(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5100433号
(P5100433)

(45)発行日　平成24年12月19日(2012.12.19)　(24)登録日　平成24年10月5日(2012.10.5)

(51)Int.Cl.		F I		
C22C 38/00	(2006.01)	C22C	38/00	301N
C22C 38/32	(2006.01)	C22C	38/32	
C21D 1/06	(2006.01)	C21D	1/06	A
C21D 7/06	(2006.01)	C21D	7/06	A
C21D 9/32	(2006.01)	C21D	9/32	A

請求項の数 4　(全 14 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2008-37429(P2008-37429)
(22)出願日　平成20年2月19日(2008.2.19)
(65)公開番号　特開2008-255470(P2008-255470A)
(43)公開日　平成20年10月23日(2008.10.23)
審査請求日　平成23年1月14日(2011.1.14)
(31)優先権主張番号　特願2007-62632(P2007-62632)
(32)優先日　平成19年3月12日(2007.3.12)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目１番１号
(73)特許権者　000003713
大同特殊鋼株式会社
愛知県名古屋市東区東桜一丁目１番１０号
(74)代理人　100095751
弁理士　菅原　正倫
(72)発明者　岡田　善成
埼玉県和光市中央一丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　天野　政樹
埼玉県和光市中央一丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
質量％で、Ｃ：０．１０～０．３０％未満，Ｓｉ：０．１０％以下，Ｍｎ：０．２０～０．６０％，Ｐ：０．０１５％以下，Ｓ：０．０３５％以下，Ｃｒ：０．５０～１．００％，Ｍｏ：０．５０～１．００％，Ｂ：０．０００５～０．００３０％，Ｔｉ：０．０１０～０．１００％，Ｎｂ：０．０１０～０．１００％を含有し、残部がＦｅ及び不可避不純物からなり、
ガス浸炭処理後の表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％であり、限界硬さを５１３ＨＶとする有効硬化層深さが０．６～１．２ｍｍであり、かつショットピーニング処理後の表層硬さが７００ＨＶ以上であることを特徴とする低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品。
【請求項２】
前記ショットピーニング処理後にて、圧縮残留応力の最大値が８００ＭＰａ以上であり、その圧縮残留応力が最大となる深さ位置が、表層から１００μｍ以内であることを特徴とする請求項１に記載の低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品。
【請求項３】
前記浸炭部品は、ディファレンシャルギヤであることを特徴とする請求項１または２に記載の低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品。
【請求項４】
請求項１ないし３の何れか１項に記載の浸炭部品における浸炭焼入れ工程を、表層を高Ｃ濃度とする浸炭期と、表層のＣ濃度を拡散させる拡散期とを含んで構成し、前記浸炭期

におけるカーボンポテンシャルを前記拡散期におけるカーボンポテンシャルよりも０．３０％以上高く設定したことを特徴とする低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、高い低サイクル曲げ疲労強度を要求される浸炭部品、特に自動車などの駆動系部品に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

浸炭部品は、自動車等の動力伝達部品、例えばディファレンシャルギヤに適用されている。この浸炭部品の浸炭方法の一つとして、ガス浸炭が広く知られている。ガス浸炭は、ガスのカーボンポテンシャルを自由に制御でき、また浸炭から焼入れまでの連続操業が容易である等の利点がある。このガス浸炭では、下記特許文献１および非特許文献１に記載されているように、浸炭部品の表層のＣ濃度が０．８％程度に設定されるのが一般的である。すなわち、浸炭部品の表層のＣ濃度を０．８％よりも低く設定すると、表層の硬さが低下し、浸炭部品の強度（例えば、ディファレンシャルギヤの歯面強度）を確保することが困難となる。また、浸炭時に浸炭部品の表面が酸化され（粒界酸化層の形成）、この表面酸化による不完全焼入れ層の存在によって疲労強度を確保することも困難となる。

【０００３】

また、下記特許文献２には、浸炭方法は特に規定していないが、浸炭部品の表層のＣ濃度を０．５～１．０％（発明例は０．６２～０．８３％）に設定する技術が開示されている。この特許文献２では、浸炭部品の表層の硬さを確保しながら、表層のオーステナイト粒界に粗大なセメンタイトが生成されることを防止することで靭性を確保するようにしている。

【０００４】

一方、下記特許文献３には、真空浸炭処理により浸炭部品の表層のＣ濃度を０．７～０．９％に設定し、かつその表面に１段目のショット粒径よりも２段目のショット粒径が小さいダブルショットピーニング処理を施す技術が開示されている。この特許文献３では、真空浸炭処理により粒界酸化層が形成されることを防止しながら、ダブルショットピーニング処理により残留オーステナイト量を低減することで疲労強度を確保するようにしている。

【０００５】

【特許文献１】特開平１０－８１９９号公報

【特許文献２】特開平８－９２６９０号公報

【特許文献３】特開２００２－３０３４４号公報

【非特許文献１】日刊工業新聞社，「浸炭焼入れの実際　第２版」，１９９９年２月２６日　初２版１刷発行，ｐ．１０１

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

ところで、浸炭部品としての例えばディファレンシャルギヤにおける歯元の低サイクル疲労（塑性変形を与えるような大きな繰り返し荷重を作用させた場合に、例えば１０００サイクル以下の繰り返し数で起こる疲労破壊）に対する疲労強度を向上させるためには、ギヤ表層のＣ濃度を低く設定することが有効である。しかしながら、この場合には、上記したギヤの歯面強度等を確保することができない。このため、ギヤに要求される歯面強度等と、その歯元の低サイクル疲労強度との特性を両立させることができないという問題があった。この場合、ガス浸炭に代えて真空浸炭を採用すれば、上記した表面酸化による疲労強度低下の問題は解決できる。しかし、この真空浸炭では、浸炭部品のエッジ部に過剰浸炭が発生するため、上記ガス浸炭の場合と同様、低サイクル疲労強度を向上させるこ

とができない。

【０００７】

本発明は、上記問題に対処するためになされたものであり、その目的は、浸炭部品としての例えばディファレンシャルギヤに要求される歯面強度等と、その歯元の低サイクル疲労強度とを共に向上させることが可能な低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品を提供することにある。

【０００８】

本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意検討を行った結果、以下の知見を得た。（ａ）破壊起点となる表層粒界破壊を抑制するためには、浸炭鋼の表層粒界にあるＣの偏析を抑制することが有効である。そのためには、浸炭処理で濃化される表層Ｃの管理値を０．４０～０．６０％まで下げることが有効である。（ｂ）表層Ｃの管理値を下げると、当然ながら表層硬さが低下する。表層硬さを確保するためには、浸炭後にショットピーニング処理を施すことが有効である。ショットピーニング処理によれば、加工硬化および圧縮残留応力の効果により、表層硬さ（７００ＨＶ以上）を確保することができる。また、ショットピーニング処理によれば、疲労き裂の進展を抑制することもできる。（ｃ）表層Ｃの管理値を下げたものに、単にショットピーニング処理を施すだけでは、例えばディファレンシャルギヤの歯面強度を向上させることはできても、耐塑性変形抵抗性の低下によりその歯元の低サイクル疲労強度を十分に向上させるには至らない。これに対しては、限界硬さを５１３ＨＶとする有効硬化層深さを管理値として設定することが有効である。

【０００９】

すなわち、本発明の低サイクル疲労特性に優れた浸炭部品は、質量％で、Ｃ：０．１０～０．３０％未満，Ｓｉ：０．１０％以下，Ｍｎ：０．２０～０．６０％，Ｐ：０．０１５％以下，Ｓ：０．０３５％以下，Ｃｒ：０．５０～１．００％，Ｍｏ：０．５０～１．００％，Ｂ：０．０００５～０．００３０％，Ｔｉ：０．０１０～０．１００％，Ｎｂ：０．０１０～０．１００％を含有し、残部がＦｅ及び不可避不純物からなり、ガス浸炭処理後の表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％であり、限界硬さを５１３ＨＶとする有効硬化層深さが０．６～１．２ｍｍであり、かつショットピーニング処理後の表層硬さが７００ＨＶ以上であることを特徴とする。

【００１０】

この場合、ショットピーニング処理後にて、圧縮残留応力の最大値が８００ＭＰａ以上であり、その圧縮残留応力が最大となる深さ位置（ピーク深さ）が、表層から１００μｍ以内であるとよい。好ましくは、圧縮残留応力の最大値が１０００ＭＰａ以上であり、そのピーク深さが表層から５０μｍ以内であることが望ましい。また、浸炭部品は、例えばディファレンシャルギヤであるとよい。

【００１１】

以下、各元素の組成限定理由および限定条件について説明する。

【００１２】

（１）Ｃ：０．１０～０．３０％未満

Ｃは、浸炭部品の強度（心部の強度）を確保するための元素である。この効果を得るには、０．１０％以上の含有が必要である。他方、過度に含有させると、靭性および低サイクル疲労強度が低下してしまうため、上限を０．３０％未満とする。好ましくは、０．２５％以下である。

【００１３】

（２）Ｓｉ：０．１０％以下

Ｓｉは、溶製時の脱酸剤として添加される。このＳｉは、浸炭時における粒界酸化を助長する元素であり、低サイクル疲労強度の低下をもたらすため、その含有を極力制限する必要がある。具体的には、０．１０％以下の含有とする。好ましくは０．０５％以下である。なお、Ｓｉは、鋼の焼入れ性を高めるのに有効であるため、この効果を得るために０．０１％以上を含有させることができる。

【００１４】

（３）Ｍｎ：０．２０～０．６０％
Ｍｎは、浸炭時における粒界酸化を助長する元素であり、低サイクル疲労強度の低下をもたらすため、その含有を極力制限する必要がある。具体的には、０．６０％以下の含有とする。他方、Ｍｎは、鋼の焼入れ性を高めるのに有効な元素であり、また、靭性向上のためには浸炭後の適度なオーステナイトの残留が必要である。これらの効果を得るには、０．２０％以上の含有が必要である。好ましくは０．４０％以上である。

【００１５】

（４）Ｐ：０．０１５％以下
Ｐは、浸炭層の靭性を劣化させる元素である。特に、その含有量が０．０１５％を超えると、低サイクル疲労強度の低下が著しくなる。また、Ｐは、不純物元素であるので、できるだけ含有量を０％に近づけることが好ましい。

【００１６】

（５）Ｓ：０．０３５％以下
Ｓも、浸炭層の靭性を劣化させる元素であり、Ｐと同様にその含有量が０．０３５％を超えると、低サイクル疲労強度の低下が著しくなる。しかし、被削性を特に要求されている場合には、０．０１０～０．０２０％含有してもよい。

【００１７】

（６）Ｃｒ：０．５０～１．００％
Ｃｒも、Ｍｎと同様に浸炭時における粒界酸化を助長する元素であり、低サイクル疲労強度の低下をもたらすため、その含有を極力制限する必要がある。具体的には、その含有量を１．００％以下に制限する。好ましくは０．８０％以下である。他方、Ｃｒは、鋼の焼入れ性を高めるのに有効な元素であるから、この効果を得るには、０．５０％以上の含有が必要である。

【００１８】

（７）Ｍｏ：０．５０～１．００％
Ｍｏは、鋼の焼入れ性を高めるのに有効な元素であり、Ｃｒ含有量を制限したことにより不足する鋼の焼入れ性を補完するために添加する。また、浸炭された表層の靭性を向上させるのに有効な元素でもある。これらの効果を得るには、０．５０％以上の含有が必要である。他方、過度の含有は、浸炭焼入れ後の硬さが高くなり過ぎ、製造性が悪化してしまうので、１．００％以下の含有とする。好ましくは０．８０％以下である。

【００１９】

（８）Ｂ（固溶Ｂ）：０．０００５～０．００３０％
Ｂは、浸炭鋼の心部の焼入れ性を向上させるのに有効な元素である。すなわち、Ｂの添加により、不完全焼入れによる強度低下が防止され、後述する有効硬化層深さが深くなる効果が得られる。また、Ｂは、浸炭層の結晶粒界に優先偏析して浸炭層の粒界を強化するのに有効な元素でもある。この効果を得るには、０．０００５％以上の含有が好ましい。他方、過度の含有は、焼入れ性向上の効果が飽和するだけでなく、熱間および冷間での加工性が低下するので、０．００３０％以下の含有とする。

【００２０】

（９）Ｔｉ：０．０１０～０．１００％
Ｔｉは、浸炭鋼中のＮと結合して窒化物を生成し、ＮがＢと結合することを防止することで、固溶Ｂを確保してＢの焼入れ性向上の効果を維持するのに有効な元素である。ただし、０．０１０％未満では浸炭鋼中のＮを固定するのに十分でなく、０．１００％を超えるとＴｉＮの大型化により冷間での加工性が低下するので、０．１００％以下の含有とする。

【００２１】

（１０）Ｎｂ：０．０１０～０．１００％
Ｎｂは、浸炭鋼中のＣやＮと反応して炭窒化物を形成し、浸炭時のオーステナイト結晶粒の粗大化を防止するのに有効な元素である。ただし、０．０１０％未満ではオーステナイト結晶粒の粗大化を防止する効果が得られにくく、０．１００％を超えるとその効果が

飽和する。

【００２２】

（１１）表層Ｃ濃度：０．４０～０．６０％

本発明の浸炭部品にはガス浸炭処理が施される。ガス浸炭処理によれば、表層Ｃ濃度を所定の設定値に容易に設定することができる。この場合、上述したように、通常の浸炭処理では、浸炭部品の表層Ｃ濃度が０．８％程度に設定される。しかし、本発明では、浸炭部品における浸炭層の延性を向上させ、き裂発生強度（疲労試験による、き裂が発生するまでの寿命）を向上させる観点から、後述する試験結果を踏まえて、０．４０～０．６０％以下の含有とする。

【００２３】

（１２）有効硬化層深さ（限界硬さを５１３ＨＶとする表面からの深さ位置。表３および表５ではＥＣＤと表記する）：０．６～１．２ｍｍ

ＥＣＤは耐塑性変形性を確保する観点から０．６ｍｍ以上が必要である。好ましくは、０．７ｍｍ以上である。一方、１．２ｍｍ以上にするためには長時間の浸炭が必要であり、コストが高く、また粒界酸化や不完全焼入れ層の生成が顕著となり、強度低下が起きるので、１．２ｍｍ以下が好ましい。

【００２４】

（１３）ガス浸炭処理

浸炭部品のガス浸炭処理は、表層を高Ｃ濃度とする浸炭期と、表層のＣ濃度を拡散させる拡散期との浸炭焼入れ工程を含んでなるのが一般的である。このガス浸炭処理において、浸炭期および拡散期のカーボンポテンシャル（以下、ＣＰともいう）を何れも高く設定した場合には、浸炭期および拡散期を短くしながら、有効硬化層深さを深くすることができる。しかし、拡散期のＣＰを高くすると、最終的な表層Ｃ濃度が高くなって、き裂発生強度が低下するおそれがある。一方、浸炭期および拡散期のＣＰを何れも低く設定した場合には、浸炭期および拡散期を長くすることにより、有効硬化層深さを深くすることができる。しかし、浸炭期および拡散期を長くすると、浸炭処理のコストが高くなるおそれがある。そこで、浸炭期のＣＰを高めに設定し拡散期のＣＰを低めに設定、すなわち浸炭期におけるカーボンポテンシャルを拡散期におけるカーボンポテンシャルよりも０．３０％以上高く設定するとよい。これによれば、浸炭期および拡散期のＣＰを何れも低く設定した場合に比べ、短い処理時間で有効硬化層深さを深くすることができ、浸炭処理にかかるコストを抑えながら、き裂発生強度を向上させることが可能である。

【００２５】

（１４）ショットピーニング

表層Ｃ濃度を低くすると、表層硬さが低下し浸炭部品（例えばギヤ）の面強度を確保することが困難となる。ガス浸炭処理後に浸炭部品にショットピーニング処理を施すことにより、き裂の起点となる表層の粒界酸化層を除去することができ、また圧縮残留応力の付与により表層の硬さを良好に確保することができる。

【００２６】

（１５）表層硬さ：７００ＨＶ以上

浸炭部品の表面強度を確保する観点から、表層にて少なくとも７００ＨＶの硬さが必要である。ここで、表層硬さとは、表面から０．０５ｍｍの深さ位置における硬さを意味する。

【００２７】

（１６）圧縮残留応力の最大値：８００ＭＰａ以上

曲げ疲労による、き裂の発生を抑制する観点から、少なくとも８００ＭＰａ以上の圧縮残留応力が必要である。好ましくは、後述する試験結果を踏まえて、１０００ＭＰａ以上とする。絶対値が高い方が好ましいが、ショットピーニングのコストが高くなり、また被投射部材の降伏強度を超えると表層にき裂が発生し、曲げ疲労強度を低下させることになる。

【００２８】

（１７）ピーク深さ：１００μｍ以内
浸炭部品の表層の応力値を確保するためである。好ましくは５０μｍ以内とする。本発明のピーク深さを規定する目的は、表層の浅い部分に高い残留応力となっている部分を形成することであり、本発明のように表層から１００μｍの部分を高い残留応力とした上で、１００μｍ以上のところにピークをもってきたものも対象である（複合的にショットピーニングをすればできる）。
【発明を実施するための最良の形態】
【００２９】
本発明は、低サイクル疲労強度（き裂発生強度）が特に必要とされる自動車のディファレンシャルギヤの用途に好適である。以下、本発明による浸炭部品をディファレンシャルギヤに適用した一実施形態を図面に基づいて説明する。
【００３０】
図１は、前記ディファレンシャルギヤを備えたディファレンシャルユニット１０を示していて、このディファレンシャルユニット１０においては、リングギヤ（図示省略）が固定されたディファレンシャルケース１１内に、ディファレンシャルギヤとしての左右一対のサイドギヤ１２，１２と、両サイドギヤ１２に係合する差動ピニオン１３，１３とが収容されている。各サイドギヤ１２は、アクスルシャフト（図示省略）に連結され、各差動ピニオン１３は、ディファレンシャルケース１１に設けたピニオンシャフト１４に対して回転自在に装着されている。
【００３１】
車両の走行時、ディファレンシャルユニット１０は、エンジンからの回転トルクをドライブピニオン（図示省略）およびリングギヤを介して、ディファレンシャルケース１１、ピニオンシャフト１４、両差動ピニオン１３、両サイドギヤ１２の順に伝達し、アクスルシャフトを回転させる。
【００３２】
以上、本発明による浸炭部品をディファレンシャルギヤに適用した一実施形態について説明したが、浸炭部品の適用範囲はこれに限らず、低サイクル疲労強度が要求される機械構造部品に広く適用することができる。
【００３３】
ａ．第１実施例
まず、表１に示す化学成分の鋼Ａを電気炉を用いて溶製した。この鋼Ａを直径２２ｍｍの丸棒に熱間圧延し、９２０℃で１時間保持して空冷した後、図２に示す形状の試験片をそれぞれ作製した。この試験片は１．５Ｒの円弧溝状の切欠きを持ち、歯車の歯元（強度）を模擬している。そして、各試験片を図３、図４（Ａ），４（Ｂ）に示す何れかの浸炭条件（浸炭焼入れ焼戻し工程）に従って表層Ｃ濃度を変化させたものを実施例１～７、比較例１～９とした。
【００３４】
図３の浸炭条件ａは、浸炭焼入れ工程における浸炭期のＣＰを高Ｃ濃度（０．９％）とし、拡散期のＣＰを低Ｃ濃度（０．５５％）とし、浸炭期を９０分、拡散期を９０分に設定したものである。浸炭条件ｂは、通常の浸炭焼入れ工程で採用されることの多い条件であり、浸炭期および拡散期のＣＰを何れも高Ｃ濃度（浸炭期：０．８％、拡散期：０．７％）とし、浸炭期を２４０分、拡散期を１８０分に設定したものである。浸炭条件ｃは、浸炭期および拡散期のＣＰを何れも低Ｃ濃度（浸炭期：０．６５％、拡散期：０．５５％）とし、浸炭期を９０分、拡散期を９０分に設定したものである。
【００３５】
図４（Ａ），４（Ｂ）の浸炭条件ａ１～ａ５は、図３の浸炭条件ａをベースとして更に個々の設定を適宜変更したものである。具体的には、浸炭条件ａ１，ａ２は、浸炭条件ａにおける浸炭期および拡散期を共に長くしたものである。浸炭条件ａ３は、表層Ｃ濃度の下限値が０．４０％以上となる範囲内で浸炭条件ａにおける拡散期のＣＰを低くし、かつ拡散期を長くしたものである。浸炭条件ａ４は、表層Ｃ濃度の下限値が０．４０％を下回

るように浸炭条件ａにおける拡散期のＣＰを低くし、かつ拡散期を長くしたものである。浸炭条件ａ５は、表層Ｃ濃度の下限値が０．６０％を上回るように浸炭条件ａにおける拡散期のＣＰを高くし、かつ拡散期を長くしたものである。なお、浸炭条件ａ～ｃ，ａ１～ａ５の何れについても浸炭焼入れ工程での保持温度を９３０℃とし、拡散期後、８５０℃に３０分間保持した後、油冷した。また、その後の浸炭焼戻し工程では１８０℃に１２０分間保持した後、空冷した。このときの表層Ｃ量、有効硬化層深さ（ＥＣＤ）を後述する表３に示す。

【００３６】

【表１】

	化学成分(mass%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	B(固溶B)	Ti	Nb
鋼A	0.20	0.05	0.40	0.007	0.014	0.74	0.73	0.0015	0.032	0.051

【００３７】

さらに、実施例１～７については、ショットピーニング（以下、ＳＰともいう）を施した。なお、比較例１～９については、比較例７～９についてのみＳＰを施した。ＳＰ条件を表２に示す。表２中、Ａ，Ｂは、ＳＰ条件を変えてＳＰを２回行うものであり、Ｃ，Ｄは、ＳＰを１回行うものである。なお、ショット粒径「大」はショット粒の直径が０．８ｍｍ程度のものを示し、「中」は０．１５ｍｍ～０．３ｍｍ程度のものを示し、「小」は０．０５ｍｍ～０．１５ｍｍ程度のものを示す。また、アークハイト「大」は１．０ｍｍ（Ａ）程度の反り量を示し、「小」は０．２ｍｍ（Ａ）程度の反り量を示す。測定方法の詳細はＪＩＳ　Ｂ　２７１１（２００５）参照。

【００３８】

【表２】

SP条件	SP1回目		SP2回目	
	ショット粒径	アークハイト	ショット粒径	アークハイト
A	大	大	中	小
B	大	大	小	小
C	－	－	小	小
D	大	大	－	－

【００３９】

次に、本発明の効果を確認するために行った評価方法および試験について説明する。

【００４０】

（１）表層Ｃ濃度

各試験片の表層Ｃ濃度を、ＪＩＳ　Ｇ　１２５３に基づき、発光分光分析により測定した。ここでは、Ｃ量１％まで測定できるように検量線を作成した（誤差は±０．０１％）。また、各試験片の表層Ｃ濃度分布を、Ｘ線マイクロアナライザー（ＥＰＭＡ）を用いて線分析により測定した。ここでは、表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％のものを良とする。

【００４１】

（２）有効硬化層深さ、表層硬さ

各試験片の有効硬化層深さおよび表層硬さを、ＩＳＯ２６３９（１９８２）に準拠し荷重３００ｇのビッカース硬度計を用いて測定した。ただし、有効硬化層深さの限界硬さを５１３ＨＶとし、表面から０．０５ｍｍの深さ位置における硬さを表層硬さとして測定した。ここでは、有効硬化層深さが０．６～１．２ｍｍのものを良とし、また表層硬さが７

００ＨＶ以上のものを良とする。

【００４２】

（３）圧縮残留応力

実施例１～７、比較例１～９について、電解研磨により表面を研磨し、周知のディフラクトメータ法によるＸ線回折プロファイルに基づいて、ピークの半値幅とピーク中心位置との関係から圧縮残留応力（最大残留応力）を測定した。また、表層からの応力分布を求め、ピーク深さを測定した。ここでは、圧縮残留応力が８００ＭＰａ以上のものを良とする。

【００４３】

（４）曲げ疲労試験

各試験片について、図２（ｂ）に示す試験方法に従って曲げ疲労試験（４点曲げ試験）を行った。そして、例えば図２（ａ）に示した試験片の切欠きに貼付した歪ゲージが破損するまでの負荷繰り返し数（き裂発生寿命）を測定した。ここでは、負荷繰り返し数が１１００回以上のものを良とする。以上のＳＰ条件、圧縮残留応力、表層硬さ、負荷繰り返し数を表３に示す。

【００４４】

【表３】

	浸炭条件	表層C(%)	ECD(mm)	ｼｮｯﾄﾋﾟｰﾆﾝｸﾞ	残留応力分布			表層硬さ		試験寿命		総合判定
					条件	最大残留応力,MPa	ﾋﾟｰｸ深さ,μm	≧700HV	歯面強度判定	≧1100回	歯元強度判定	(表層硬さと試験寿命で判定)
実施例1	SP影響	a3	0.42	0.86	あり	A	-1197	100	704	○	1305	○	○
実施例2	SP影響	a1	0.50	0.92	あり	A	-1104	100	742	○	1291	○	○
実施例3	SP影響	a1	0.58	0.96	あり	A	-1128	100	778	○	1128	○	○
実施例4	SP条件影響	a	0.51	0.79	あり	A	-1153	100	747	○	1652	○	○
実施例5	SP条件影響	a	0.52	0.75	あり	B	-1415	50	752	○	1998	○	○
実施例6	SP条件影響	a	0.53	0.76	あり	C	-1195	10	757	○	1992	○	○
実施例7	SP条件影響	a	0.54	0.66	あり	D	-806	100	762	○	1104	○	○
比較例1	表層C影響	a4	0.35	0.67	なし	-	-242	-	559	×	1004	×	×
比較例2	表層C影響	a3	0.42	0.77	なし	-	-211	-	614	×	1053	×	×
比較例3	表層C影響	a1	0.50	0.80	なし	-	-198	-	662	×	989	×	×
比較例4	表層C影響	a	0.58	0.65	なし	-	-165	-	698	×	887	×	×
比較例5	表層C影響	a5	0.65	0.73	なし	-	-164	-	700	○	585	×	×
比較例6	表層C影響	b	0.72	1.15	なし	A	-1142	100	735	○	483	×	×
比較例7	SP影響	a4	0.35	0.74	あり	A	-1180	100	639	×	1194	○	×
比較例8	ECD影響	c	0.57	0.58	あり	A	-1176	100	774	○	838	×	×
比較例9	ECD影響	a2	0.55	1.35	あり	A	-1145	100	766	○	805	×	×

【００４５】

表３によると、表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％である場合に、ＳＰの有無にかかわらず、き裂発生寿命が長くなっていることがわかる。また、ＳＰを施したものは、ＳＰを施していないものに比して、き裂発生寿命が長くなっている。

【００４６】

実施例１～６では、優れた表層硬さ（７００ＨＶ以上）と、き裂発生寿命（１１００回以上）とが得られている。このことから、圧縮残留応力の最大値が１０００ＭＰａ以上である場合に、き裂発生寿命が長くなることがわかる。なお、実施例７では、圧縮残留応力の最大値が８０６ＭＰａであり、１０００ＭＰａには達していないが、ＳＰ（Ｄ条件）を施すことにより、低サイクル疲労特性としては良好な表層硬さ（７６２ＨＶ）と、き裂発生寿命（１１０４回）とが得られている。

【００４７】

比較例１，７から、表層Ｃ濃度が低い場合には（０．３５％）、ＳＰを施しても十分な表層硬さが得られないことがわかる（５５９ＨＶ，６３９ＨＶ）。比較例５から、表層Ｃ濃度が高い場合には（０．６５％）、十分なき裂発生寿命が得られないことがわかる（５８５回）。比較例２～４から、表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％の範囲内にあっても、ＳＰを施さなければ十分な表層硬さが得られないことがわかる（６１４ＨＶ，６６２ＨＶ，６９８ＨＶ）。比較例８，９から、表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％の範囲内にあり、ＳＰを施した場合であっても、ＥＣＤが０．６～１．２ｍｍの範囲内になければ、十分なき裂発生寿命が得られないことがわかる（８３８回，８０５回）。

【００４８】

ｂ．第２実施例

次に、合金組成の影響を判断するために、表４に示すように合金組成を変え、表層Ｃ濃度が０．４０～０．６０％となるように、何れも図３の浸炭条件ａを採用し、ＳＰ条件（Ａ条件）下でＳＰを施して実施例８～１３、比較例１０～１５を作製した。そして、これらの鋼についても、上記第１実施例と同じ評価方法および試験を行った。以上の結果を表５に示す。

【００４９】

【表４】

	化学成分(mass%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	B(固溶B)	Ti	Nb
実施例8	0.11	0.05	0.40	0.010	0.016	0.75	0.72	0.0012	0.033	0.090
実施例9	0.28	0.06	0.41	0.008	0.018	0.74	0.73	0.0014	0.035	0.046
実施例10	0.19	0.08	0.40	0.005	0.015	0.51	0.86	0.0018	0.037	0.051
実施例11	0.21	0.10	0.40	0.011	0.016	0.78	0.73	0.0015	0.040	0.070
実施例12	0.20	0.03	0.39	0.008	0.013	0.97	0.73	0.0015	0.028	0.050
実施例13	0.20	0.05	0.40	0.013	0.016	0.85	0.51	0.0011	0.036	0.034
比較例10	0.09	0.12	0.40	0.012	0.015	0.74	0.58	0.0019	0.028	0.045
比較例11	0.31	0.07	0.42	0.010	0.016	0.73	0.62	0.0017	0.030	0.062
比較例12	0.21	0.09	0.40	0.008	0.017	0.45	0.55	0.0015	0.045	0.058
比較例13	0.20	0.05	0.40	0.009	0.016	1.02	0.55	0.0014	0.033	0.051
比較例14	0.20	0.06	0.40	0.008	0.016	0.70	0.48	0.0015	0.041	0.048
比較例15	0.21	0.07	0.41	0.010	0.014	0.74	0.73	0.0002	-	-

【００５０】

【表５】

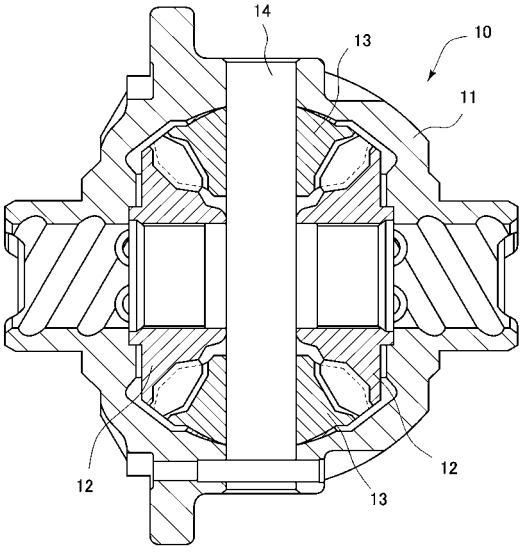
		浸炭条件	表層C(%)	ECD(mm)	ｼｮｯﾄﾋﾟｰﾆﾝｸﾞ	残留応力分布		表層硬さ		試験寿命		総合判定
						最大残留応力,MPa	ﾋﾟｰｸ深さ,μm	≧700HV	歯面強度判定	≧1100回	歯元強度判定	(表層硬さと試験寿命で判定)
実施例8	合金成分影響	a	0.57	0.60	あり	-1138	100	774	○	1156	○	○
実施例9	合金成分影響	a	0.53	1.09	あり	-1167	100	767	○	1247	○	○
実施例10	合金成分影響	a	0.52	0.72	あり	-1158	100	713	○	1264	○	○
実施例11	合金成分影響	a	0.58	0.85	あり	-1138	100	802	○	1128	○	○
実施例12	合金成分影響	a	0.52	0.81	あり	-1109	100	808	○	1264	○	○
実施例13	合金成分影響	a	0.58	0.75	あり	-1196	100	706	○	1128	○	○
比較例10	合金成分影響	a	0.53	0.55	あり	-1120	100	720	○	963	×	×
比較例11	合金成分影響	a	0.55	1.30	あり	-1130	100	728	○	973	×	×
比較例12	合金成分影響	a	0.56	0.31	あり	-1134	100	506	×	866	×	×
比較例13	合金成分影響	a	0.58	0.82	あり	-1178	100	786	○	1007	×	×
比較例14	合金成分影響	a	0.53	0.53	あり	-1145	100	583	×	998	×	×
比較例15	合金成分影響	a	0.55	0.55	あり	-1128	100	778	○	904	×	×

【００５１】

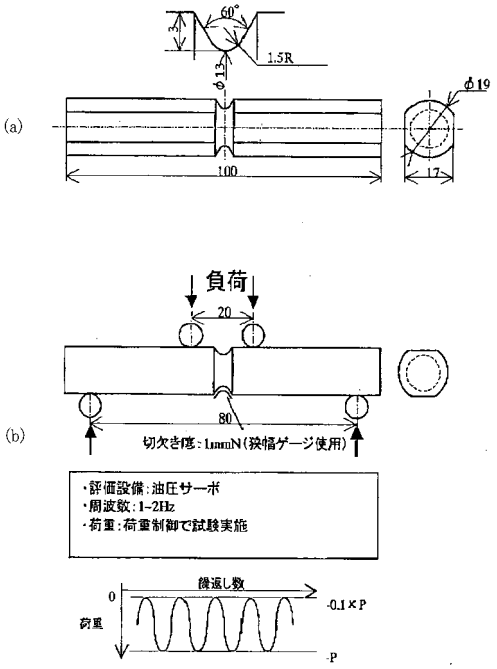
表５によると、実施例８，９のように、Ｃの組成を０．１０～０．３０％の範囲内で変えた場合、実施例１０，１２，１３のように、Ｃｒ，Ｍｏの組成をそれぞれ０．５０～１．００％の範囲内で変えた場合にも、優れた表層硬さ（７００ＨＶ以上）と、き裂発生寿命（１１００回以上）とが得られている。

【００５２】
比較例１０からＣの含有量が低い場合には、ＳＰを施しても十分なＥＣＤが得られないことがわかる（０．５５ｍｍ）。また、心部硬さも十分に得られないことから、十分なき裂発生寿命が得られないことがわかる（９６３回）。比較例１２，１４から、それぞれＣｒ，Ｍｏの含有量が低い場合には、ＳＰを施しても十分な表層硬さが得られないことがわかる（５０６ＨＶ，５８３ＨＶ）。比較例１１，１３から、それぞれＣ，Ｃｒの含有量が高い場合には、十分なき裂発生寿命が得られないことがわかる（９７３回，１００７回）。
【００５３】
以上の結果、本発明では、表層硬さ・き裂発生寿命が共に優れていることが確認された。したがって、本発明をディファレンシャルギヤに適用することによって、その歯面強度と、歯元の低サイクル疲労強度とを共に向上させることが可能である。
【図面の簡単な説明】
【００５４】
【図１】本発明による浸炭部品の一実施形態に係るディファレンシャルギヤを備えたディファレンシャルユニットを示す断面模式図。
【図２】（ａ）は試験片を示す正面図。（ｂ）は曲げ疲労試験（４点曲げ試験）の概要を示す説明図。
【図３】浸炭条件を示す説明図。
【図４】（Ａ），（Ｂ）は図３の浸炭条件ａをベースとして個々の設定を適宜変更した浸炭条件を示す説明図。
【符号の説明】
【００５５】
１２　サイドギヤ（ディファレンシャルギヤ）

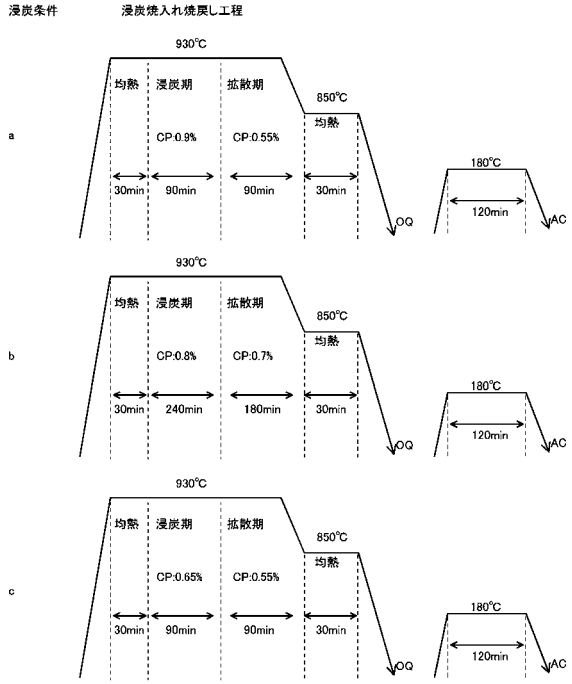
【図１】



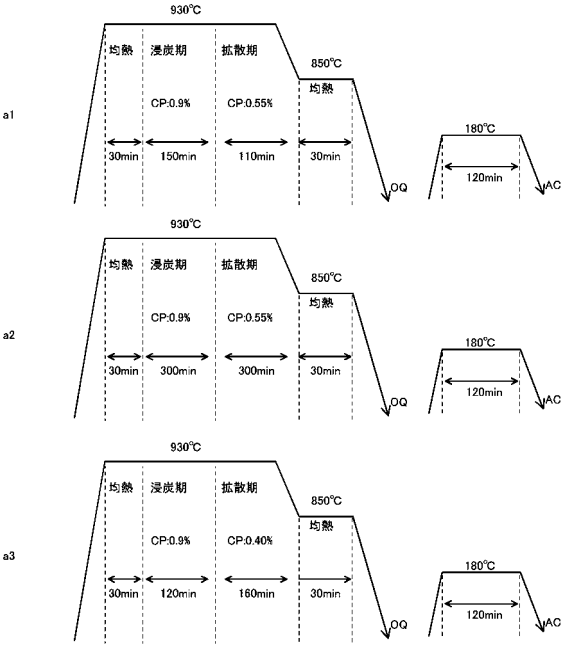
【図２】



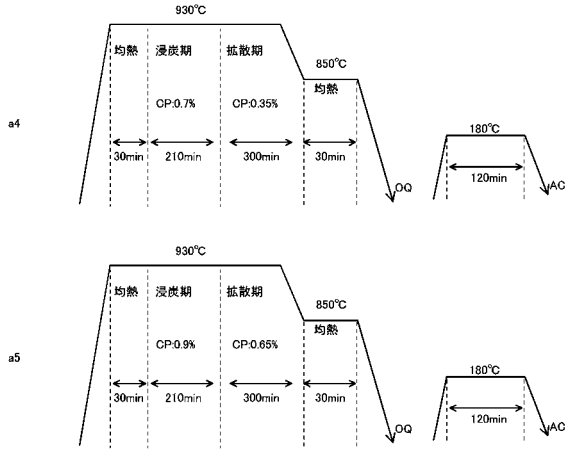
【図３】


浸炭条件
浸炭焼入れ焼戻し工程
a
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.9%
CP:0.55%
30min
90min
90min
30min
OQ
180℃
120min
AC
b
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.8%
CP:0.7%
30min
240min
180min
30min
OQ
180℃
120min
AC
c
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.65%
CP:0.55%
30min
90min
90min
30min
OQ
180℃
120min
AC

【図４（Ａ）】


a1
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.9%
CP:0.55%
30min
150min
110min
30min
OQ
180℃
120min
AC
a2
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.9%
CP:0.55%
30min
300min
300min
30min
OQ
180℃
120min
AC
a3
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.9%
CP:0.40%
30min
120min
160min
30min
OQ
180℃
120min
AC

【図４（Ｂ）】


a4
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.7%
CP:0.35%
30min
210min
300min
30min
OQ
180℃
120min
AC
a5
930℃
均熱
浸炭期
拡散期
850℃
均熱
CP:0.9%
CP:0.65%
30min
210min
300min
30min
OQ
180℃
120min
AC

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		FI		
C23C 8/22	*(2006.01)*	C21D	9/32	Z
		C23C	8/22	

(72)発明者 太田 伊吹樹
埼玉県和光市中央一丁目４番１号 株式会社本田技術研究所内
(72)発明者 松村 康志
愛知県名古屋市南区大同町二丁目３０番地 大同特殊鋼株式会社 研究開発本部内
(72)発明者 宮崎 貴大
愛知県名古屋市南区大同町二丁目３０番地 大同特殊鋼株式会社 研究開発本部内

審査官 本多 仁

(56)参考文献 特開２００６－１５２３３０（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２３１３０５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ２２Ｃ ３８／００－３８／６０
Ｃ２１Ｄ １／０６－１／１０
Ｃ２１Ｄ ７／０６
Ｃ２１Ｄ ９／３２