

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5397928号
(P5397928)

(45) 発行日 平成26年1月22日(2014.1.22)

(24) 登録日 平成25年11月1日(2013.11.1)

(51) Int. Cl.	F 1
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 1 Z
F 1 6 C 33/32 (2006.01)	F 1 6 C 33/32
F 1 6 C 33/34 (2006.01)	F 1 6 C 33/34
F 1 6 C 33/62 (2006.01)	F 1 6 C 33/62
C 2 2 C 38/46 (2006.01)	C 2 2 C 38/46

請求項の数 4 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2007-306168 (P2007-306168)	(73) 特許権者	000102692 NTN株式会社
(22) 出願日	平成19年11月27日(2007.11.27)		大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(65) 公開番号	特開2009-127114 (P2009-127114A)	(74) 代理人	100064746 弁理士 深見 久郎
(43) 公開日	平成21年6月11日(2009.6.11)	(74) 代理人	100085132 弁理士 森田 俊雄
審査請求日	平成22年10月27日(2010.10.27)	(74) 代理人	100083703 弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781 弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100098316 弁理士 野田 久登
		(74) 代理人	100109162 弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 機械部品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

0.11質量%以上0.15質量%以下の炭素と、0.1質量%以上0.25質量%以下の珪素と、0.15質量%以上0.35質量%以下のマンガンと、3.2質量%以上3.6質量%以下のニッケルと、4質量%以上4.25質量%以下のクロムと、4質量%以上4.5質量%以下のモリブデンと、1.13質量%以上1.33質量%以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼から構成され、

表面を含む領域には、窒素濃度が0.05質量%以上である窒素富化層が形成されており、

前記窒素富化層における炭素濃度と窒素濃度の合計値は0.55質量%以上1.9質量%以下であり、

前記窒素富化層を顕微鏡にて観察した場合、アスペクト比2以上、長さ7.5μm以上の鉄の窒化物の数が、一辺150μmの正方形領域5視野内に1個以下である、機械部品

。

【請求項2】

前記窒素富化層の厚みは0.11mm以上である、請求項1に記載の機械部品。

【請求項3】

前記窒素富化層は、800HV以上の硬度を有している、請求項1または2に記載の機械部品。

【請求項4】

軸受を構成する部品として用いられる、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の機械部品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、機械部品に関し、より特定的には、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなり、表層部に窒素富化層が形成された機械部品に関するものである。

【背景技術】

【0002】

炭素含有量が0.15質量%以下である鋼からなる機械部品の表層部の強度を向上させる目的で、たとえば浸炭処理を行なうことにより表層部に他の領域に比べて炭素濃度の高い領域を形成した上で、表面を含む領域に他の領域に比べて窒素濃度が高い層である窒素富化層を形成する処理、たとえば窒化処理が行なわれる場合がある。従来鋼の窒化処理方法としては、鋼をアンモニアなどの窒素源となる気体を含む雰囲気中で加熱することにより、鋼の表層部に窒素を侵入させる窒化処理が代表的である。しかし、クロム含有量の高い鋼、たとえば4質量%以上のクロムを含有する鋼からなる機械部品においては、表層部に化学的に安定な酸化膜が形成される。そのため、クロム含有量の高い鋼からなる機械部品に対して上記窒化処理を実施しても、表層部に窒素が侵入せず、窒素富化層が形成されないという問題があった。

【0003】

これに対し、鋼からなる被処理物を減圧した炉内に配置し、当該炉内に窒素源となる気体を含む気体を導入した上で、被処理物と被処理物に対向するように配置された部材、たとえば炉壁との間に電位差を生じさせてグロー放電を発生させ、被処理物を構成する鋼の表層部に窒素を侵入させる処理（プラズマ窒化処理）が提案されている（たとえば、特許文献1参照）。そして、プラズマ窒化処理の制御については、たとえばグロー放電の分光分析に基づいて行なう方法や、被処理物を流れる電流の電流密度に基づいて行なう方法が提案されている（たとえば特許文献2および3参照）。これにより、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなる機械部品の表層部に窒素富化層を形成することが可能となる。

【特許文献1】特開平2-57675号公報

【特許文献2】特開平7-118826号公報

【特許文献3】特開平9-3646号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上述のように4質量%以上のクロムを含有する鋼からなる機械部品の表層部に窒素富化層を形成した場合でも、当該機械部品の特性が十分に向上しない場合がある。すなわち、上述のような機械部品に応力が繰返し負荷された場合、早期に剥離や破断が発生することがある（疲労強度の低下）。また、上述のような機械部品に衝撃的な応力が負荷された場合、容易に破損が発生することもある（靱性の低下）。つまり、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなる機械部品においては、単に窒素富化層を形成するのみでは、表層部の硬度は上昇するものの、特に疲労強度や靱性の点で、必ずしも十分な特性が得られない場合があるという問題があった。

【0005】

そこで、本発明の目的は、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された機械部品を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に従った機械部品は、0.11質量%以上0.15質量%以下の炭素と、0.1質量%以上0.25質量%以下の珪素と、0.15質量%以上0.35質量%以下のマン

10

20

30

40

50

ガンと、3.2質量%以上3.6質量%以下のニッケルと、4質量%以上4.25質量%以下のクロムと、4質量%以上4.5質量%以下のモリブデンと、1.13質量%以上1.33質量%以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼から構成されている。表面を含む領域には、窒素濃度が0.05質量%以上である窒素富化層が形成されている。そして、窒素富化層における炭素濃度と窒素濃度との合計値は0.55質量%以上1.9質量%以下である。

【0007】

本発明者は、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなる機械部品に窒素富化層を形成した場合に、疲労強度や靱性が低下する原因について詳細な検討を行なった。その結果、以下のような現象が起こることに起因して、機械部品の疲労強度や靱性が低下することが分かった。

10

【0008】

すなわち、上述のようにプラズマ窒化により4質量%以上のクロムを含有する鋼からなる機械部品に窒素富化層を形成した場合、表層部における窒素量が、機械部品を構成する鋼の固溶限（析出物に含まれる窒素も含めた固溶限）を超える。そのため、機械部品を構成する鋼には、結晶粒界に沿って析出する鉄の窒化物（ Fe_3N 、 Fe_4N など）が形成される。そして、アスペクト比2以上で、かつ7.5 μm 以上の長さで形成された鉄の窒化物（以下、アスペクト比2以上、かつ7.5 μm 以上の長さを有し、結晶粒界に沿って形成される鉄の窒化物を粒界析出物という）は、剥離や破断の起点となるおそれがある。

【0009】

20

より具体的には、粒界析出物が形成された機械部品に応力が繰返し負荷された場合、当該粒界析出物が応力の集中源となり、亀裂が発生することがある。そして、この亀裂が進展し、剥離や破断に至るため、機械部品の疲労強度が低下する。また、粒界析出物が形成された機械部品に衝撃的な応力が負荷されると、当該粒界析出物が亀裂の発生や進展を助長するため、靱性が低下する場合がある。つまり、機械部品の表層部において過剰な量の窒素が侵入する結果、粒界析出物が形成され、これが原因となって機械部品の疲労強度や靱性が低下し得る。

【0010】

これに対し、本発明の機械部品においては、適切な成分組成を有する鋼からなる機械部品の表面を含む領域に0.05質量%以上の窒素富化層を形成した上で、当該窒素富化層における炭素濃度と窒素濃度との合計値を適切な範囲とすることにより、粒界析出物の形成を抑制することが可能となっている。その結果、本発明の機械部品によれば、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された機械部品を提供することができる。以下、本発明の機械部品を構成する鋼の成分範囲および窒素富化層における窒素および炭素の濃度を上記の範囲に限定した理由について説明する。

30

【0011】

炭素：0.11質量%以上0.15質量%以下

機械部品を構成する鋼において、炭素が0.11質量%未満では、鋼の製造コスト上昇という問題が発生し得る。一方、炭素が0.15質量%を超えると、心部硬度の上昇、靱性の低下という問題が発生し得る。したがって、炭素は0.11質量%以上0.15質量%以下とする必要がある。

40

【0012】

珪素：0.1質量%以上0.25質量%以下

機械部品を構成する鋼において、珪素が0.1質量%未満では、鋼の製造コスト上昇という問題が発生し得る。一方、珪素が0.25質量%を超えると、素材の硬度が上昇し冷間加工性が低下するという問題が発生し得る。したがって、珪素は0.1質量%以上0.25質量%以下とする必要がある。

【0013】

マンガン：0.15質量%以上0.35質量%以下

50

機械部品を構成する鋼において、マンガンが0.15質量%未満では、鋼の製造コスト上昇という問題が発生し得る。一方、マンガンが0.35質量%を超えると、素材の硬度が上昇し冷間加工性が低下するという問題が発生し得る。したがって、マンガンは0.15質量%以上0.35質量%以下とする必要がある。

【0014】

ニッケル：3.2質量%以上3.6質量%以下

機械部品を構成する鋼において、ニッケルが3.2質量%未満では、耐食性や硬度、靱性の向上という効果が少なくなるという問題が発生し得る。一方、ニッケルが3.6質量%を超えると、残留オーステナイト量の増加という問題が発生し得る。したがって、ニッケルは3.2質量%以上3.6質量%以下とする必要がある。

10

【0015】

クロム：4質量%以上4.25質量%以下

機械部品を構成する鋼において、クロムが4質量%未満では、焼戻し軟化抵抗の低下という問題が発生し得る。一方、クロムが4.25質量%を超えると、炭化物の固溶を阻害するという問題が発生し得る。したがって、クロムは4質量%以上4.25質量%以下とする必要がある。

【0016】

モリブデン：4質量%以上4.5質量%以下

機械部品を構成する鋼において、モリブデンが4質量%未満では、焼戻し軟化抵抗の低下という問題が発生し得る。一方、モリブデンが4.5質量%を超えると、鋼の製造コスト上昇という問題が発生し得る。したがって、モリブデンは4質量%以上4.5質量%以下とする必要がある。

20

【0017】

バナジウム：1.13質量%以上1.33質量%以下

機械部品を構成する鋼において、バナジウムが1.13質量%未満では、焼戻し軟化抵抗の低下やバナジウム添加によるミクロ組織の微細化の効果が少なくなるという問題が発生し得る。一方、バナジウムが1.33質量%を超えると、鋼の製造コスト上昇という問題が発生し得る。したがって、バナジウムは1.13質量%以上1.33質量%以下とする必要がある。

【0018】

窒素富化層の窒素濃度：0.05質量%以上

上記鋼からなる機械部品において、表層部に十分な硬度を付与して耐摩耗性等を確保するためには、表面を含む領域に窒素濃度が0.05質量%以上である窒素富化層が形成されている必要がある。また、耐摩耗性等を一層向上させるためには、機械部品の表面における窒素濃度は、0.15質量%以上であることが好ましい。

30

【0019】

窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値：0.55質量%以上1.9質量%以下

上記鋼からなる機械部品において、表層部に十分な硬度を付与して耐摩耗性等を確保するためには、窒素濃度だけでなく炭素濃度も管理することが重要である。そして、窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値が0.55質量%未満では、表層部に十分な硬度を付与して耐摩耗性等を確保することが難しくなることを、本発明者は見出した。したがって、窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値は、0.55質量%以上とする必要がある。また、表層部に十分な硬度を付与して耐摩耗性等を確保することを容易にするためには、窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値は、0.7質量%以上とすることが好ましい。

40

【0020】

一方、上記鋼からなる機械部品において、表層部の窒素濃度が高くなると粒界析出物が形成されやすくなり、炭素濃度が高くなるとその傾向がより強くなる。そして、窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値が1.9質量%を超えると、粒界析出物の形成

50

を抑制することが難しくなることを、本発明者は見出した。したがって、窒素富化層における窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値は、1.9質量%以下とする必要がある。また、粒界析出物の形成を一層抑制するためには、窒素富化層における窒素濃度と炭素濃度との合計値は、1.7質量%以下とすることが好ましい。なお、上記炭素濃度および窒素濃度とは、鉄、クロムなどの炭化物や窒化物以外の領域である素地（母相）における濃度をいう。

【0021】

上記機械部品において好ましくは、上記窒素富化層の厚みは0.11mm以上である。軸受、ハブ、等速自在継手、歯車などの機械部品においては、表面および表面直下、具体的には表面からの距離が0.11mm以内の領域の強度が重要となる場合が多い。そのため、上記窒素富化層の厚みを0.11mm以上とすることにより、機械部品に十分な強度を付与することが可能となる。なお、機械部品の強度を一層十分なものとするためには、上記窒素富化層の厚みは0.15mm以上であることが好ましい。

10

【0022】

上記機械部品において好ましくは、上記窒素富化層は、800HV以上の硬度を有している。表層部に形成される窒素富化層の硬度を800HV以上とすることにより、機械部品の強度を一層確実に確保することが可能となる。

【0023】

上記機械部品において好ましくは、上記窒素富化層を顕微鏡にて観察した場合、アスペクト比2以上、長さ7.5 μ m以上の鉄の窒化物の数が、一辺150 μ mの正方形領域5視野内に1個以下である。

20

【0024】

上述のように、アスペクト比2以上、長さ7.5 μ m以上の鉄の窒化物である粒界析出物は、機械部品の疲労強度、靱性などの特性を低下させるおそれがある。そして、本発明者が上記成分組成を有する鋼からなる機械部品について、機械部品の疲労強度と粒界析出物の数密度との関係について調査したところ、上記窒素富化層を顕微鏡にて観察した場合、粒界析出物が一辺150 μ mの正方形領域5視野内に1個を超える数密度で存在すると、機械部品の疲労強度が低下することが分かった。したがって、窒素富化層を顕微鏡にて観察した場合、粒界析出物の数が一辺150 μ mの正方形領域5視野内に1個以下であることにより、機械部品の疲労強度を向上させることができる。なお、機械部品の疲労強度を一層向上させるためには、上記粒界析出物の数は、一辺150 μ mの正方形領域60視野内に1個以下であることが好ましい。

30

【0025】

上記本発明の機械部品は、軸受を構成する部品として用いられてもよい。表層部が窒化されることにより強化され、かつ粒界析出物の発生が抑制された本発明の機械部品は、疲労強度、耐摩耗性等が要求される機械部品である軸受を構成する部品として好適である。

【0026】

なお、上述の機械部品を用いて、軌道輪と、軌道輪に接触し、円環状の軌道の上に配置される転動体とを備えた転がり軸受を構成してもよい。すなわち、軌道輪および転動体の少なくともいずれか一方、好ましくは両方が、上述の機械部品である。表層部が窒化されることにより強化され、かつ粒界析出物の発生が抑制された本発明の機械部品を備えていることにより、当該転がり軸受によれば、長寿命な転がり軸受を提供することができる。

40

【0027】

なお、窒素富化層における窒素および炭素の濃度は、たとえばEPMA（Electron Probe Micro Analysis）により調査することができる。また、上記鉄の窒化物（粒界析出物）の数密度は、たとえば以下のように調査することができる。すなわち、まず機械部品を表面に垂直な断面で切断し、当該断面を研磨する。その後、適切な腐食液にて当該断面腐食した上で、窒素富化層をSEM（Scanning Electron Microscope；走査型電子顕微鏡）あるいは光学顕微鏡にて観察して写真を撮影する。そして、表面が視野の一辺として規定された一辺150 μ mの正

50

方形の視野を画像解析装置により解析し、粒界析出物の数を調査する。これをランダムに5視野以上において実施し、5視野あたりの粒界析出物の数を算出する。

【発明の効果】

【0028】

以上の説明から明らかなように、本発明の機械部品によれば、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された機械部品を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。

【0030】

図1は、本発明の一実施の形態における機械部品を備えた転がり軸受としての深溝玉軸受の構成を示す概略断面図である。また、図2は、図1の要部を拡大して示す概略部分断面図である。図1および図2を参照して、本発明の一実施の形態における転がり軸受としての深溝玉軸受について説明する。

【0031】

図1を参照して、深溝玉軸受1は、環状の外輪11と、外輪11の内側に配置された環状の内輪12と、外輪11と内輪12との間に配置され、円環状の保持器14に保持された転動体としての複数の玉13とを備えている。外輪11の内周面には外輪転走面11Aが形成されており、内輪12の外周面には内輪転走面12Aが形成されている。そして、内輪転走面12Aと外輪転走面11Aとが互に対向するように、外輪11と内輪12とは配置されている。さらに、複数の玉13は、玉転走面13Aにおいて内輪転走面12Aおよび外輪転走面11Aに接触し、かつ保持器14により周方向に所定のピッチで配置されることにより、円環状の軌道上に転動自在に保持されている。以上の構成により、深溝玉軸受1の外輪11および内輪12は、互いに相対的に回転可能となっている。

【0032】

ここで、機械部品である外輪11、内輪12および玉13は、0.11質量%以上0.15質量%以下の炭素と、0.1質量%以上0.25質量%以下の珪素と、0.15質量%以上0.35質量%以下のマンガンと、3.2質量%以上3.6質量%以下のニッケルと、4質量%以上4.25質量%以下のクロムと、4質量%以上4.5質量%以下のモリブデンと、1.13質量%以上1.33質量%以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼から構成されている。そして、図2を参照して、外輪11、内輪12および玉13の表面である外輪転走面11A、内輪転走面12Aおよび玉転走面13Aを含む領域には、窒素濃度が0.05質量%以上である外輪窒素富化層11B、内輪窒素富化層12Bおよび玉窒素富化層13Bが形成されている。さらに、外輪窒素富化層11B、内輪窒素富化層12Bおよび玉窒素富化層13Bにおける炭素濃度と窒素濃度との合計値は0.55質量%以上1.9質量%以下である。ここで、上記不純物は、鋼の原料に由来するもの、あるいは製造工程において混入するものなどの不可避的不純物を含む。

【0033】

本実施の形態における機械部品である外輪11、内輪12および玉13においては、上記適切な成分組成を有する鋼からなるとともに、表面に形成された外輪転走面11A、内輪転走面12Aおよび玉転走面13Aを含む領域に窒素濃度が0.05質量%以上である外輪窒素富化層11B、内輪窒素富化層12Bおよび玉窒素富化層13Bが形成されている。そして、外輪窒素富化層11B、内輪窒素富化層12Bおよび玉窒素富化層13Bにおける炭素濃度と窒素濃度との合計値が適切な範囲である0.55質量%以上1.9質量%以下とされることにより、表層部に十分な硬度が付与されるとともに、粒界析出物の形成が抑制されている。その結果、本実施の形態における機械部品である外輪11、内輪12および玉13は、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された機械部品となつて

10

20

30

40

50

いる。また、外輪 1 1、内輪 1 2 および玉 1 3 を備えた転がり軸受である深溝玉軸受 1 は、長寿命な転がり軸受となっている。

【 0 0 3 4 】

さらに、外輪 1 1、内輪 1 2 および玉 1 3 に形成された外輪窒素富化層 1 1 B、内輪窒素富化層 1 2 B および玉窒素富化層 1 3 B の厚みは、0.11 mm 以上であることが好ましい。これにより、外輪 1 1、内輪 1 2 および玉 1 3 に十分な強度が付与される。

【 0 0 3 5 】

さらに、外輪窒素富化層 1 1 B、内輪窒素富化層 1 2 B および玉窒素富化層 1 3 B は、800 HV 以上の硬度を有していることが好ましい。これにより、外輪 1 1、内輪 1 2 および玉 1 3 の強度を一層確実に確保することが可能となる。

10

【 0 0 3 6 】

さらに、外輪窒素富化層 1 1 B、内輪窒素富化層 1 2 B および玉窒素富化層 1 3 B を顕微鏡にて観察した場合、アスペクト比 2 以上、長さ 7.5 μm 以上の鉄の窒化物の数が、一辺 150 μm の正方形領域 5 視野内に 1 個以下であることが好ましい。これにより、外輪 1 1、内輪 1 2 および玉 1 3 の疲労強度を向上させることができる。

【 0 0 3 7 】

図 3 は、本実施の形態における第 1 の変形例である機械部品を備えた転がり軸受としてのスラストニードルころ軸受の構成を示す概略断面図である。また、図 4 は、図 3 の要部を拡大して示す概略部分断面図である。図 3 および図 4 を参照して、第 1 の変形例であるスラストニードルころ軸受について説明する。

20

【 0 0 3 8 】

図 3 を参照して、スラストニードルころ軸受 2 は、円盤状の形状を有し、互いに一方の主面が対向するように配置された転動部材としての一对の軌道輪 2 1 と、転動部材としての複数のニードルころ 2 3 と、円環状の保持器 2 4 とを備えている。複数のニードルころ 2 3 は、一对の軌道輪 2 1 の互いに対向する主面に形成された軌道輪転走面 2 1 A に、その外周面であるころ転走面 2 3 A において接触し、かつ保持器 2 4 により周方向に所定のピッチで配置されることにより円環状の軌道上に転動自在に保持されている。以上の構成により、スラストニードルころ軸受 2 の一对の軌道輪 2 1 は、互いに相対的に回転可能となっている。

【 0 0 3 9 】

ここで、図 4 を参照して、本変形例におけるスラストニードルころ軸受 2 の軌道輪 2 1 は上記深溝玉軸受 1 の外輪 1 1 および内輪 1 2 に、ニードルころ 2 3 は玉 1 3 に該当し、同様の構成を有しており、同様の効果を奏する。すなわち、機械部品である軌道輪 2 1 およびニードルころ 2 3 は、0.11 質量% 以上 0.15 質量% 以下の炭素と、0.1 質量% 以上 0.25 質量% 以下の珪素と、0.15 質量% 以上 0.35 質量% 以下のマンガンと、3.2 質量% 以上 3.6 質量% 以下のニッケルと、4 質量% 以上 4.25 質量% 以下のクロムと、4 質量% 以上 4.5 質量% 以下のモリブデンと、1.13 質量% 以上 1.33 質量% 以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼から構成されている。そして、図 4 を参照して、軌道輪 2 1 およびニードルころ 2 3 の表面である軌道輪転走面 2 1 A およびころ転走面 2 3 A を含む領域には、窒素濃度が 0.05 質量% 以上である軌道輪窒素富化層 2 1 B およびころ窒素富化層 2 3 B が形成されている。さらに、軌道輪窒素富化層 2 1 B およびころ窒素富化層 2 3 B における炭素濃度と窒素濃度との合計値は 0.55 質量% 以上 1.9 質量% 以下である。

30

40

【 0 0 4 0 】

本変形例における機械部品である軌道輪 2 1 およびニードルころ 2 3 においては、上記適切な成分組成を有する鋼からなるとともに、表面に形成された軌道輪転走面 2 1 A およびころ転走面 2 3 A を含む領域に窒素濃度が 0.05 質量% 以上である軌道輪窒素富化層 2 1 B およびころ窒素富化層 2 3 B が形成されている。そして、軌道輪窒素富化層 2 1 B およびころ窒素富化層 2 3 B における炭素濃度と窒素濃度との合計値が適切な範囲である 0.55 質量% 以上 1.9 質量% 以下とされることにより、表層部に十分な硬度が付与さ

50

れるとともに、粒界析出物の形成が抑制されている。その結果、本変形例における機械部品である軌道輪 2 1 およびニードルころ 2 3 は、4 質量%以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された機械部品となっている。また、軌道輪 2 1 およびニードルころ 2 3 を備えた転がり軸受であるスラストニードルころ軸受 2 は、長寿命な転がり軸受となっている。

【 0 0 4 1 】

図 5 は、本実施の形態における第 2 の変形例である機械部品を備えた等速ジョイントの構成を示す概略断面図である。また、図 6 は、図 5 の線分 V I - V I に沿う概略断面図である。また、図 7 は、図 5 の等速ジョイントが角度をなした状態を示す概略断面図である。また、図 8 は、図 5 の要部を拡大して示す概略部分断面図である。また、図 9 は、図 6 の要部を拡大して示す概略部分断面図である。なお、図 5 は、図 6 の線分 V - V に沿う概略断面図に対応する。図 5 ~ 図 9 を参照して、第 2 の変形例である等速ジョイントについて説明する。

【 0 0 4 2 】

図 5 および図 6 を参照して、等速ジョイント 3 は、軸 3 5 に連結されたインナーレース 3 1 と、インナーレース 3 1 の外周側を囲むように配置され、軸 3 6 に連結されたアウターレース 3 2 と、インナーレース 3 1 とアウターレース 3 2 との間に配置されたトルク伝達用のボール 3 3 と、ボール 3 3 を保持するケージ 3 4 とを備えている。ボール 3 3 は、インナーレース 3 1 の外周面に形成されたインナーレースボール溝 3 1 A と、アウターレース 3 2 の内周面に形成されたアウターレースボール溝 3 2 A とにボール転走面 3 3 A において接触して配置され、脱落しないようにケージ 3 4 によって保持されている。

【 0 0 4 3 】

インナーレース 3 1 の外周面およびアウターレース 3 2 の内周面のそれぞれに形成されたインナーレースボール溝 3 1 A とアウターレースボール溝 3 2 A とは、図 3 に示すように、軸 3 5 および軸 3 6 の中央を通る軸が一直線上にある状態において、それぞれ当該軸上のジョイント中心 O から当該軸上の左右に等距離離れた点 A および点 B を曲率中心とする曲線（円弧）状に形成されている。すなわち、インナーレースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A に接触して転動するボール 3 3 の中心 P の軌跡が、点 A（インナーレース中心 A）および点 B（アウターレース中心 B）に曲率中心を有する曲線（円弧）となるように、インナーレースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A のそれぞれは形成されている。これにより、等速ジョイントが角度をなした場合（軸 3 5 および軸 3 6 の中央を通る軸が交差するように等速ジョイントが動作した場合）においても、ボール 3 3 は、常に軸 3 5 および軸 3 6 の中央を通る軸のなす角（ $\angle AOB$ ）の 2 等分線上に位置する。

【 0 0 4 4 】

次に、等速ジョイント 3 の動作について説明する。図 5 および図 6 を参照して、等速ジョイント 3 においては、軸 3 5、3 6 の一方に軸まわりの回転が伝達されると、インナーレースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A に嵌め込まれたボール 3 3 を介して、軸 3 5、3 6 の他方の軸に当該回転が伝達される。ここで、図 7 に示すように軸 3 5、3 6 が角度をなした場合、ボール 3 3 は、前述のインナーレース中心 A およびアウターレース中心 B に曲率中心を有するインナーレースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A に案内されて、中心 P が $\angle AOB$ の二等分線上となる位置に保持される。ここで、ジョイント中心 O からインナーレース中心 A までの距離と、アウターレース中心 B までの距離とが等しくなるように、インナーレースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A が形成されているため、ボール 3 3 の中心 P からインナーレース中心 A およびアウターレース中心 B までの距離はそれぞれ等しく、三角形 O A P と三角形 O B P とは合同である。その結果、ボール 3 3 の中心 P から軸 3 5、3 6 までの距離 L は互いに等しくなり、軸 3 5、3 6 の一方が軸まわりに回転した場合、他方も等速で回転する。このように、等速ジョイント 3 は、軸 3 5、3 6 が角度をなした場合でも、等速性を確保することができる。なお、ケージ 3 4 は、軸 3 5、3 6 が回転した場合に、インナーレ

ースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A からボール 3 3 が飛び出すことをインナーレースボール溝 3 1 A およびアウターレースボール溝 3 2 A とともに防止すると同時に、等速ジョイント 3 のジョイント中心 O を決定する機能を果たしている。

【 0 0 4 5 】

ここで、本変形例における等速ジョイント 3 のインナーレース 3 1 およびアウターレース 3 2 は上記深溝玉軸受 1 の外輪 1 1 および内輪 1 2 に、ボール 3 3 は玉 1 3 に該当し、同様の構成を有しており、同様の効果を奏する。すなわち、機械部品であるインナーレース 3 1、アウターレース 3 2 およびボール 3 3 は、0 . 1 1 質量% 以上 0 . 1 5 質量% 以下の炭素と、0 . 1 質量% 以上 0 . 2 5 質量% 以下の珪素と、0 . 1 5 質量% 以上 0 . 3 5 質量% 以下のマンガンと、3 . 2 質量% 以上 3 . 6 質量% 以下のニッケルと、4 質量% 以上 4 . 2 5 質量% 以下のクロムと、4 質量% 以上 4 . 5 質量% 以下のモリブデンと、1 . 1 3 質量% 以上 1 . 3 3 質量% 以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼から構成されている。そして、図 8 および図 9 を参照して、インナーレース 3 1、アウターレース 3 2 およびボール 3 3 の表面に形成されたインナーレースボール溝 3 1 A の表面、アウターレースボール溝 3 2 A の表面およびボール転走面 3 3 A を含む領域には、窒素濃度が 0 . 0 5 質量% 以上であるインナーレース窒素富化層 3 1 B、アウターレース窒素富化層 3 2 B およびボール窒素富化層 3 3 B が形成されている。さらに、インナーレース窒素富化層 3 1 B、アウターレース窒素富化層 3 2 B およびボール窒素富化層 3 3 B における炭素濃度と窒素濃度との合計値は 0 . 5 5 質量% 以上 1 . 9 質量% 以下である。

【 0 0 4 6 】

本変形例における機械部品であるインナーレース 3 1、アウターレース 3 2 およびボール 3 3 においては、上記適切な成分組成を有する鋼からなるとともに、表面に形成されたインナーレースボール溝 3 1 A の表面、アウターレースボール溝 3 2 A の表面およびボール転走面 3 3 A を含む領域に窒素濃度が 0 . 0 5 質量% 以上であるインナーレース窒素富化層 3 1 B、アウターレース窒素富化層 3 2 B およびボール窒素富化層 3 3 B が形成されている。そして、インナーレース窒素富化層 3 1 B、アウターレース窒素富化層 3 2 B およびボール窒素富化層 3 3 B における炭素濃度と窒素濃度との合計値が適切な範囲である 0 . 5 5 質量% 以上 1 . 9 質量% 以下とされることにより、表層部に十分な硬度が付与されるとともに、粒界析出物の形成が抑制されている。その結果、本変形例における機械部品であるインナーレース 3 1、アウターレース 3 2 およびボール 3 3 は、4 質量% 以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された機械部品となっている。また、インナーレース 3 1、アウターレース 3 2 およびボール 3 3 を備えた自在継手である等速ジョイント 3 は、長寿命な等速自在継手となっている。

【 0 0 4 7 】

次に、上記本発明の一実施の形態における機械部品、および上記機械部品を備えた転がり軸受、等速ジョイントなどの機械要素の製造方法について説明する。図 1 0 は、本発明の一実施の形態における機械部品および当該機械部品を備えた機械要素の製造方法の概略を示す図である。

【 0 0 4 8 】

図 1 0 を参照して、まず、0 . 1 1 質量% 以上 0 . 1 5 質量% 以下の炭素と、0 . 1 質量% 以上 0 . 2 5 質量% 以下の珪素と、0 . 1 5 質量% 以上 0 . 3 5 質量% 以下のマンガンと、3 . 2 質量% 以上 3 . 6 質量% 以下のニッケルと、4 質量% 以上 4 . 2 5 質量% 以下のクロムと、4 質量% 以上 4 . 5 質量% 以下のモリブデンと、1 . 1 3 質量% 以上 1 . 3 3 質量% 以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼からなり、機械部品の概略形状に成形された鋼部材を準備する鋼部材準備工程が実施される。具体的には、たとえば、上記成分を含有する棒鋼、鋼線などを素材とし、当該棒鋼、鋼線などに対して切断、鍛造、旋削などの加工が実施されることにより、機械部品としての外輪 1 1、軌道輪 2 1、インナーレース 3 1 などの機械部品の概略形状に成形された鋼部材が準備され

10

20

30

40

50

る。

【0049】

次に、鋼部材準備工程において準備された上述の鋼部材に対して、焼入処理および窒化処理を含む熱処理を行なう熱処理工程が実施される。この熱処理工程の詳細については後述する。

【0050】

次に、熱処理工程が実施された鋼部材に対して、仕上げ加工などが施される仕上げ工程が実施される。具体的には、たとえば、熱処理工程が実施された鋼部材の内輪転走面12A、軌道輪転走面21A、アウターレースボール溝32Aなどに対する研磨加工が実施される。これにより、本実施の形態における機械部品は完成し、本実施の形態における機械部品の製造方法は完了する。

10

【0051】

さらに、完成した機械部品が組合わされて機械要素が組立てられる組立て工程が実施される。具体的には、上述の工程により製造された本発明の機械部品である、たとえば外輪11、内輪12、玉13と保持器14とが組合わされて、深溝玉軸受1が組立てられる。これにより、本発明の機械部品を備えた機械要素が製造される。

【0052】

次に、上述の熱処理工程の詳細について説明する。図11は、本実施の形態における機械部品の製造方法に含まれる熱処理工程の詳細を説明するための図である。図11において、横方向は時間を示しており右に行くほど時間が経過していることを示している。また、図11において、縦方向は温度を示しており上に行くほど温度が高いことを示している。図10および図11を参照して、本実施の形態における機械部品の製造方法に含まれる熱処理工程の詳細について説明する。

20

【0053】

図10を参照して、本実施の形態における機械部品の製造方法の熱処理工程においては、まず、被処理物としての鋼部材が浸炭処理される浸炭工程が実施される。具体的には、図11を参照して、たとえば鋼部材が一酸化炭素と水素を含む浸炭ガスの雰囲気中で A_1 変態点以上の温度である温度 T_1 に加熱され、時間 t_1 の間保持されることにより、鋼部材の表層部に炭素が侵入する。これにより、鋼部材の表面を含む領域に、当該表面を含む領域以外の領域である内部領域に比べて炭素濃度の高い浸炭層が形成される。

30

【0054】

次に、図10を参照して、浸炭処理が実施された鋼部材が焼入処理される焼入工程が実施される。具体的には、図11を参照して、当該鋼部材が、 A_1 変態点以上の温度である温度 T_1 から M_s 点以下の温度に冷却されることにより、焼入硬化される。

【0055】

ここで、 A_1 点とは鋼を加熱した場合に、鋼の組織がフェライトからオーステナイトに変態を開始する温度に相当する点をいう。また、 M_s 点とはオーステナイト化した鋼が冷却される際に、マルテンサイト化を開始する温度に相当する点をいう。

【0056】

次に、図10を参照して、焼入処理が実施された鋼部材に対し、焼戻処理を行なう第1焼戻工程が実施される。具体的には、図11を参照して、たとえば鋼部材が減圧雰囲気中（真空中）で A_1 変態点未満の温度である温度 T_2 に加熱され、時間 t_2 の間保持された後、冷却されることにより焼戻処理される。これにより、鋼部材の焼入処理による残留応力を緩和し、熱処理によるひずみが抑制される等の効果が得られる。

40

【0057】

次に、図10を参照して、第1焼戻工程が実施された鋼部材に対し、サブゼロ処理を行なう第1サブゼロ工程が実施される。具体的には、図11を参照して、鋼部材が、たとえば液体窒素を噴霧されて0未満の温度である温度 T_3 に冷却され、時間 t_3 の間保持されることによりサブゼロ処理される。これにより、鋼部材の焼入処理により生成した残留オーステナイトがマルテンサイトに変態し、鋼の組織が安定化する等の効果が得られる。

50

【 0 0 5 8 】

次に、図 1 0 を参照して、第 1 サブゼロ工程が実施された鋼部材に対し、焼戻処理を行なう第 2 焼戻工程が実施される。具体的には、図 1 1 を参照して、たとえば鋼部材が真空中で A_1 変態点未満の温度である温度 T_4 に加熱され、時間 t_4 の間保持された後、冷却されることにより焼戻処理される。これにより、鋼部材のサブゼロ処理による残留応力を緩和し、ひずみが抑制される等の効果が得られる。

【 0 0 5 9 】

次に、図 1 0 を参照して、第 2 焼戻工程が実施された鋼部材に対し、再度サブゼロ処理を行なう第 2 サブゼロ工程が実施される。具体的には、図 1 1 を参照して、鋼部材が、たとえば液体窒素を噴霧されて 0 未満の温度である温度 T_5 に冷却され、時間 t_5 の間保持されることによりサブゼロ処理される。これにより、鋼部材の焼戻処理により生成した残留オーステナイトがさらにマルテンサイトに変態し、鋼の組織が一層安定化する等の効果が得られる。

10

【 0 0 6 0 】

次に、図 1 0 を参照して、第 2 サブゼロ工程が実施された鋼部材に対し、再度焼戻処理を行なう第 3 焼戻工程が実施される。具体的には、図 1 1 を参照して、上記第 2 焼戻工程と同様に、鋼部材が真空中で A_1 変態点未満の温度である温度 T_6 に加熱され、時間 t_6 の間保持された後、冷却されることにより焼戻処理される。ここで、温度 T_6 および t_6 は第 2 焼戻工程の温度 T_4 および t_4 と同様の条件とすることができる。これにより、第 2 サブゼロ工程における鋼部材のサブゼロ処理により発生し得る残留応力を緩和し、ひずみが抑制される等の効果が得られる。

20

【 0 0 6 1 】

次に、図 1 0 を参照して、第 3 焼戻工程が実施された鋼部材に対し、プラズマ窒化処理を行なうプラズマ窒化工程が実施される。具体的には、図 1 1 を参照して、たとえば圧力 5 0 P a 以上 5 0 0 0 P a 以下となるように窒素 (N_2) と、水素 (H_2)、メタン (CH_4) およびアルゴン (Ar) からなる群から選択される少なくともいずれか 1 つ以上とが導入されたプラズマ窒化炉に、鋼部材が挿入され、放電電圧 5 0 V 以上 1 0 0 0 V 以下、放電電流 0 . 0 0 1 A 以上 1 0 0 A 以下の条件下で温度 T_7 に加熱されて時間 t_7 の間保持された後、冷却されることにより鋼部材がプラズマ窒化処理される。これにより、鋼部材の表層部に窒素が侵入して窒素富化層が形成され、当該表層部の強度が向上する。ここで、温度 T_7 は、たとえば 3 0 0 以上 5 5 0 以下、時間 t_7 は 1 時間以上 8 0 時間以下とすることができる。この温度 T_7 、時間 t_7 などの熱処理条件は、仕上げ工程で実施される仕上げ加工における取りしるを考慮し、プラズマ窒化処理において形成される粒界析出物層 (粒界析出物が形成されている層) の厚みが、仕上げ加工において除去可能な厚み以下となるように決定することができる。

30

【 0 0 6 2 】

なお、鋼部材を構成する鋼が AMS 規格 6 2 7 8 (A I S I 規格 M 5 0 N i L) である場合、プラズマ窒化工程における上記圧力は 5 0 P a 以上 1 0 0 0 P a 以下、放電電圧は 5 0 V 以上 6 0 0 V 以下、放電電流は 0 . 0 0 1 A 以上 3 0 0 A 以下、温度 T_7 は 3 5 0 以上 4 5 0 以下、時間 t_7 は 1 時間以上 5 0 時間以下とすることが好ましい。

40

【 0 0 6 3 】

次に、図 1 0 を参照して、プラズマ窒化工程が実施された鋼部材に対し、拡散処理を行なう拡散工程が実施される。具体的には、図 1 1 を参照して、たとえば真空中で温度 T_8 に加熱され、時間 t_8 の間保持されることにより鋼部材が拡散処理される。ここで、温度 T_8 は、3 0 0 以上 4 8 0 以下、好ましくは 3 0 0 以上 4 3 0 以下、時間 t_8 は 5 0 時間以上 3 0 0 時間以下とすることができる。これにより、窒化層形成による表層部の硬度上昇が相殺されることを抑制しつつ、鋼に侵入した窒素を所望の領域にまで到達させることができる。そして、この拡散工程を実施することにより、プラズマ窒化工程において窒素が侵入する深さを、仕上げ加工での粒界析出物層の除去が可能な範囲にとどめても、鋼に侵入した窒素を所望の領域にまで到達させることができる。以上の工程により、

50

本実施の形態における熱処理工程は完了する。

【0064】

以上のように、本実施の形態における鋼の熱処理方法によれば、4質量%以上のクロムを含有する鋼の表層部を窒化処理して高硬度な窒素富化層を形成するとともに、粒界析出物の発生を抑制することができる。

【0065】

また、上記実施の形態における機械部品の製造方法によれば、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなり、表層部が窒化処理されて高硬度な窒素富化層が形成されるとともに、粒界析出物の発生が抑制された機械部品（外輪11、軌道輪21、インナーレース31など）を製造することができる。その結果、上述のように、本実施の形態における機械部品（外輪11、軌道輪21、インナーレース31など）の表面（外輪転走面11A、軌道輪転走面21A、インナーレースボール溝31Aの表面など）を含む領域に窒素濃度が0.05質量%以上、炭素濃度と窒素濃度の合計値が0.55質量%以上1.9質量%以下である厚み0.11mm以上、硬度800HV以上の窒素富化層を形成するとともに、当該窒素富化層を表面に垂直な断面で切断し、当該断面を光学顕微鏡またはSEMを用いて、表面を含む一辺150 μ mの正方形の視野をランダムに5視野観察した場合、粒界析出物の検出数を1個以下とすることができる。ここで、窒素富化層における炭素濃度および窒素濃度は、たとえばプラズマ窒化工程において実施されるプラズマ窒化の処理時間、および拡散工程において実施される拡散処理の処理時間を調整することにより、コントロールすることができる。

10

20

【0066】

なお、上記実施の形態においては、本発明の機械部品の一例として、深溝玉軸受、スラストニードルころ軸受、等速ジョイントを構成する機械部品について説明したが、本発明の機械部品はこれに限られず、表層部の疲労強度、耐摩耗性等が要求される機械部品、たとえばハブ、ギア、シャフト等を構成する機械部品であってもよい。

【実施例1】

【0067】

以下、本発明の実施例1について説明する。本発明の機械部品と同様の構成を有するサンプルを、上記実施の形態における鋼の熱処理方法を採用した機械部品の製造方法により実際に作製し、表層部における粒界析出物の発生が抑制されていることを確認する実験を行なった。実験の手順は以下のとおりである。

30

【0068】

まず、0.11質量%以上0.15質量%以下の炭素と、0.1質量%以上0.25質量%以下の珪素と、0.15質量%以上0.35質量%以下のマンガンと、3.2質量%以上3.6質量%以下のニッケルと、4質量%以上4.25質量%以下のクロムと、4質量%以上4.5質量%以下のモリブデンと、1.13質量%以上1.33質量%以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼であるAMS規格6278(AISI規格M50NiL)の鋼材を準備し、これを加工することにより外径40mm、内径30mm、厚みt16mmの試験片を作製した。

【0069】

次に、この試験片に対し、上記実施の形態において図11に基づいて説明した鋼の熱処理方法を用いた熱処理工程を実施した。ここで、 T_1 、 t_1 、 T_2 、 t_2 、 T_3 、 t_3 、 T_4 、 t_4 、 T_5 、 t_5 、 T_6 および t_6 は、第3焼戻工程後の試験片の硬度が58HRC以上65HRC以下となるように決定し、 T_7 は430、 t_7 は10時間、 T_8 は430、 t_8 は160時間とした。また、プラズマ窒化工程においては、プラズマ窒化時の処理温度 T_7 が430となるように、放電電圧を200V以上450V以下、放電電流を1A以上5A以下の範囲で制御した。さらに、プラズマ窒化工程においては、プラズマ窒化時の炉内の圧力が267Pa以上400Pa以下となるように、窒素(N_2):水素(H_2)=1:1の割合で炉内にガスを導入した。

40

【0070】

50

さらに、拡散工程では、窒素雰囲気調整された雰囲気炉内において試験片が加熱され、試験片の表面における炭素濃度と窒素濃度との和が1.9質量%以下となるように、拡散処理が実施された。以上のように本発明の鋼の熱処理方法が実施された試験片を、本発明の実施例のサンプルとした(実施例A)。

【0071】

一方、同様に作製されたAMS規格6278からなる試験片に対し、上記実施の形態において図11に基づいて説明した鋼の熱処理方法から、拡散工程を省略した熱処理工程を実施した。ここで、 T_1 、 t_1 、 T_2 、 t_2 、 T_3 、 t_3 、 T_4 、 t_4 、 T_5 、 t_5 、 T_6 および t_6 は、第3焼戻工程後の試験片の硬度が58HRC以上65HRC以下となるように決定し、 T_7 は480、 t_7 は30時間とした。また、プラズマ窒化工程においては、プラズマ窒化時の処理温度 T_7 が480となるように、放電電圧を200V以上450V以下、放電電流を1A以上5A以下の範囲で制御した。さらに、プラズマ窒化工程においては、プラズマ窒化時の炉内の圧力が267Pa以上400Pa以下となるように、窒素(N_2):水素(H_2):メタン(CH_4)=79:80:1の割合で炉内にガスを導入した。以上の熱処理方法が実施された試験片を、本発明の比較例のサンプルとした(比較例A)。

【0072】

そして、上述のように作製された実施例Aおよび比較例Aのサンプルを表面に垂直な断面にて切断し、当該断面を研磨した。さらに、研磨された断面を腐食液にて腐食した後、表面を含む一辺150 μ mの正方形の視野をランダムに5視野観察した。

【0073】

次に、実験結果について説明する。図12は、実施例Aの表面付近におけるミクロ組織の光学顕微鏡写真である。また、図13は、実施例Aの表面付近における硬度分布を示す図である。また、図14は、実施例Aの表面付近における炭素および窒素の濃度の分布を示す図である。また、図15は、比較例Aの表面付近におけるミクロ組織の光学顕微鏡写真である。また、図16は、比較例Aの表面付近における硬度分布を示す図である。また、図17は、比較例Aの表面付近における炭素および窒素の濃度の分布を示す図である。図12および図15において、写真上部がサンプルの表面側に該当する。また、図13および図16において、横軸は表面からの深さ(距離)、縦軸は硬度(単位はピッカース硬度)を示している。また、図14および図17において、横軸は表面からの深さ(距離)、縦軸は炭素および窒素の濃度を示しており、細線が炭素濃度、太線が窒素濃度を示している。

【0074】

図12を参照して、本発明の実施例Aのサンプルにおける表層部には、粒界析出物(アスペクト比2以上で、かつ7.5 μ m以上の長さで形成された鉄の窒化物)は観察されず、良好なミクロ組織となっている。また、図13および図14を参照して、実施例Aのサンプルの表面から深さ0.05mm以内の領域は、950HV以上という十分な硬度を有しているとともに、十分な量の窒素が侵入している。そのため、実施例Aと同様の熱処理を実施した鋼部材の表面に対して研磨などの仕上げ加工を施すことにより、窒素濃度が0.05質量%以上、炭素濃度と窒素濃度との合計値が0.55質量%以上1.9質量%以下、厚み0.11mm以上、硬度800HV以上の窒素富化層が形成されるとともに、当該窒素富化層を顕微鏡にて観察した場合、粒界析出物が一辺150 μ mの正方形領域5視野内に1個以下である機械部品を製造することができる。

【0075】

一方、図15を参照して、本発明の範囲外である比較例Aのサンプルにおける表層部には、多数の粒界析出物90が観察される。また、図16および図17を参照して、比較例Aのサンプルの表面から深さ0.05mm以内の領域は、実施例Aと同様に、950HV以上という十分な硬度を有しているとともに、十分な量の窒素が侵入している。そのため、比較例Aと同様の熱処理を実施した鋼部材の表面に対して研磨などの仕上げ加工を施しても、高硬度な表層部が形成されているものの、表層部に粒界析出物が残存する機械部品

10

20

30

40

50

が得られる。このような機械部品は、上述のように、十分な疲労強度や靱性を有しているとはいえない。

【0076】

以上より、上記実施の形態における鋼の熱処理方法を採用した機械部品の製造方法によれば、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなるとともに、表層部に窒素富化層が形成されており、かつ疲労強度および靱性が十分に確保された本発明の機械部品を製造可能であることが確認された。

【実施例2】

【0077】

以下、本発明の実施例2について説明する。上記実施の形態において説明した鋼の熱処理方法の拡散工程における、適切な加熱温度の範囲を調査する実験を行なった。実験の手順は以下のとおりである。

【0078】

まず、0.11質量%以上0.15質量%以下の炭素と、0.1質量%以上0.25質量%以下の珪素と、0.15質量%以上0.35質量%以下のマンガンと、3.2質量%以上3.6質量%以下のニッケルと、4質量%以上4.25質量%以下のクロムと、4質量%以上4.5質量%以下のモリブデンと、1.13質量%以上1.33質量%以下のバナジウムとを含有し、残部鉄および不純物からなる鋼であるAMS規格6278(AISI規格M50NiL)の鋼材を準備し、これを加工することにより外径40mm、内径30mm、厚みt16mmの試験片を作製した。

【0079】

次に、この試験片に対し、上記実施の形態において図11に基づいて説明した鋼の熱処理方法を用いた熱処理工程のうち、浸炭工程から第3焼戻工程までを上記実施例1の実施例Aの場合と同様に実施した。そして、当該試験片を430～570の温度に種々の時間保持することにより、拡散工程と同様の工程を実施し、浸炭層の硬度を測定した。より具体的には、試験片の表面からの距離が0.2mm以上0.4mm以下の領域において硬度を9点測定し、そのうちの最低硬度を算出した。さらに、当該測定結果を反応速度論に基づき解析し、拡散工程の各加熱温度における加熱処理時間(拡散時間)と浸炭層の硬度との関係を算出した。

【0080】

一方、同様の試験片に浸炭工程から第3焼戻工程までを上記実施例1の実施例Aの場合と同様に実施した後、実際にプラズマ窒化工程および拡散工程を実施して、試験片の硬度分布を確認する実験も行なった。プラズマ窒化工程においては、プラズマ窒化時の処理温度 T_7 が480となるように、放電電圧を200V以上450V以下、放電電流を1A以上5A以下の範囲で制御し、1時間保持することによりプラズマ窒化を行なった。さらに、プラズマ窒化工程では、プラズマ窒化時の炉内の圧力が267Pa以上400Pa以下となるように、窒素(N_2):水素(H_2)=1:1の割合で炉内にガスを導入した。さらに、プラズマ窒化工程が完了した試験片に対して、480で50時間保持する拡散工程を行なった。そして、拡散工程を実施する前後における試験片の表層部における硬度分布を測定した。

【0081】

次に、実験の結果について説明する。図18は、上記反応速度論に基づく解析の結果得られた、拡散工程の各加熱温度における加熱処理時間(拡散時間)と浸炭層の硬度との関係を示す図(アブラミプロット)である。図18において、横軸は加熱処理時間(拡散時間)、縦軸は浸炭層の硬度を示している。また、図19は、拡散工程を行なう前の試験片、および480で50時間保持する拡散工程を行なった試験片の表層部の硬度分布を示す図である。図19において、横軸は表面からの深さ(距離)、縦軸は硬度を示している。また、図19において、菱形は拡散工程を行なう前の試験片、四角形は480で50時間保持する拡散工程を行なった試験片の硬度を示している。

【0082】

図18を参照して、試験片の浸炭層の硬度は、拡散温度が高いほど短時間で低下しているが、拡散温度が480になると、200時間拡散処理を行なった場合でも硬度の低下幅が50HV以下となり、母材の硬度（浸炭層のうちプラズマ窒化による窒素の侵入の影響がない領域における硬度）の低下が表層部の硬度に及ぼす影響が小さくなる。また、拡散温度が460になると、200時間拡散処理を行なった場合でも硬度の低下幅が30HV以下となり、母材の硬度の低下が表層部の硬度に及ぼす影響が一層小さくなる。さらに、拡散温度が430になると、200時間拡散処理を行なった場合でも硬度の低下幅が10HV以下となり、母材の硬度の低下は、表層部の硬度にほとんど影響を及ぼさなくなる。

【0083】

一方、図19を参照して、480で50時間保持する拡散工程を行なった場合、実際の母材硬度の低下幅は、図18の解析結果とほぼ一致しており、図18の解析結果は、実際の熱処理の結果に一致しているものと考えられる。

【0084】

以上の実験結果より、拡散工程における加熱温度（拡散温度）は、母材の硬度の低下が表層部の硬度に及ぼす影響を抑制しつつ、鋼に侵入した窒素を所望の領域にまで到達させる観点から、480以下とする必要があり、460以下とすることが好ましい。さらに、当該加熱温度を430以下とすることにより、母材の硬度の低下を表層部の硬度にほとんど影響させることなく、拡散工程を実施することができる。なお、母材の硬度の低下が表層部の硬度に及ぼす影響を抑制する観点からは、拡散工程における加熱温度を一層低くすることが好ましいが、鋼に侵入した窒素を所望の領域にまで到達させるために要する時間が実際の生産工程における許容限度を超えて長くなることを回避するため、当該加熱温度は300以上とすることが好ましい。

【0085】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0086】

本発明の機械部品は、4質量%以上のクロムを含有する鋼からなり、表層部に窒素富化層が形成された機械部品に、特に有利に適用され得る。

【図面の簡単な説明】

【0087】

【図1】本発明の一実施の形態における機械部品を備えた深溝玉軸受の構成を示す概略断面図である。

【図2】図1の要部を拡大して示す概略部分断面図である。

【図3】第1の変形例である機械部品を備えたスラストニードルころ軸受の構成を示す概略断面図である。

【図4】図3の要部を拡大して示す概略部分断面図である。

【図5】第2の変形例である機械部品を備えた等速ジョイントの構成を示す概略断面図である。

【図6】図5の線分VI-VIに沿う概略断面図である。

【図7】図5の等速ジョイントが角度をなした状態を示す概略断面図である。

【図8】図5の要部を拡大して示す概略部分断面図である。

【図9】図6の要部を拡大して示す概略部分断面図である。

【図10】本発明の一実施の形態における機械部品および当該機械部品を備えた機械要素の製造方法の概略を示す図である。

【図11】機械部品の製造方法に含まれる熱処理工程の詳細を説明するための図である。

【図12】実施例Aの表面付近におけるミクロ組織の光学顕微鏡写真である。

10

20

30

40

50

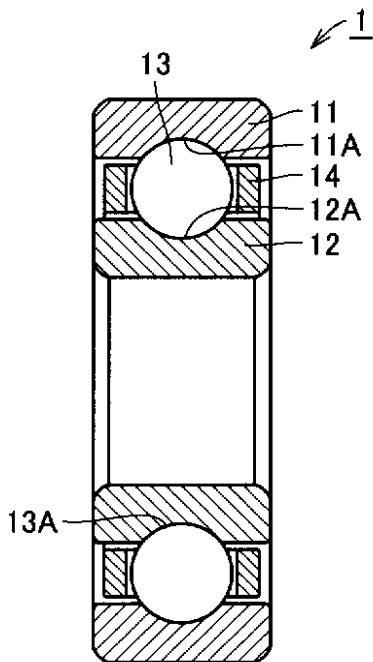
- 【図13】実施例Aの表面付近における硬度分布を示す図である。
- 【図14】実施例Aの表面付近における炭素および窒素の濃度の分布を示す図である。
- 【図15】比較例Aの表面付近におけるミクロ組織の光学顕微鏡写真である。
- 【図16】比較例Aの表面付近における硬度分布を示す図である。
- 【図17】比較例Aの表面付近における炭素および窒素の濃度の分布を示す図である。
- 【図18】拡散工程の各加熱温度における加熱処理時間と浸炭層の硬度との関係を示す図(アブリプロット)である。
- 【図19】試験片の表層部の硬度分布を示す図である。

【符号の説明】

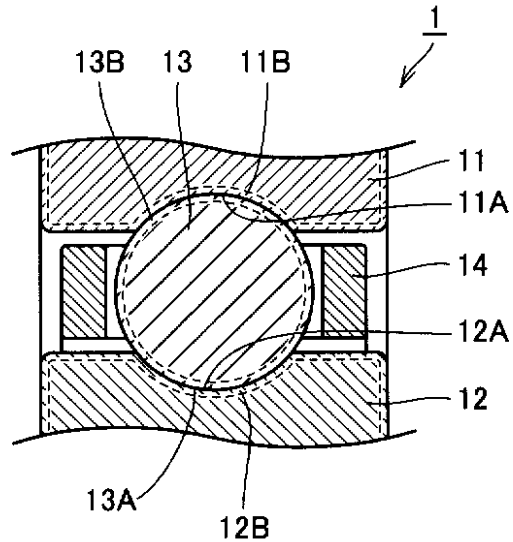
【0088】

1 深溝玉軸受、2 スラストニードルころ軸受、3 等速ジョイント、11 外輪、11A 外輪転走面、11B 外輪窒素富化層、12 内輪、12A 内輪転走面、12B 内輪窒素富化層、13 玉、13A 玉転走面、13B 玉窒素富化層、14、24 保持器、21 軌道輪、21A 軌道輪転走面、21B 軌道輪窒素富化層、23A ころ転走面、23B ころ窒素富化層、31 インナーレース、31A インナーレースボール溝、31B インナーレース窒素富化層、32 アウターレース、32A アウターレースボール溝、32B アウターレース窒素富化層、33 ボール、33A ボール転走面、33B ボール窒素富化層、34 ケージ、35、36 軸、90 粒界析出物。

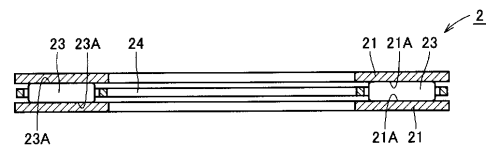
【図1】



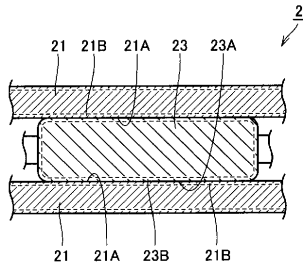
【図2】



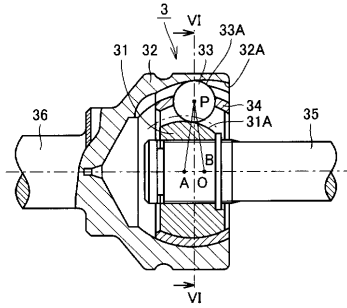
【図3】



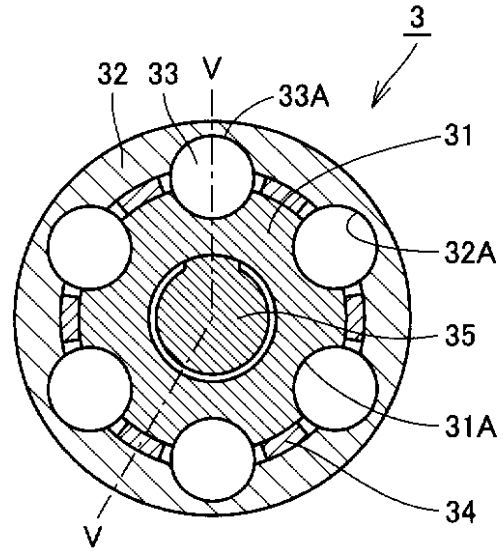
【図4】



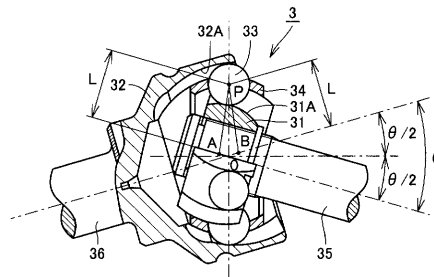
【図5】



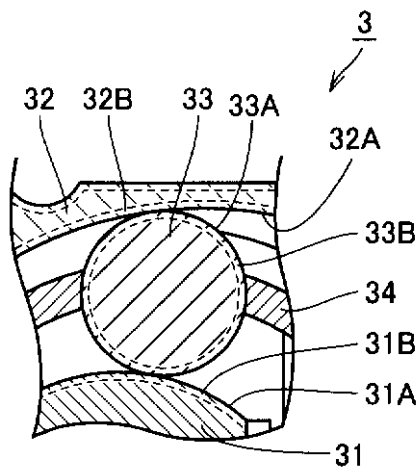
【図6】



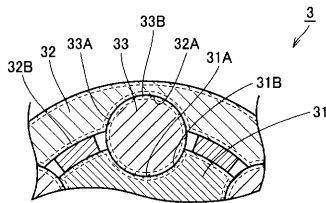
【図7】



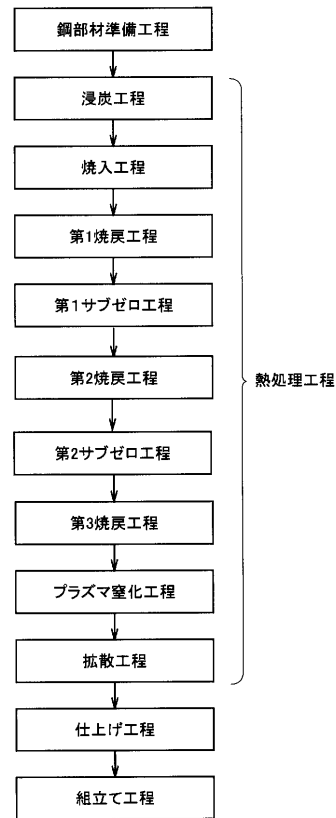
【図8】



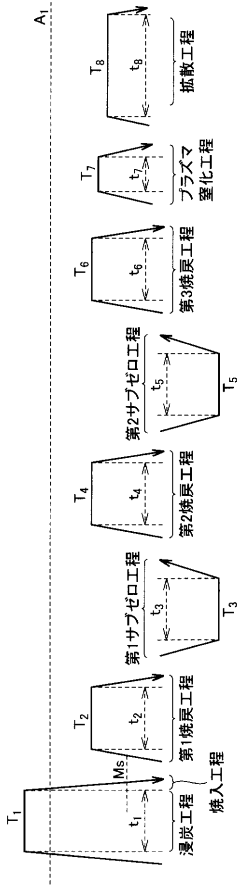
【図9】



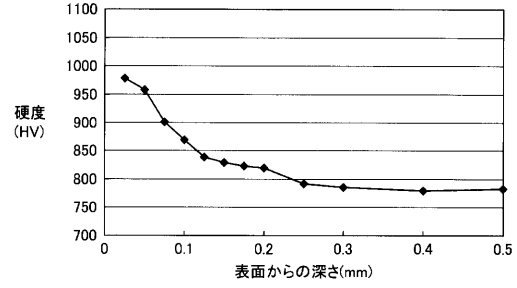
【図10】



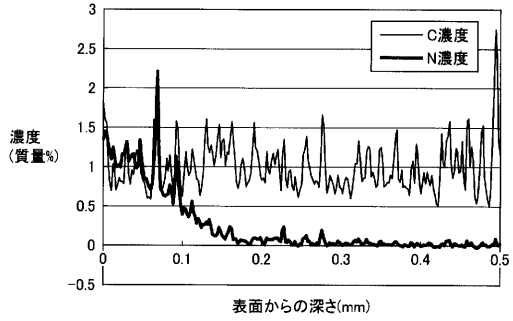
【図 1 1】



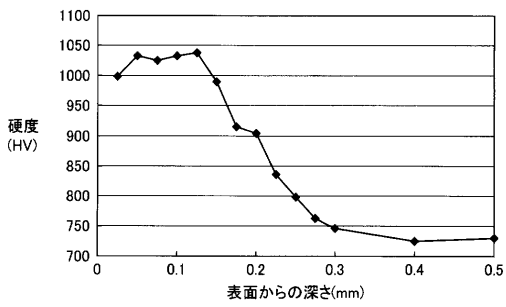
【図 1 3】



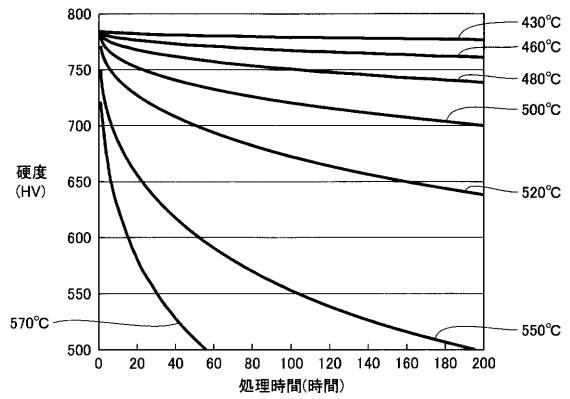
【図 1 4】



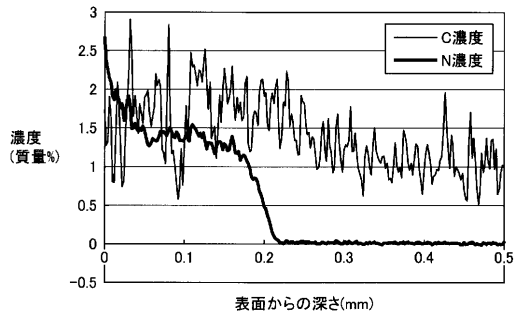
【図 1 6】



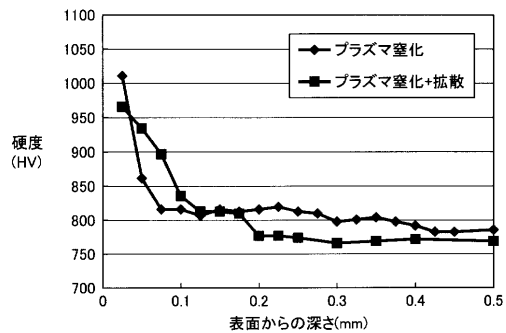
【図 1 8】




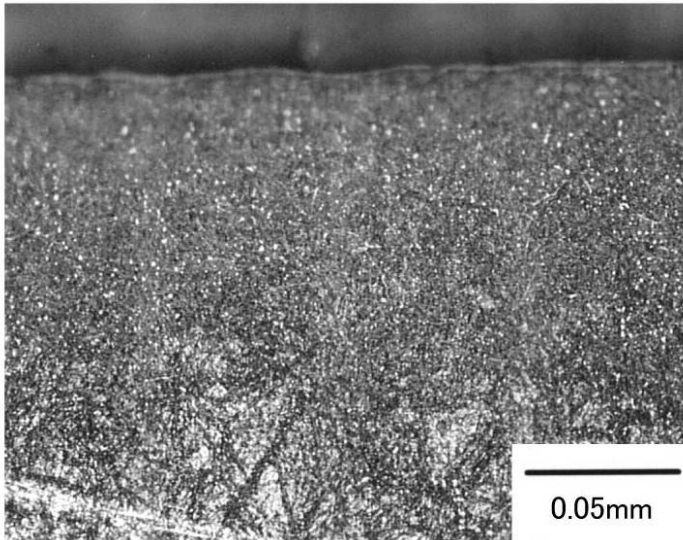
【図 1 7】




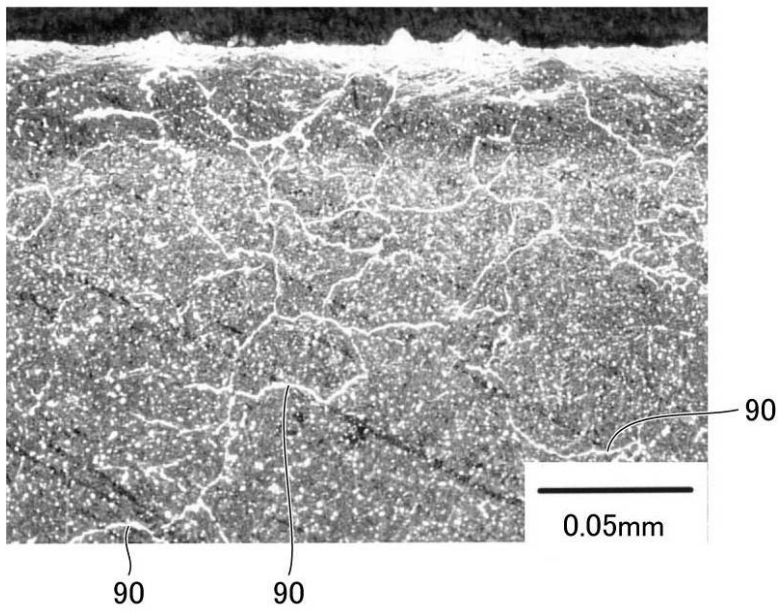
【図 1 9】



【 1 2】



【 1 5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
C 2 1 D	1/06	(2006.01)	C 2 1 D	1/06	A
C 2 1 D	1/76	(2006.01)	C 2 1 D	1/76	L
C 2 1 D	6/00	(2006.01)	C 2 1 D	6/00	D
C 2 1 D	9/40	(2006.01)	C 2 1 D	9/40	A
C 2 3 C	8/38	(2006.01)	C 2 3 C	8/38	

(74)代理人 100111246

弁理士 荒川 伸夫

(72)発明者 大木 力

三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 NTN株式会社内

(72)発明者 八木田 和寛

三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 NTN株式会社内

審査官 伊藤 真明

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

特開 2 0 0 7 - 1 2 0 7 1 2 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 3 3 6 5 3 8 (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 / 4 0、 1 / 0 6

F 1 6 C 1 7 / 0 0 - 1 7 / 2 6

F 1 6 C 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 6

F 1 6 C 1 9 / 0 0 - 1 9 / 5 6

C 2 3 C 8 / 0 0 - 8 / 8 0