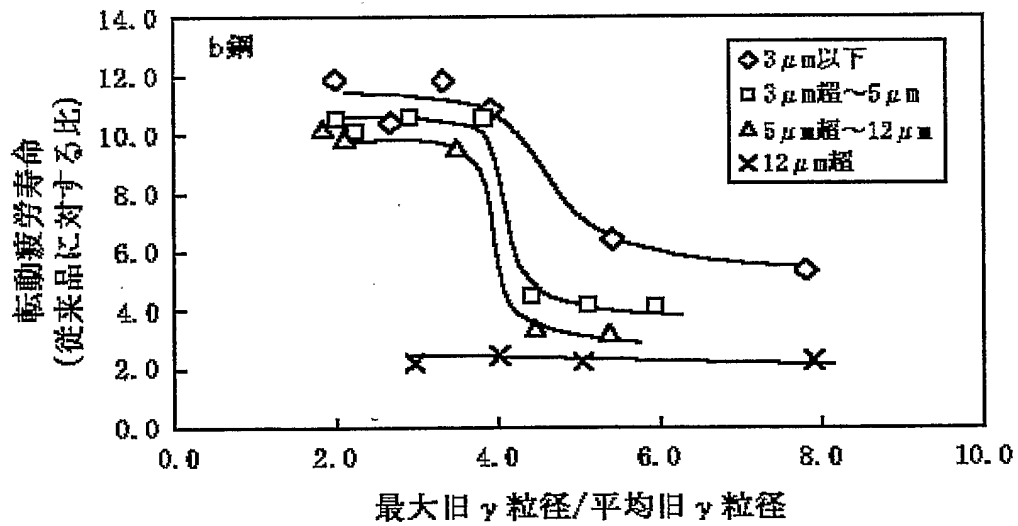
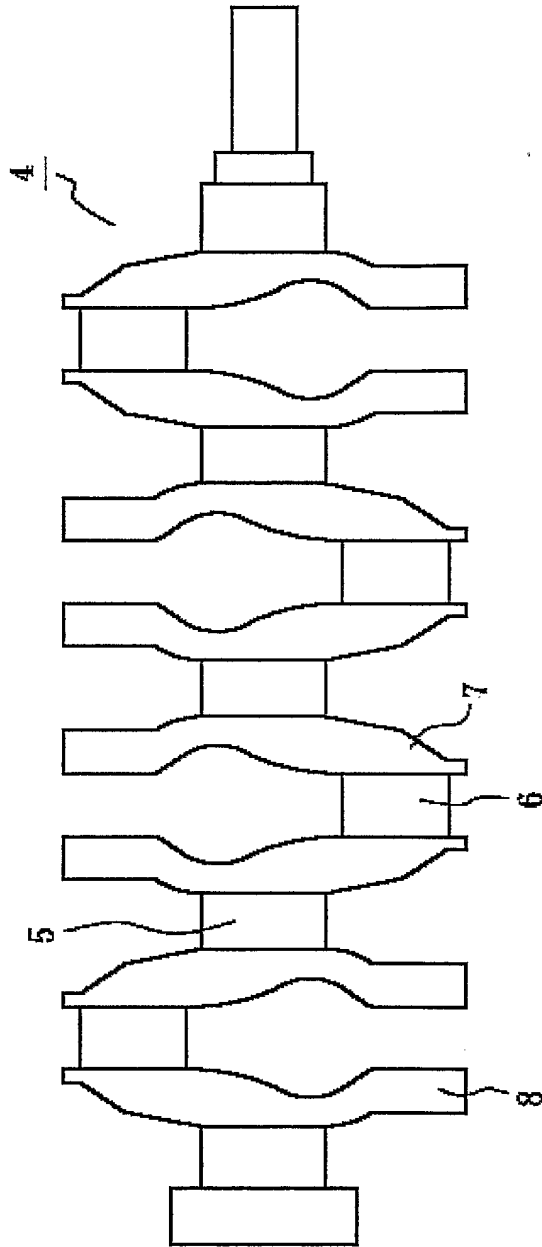


図7(b)



8



9

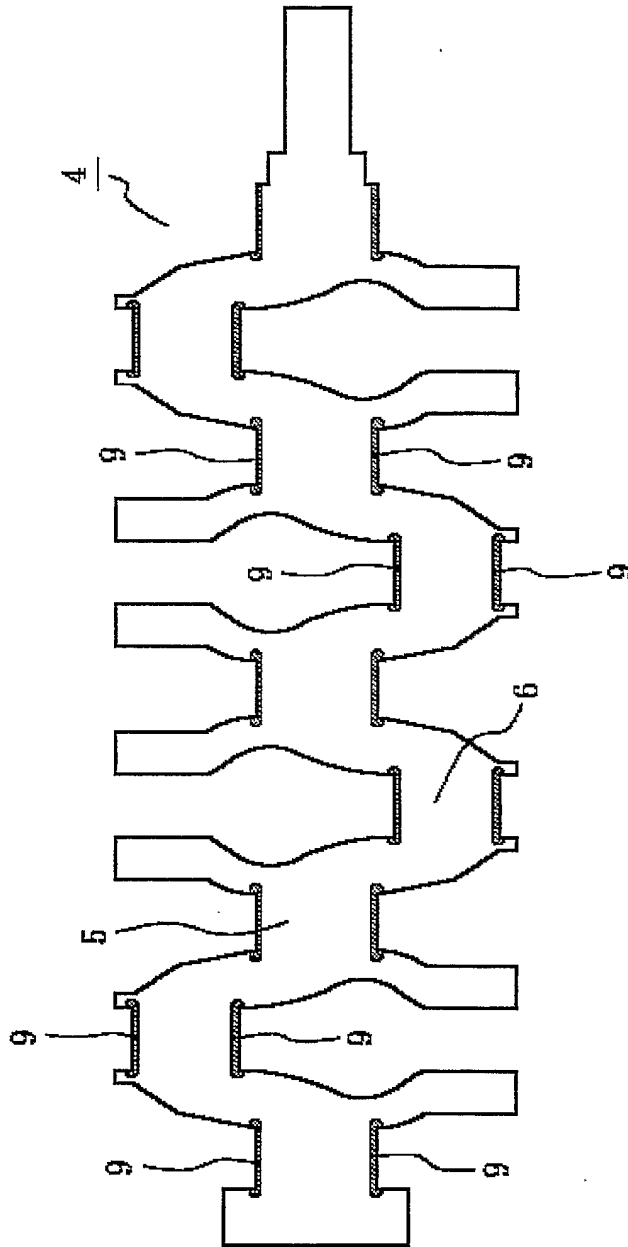


図10

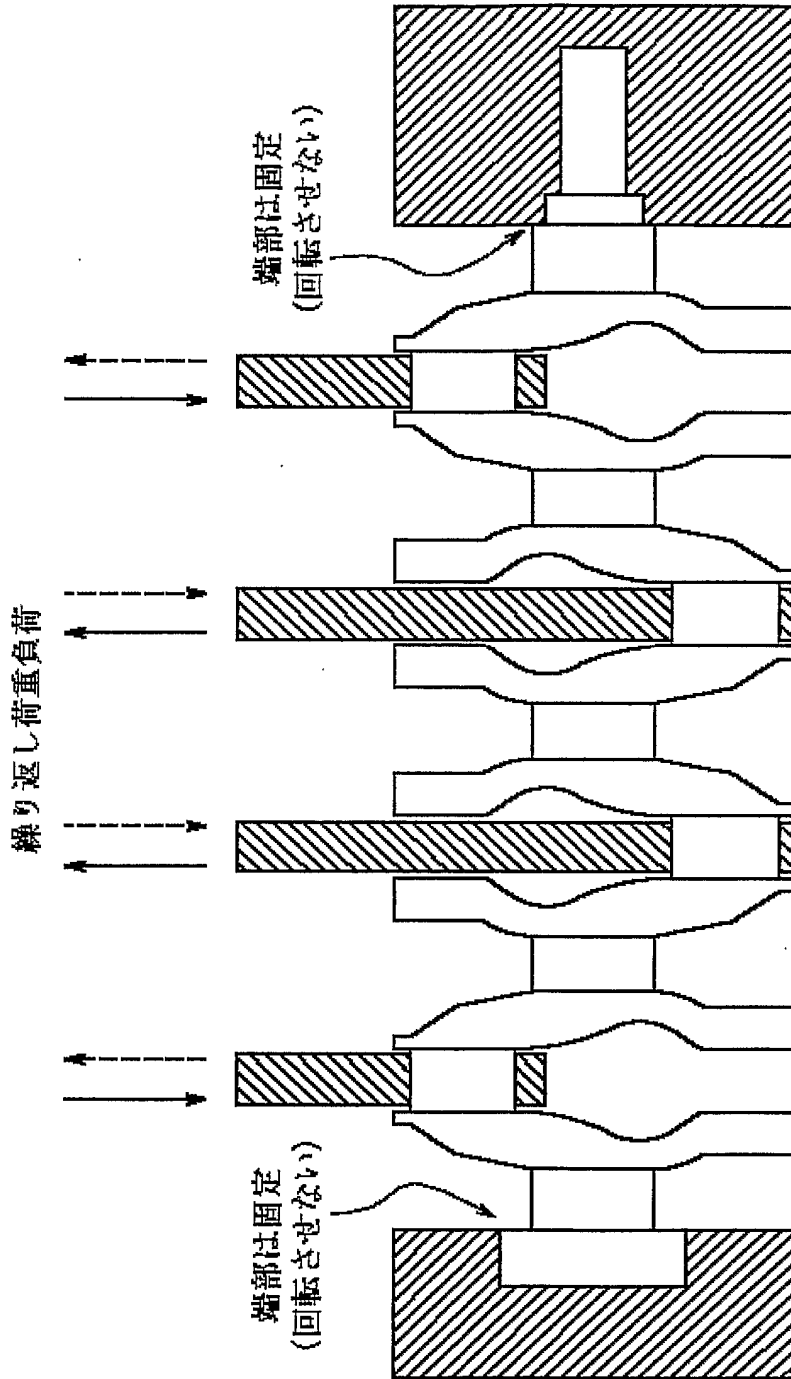




図11

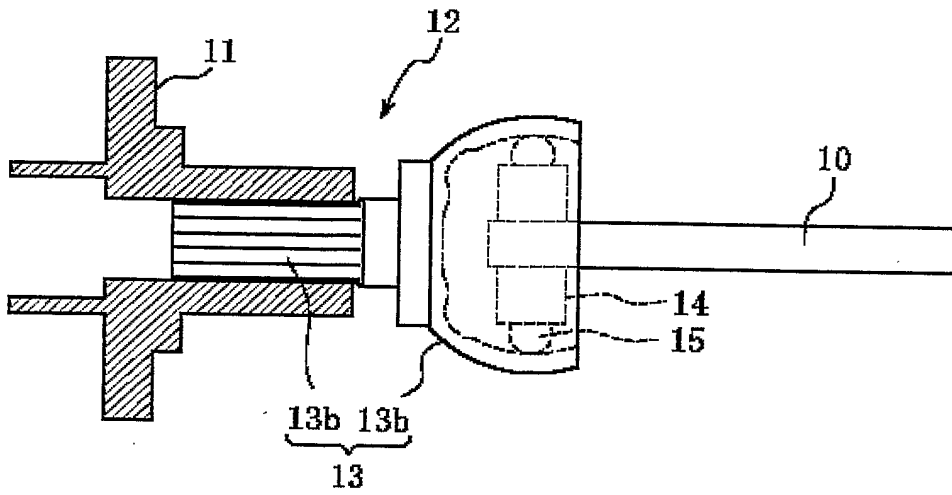


図12

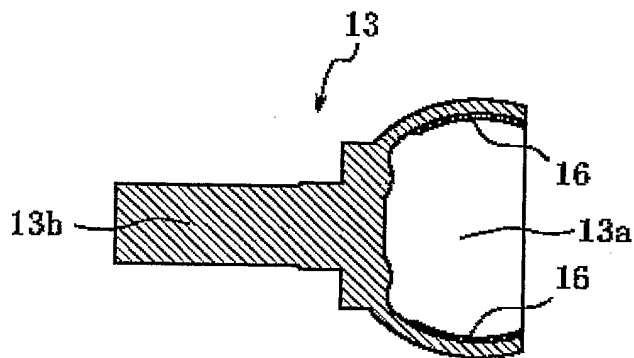


図13

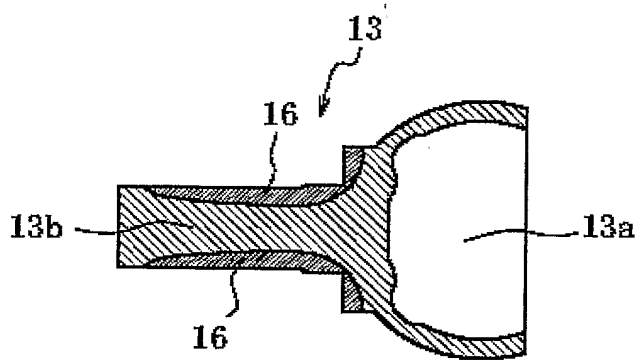


図14

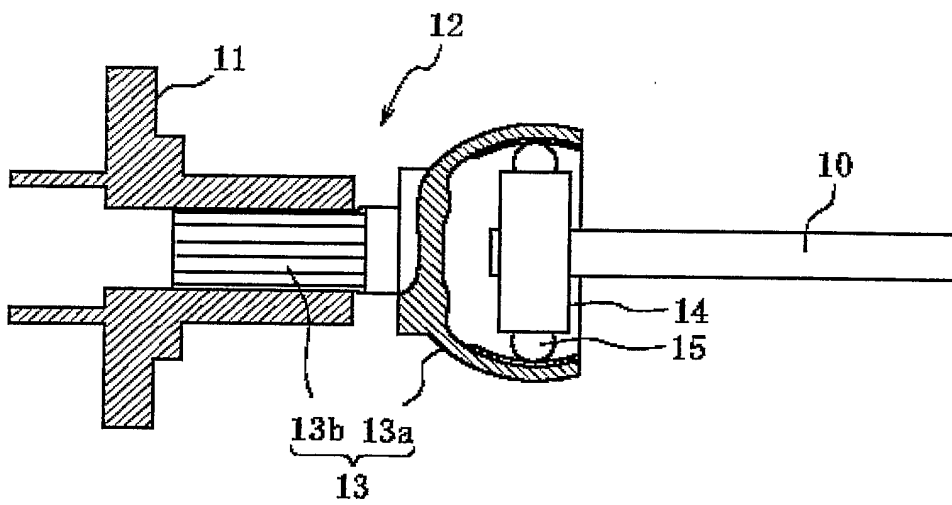


図15

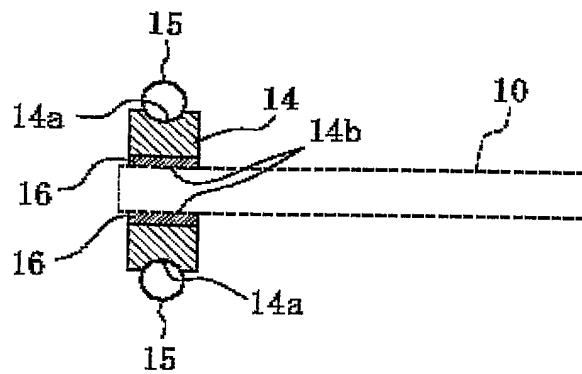


図16

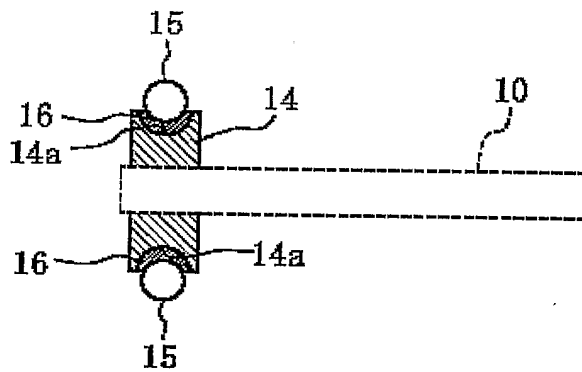


図17

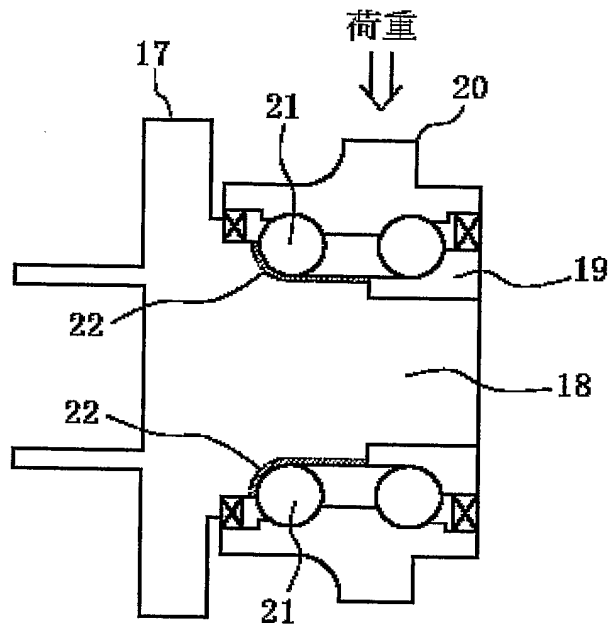
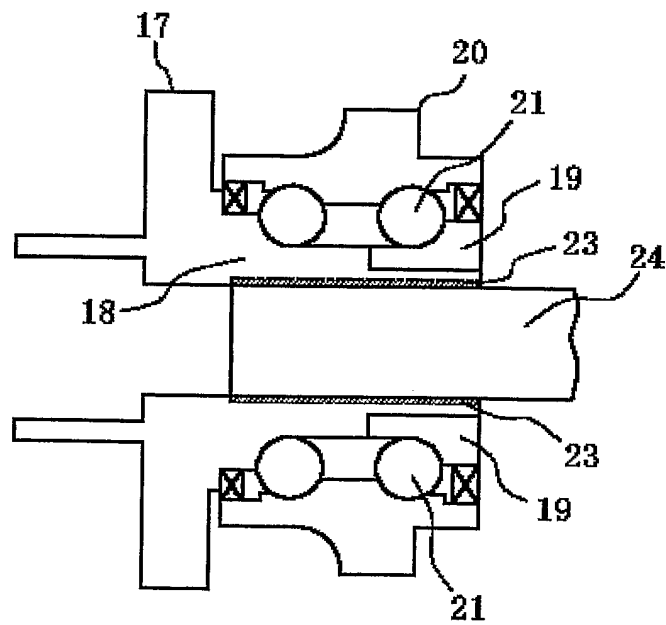


図18



19

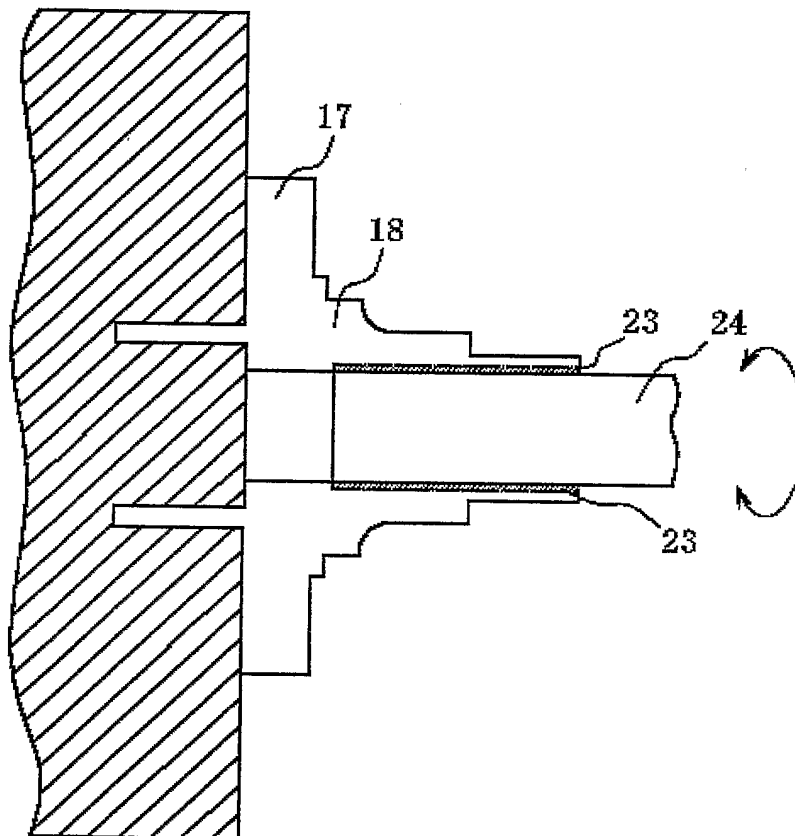


図20

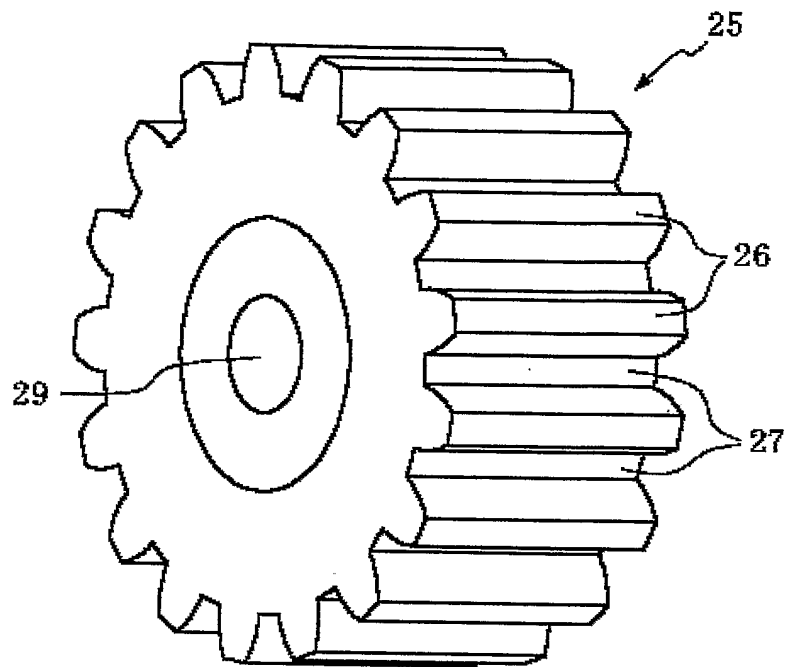
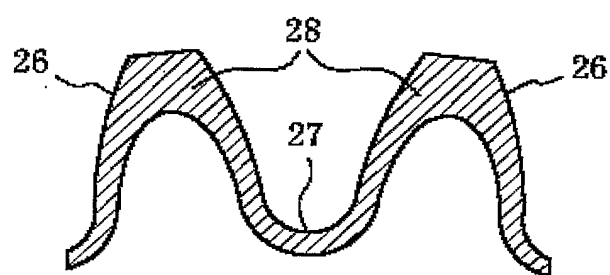


図21



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/001738

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl <sup>7</sup> C22C38/00, C21D9/30, C22C38/06, 38/60, F16C3/02, 3/06, F16D3/20, 3/22, F16H55/06		
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) Int.Cl <sup>7</sup> C21D9/30, C22C38/00-38/60, F16C3/02, 3/06, F16D3/20, 3/22, F16H55/06		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
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.
Y A	JP 8-53714 A (Kobe Steel, Ltd.), 27 February, 1996 (27.02.96), Claims (Family: none)	1-7, 9-14 8
Y	JP 2003-213372 A (Sumitomo Denko Steel Wire Kabushiki Kaisha), 30 July, 2003 (30.07.03), Claims; column 1, lines 32 to 39; column 2, lines 43 to 49 (Family: none)	1-7, 9-14
Y	JP 9-241749 A (Netsuren Co., Ltd.), 16 September, 1997 (16.09.97), Claims; column 1, lines 32 to 45; column 2, lines 40 to 49; column 3, lines 34 to 43 (Family: none)	7, 9-14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 26 April, 2005 (26.04.05)		Date of mailing of the international search report 17 May, 2005 (17.05.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

<the subject to be searched>

Claim 1 involves the hardened steel products having all compositions. But, only a steel product disclosed in the specification, which has been subjected to a high frequency hardening treatment and has a chemical composition, in mass %, wherein 0.3 to 1.5 % of C, 3.0 % or less of Si and 2.0 % or less of Mn are contained, or further, one or more selected from among 0.25 % or less of Al, 2.5 % or less of Cr, 1.0 % or less of Mo, 1.0 % or less of Cu, 2.5 % or less of Ni, 1.0 % or less of Co, 0.5 % or less of V and 1.0 % or less of W, 0.1 % or less of Ti, 0.1 % or less of Nb, 0.1 % or less of Zr, 0.01 % or less of B, 0.5 % or less of Ta, 0.5 % or less of Hf and 0.015 % or less of Sb, 0.1 % or less of S, 0.1 % or less of Pb, 0.1 % or less of Bi, 0.1 % or less of Se, 0.1 % or less of Te, 0.01 % or less of Ca, 0.01 % or less of Mg and 0.1 % or less of REM are contained, wherein the following formula:

$$C^{1/2}(1 + 0.7Si)(1 + 3Mn)(1 + 2.1Cr)(1 + 3.0Mo)(1 + 0.4Cu)(1 + 0.3Ni)(1 + 5.0V)(1 + 1000B)(1 + 0.5W) > 2.0,$$

is satisfied, and wherein the balance is Fe and inevitable impurities, is disclosed in the meaning of PCT Article 5, and no general solution means is taught for achieving the production of the above hardened steel products having all compositions, even when the technical common sense at the time of filing the present application is taken into consideration. Therefore, claim 1 lacks the support in the meaning of PCT Article 6.

Accordingly, the search has been carried out with respect to the scope supported by and disclosed in the specification, that is, to a steel product which has been subjected to a high frequency hardening treatment and has a chemical composition, in mass %, wherein 0.3 to 1.5 % of C, 3.0 % or less of Si and 2.0 % or less of Mn are contained, or further, one or more of selected from among 0.25 % or less of Al, 2.5 % or less of Cr, 1.0 % or less of Mo, 1.0 % or less of Cu, 2.5 % or less of Ni, 1.0 % or less of Co, 0.5 % or less of V and 1.0 % or less of W, 0.1 % or less of Ti, 0.1 % or less of Nb, 0.1 % or less of Zr, 0.01 % or less of B, 0.5 % or less of Ta, 0.5 % or less of Hf and 0.015 % or less of Sb, 0.1 % or less of S, 0.1 % or less of Pb, 0.1 % or less of Bi, 0.1 % or less of Se, 0.1 % or less of Te, 0.01 % or less of Ca, 0.01 % or less of Mg and 0.1 % or less of REM are contained, wherein the following formula:

$$C^{1/2}(1 + 0.7Si)(1 + 3Mn)(1 + 2.1Cr)(1 + 3.0Mo)(1 + 0.4Cu)(1 + 0.3Ni)(1 + 5.0V)(1 + 1000B)(1 + 0.5W) > 2.0,$$

is satisfied, and wherein the balance is Fe and inevitable impurities. Claims 7 to 9 involve the methods for producing the parts of a machine construction having all compositions and structures. But, only a method for producing the parts of a machine construction disclosed in the specification, which have been subjected to a high frequency hardening treatment, which have a chemical composition, in mass %, wherein 0.3 to 1.5 % of C, 3.0 % or less of Si and 2.0 % of Mn are contained, or further, one or more selected from among 0.25 % or less of Al, 2.5 % or less of Cr, 1.0 % or less of Mo, 1.0 % or less of Cu, 2.5 % or less of Ni, 1.0 % or less of Co, 0.5 % or less of V and 1.0 % or less of W, 0.1 % or less of Ti, 0.1 % or less of Nb, 0.1 % or less of Zr, 0.01 % or less of B, 0.5 % or less of Ta, 0.5 % or less of Hf and 0.015 % or less of Sb, 0.1 % or less of S, 0.1 % or less of Pb, 0.1 % or less of Bi, 0.1 % or less of Se, 0.1 % or less of Te, 0.01 % or less of Ca, 0.01 % or less of Mg and 0.1 % or less of REM are contained, wherein the following formula:

(continued to next sheet)



$C^{1/2}(1 + 0.7Si)(1 + 3Mn)(1 + 2.1Cr)(1 + 3.0Mo)(1 + 0.4Cu)(1 + 0.3Ni)(1 + 5.0V)(1 + 1000B)(1 + 0.5W) > 2.0$ , is satisfied, and wherein the balance is Fe and inevitable impurities, and which have a hardened structure wherein old austenite grains have an average grain diameter of 12  $\mu\text{m}$  or less and a maximum grain diameter of a diameter being four times the average diameter or less, is disclosed in the meaning of PCT Article 5, and no general solution means is taught for achieving the production of the above hardened steel products having all compositions, even when the technical common sense at the time of filing the present application is taken into consideration. Therefore, claims 7 to 9 lack the support in the meaning of PCT Article 6.

Accordingly, the search has been carried out with respect to the scope supported by and disclosed in the specification, that is, to a method for producing the parts of a machine construction disclosed in the specification, which have been subjected to a high frequency hardening treatment, which have a chemical composition, in mass %, wherein 0.3 to 1.5 % of C, 3.0 % or less of Si and 2.0 % of Mn are contained, or further, one or more of selected from among 0.25 % or less of Al, 2.5 % or less of Cr, 1.0 % or less of Mo, 1.0 % or less of Cu, 2.5 % or less of Ni, 1.0 % or less of Co, 0.5 % or less of V and 1.0 % or less of W, 0.1 % or less of Ti, 0.1 % or less of Nb, 0.1 % or less of Zr, 0.01 % or less of B, 0.5 % or less of Ta, 0.5 % or less of Hf and 0.015 % or less of Sb, 0.1 % or less of S, 0.1 % or less of Pb, 0.1 % or less of Bi, 0.1 % or less of Se, 0.1 % or less of Te, 0.01 % or less of Ca, 0.01 % or less of Mg and 0.1 % or less of REM are contained, wherein the following formula:

$C^{1/2}(1 + 0.7Si)(1 + 3Mn)(1 + 2.1Cr)(1 + 3.0Mo)(1 + 0.4Cu)(1 + 0.3Ni)(1 + 5.0V)(1 + 1000B)(1 + 0.5W) > 2.0$ ,

is satisfied, and wherein the balance is Fe and inevitable impurities, and which have a hardened structure wherein old austenite grains have an average grain diameter of 12  $\mu\text{m}$  or less and a maximum grain diameter of a diameter being four times the average diameter or less.

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))                  Int.Cl.<sup>7</sup> C22C38/00, C21D9/30, C22C38/06, 38/60, F16C3/02, 3/06, F16D3/20, 3/22, F16H55/06</p>																	
<p>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))                  Int.Cl.<sup>7</sup> C21D9/30, C22C38/00-38/60, F16C3/02, 3/06, F16D3/20, 3/22, F16H55/06</p>																	
<p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2005年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2005年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2005年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2005年	日本国実用新案登録公報	1996-2005年	日本国登録実用新案公報	1994-2005年							
日本国実用新案公報	1922-1996年																
日本国公開実用新案公報	1971-2005年																
日本国実用新案登録公報	1996-2005年																
日本国登録実用新案公報	1994-2005年																
<p>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)</p>																	
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求の範囲の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>JP 8-53714 A (株式会社神戸製鋼所) 1996.02.27, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)</td> <td>1-7, 9-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2003-213372 A (住友電工スチールワイヤー株式会社) 2003.07.30, 特許請求の範囲、第1欄第32-39行、第2欄第43-49行 (ファミリーなし)</td> <td>1-7, 9-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 9-241749 A (高周波熱錬株式会社) 1997.09.16, 特許請求の範囲、第1欄第32-45行、第2欄第40-49行、第3欄第34-43行 (ファミリーなし)</td> <td>7, 9-14</td> </tr> </tbody> </table>			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 請求の範囲の番号	Y	JP 8-53714 A (株式会社神戸製鋼所) 1996.02.27, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-7, 9-14	A		8	Y	JP 2003-213372 A (住友電工スチールワイヤー株式会社) 2003.07.30, 特許請求の範囲、第1欄第32-39行、第2欄第43-49行 (ファミリーなし)	1-7, 9-14	Y	JP 9-241749 A (高周波熱錬株式会社) 1997.09.16, 特許請求の範囲、第1欄第32-45行、第2欄第40-49行、第3欄第34-43行 (ファミリーなし)	7, 9-14
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 請求の範囲の番号															
Y	JP 8-53714 A (株式会社神戸製鋼所) 1996.02.27, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-7, 9-14															
A		8															
Y	JP 2003-213372 A (住友電工スチールワイヤー株式会社) 2003.07.30, 特許請求の範囲、第1欄第32-39行、第2欄第43-49行 (ファミリーなし)	1-7, 9-14															
Y	JP 9-241749 A (高周波熱錬株式会社) 1997.09.16, 特許請求の範囲、第1欄第32-45行、第2欄第40-49行、第3欄第34-43行 (ファミリーなし)	7, 9-14															
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>																	
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <table border="0"> <tr> <td>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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)</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&amp;」 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>			「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	「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	「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	「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)	「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	「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献	「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願						
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの																
「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	「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																
「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)	「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																
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献																
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願																	
<p>国際調査を完了した日 26.04.2005</p>	<p>国際調査報告の発送日 <b>17.5.2005</b></p>																
<p>国際調査機関の名称及びあて先                  日本国特許庁 (ISA/JP)                  郵便番号100-8915                  東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官 (権限のある職員) 小川 武</p>	<p>4K 9270</p>															
<p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>																	

## &lt;調査の対象について&gt;

クレーム1は、あらゆる組成の、焼き入れを施した鋼材を包含するものであるが、PCT第5条の意味において開示されているのは、明細書に記載された

質量%で、C:0.3~1.5%、Si:3.0%以下およびMn:2.0%以下を含有し、またはさらに、Al:0.25%以下、Cr:2.5%以下、Mo:1.0%以下、Cu:1.0%以下、Ni:2.5%以下、Co:1.0%以下、V:0.5%以下およびW:1.0%以下、Ti:0.1%以下、Nb:0.1%以下、Zr:0.1%以下、B:0.01%以下、Ta:0.5%以下、Hf:0.5%以下およびSb:0.015%以下、S:0.1%以下、Pb:0.1%以下、Bi:0.1%以下、Se:0.1%以下、Te:0.1%以下、Ca:0.01%以下、Mg:0.01%以下およびREM:0.1%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ下記式を満足し、残部はFeおよび不可避不純物の成分組成からなる高周波焼入れした鋼材

記

$$C^{1/2} (1+0.7Si) (1+3Mn) (1+2.1Cr) (1+3.0Mo) (1+0.4Cu) (1+0.3Ni) (1+5.0V) (1+1000B) (1+0.5W) > 2.0$$

のみであり、出願時の技術常識を考慮しても上記あらゆる組成の焼き入れを施した鋼材を実現するための一般的な解決手段は教示されているとは言えないので、PCT第6条の意味での裏付けを欠いている。

よって、調査は、明細書に裏付けられ、開示されている範囲、すなわち、明細書で具体的に記載されている

質量%で、C:0.3~1.5%、Si:3.0%以下およびMn:2.0%以下を含有し、またはさらに、Al:0.25%以下、Cr:2.5%以下、Mo:1.0%以下、Cu:1.0%以下、Ni:2.5%以下、Co:1.0%以下、V:0.5%以下およびW:1.0%以下、Ti:0.1%以下、Nb:0.1%以下、Zr:0.1%以下、B:0.01%以下、Ta:0.5%以下、Hf:0.5%以下およびSb:0.015%以下、S:0.1%以下、Pb:0.1%以下、Bi:0.1%以下、Se:0.1%以下、Te:0.1%以下、Ca:0.01%以下、Mg:0.01%以下およびREM:0.1%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ下記式を満足し、残部はFeおよび不可避不純物の成分組成からなる高周波焼入れした鋼材

記

$$C^{1/2} (1+0.7Si) (1+3Mn) (1+2.1Cr) (1+3.0Mo) (1+0.4Cu) (1+0.3Ni) (1+5.0V) (1+1000B) (1+0.5W) > 2.0$$

について行った。

クレーム7-9は、あらゆる組成、組織の機械構造用部品の製造方法を包含するものであるが、PCT第5条の意味において開示されているのは、明細書に記載された

質量%で、C:0.3~1.5%、Si:3.0%以下およびMn:2.0%以下を含有し、またはさらに、Al:0.25%以下、Cr:2.5%以下、Mo:1.0%以下、Cu:1.0%以下、Ni:2.5%以下、Co:1.0%以下、V:0.5%以下およびW:1.0%以下、Ti:0.1%以下、Nb:0.1%以下、Zr:0.1%以下、B:0.01%以下、Ta:0.5%以下、Hf:0.5%以下およびSb:0.015%以下、S:0.1%以下、Pb:0.1%以下、Bi:0.1%以下、Se:0.1%以下、Te:0.1%以下、Ca:0.01%以下、Mg:0.01%以下およびREM:0.1%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ下記式を満足し、残部はFeおよび不可避不純物の成分組成からなり、焼入れ組織は、旧オーステナイト粒の平均粒径が $12\mu\text{m}$ 以下かつ最大粒径が平均粒径の4倍以下である高周波焼入れした機械構造用部品の製造方法

記

$$C^{1/2} (1+0.7Si) (1+3Mn) (1+2.1Cr) (1+3.0Mo) (1+0.4Cu) (1+0.3Ni) (1+5.0V) (1+1000B) (1+0.5W) > 2.0$$

のみであり、出願時の技術常識を考慮しても上記あらゆる組成の焼き入れを施した鋼材を実現するための一般的な解決手段は教示されているとは言えないので、PCT第6条の意味での裏付けを欠いている。

よって、調査は、明細書に裏付けられ、開示されている範囲、すなわち、明細書で具体的に記載されている

質量%で、C:0.3~1.5%、Si:3.0%以下およびMn:2.0%以下を含有し、またはさらに、Al:0.25%以下、Cr:2.5%以下、Mo:1.0%以下、Cu:1.0%以下、Ni:2.5%以下、Co:1.0%以下、V:0.5%以下およびW:1.0%以下、Ti:0.1%以下、Nb:0.1%以下、Zr:0.1%以下、B:0.01%以下、Ta:0.5%以下、Hf:0.5%以下およびSb:0.015%以下、S:0.1%以下、Pb:0.1%以下、Bi:0.1%以下、Se:0.1%以下、Te:0.1%以下、Ca:0.01%以下、Mg:0.01%以下およびREM:0.1%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有し、かつ下記式を満足し、残部はFeおよび不可避不純物の成分組成からなり、焼入れ組織は、旧オーステナイト粒の平均粒径が $12\mu\text{m}$ 以下かつ最大粒径が平均粒径の4倍以下である高周波焼入れしたの機械構造用部品の製造方法

記

$$C^{1/2} (1 + 0.7\text{Si}) (1 + 3\text{Mn}) (1 + 2.1\text{Cr}) (1 + 3.0\text{Mo}) (1 + 0.4\text{Cu}) (1 + 0.3\text{Ni}) (1 + 5.0\text{V}) (1 + 1000\text{B}) (1 + 0.5\text{W}) > 2.0$$

について行った。