

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6354455号  
(P6354455)

(45) 発行日 平成30年7月11日(2018.7.11)

(24) 登録日 平成30年6月22日(2018.6.22)

(51) Int.Cl.

F 1

C 2 2 C 38/00 (2006.01)

C 2 2 C 38/00 3 O 1 M

C 2 2 C 38/18 (2006.01)

C 2 2 C 38/18

C 2 2 C 38/32 (2006.01)

C 2 2 C 38/32

F 1 6 C 3/08 (2006.01)

F 1 6 C 3/08

C 2 1 D 9/30 (2006.01)

C 2 1 D 9/30

Z

請求項の数 5 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-172292 (P2014-172292)

(22) 出願日 平成26年8月27日(2014.8.27)

(65) 公開番号 特開2016-44359 (P2016-44359A)

(43) 公開日 平成28年4月4日(2016.4.4)

審査請求日 平成29年4月26日(2017.4.26)

(73) 特許権者 000116655

愛知製鋼株式会社

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地

(74) 代理人 110000648

特許業務法人あいち国際特許事務所

(72) 発明者 牧野 孔明

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地 愛知製  
鋼株式会社内

(72) 発明者 上西 健之

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地 愛知製  
鋼株式会社内

審査官 守安 太郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クランクシャフト及びクランクシャフト用鋼材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のピン部及び複数のジャーナル部のうち少なくとも一部の外周面が転がり軸受用の  
転動面であり、該転動面上を転がり軸受の転動体が直接転動可能なように構成されたクラ  
ンクシャフトであって、

化学成分が、C：0.50～0.90%、Si：0.05～1.30%、Mn：0.4  
0～1.50%、S：0.025%以下、Cr：0.05～1.60%、Al：0.001  
～0.050%、O：0.0010%以下、N：0.0200%以下を含有し、残部がF  
eと不純物元素からなると共に、下記式(1)及び(2)を満足し、

式(1)：[C]-[Si]/20+[Mn]/40+[Cr]/7&lt;1

式(2)：[C]+[Si]/7+[Mn]/4+[Cr]/4&lt;1.25

(ここで、[X]は、元素Xの含有量(質量%)の値を意味する。)

上記転動面を鏡面研磨して形成した観察面において10箇所の異なる位置を観察した場  
合の、10mm<sup>2</sup>視野に含まれる最大介在物の円相当径の平均値が15μm以下であり、

上記転動面は、高周波焼入処理が施されており、マルテンサイト組織からなると共に、  
最表面から少なくとも深さ1.5mmの範囲の硬さが650HV以上であり、

上記高周波焼入処理の影響が及んでいない母材部は、フェライト・パーライト組織また  
はパーライト組織であり、初析セメンタイトを含まない金属組織からなると共に、硬さが  
320HV以下であることを特徴とするクランクシャフト。

【請求項2】

上記化学成分は、さらに、Mo : 0.01 ~ 0.50 %、B : 0.0005 ~ 0.0050 %、Ti : 0.01 ~ 0.20 %の1種又は2種以上（ただし、B及びTiは同時添加に限る）を含有していることを特徴とする請求項1に記載のクランクシャフト。

【請求項3】

上記化学成分は、さらに、Nb : 0.01 ~ 1.0 %、V : 0.01 ~ 1.0 %の1種又は2種を含有していることを特徴とする請求項1又は2に記載のクランクシャフト。

【請求項4】

上記化学成分は、さらに、Ca : 0.0005 ~ 0.0050 %を含有していることを特徴とする請求項1 ~ 3のいずれか1項に記載のクランクシャフト。

【請求項5】

請求項1 ~ 4のいずれか1項に記載のクランクシャフトを作製するための熱間鍛造前の鋼材であって、

上記化学成分を有し、

軸方向に平行で表面から深さ方向に $d/4$ の位置（ $d$ は鋼材の直径又は厚み）の断面において10箇所の異なる位置を観察した場合の、 $10\text{ mm}^2$ 視野に含まれる最大介在物の円相当径の平均値が $15\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であることを特徴とするクランクシャフト用鋼材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ピン部またはジャーナル部の軸受構造を転がり軸受構造とすることが可能なクランクシャフト、及びこれを作製するためのクランクシャフト用鋼材に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の自動車用エンジンのクランクシャフトのほぼ全てには、ジャーナル部及びピン部の軸受構造として、すべり軸受構造が採用されている。すなわち、従来のクランクシャフトのジャーナル部及びピン部は、その外周面がすべり軸受部の摺動面としての役割を果たし、これに対向して配置されるメタルと呼ばれるすべり軸受材と共にすべり軸受構造を構成する。

【0003】

この従来のクランクシャフトは、鍛造あるいは鋳造により成形された粗形材に機械加工を施してジャーナル部及びピン部を形成し、さらに必要に応じて、ジャーナル部及びピン部に軟窒化処理や高周波焼入焼入を施すことにより作製される。そして、ジャーナル部及びピン部の表面は、すべり軸受の摺動面として必要な強度を確保するように考慮されている。

【0004】

一方、近年、自動車の低燃費化要求がますます厳しくなっている。自動車の低燃費化には、クランクシャフトの回転時におけるジャーナル部及びピン部の軸受部分の摩擦抵抗が小さいほど有利である。そのため、クランクシャフトのジャーナル部及びピン部の軸受構造の一部を、すべり軸受構造よりも摩擦抵抗が小さい転がり軸受構造へ切り替えることの検討が進められつつある。

【0005】

例えば、特許文献1には、クランクシャフトのジャーナル部が、転がり軸受の内輪に要求される耐摩耗性等を持ち合わせていないことを前提とし、ジャーナル部の外側に二つ割り内輪を強固に固定する方法が示されている。

【0006】

また、特許文献2には、上記の二つ割り内輪を配設する場合の継ぎ目部分での段差により問題を解消するため、ジャーナル部またはピン部の外表面にセラミック層を形成することが提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 0 - 1 1 7 0 0 8 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 2 - 2 1 9 8 8 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

特許文献 1 及び 2 においても言及されているように、従来のクランクシャフトのジャーナル部及びピン部の外周面は、転がり軸受の内輪の役割を果たせるほどの材料的性能を備えていない。そして、これを補うために、特許文献 1 のように二つ割り内輪を採用してピン部あるいはジャーナル部の外周面に配設した場合には、継ぎ目部分のわずかな段差の存在が、騒音・振動の発生、および損傷の原因となるという問題がある。さらには、ジャーナル部及びピン部の外表面に別部品としての内輪を設ける必要があるため、従来のすべり軸受構造のクランクシャフトに採用する場合と比較するとコストが大きく上昇するという問題がある。

10

【 0 0 0 9 】

また、特許文献 2 のように、ジャーナル部またはピン部の外表面にセラミック層を形成する手法は、上記の二つ割り内輪を用いる場合の問題の一部を解決しうるが、コスト面での問題は解消し得ない。

【 0 0 1 0 】

コスト面の問題を解消するためには、クランクシャフトのピン部及びジャーナル部の外周面を、転がり軸受の内輪の役割を果たしうる転動面としてそのまま利用して、直接ころ等の転動体を配置できるようなクランクシャフトを開発する必要がある。しかしながら、従来のすべり軸受構造用のクランクシャフト用鋼材は、球やころ等の転動体が強い圧力が負荷された状態で表面を転がる状態での使用は考慮されておらず、その表面を転動面として長期間利用できるような優れた転動疲労特性を得ることを考慮して準備されていないのが通常である。さらに、新たな鋼材の開発においては、クランクシャフトの製造に必要な加工性（被削性）を良好に保つことも考慮する必要がある。

20

【 0 0 1 1 】

本願においては、かかる背景に鑑みて、加工性に優れ、ピン部及びジャーナル部の外周面を転がり軸受の転動面として利用することが可能なクランクシャフト、及びこれを作製するためのクランクシャフト用鋼材を提供しようとするものである。

30

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本願における一態様は、複数のピン部及び複数のジャーナル部のうち少なくとも一部の外周面が転がり軸受用の転動面であり、該転動面上を転がり軸受の転動体が直接転動可能なように構成されたクランクシャフトであって、

化学成分が、C：0.50～0.90%、Si：0.05～1.30%、Mn：0.40～1.50%、S：0.025%以下、Cr：0.05～1.60%、Al：0.001～0.050%、O：0.0010%以下、N：0.0200%以下を含有し、残部がFeと不純物元素からなると共に、下記式（1）及び（2）を満足し、

40

式（1）： $[C] - [Si] / 20 + [Mn] / 40 + [Cr] / 7 < 1$

式（2）： $[C] + [Si] / 7 + [Mn] / 4 + [Cr] / 4 < 1.25$

（ここで、 $[X]$  は、元素 X の含有量（質量%）の値を意味する。）

上記転動面を鏡面研磨して形成した観察面において 10 箇所の異なる位置を観察した場合の、 $10\text{ mm}^2$  視野に含まれる最大介在物の円相当径の平均値が  $15\text{ }\mu\text{m}$  以下であり、

上記転動面は、高周波焼入処理が施されており、マルテンサイト組織からなると共に、最表面から少なくとも深さ  $1.5\text{ mm}$  の範囲の硬さが  $650\text{ HV}$  以上であり、

上記高周波焼入処理の影響が及んでいない母材部は、フェライト・パーライト組織またはパーライト組織であり、初析セメンタイトを含まない金属組織からなると共に、硬さが  $320\text{ HV}$  以下であることを特徴とするクランクシャフトにある。

50

## 【発明の効果】

## 【0013】

本願のクランクシャフトは、上記特定の化学成分を有すると共に、介在物状態が上記のごとく制御され、また、ピン部またはジャーナル部の外周面に設けた上記転動面の金属組織と硬さが上記のごとく最適化され、さらに、上記母材部の金属組織と硬さも上記のごとく最適化されている。これにより、上記クランクシャフトは、優れた加工性を維持しつつ、ピン部またはジャーナル部の外周面を内輪の役割を果たす転動面として利用する転がり軸受構造として、従来のすべり軸受構造から転換することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0014】

10

【図1】実施例1における、角棒からの試験片の採取位置を示す説明図。

【図2】実施例2における、クランクシャフトの構成を示す説明図。

【図3】実施例2における、ピン部の転がり軸受構造の一例を示す説明図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0015】

上記クランクシャフトの必須化学成分の限定理由を説明する。

C : 0.50 ~ 0.90 %、

C (炭素) は、転動疲労寿命特性を向上させるために基本となる必須の元素である。C の含有によって、焼入及び焼戻しを行なった後の硬度を向上させることができる。C の含有量が上記上限値よりも多い場合には、初析セメントライトが生成し被削性が悪化するおそれがある。一方、C の含有量が上記下限値よりも少ない場合には、C 含有による効果が十分に得られないおそれがある。

20

## 【0016】

Si : 0.05 ~ 1.30 %、

Si (ケイ素) は、製鋼時の脱酸材として不可欠な元素である。また、Si の含有により、焼入性を向上させることができる。Si の含有量が上記上限値よりも多い場合には、硬さが高くなり過ぎて被削性が悪化するおそれがある。一方、Si の含有量が上記下限値よりも少ない場合には、Si 含有による効果が十分に得られないおそれがある。

## 【0017】

Mn : 0.40 ~ 1.50 %、

30

Mn (マンガン) は、焼入性向上に有効であると共に、S と結合し MnS を生成し被削性の向上を図るために有効な元素である。Mn 含有量が上記上限値よりも多い場合には、初析セメントライトやベイナイトが生成して被削性が低下するおそれがある。一方、Mn 含有量が上記下限値よりも少ない場合には、Mn 含有による効果が十分に得られないおそれがある。

## 【0018】

S : 0.025 % 以下、

S (硫黄) は、Mn と結合し MnS を生成し、被削性を向上させる効果を有する。S 含有量が上記上限値よりも高い場合には、MnS が粗大化しやすく転動疲労寿命特性が低下するおそれがある。一方、S 含有量が上記下限値よりも少ない場合には、S 含有による効果が十分に得られないおそれがある。

40

## 【0019】

Cr : 0.05 ~ 1.60 %、

Cr (クロム) は、焼入性を高める効果を発揮する。Cr 含有量が上記上限値よりも多い場合には、初析セメントライトやベイナイトが生成して被削性が低下するおそれがある。一方、Cr 含有量が上記下限値よりも少ない場合には、Cr 含有による効果が十分に得られないおそれがある。

## 【0020】

Al : 0.001 ~ 0.050 %、

Al (アルミニウム) は、脱酸材として必要な元素である。Al 含有量が上記上限値

50

よりも多い場合には、粗大な酸化物系介在物が生成しやすく、転動疲労寿命特性が低下するおそれがある。一方、A 1 含有量が上記下限値よりも少ない場合には、A 1 による脱酸効果が十分に得られないおそれがある。

【0021】

N : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

N (窒素) は、不純物として不可避に鋼中に含有される元素である。本願においては、特に N の含有によって何らかの効果を狙うことはしていないが、上記上限値よりも多量に含有すると溶解後の casting 時に割れが発生しやすくなるおそれが生じる。

【0022】

O : 0 . 0 0 1 0 % 以下、

O (酸素) は、転動疲労寿命特性を低下させる酸化物系介在物を生成させる元素であり、表面を内輪の役割を果たしうる転動面として利用可能とするためには、極力低減する必要がある。そのため、O 含有量を上記の通り上限値を厳しく制限する。好ましくは、O 含有量は 0 . 0 0 0 8 % 以下がよい。

【0023】

次に、上記クランクシャフトの化学成分は、各元素の含有量が上記範囲にあるだけでなく、式 (1) 及び式 (2) を満足する必要がある。

$$\text{式 (1)} : [\text{C}] - [\text{Si}] / 20 + [\text{Mn}] / 40 + [\text{Cr}] / 7 < 1$$

$$\text{式 (2)} : [\text{C}] + [\text{Si}] / 7 + [\text{Mn}] / 4 + [\text{Cr}] / 4 < 1.25$$

【0024】

式 (1) は、初析セメンタイトの生成を完全に防止するための条件であり、初析セメンタイトの生成をなくすことにより、被削性低下を回避することができる。なお、式 (1) 中の [X] は、元素 X の含有量 (質量%) の値を意味する。式 (2) においても同様である。

【0025】

本願におけるクランクシャフトの重要特性である転動疲労寿命特性を高めるためには、硬さを高めることが必要であるが、転動疲労寿命特性を高めようとすると、通常は焼入等の熱処理を行っていない位置の硬さも高くなる傾向にある。この単純な高硬度化は被削性を低下させることとなる。本願では、多数の実験で確認した結果、高周波焼入部位において、優れた転動疲労寿命特性を維持しつつ、それ以外の部位の硬さを大きく上昇させない条件を見出した。その条件が式 (2) である。式 (2) を満足することによって、高周波焼入の影響が及んでいない位置における硬さを適度に抑えることができ、必要とする被削性を確保することができる。

【0026】

次に、上記クランクシャフトにおける介在物は、次のように制御されている。すなわち、上記転動面を鏡面研磨して形成した観察面において 10 箇所の異なる位置 (1 つの位置について 10 mm<sup>2</sup>) を観察した場合の、10 mm<sup>2</sup> 視野に含まれる最大介在物の円相当径の平均値が 15 μm 以下である。

【0027】

最大介在物は、上記観察面をレーザー顕微鏡により観察することにより確認することができる。最大介在物の円相当径は、レーザー顕微鏡により写真を撮影後、その写真を画像解析することによって面積を測定して算出する。円相当径は、 $2 \times (\text{介在物面積} / \pi)^{0.5}$  の式により求めることができる。

【0028】

上記の最大介在物の円相当径の平均値が 15 μm 以下であることによって、転動面の転動疲労寿命特性を良好に保つことが可能である。一方、上記平均値が 15 μm を超える場合には、転動面の転動疲労寿命特性が十分に保てないおそれがある。

【0029】

介在物の存在状態を上記のように制御するには、化学成分を上記特定の範囲に制限した上で、製造条件において次の工夫を行う必要がある。すなわち、転動時に破損の原因とな

10

20

30

40

50

る介在物の大部分が酸化物系介在物であることから、上記の介在物の存在状態を実現するためには、溶解後の脱ガス処理時にRH（真空脱ガス装置）等を用いて通常の鋼に比べて長時間の脱ガス処理を行い、鋼中のO含有量を10ppm以下（好ましくは8ppm以下）とする。これにより、酸化物系介在物は大きく減少し、最大介在物の円相当径の平均値が15μmを超える介在物の生成を皆無とすることができる。

#### 【0030】

また、上記転動面は、高周波焼入処理が施されており、マルテンサイト組織からなると共に、最表面から少なくとも深さ1.5mmの範囲の硬さが650HV以上である。このように転動面の金属組織と硬さを制御することによって、優れた転動疲労寿命特性を得ることができる。一方、金属組織がマルテンサイト組織でない場合には、上記の硬さ特性を得ることができず、また、上記硬さ特性が得られなければ、転動疲労寿命特性が低くなってしまう。

10

#### 【0031】

また、上記高周波焼入処理の影響が及んでいない母材部は、フェライト・パーライト組織またはパーライト組織であり、初析セメンタイトを含まない金属組織からなると共に、硬さが320HV以下であり、好ましくは290HV以下である。なお、硬さは熱間鍛造後の冷却速度によって大きく影響されるため、硬さを上記範囲内とするためには、800～500の温度範囲を100ノ分以下の冷却速度条件で冷却するとよい。このように母材部の金属組織と硬さを制御することによって、優れた加工性（被削性）を得ることができる。一方、金属組織が初析セメンタイトを含む場合または硬さが上記硬さよりも高い場合には、被削性を十分に確保することができない。

20

#### 【0032】

次に、上記化学成分は、オプションとして、さらに、Mo：0.01～0.50%、B：0.0005～0.0050%、Ti：0.01～0.20%の1種又は2種以上（ただし、B及びTiは同時添加に限る）を含有してもよい。

#### 【0033】

Mo：0.01～0.50%、

Mo（モリブデン）は、焼入性を高める元素であり、上記下限値以上の添加によりこの効果を得ることができる。一方、Mo含有量が上記上限値を超えるとMo含有による上記効果が飽和し、コストが上昇するだけとなる。

30

#### 【0034】

B：0.0005～0.0050%、

B（ホウ素）は、鋼中に固溶することで焼入性を高めることができる元素であり、上記下限値以上の添加によりこの効果を得ることができる。一方、B添加量が上記上限値を超える場合には、靱性低下の可能性があるため、好ましくない。

#### 【0035】

Ti：0.01～0.20%、

Ti（チタン）は、不純物として不可避に含有されるNと結合してTiNを形成し、BNが生成することによりBの焼入性向上効果が消失するのを防止することができる元素であり、上記下限値以上の添加によりこの効果を得ることができる。一方、Ti含有量が上記上限値を超えるとTi含有による上記効果が飽和し、コストが上昇するだけとなる。

40

#### 【0036】

また、上記化学成分は、オプションとして、さらに、Nb：0.01～1.00%、V：0.01～1.00%の1種又は2種を含有してもよい。

#### 【0037】

Nb：0.01～1.00%、V：0.01～1.00%、

Nb（ニオブ）及びV（バナジウム）は、いずれも、微細な炭化物を生成し、焼入時のオーステナイト粒を微細化し、靱性を向上させる効果を発揮する元素であり、上記下限値以上の添加によりこの効果を得ることができる。一方、Nb、Vともに、含有量が上記上限値を超えると上記効果が飽和し、コストが上昇するだけとなる。

50

## 【0038】

また、上記化学成分は、オプションとして、さらに、Ca：0.0005～0.0050%を含有してもよい。

## 【0039】

Ca：0.0005～0.0050%、

Ca（カルシウム）は、被削性向上に有効な元素であり、上記下限値以上の添加によりこの効果を得ることができる。一方、Ca含有量が上記上限値を超えるとCa含有による上記効果が飽和し、コストが上昇するだけとなる。

## 【0040】

次に、上記クランクシャフトを作製するための熱間鍛造前の鋼材としては、上記化学成分を有し、軸方向に平行で表面から深さ方向に $d/4$ の位置（ $d$ は鋼材の直径又は厚み）の断面において10箇所の異なる位置を観察した場合の、 $10\text{ mm}^2$ 視野に含まれる最大介在物の円相当径の平均値が $15\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であるクランクシャフト用鋼材を用いることができる。そして、前述の通り、このクランクシャフト用鋼材を熱間鍛造し、冷却した後に前述のクランクシャフトの組織と硬さとなるよう制御することができる。

10

## 【0041】

なお、介在物の観察位置を、表面から深さ $d/4$ の位置とするのは、クランクシャフト用鋼材を熱間鍛造及び切削加工等して最終のクランクシャフトに加工した場合に、転動面となる位置とほぼ同等の組織と考えることができるためである。すなわち、最終的に転動面となる位置は、切削加工を経るためにクランクシャフト用鋼材の表面ではなく、かつ、クランクシャフト用鋼材の最も中心に近い部分ではない。そのため、わかりやすくするため、 $d/4$ の位置を観察位置としたのである。なお、このような背景があるため、観察位置は、表面から $d/6\sim d/3$ 程度の範囲内において変更することも可能である。

20

## 【0042】

熱間鍛造によって作製するクランクシャフトにおける熱間鍛造前の鋼材は、通常、棒状である。この鋼材の介在物観察は、その軸方向に平行な任意の断面において観察する。この状態で、最大介在物の状態が上記条件を満たせば、最終的に得られるクランクシャフトにおける最大介在物の状態も、上述した条件を容易に満たすことができる。

## 【実施例】

## 【0043】

## （実施例1）

上記クランクシャフト及びクランクシャフト用鋼材に係る実施例につき、比較例と共に説明する。本例では、表1に示すごとく、成分組成が異なる複数種類の試料を準備して、最終製品であるクランクシャフトを作製する場合を想定した加工を加えて試験片にて各種評価を行った。なお、クランクシャフトの製造方法は、本実施例に記載の方法に限定されるものではなく、公知の種々の方法に変更可能である。

30

## 【0044】

【表 1】

試料	化学成分(mass%)															式(1)	式(2)
	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	B	Nb	Ti	V	Ca	N	O			
実施例	No.1	0.79	0.48	0.88	0.005	0.06	-	0.006	-	-	-	-	0.0144	0.0007	0.80	1.09	
	No.2	0.59	0.45	0.74	0.015	0.45	-	0.014	-	-	-	-	0.0126	0.0007	0.65	0.95	
	No.3	0.81	0.06	0.42	0.021	0.77	-	0.007	-	-	-	-	0.0168	0.0004	0.93	1.11	
	No.4	0.64	0.46	1.14	0.017	0.18	-	0.016	-	-	-	-	0.0115	0.0009	0.67	1.04	
	No.5	0.78	0.06	1.43	0.009	0.21	-	0.017	-	-	-	-	0.0137	0.0005	0.84	1.20	
	No.6	0.54	0.43	0.63	0.020	1.13	-	0.002	-	-	-	-	0.0058	0.0004	0.70	1.04	
	No.7	0.55	0.36	0.59	0.016	1.44	-	0.007	-	-	-	-	0.0141	0.0008	0.75	1.11	
	No.8	0.81	0.88	0.62	0.015	0.18	-	0.020	-	-	-	-	0.0165	0.0005	0.81	1.14	
	No.9	0.70	1.24	0.78	0.011	0.40	-	0.028	-	-	-	-	0.0122	0.0004	0.71	1.17	
	No.10	0.64	0.48	0.80	0.006	0.08	-	0.040	0.0020	-	0.03	-	0.0130	0.0010	0.65	0.93	
	No.11	0.56	0.09	0.69	0.014	0.59	-	0.024	-	-	0.14	-	0.0095	0.0006	0.66	0.89	
	No.12	0.52	0.33	0.75	0.017	0.66	-	0.010	-	-	-	0.18	-	0.0096	0.0005	0.62	0.92
	No.13	0.69	0.21	0.59	0.018	0.74	-	0.024	-	0.11	-	-	-	0.0141	0.0006	0.80	1.05
	No.14	0.59	0.45	0.81	0.007	0.71	0.34	0.036	-	-	-	-	0.0030	0.0106	0.0010	0.69	1.03
	No.15	0.68	0.42	0.72	0.010	0.59	-	0.021	-	-	-	-	-	0.0106	0.0008	0.76	1.07
	No.1-A	0.79	0.48	0.88	0.005	0.06	-	0.006	-	-	-	-	-	0.0144	0.0010	0.80	1.09
	No.1-B	0.79	0.48	0.88	0.005	0.06	-	0.006	-	-	-	-	-	0.0144	0.0010	0.80	1.09
	No.16	0.98	0.12	0.58	0.006	0.13	-	0.023	-	-	-	-	-	0.0036	0.0005	1.01	1.17
	No.17	0.34	0.84	0.69	0.013	0.80	-	0.022	-	-	-	-	-	0.0063	0.0004	0.43	0.83
	No.18	0.71	1.38	0.81	0.007	0.67	-	0.008	-	-	-	-	-	0.0097	0.0003	0.76	1.28
	No.19	0.61	0.78	1.81	0.003	0.37	-	0.007	-	-	-	-	-	0.0103	0.0006	0.67	1.27
	No.20	0.82	0.30	0.68	0.055	0.28	-	0.024	-	-	-	-	-	0.0077	0.0009	0.86	1.10
	No.21	0.68	0.43	0.76	0.005	1.88	-	0.013	-	-	-	-	-	0.0088	0.0007	0.95	1.40
	No.22	0.88	0.08	0.41	0.004	0.90	-	0.005	-	-	-	-	-	0.0117	0.0005	1.01	1.22
No.23	0.87	0.89	0.86	0.008	0.67	-	0.003	-	-	-	-	-	0.0117	0.0004	0.94	1.38	
No.24	0.61	0.43	0.80	0.005	0.36	-	0.014	-	-	-	-	-	0.0054	0.0016	0.66	0.96	
No.25	0.55	0.20	0.80	0.024	0.15	-	0.021	-	-	-	-	-	0.0079	0.0015	0.58	0.82	
No.26	1.01	0.20	0.42	0.003	1.45	-	0.010	-	-	-	-	-	0.0050	0.0006	1.22	1.51	
従来例																	

(表 1)

実施例

比較例

【 0 0 4 5 】

&lt; 被削性試験 &gt;

被削性試験に用いる試験片は次のように作製した。まず、各試料の原料の溶解、精錬及び鑄込みをVIMを用いて行い、鍛造用母材を得た。この母材に、実際のクランクシャフトが1200 程度で熱間鍛造されるのを想定し、1200 に加熱して熱間鍛造を施し

10

20

30

40

50



た後空冷し（800～500 の間の冷却速度が約30 /分）、直径65mm の丸棒を得た。この丸棒に切削加工を施して、直径60mm ×長さ390mmの試験片を得た。

#### 【0046】

被削性は、旋盤により切削する場合の切削工具の摩耗量によって評価した。上記旋盤としては、森精機製SL-25旋盤を用い、上記切削工具としては、タンガロイ製SNMG120408-サーメットNS530を用いた。試験条件は、切削速度200m/sec、送り速度0.3mm/sec、切り込み：1.5mm、切削時間：8分の条件とした。試験後に切削工具の摩耗量を測定し、その値が0.3mm以下の場合を合格、0.3mmを超える場合を不合格と判定した。

10

#### 【0047】

##### < 転動疲労寿命特性試験 >

転動疲労寿命特性試験に用いる試験片は次のように作製した。まず、各試料の原料の溶解、精錬及び鋳込みをVIMを用いて行って、鍛造用母材を得た。この母材に、1200加熱による熱間鍛造を施した後空冷し（冷却速度は被削性試験片作製時と同じ）、一辺の長さLが65mmの断面正方形の角棒1を得た（図1）。この角棒1に切削加工を施して、直径45mm ×厚さ12mmの円盤状試験片2を得た。実際のクランクシャフトが鍛造される際、母材の表層や中心など様々な位置が肉流れによってピンやジャーナル部に成形されることから、採取位置は母材の平均的な材質を有する下記の位置とした。すなわち、円盤状試験片2の採取位置は、図1に示すごとく、上記角棒1の一辺の長さLが65mmの正方形断面において、表面からL/4の位置が円形の試験面となるように、幅方向中央部（L/2）が中心となる円盤状に切り出して採取した。

20

#### 【0048】

この試験片2の表面に高周波焼入処理を行った後、焼戻し処理を行い、さらに、表面を鏡面研磨して転動面（試験面）とした。高周波焼入条件は、室温から1000℃まで数秒で加熱昇温し、その直後に水焼入する条件で行った。この際、試料No. 1-A及び1-B以外は、実質的な焼入硬化層の深さが2.5mm程度となるように高周波加熱条件を調整した。また、焼戻し処理は、試験片2を150℃に60分間保持する処理とした。

#### 【0049】

転動疲労寿命特性試験は、森式スラスト型転動疲労試験機を用い、最大接触面圧：5.3GPa、回転数：1500rpm、潤滑油：マシン油#10、ボールサイズ3/8インチ、ボール個数3個、温度：室温という条件で行った。転動疲労寿命の評価は、ワイブル分析により折損しない確率が90%と定義されるB10寿命が $15 \times 10^6$ 以上の場合を合格、 $15 \times 10^6$ 未満の場合を不合格と判定した。

30

#### 【0050】

##### < 介在物観察 >

介在物観察用の試料は、上述した転動疲労寿命特性試験の場合と同様に作製した円盤状試験片2を用いた。この場合の試験片の表面には焼入処理は行わず、表面の鏡面研磨のみを行って観察面とした。

#### 【0051】

介在物の観察は、レーザー顕微鏡を用いて、 $10\text{mm}^2$ の観察範囲内を観察し、最大介在物を1000倍の倍率で撮影し、得られた画像を解析して面積を求めることによって、その最大介在物の円相当径を求めた。同様の観察を異なる10箇所で行って、それぞれ最大介在物の円相当径を求めた。そして、10個の最大介在物の円相当径の平均値を算出した。最大介在物の円相当径の平均値が $15\mu\text{m}$ 以下の場合を合格、 $15\mu\text{m}$ を超える場合を不合格と判定した。

40

#### 【0052】

##### < 硬さ測定 >

硬さ測定用の試料は、上述した転動疲労寿命特性試験の場合と同様に、円盤状試験片2の表面に高周波焼入処理を行った後、焼戻し処理したものをを用いた。硬度測定面は、円盤

50

状試験片2の厚み方向に沿った断面とした。そして、最表面から深さ100μmの位置において測定した硬さを高周波焼入層の表面硬さとし、さらに、深さ方向の硬さ変化を測定し、650HV以上となっている硬さの範囲、つまり、650HV以上の硬化深さを確認した。また、最表面から深さ6mmの位置の部分において測定した硬さを、高周波焼入処理の影響が及んでいない母材部の硬さとした。さらに、母材部の硬さ測定時に、同時に組織の確認を行い、初析セメンタイトの有無等の確認を行った。

【0053】

上記各試験の結果を表2に示す。

【0054】

【表2】

(表2)

試料		最大介在物 円相当径 ( $\mu$ m)	母材部 硬さ (HV)	組織	高周波焼 入層表面 硬さ (HV)	650HV以 上硬化層 深さ(mm)	工具摩耗 (mm)	転動疲労寿命 L10( $\times 10^6$ )
実施例	No.1	8.8	284	P	716	2.5	0.14	25.0
	No.2	10.1	237	F+P	732	2.5	0.11	20.7
	No.3	6.6	288	P	694	2.5	0.23	21.2
	No.4	11.9	281	P	731	2.5	0.24	22.8
	No.5	7.9	289	P	692	2.5	0.24	23.6
	No.6	9.3	250	P	713	2.5	0.15	16.9
	No.7	8.1	247	P	724	2.5	0.08	17.2
	No.8	6.7	279	P	755	2.5	0.26	25.4
	No.9	10.5	277	P	755	2.5	0.27	19.4
	No.10	11.0	239	P	715	2.5	0.19	21.9
	No.11	9.9	228	F+P	708	2.5	0.11	22.2
	No.12	7.4	273	F+P	698	2.5	0.10	21.1
	No.13	9.5	284	P	715	2.5	0.19	21.5
	No.14	11.6	279	F+P	707	2.5	0.24	23.1
	No.15	10.5	289	P	714	2.5	0.26	23.0
No.1-A	8.8	284	P	716	1.5	0.14	18.3	
比較例	No.1-B	8.8	287	P	719	0.7	0.14	6.4
	No.16	7.9	290	P+ $\theta$	748	2.5	0.33	28.2
	No.17	10.3	239	F+P	598	0.0	0.13	13.8
	No.18	5.6	324	P	758	2.5	0.32	23.9
	No.19	8.9	327	P	741	2.5	0.33	22.8
	No.20	12.5	299	P	720	2.5	0.15	11.2
	No.21	11.2	323	P	733	2.5	0.32	23.8
	No.22	8.4	280	P+ $\theta$	722	2.5	0.34	23.6
	No.23	7.3	350	P	763	2.5	0.32	23.1
	No.24	16.6	257	F+P	711	2.5	0.15	7.4
従来例	No.25	17.1	248	F+P	692	2.5	0.25	9.6
	No.26	5.2	344	P+ $\theta$	743	2.5	試験中断	29.3

P: パーライト、F: フェライト、θ: 初析セメンタイト

【0055】

表2から知られるように、試料No.1～No.15については、化学成分組成が適正な範囲にあり、かつ、上記式(1)及び式(2)を具備することにより、全ての評価項目において合格となり、転動疲労寿命特性に優れ、かつ、被削性にも優れることがわかった。

【0056】

10

20

30

40

50

試料No. 1 - Aは、前述の試料No. 1と同じ化学成分の鋼材を用い、高周波焼入条件のみを変化させて、650HV以上の硬化深さが1.5mmとなるように調整したものである。その結果、試料No. 1の場合と同様に、全ての評価項目において合格となり、転動疲労寿命特性に優れ、かつ、被削性にも優れていた。このことから、650HV以上の硬化層が少なくとも1.5mm以上の深さで存在することが転動疲労寿命特性に有効であることがわかる。

【0057】

試料No. 1 - Bは、前述の試料No. 1と同じ化学成分の鋼材を用い、試料No. 1 - Aの場合と同様に、高周波焼入条件のみを変化させて、650HV以上の硬化深さが0.7mmとなるように調整したものである。その結果、化学成分が適正な範囲であっても、硬化深さが浅い場合には、転動疲労寿命特性が大きく劣ることが確認された。

10

【0058】

試料No. 16は、C含有量が高すぎるにより、式(1)を満足せず、金属組織に初析セメンタイトが生じ、被削性が劣る結果となった。

試料No. 17は、C含有量が低すぎるにより、HV650以上の高周波焼入層が得られず、転動疲労寿命特性が劣る結果となった。

【0059】

試料No. 18は、Si含有量が高すぎるにより、式(2)を満足せず、母材部の硬度が高くなりすぎて被削性が劣る結果となった。

試料No. 19は、Mn含有量が高すぎるにより、式(2)を満足せず、母材部の硬度が高くなりすぎて被削性が劣る結果となった。

20

【0060】

試料No. 20は、S含有量が高すぎてMnSが粗大化し、転動疲労寿命特性が劣る結果となった。

試料No. 21は、Cr含有量が高すぎるにより、式(2)を満足せず、母材部の硬度が高くなりすぎて被削性が劣る結果となった。

【0061】

試料No. 22は、各化学成分の含有量は適切な範囲内ではあるが、式(1)を満足しないことにより、初析セメンタイトが生じており、被削性が劣る結果となった。

試料No. 23は、各化学成分の含有量は適切な範囲内ではあるが、式(2)を満足しないことにより、母材部の硬度が高くなりすぎて被削性が劣る結果となった。

30

【0062】

試料No. 24は、O含有量が高すぎるにより、鋼中の酸化物系介在物が増加し、その結果、最大介在物の円相当径が大きくなりすぎ、転動疲労寿命が劣る結果となった。

従来例の試料No. 25は、従来の炭素鋼を用いて評価したものである。通常製造されている炭素鋼は、転動疲労寿命特性を考慮した成分設計は何らなされていない。そのため、製鋼時の脱ガス処理は通常レベルであり、O含有量が高く、その結果、最大介在物の円相当径が大きくなりすぎ、転動疲労寿命が劣る結果となった。

【0063】

従来例の試料No. 26は、従来から転動疲労寿命特性が強く要求されている軸受用として用いられているJISのSUJ2を用いて評価したものである。SUJ2は、軸受として必要な性能を有しているため、転動疲労寿命特性は優れているが、クランクシャフト用鋼材として使用可能とするには、同時に優れた被削性を確保しなければならない。それに対し、SUJ2は、C含有量が多く、初析セメンタイトが3~4面積%存在するなど、被削性向上に対する配慮がなされていない。SUJ2に対しては、通常、球状化焼鈍処理による加工性向上処理が行われるが、本実施例では鍛造後空冷して実験しているため、加工性は大きく劣り、被削性試験は試験開始後すぐに工具劣化が確認できたため、試験を中断した。なお、試料No. 26は、式(1)及び式(2)もを満足していない。

40

【0064】

(実施例2)

50

本例では、本願におけるクランクシャフトの一例を示す。本例のクランクシャフト 5 は、図 2 に示すごとく、複数のピン部 5 1 及び複数のジャーナル部 5 2 を有するものである。そして、本例のクランクシャフト 5 は、全てのピン部 5 1 及びジャーナル部 5 2 が、その外周面が転がり軸受用の転動面 5 1 0、5 2 0 となっており、転動面 5 1 0、5 2 0 上を転がり軸受の転動体 6 1 (図 3 参照) が直接転動可能なように構成されている。

【0065】

クランクシャフト 5 のピン部 5 1 に適用可能な軸受構造としては、例えば、図 3 に示すごとく、転動面 5 1 0 に直接接する棒状のころからなる転動体 6 1 と、これらの周方向及び軸方向の等間隔の配列状態を保持するための保持器 (図示略) と、その外周側に配置される外輪部 6 2 と、さらにその外周側に配置されたコンロッド 7 からなる構造を採用することができる。なお、棒状の転動体 6 1 は、球状の転動体に変更することも可能である。また、ジャーナル部 5 2 に適用可能な軸受構造としては、ジャーナル部 5 2 を支持するための支持部 (図示略) をコンロッド 7 に代えて配置する構造を取ることができる。

10

【0066】

そして、実施例 1 の試験片により効果を確認した鋼を用い、図 2、図 3 に示す転がり軸受構造のクランクシャフトを製造し、その効果を確認した結果、優れた寿命を確保できることが確認できた。

【0067】

このような、転がり軸受構造を実現するには、転動体 6 1 を直接支持する転動面 5 1 0 の転動疲労寿命特性に優れること、クランクシャフト 5 を製造するために必要な優れた被削性を確保できることの 2 つの優れた特性を同時に具備することが少なくとも必要である。特に、本願で最も重要となる転動疲労寿命特性について優れた特性を確保するには、C 含有量を比較的高めとし、高硬度を得る必要があり、このような鋼を準備しようとする前記した S U J 2 の例のように、被削性が低下してしまうのが普通である。本願は、化学成分の適正化により、上記 2 つの特性を同時に改善しているので、上記各条件を満足する実施例 1 に示した試料 N o . 1 ~ 1 5 に代表されるクランクシャフト及びクランクシャフト用鋼材によれば、このような要求を容易に満たすことができる。

20

【符号の説明】

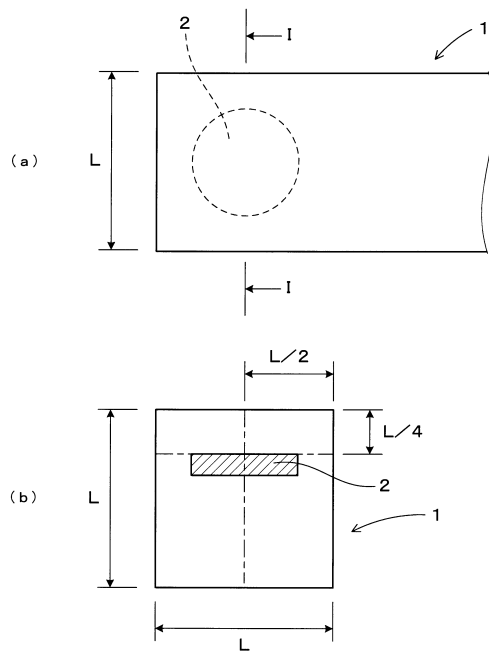
【0068】

- 1 角棒
- 2 転動疲労寿命特性用試験片
- 5 クランクシャフト
- 5 1 ピン部
- 5 1 0 転動面
- 5 2 ジャーナル部
- 5 2 0 転動面
- 6 1 転動体
- 6 2 外輪部
- 7 コンロッド

30

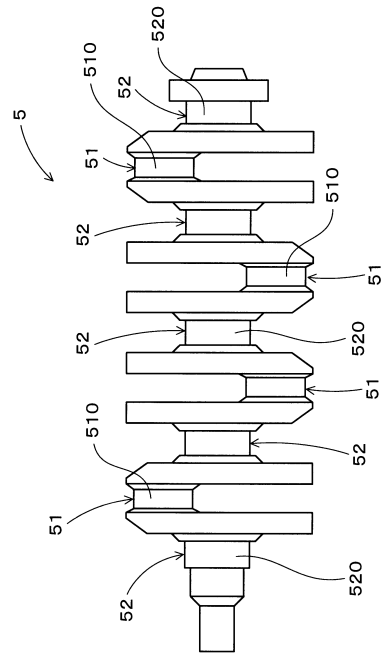
【図 1】

(図 1)



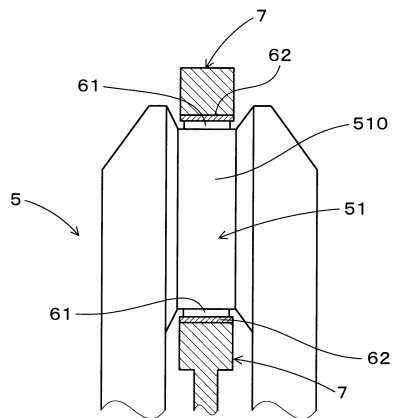
【図 2】

(図 2)



【図 3】

(図 3)



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
C 2 1 D 1/18 (2006.01) C 2 1 D 1/18 K

(56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 1 9 4 5 0 2 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 0 2 8 5 9 8 ( J P , A )  
特開 2 0 0 5 - 1 2 6 8 1 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 9 - 2 4 2 9 2 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0  
C 2 1 D 9 / 3 0  
F 1 6 C 3 / 0 4