

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5941439号
(P5941439)

(45) 発行日 平成28年6月29日 (2016. 6. 29)

(24) 登録日 平成28年5月27日 (2016. 5. 27)

(51) Int. Cl.	F I	
C 2 2 C 38/00 (2006. 01)	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Z
C 2 2 C 38/34 (2006. 01)	C 2 2 C 38/34	
C 2 2 C 38/48 (2006. 01)	C 2 2 C 38/48	
C 2 1 D 1/06 (2006. 01)	C 2 1 D 1/06	A
C 2 1 D 9/02 (2006. 01)	C 2 1 D 9/02	A
請求項の数 3 (全 12 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2013-143514 (P2013-143514)
 (22) 出願日 平成25年7月9日 (2013. 7. 9)
 (65) 公開番号 特開2015-17288 (P2015-17288A)
 (43) 公開日 平成27年1月29日 (2015. 1. 29)
 審査請求日 平成27年7月16日 (2015. 7. 16)

(73) 特許権者 000004640
 日本発條株式会社
 神奈川県横浜市金沢区福浦3丁目10番地
 (73) 特許権者 000001199
 株式会社神戸製鋼所
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号
 (73) 特許権者 000192626
 神鋼鋼線工業株式会社
 兵庫県尼崎市中浜町10番地1
 (74) 代理人 100075409
 弁理士 植木 久一
 (74) 代理人 100129757
 弁理士 植木 久彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コイルばね、およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0 . 4 0 ~ 0 . 7 0 % (% は 「 質 量 % 」 の 意 味 、 化 学 成 分 組 成 に つ い て 以 下 同 じ)

S i : 1 . 5 0 ~ 3 . 5 0 % 、

M n : 0 . 3 0 ~ 1 . 5 0 % 、

C r : 0 . 1 0 ~ 0 . 9 0 % 、

V : 0 . 5 0 ~ 1 . 0 0 % 、 お よ び

A l : 0 . 0 1 % 以 下 (0 % を 含 ま な い) を 含 有 し 、

残部が鉄および不可避不純物である鋼からなり、

表層から0.3mm深さ位置における旧オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号が11.0以上であると共に、前記旧オーステナイト結晶の粒度番号差は、最大頻度の粒度番号に比べて3未満の範囲内にあり、且つ、表層から深さ0.50~1.00mmの浸炭硬化層を備えると共に、表層から深さ方向(1/4)×直径の位置におけるビッカース硬さの平均値が600以上であることを特徴とするコイルばね。

【請求項2】

更に、

N i : 1 . 5 0 % 以 下 (0 % を 含 ま な い) 、 お よ び / ま た は

N b : 0 . 5 0 % 以 下 (0 % を 含 ま な い) を 含 む 請 求 項 1 に 記 載 の コ イ ル ば ね 。

【請求項3】

請求項 1 または 2 に記載のコイルばねの製造方法であって、真空浸炭処理を 1 0 0 0 以上でおこなうことを特徴とするコイルばねの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はコイルばね、およびその製造方法に関し、詳細には耐疲労性に優れたコイルばね、およびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

コイルばねは、自動車のエンジン、クラッチ、サスペンションなどで弁ばね、クラッチばね、懸架ばねなどとして使用されている。コイルばねは、長期間に亘り高応力で繰り返し使用されるため、高レベルの耐疲労性が要求されている。

10

【0003】

例えばエンジンにおける弁ばね用の線材として、JISには、弁ばね用オイルテンパー線(SWO-V:JIS G 3561)、弁ばね用クロムバナジウム鋼オイルテンパー線(SWOCV-V:JIS G 3565)、および弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線(SWOSC-V:JIS G 3566)等が規定されており、従来、疲労強度に優れたSWOSC-Vが主に使用されてきた。

【0004】

これらの線材は、圧延材を伸線後に焼入れ・焼戻し処理を行い、所要の強度とされたものであり、これを用いて、所要の形状のばねにコイルングした後、窒化、ショットピーニング、テンパー、セッチングなどの処理をおこなうことにより、耐疲労性に優れたばねを得るのが弁ばねの一般的な製造方法である。

20

【0005】

環境保護や資源保護の観点から、自動車に対する排気の清浄化、燃費向上への要求が高いが、これらに対して大きく寄与するのが車両の軽量化であり、車体を構成する各部品についても軽量化に向けた努力が絶えず続けられている。

【0006】

弁ばねについては、その耐疲労性を更に高めることで弁ばねのコンパクト化が可能であり、更にはエンジンの軽量化に寄与することが可能である。そのため、弁ばねの耐疲労性を改善するための提案がなされている。

30

【0007】

例えば特許文献1には、所定の成分組成を有し、表面に浸炭硬化層(0.05~1.00mm)を備えていると共に、表面から0.02mmの位置における硬さを所定の範囲(650~1000Hv)とすることによって、耐疲労性を向上させる技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2012-77367号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記特許文献1の耐疲労性は5000万回レベルであるが、近年の自動車は更なる軽量化や高出力化が進行しており、それに伴って、更に優れた耐疲労性を有するコイルばねが要求されている。

【0010】

本発明は上記のような事情に着目してなされたものであって、その目的は、耐疲労性に優れたコイルばね、およびこのような耐疲労性に優れたコイルばねの製造方法を提供することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決し得た本発明とは、C：0.40～0.70%（%は「質量%」の意味、化学成分組成について以下同じ）、Si：1.50～3.50%、Mn：0.30～1.50%、Cr：0.10～1.50%、V：0.50～1.00%、Al：0.01%以下（0%を含まない）を含有し、残部が鉄および不可避不純物である鋼からなり、表層から0.3mm深さ位置における旧オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号が11.0以上であると共に、前記旧オーステナイト結晶の粒度番号差は、最大頻度の粒度番号に比べて3未満の範囲内にあり、且つ、表層から深さ0.30～1.00mmの浸炭硬化層を備えると共に、表層から深さ方向（1/4）×直径の位置におけるピッカース硬さの平均値が600以上であることに要旨を有する。

10

【0012】

更に上記コイルばねの化学成分組成として、Ni：1.50%以下（0%を含まない）および/またはNb：0.50%以下（0%を含まない）を含むことも好ましい実施態様である。

【0013】

上記のような耐疲労性に優れたコイルばねを製造するにあたっては、真空浸炭処理を1000以上とすることが推奨される。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、化学成分組成、および旧オーステナイト結晶粒度を適切に制御すると共に、コイルばね表層からの浸炭硬化層の深さ、およびピッカース硬さを適切に制御することで、耐疲労性に優れたコイルばねを提供できる。また本発明の方法によれば、上記耐疲労性に優れたコイルばねを提供できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、コイルばねの浸炭硬化層測定位置、および1/4×直径位置のピッカース硬さ測定位置の概略説明図である。

【図2】図2は、コイルばねの旧オーステナイト結晶粒度の測定位置の概略説明図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0016】

本発明者らは、従来よりも更に耐疲労性を向上させ、後記する実施例における破断寿命試験で6,000万回を超える結果を奏する優れた耐疲労性を有するコイルばねを提供すべく、様々な角度から検討した。特許文献1では、C添加量を高めると共に、金属組織を制御しているが、それだけでは6,000万回レベルの破断寿命が得られなかった（特許文献1の実施例4、および該実施例を模擬した表2のNo.8）。

【0017】

そこで本発明者らは、より優れた耐疲労性を達成すべく、化学成分組成、および金属組成等について検討した結果、コイルばねの韌性と強度が、コイルばね使用中の疲労折損に影響を及ぼしており、これらを適切に制御することで、耐疲労性を大幅に向上できるとの知見を得た。

40

【0018】

まず、コイルばねの強度を高めるためには、コイルばねを形成している鋼の表層（以下、単に「表層」という）からある程度の浸炭硬化層の深さと、鋼内部（1/4×コイルばねを形成している鋼線の直径D、以下「1/4×D」と表記することがある。）のピッカース硬さを十分に確保する必要がある。浸炭硬化層の深さやピッカース硬度を十分に確保するためには浸炭処理時の温度を高くする必要があるが、高温で浸炭処理しただけでは、破断寿命を向上させることができなかつた。その理由は、高温で浸炭処理をすると、旧オーステナイトの結晶粒が粗大化したり、該旧オーステナイトの結晶粒度のバラツキ（粒度

50

番号差があること：以下「混粒」ということがある)が生じてコイルばねの靱性が著しく低下し、かえって破断寿命が悪化するからである。

【0019】

このような問題について、本発明者らが鋭意研究を重ねた結果、鋼の化学成分組成を適切に制御することで、上記問題を解決できることがわかった。特に化学成分組成のうち、V量を高めることで、高温で浸炭処理しても旧オーステナイトの結晶粒度の粗大化を抑制し、更に混粒も抑制できることがわかった。

【0020】

そして本発明では以下の化学成分組成を満足することを前提として、更に浸炭層深さ、ビッカース硬度、旧オーステナイト結晶粒度も適切に制御することで、耐疲労性向上に必要な強度と靱性のバランスを保つことが可能となり、上記優れた耐疲労性を有するコイルばねを提供できることを見出し、本発明に至った。

【0021】

以下、本発明のコイルばねの化学成分組成について説明する。

【0022】

C : 0.40 ~ 0.70 %

Cは、高い応力が負荷されるコイルばねの強度、およびコイルばねの1/4×D位置のビッカース硬度を確保するために有用な元素である。こうした効果を発揮させるためには、C含有量は0.40%以上、好ましくは0.45%以上、より好ましくは0.50%以上である。しかしながらC含有量が過剰になると、靱性が低下すると共に、コイルばねの表面疵が増大して耐疲労性が低下する。そのためC含有量は、0.70%以下、好ましくは0.65%以下、より好ましくは0.60%以下である。

【0023】

Si : 1.50 ~ 3.50 %

Siは、Cと同様、ビッカース硬度の確保に有用な元素であり、またコイルばねの強度を向上させ、耐疲労性、耐へたり性を向上させるのに有効な元素である。こうした効果を発揮させるためには、Si含有量は1.50%以上、好ましくは1.80%以上、より好ましくは2.10%以上である。しかしながらSi含有量が過剰になると、靱性が悪くなり、コイルばねの製造過程における冷間加工性や熱間加工性が低下して製品歩留まりが悪化したり、熱処理による脱炭が助長されて耐疲労性が低下する。そのためSi含有量は、3.50%以下、好ましくは3.30%以下、より好ましくは3.10%以下である。

【0024】

Mn : 0.30 ~ 1.50 %

Mnは、焼入れ性を高めてコイルばねの強度を向上させるのに有効な元素である。また耐疲労性に有害な鋼中のSをMnSとして固定してその害を低減する作用を有する。こうした効果を発揮させるためには、Mn含有量は0.30%以上、好ましくは0.40%以上、より好ましくは0.50%以上である。しかしながらMn含有量が過剰になると、靱性が悪くなるばかりでなく、冷間加工性や疲労強度が低下する。そのため、Mn含有量は1.50%以下、好ましくは1.20%以下、より好ましくは0.90%以下である。

【0025】

Cr : 0.10 ~ 1.50 %

Crは、Mnと同様に焼入れ性を高めてコイルばねの強度を向上させるのに有効な元素である。またCrは、Cの活量を低下させて熱間圧延時や熱処理時の脱炭を防止する効果も有する。こうした効果を発揮させるためには、Cr含有量は0.10%以上、好ましくは0.15%以上、より好ましくは0.20%以上である。しかしながらCr含有量が過剰になると、真空浸炭処理でのC拡散係数が著しく低下するため、所望の浸炭硬化層の形成が困難となり、耐疲労性が低下する。また所望の浸炭硬化層を確保するために浸炭温度を高くすると、旧オーステナイト結晶が粗大化すると共に、混粒が生じて、耐疲労性が悪化する。そのため、Cr含有量は、1.50%以下、好ましくは1.20%以下、より好ましくは0.90%以下である。

10

20

30

40

50

【0026】

V : 0.50 ~ 1.00 %

Vは、旧オーステナイト結晶粒を微細化させるのに有効な元素である。特にVは所望の浸炭硬化層を確保するために浸炭温度を高くした際に問題となる旧オーステナイト結晶の粗大化や混粒の発生を抑制するのに有効な元素である。こうした効果を発揮させるためには、V含有量は0.50%以上、好ましくは0.53%以上、より好ましくは0.56%以上である。しかしながらV含有量が過剰になると、V炭化物を多く形成し、延性の低下をもたらす、冷間加工性や耐疲労性が悪化する。そのため、V含有量は、1.00%以下、好ましくは0.90%以下、より好ましくは0.80%以下である。

【0027】

Al : 0.01%以下(0%を含まない)

Alは、脱酸元素であるが、過剰に含まれるとAlNなどの介在物を形成する。これらの介在物は、コイルばねの耐疲労性を著しく低減させる。そのため、Al含有量は、0.01%以下、好ましくは0.008%以下、より好ましくは0.006%以下まで低減させる必要がある。

【0028】

本発明のコイルばねを構成する鋼の基本的な化学成分組成は上記の通りであり、残部成分は実質的に鉄である。ここで「実質的に」とは、スクラップを含めた鋼原料や製鉄・製鋼工程、更には製鋼予備処理工程などで不可避免的に混入してくる微量元素の混入を、本発明の特徴を損なわない範囲で許容するという意味である。例えば不可避不純物としてP(0.015%以下)やS(0.015%以下)が例示される。

【0029】

本発明では、更に他の元素として、必要に応じて下記の範囲でNiおよびNbの両方、あるいは一方を含んでいてもよい。含有させる元素の種類に応じて、コイルばねの特性が更に向上する。

【0030】

Ni : 1.50%以下(0%を含まない)

Niは、Cによって高強度化したコイルばねの靱性を向上させるのに有効な元素である。こうした効果を発揮させるためには、Ni含有量は、好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.10%以上である。しかしながらNi含有量が過剰になると、残留オーステナイトが過度に生成し、耐疲労性が低下する。そのため、Ni含有量は、好ましくは1.50%以下、より好ましくは1.20%以下、更に好ましくは0.90%以下である。

【0031】

Nb : 0.50%以下(0%を含まない)

Nbは、熱間圧延、および焼入れ焼戻し処理において結晶粒を微細化する作用があり、延性を向上させるのに有効な元素である。こうした効果を発揮させるためには、Nb含有量は、好ましくは0.01%以上、より好ましくは0.02%以上である。しかしながらNb含有量が過剰になると、V炭化物が過剰に生成して延性を悪化させ、冷間加工性や疲労強度が低下する。そのため、Nb含有量は、好ましくは0.50%以下、より好ましくは0.40%以下、更に好ましくは0.30%以下である。

【0032】

耐疲労性を向上させるには、化学成分組成を上記のように適切に制御するだけでなく、更に金属組織(旧オーステナイト結晶の制御)や浸炭硬化層、ビッカース硬さを適切に制御することも重要である。

【0033】

旧オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号 : 11.0以上

コイルばねの表層から0.3mm深さ位置における旧オーステナイト結晶の結晶粒度番号を微細化し、靱性を向上させることで、耐疲労性を大幅に向上できる。こうした効果を発揮させるためには、旧オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号は11.0以上、好ましくは12.0以上、より好ましくは13.0以上である。一方、靱性向上の観点からは旧

10

20

30

40

50

オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号の上限は特に限定されないが、製造容易性や合金コストを考慮すると、概ね15.0以下が好ましく、より好ましくは14.0以下である。

【0034】

旧オーステナイト結晶の粒度番号差：最大頻度の粒度番号に比べて3未満の範囲内

上記表層から0.3mm深さ位置において測定した旧オーステナイト結晶の結晶粒度番号のばらつきが大きいと、上記平均粒度番号を満足していても靱性が著しく低下し、冷間加工性や耐疲労性が悪化する。したがって本発明では、測定した各旧オーステナイト結晶の結晶粒度番号は、更に最大頻度の粒度番号との差を3未満、好ましくは2以下、より好ましくは1以下とする必要がある。なお、本発明ではこのような粒度番号差の条件を満たす場合を「混粒がない」という。

10

【0035】

本発明では上記オーステナイト結晶粒の平均結晶粒度番号を満足し、更に混粒を抑制することで、耐疲労性を改善できる。

【0036】

浸炭硬化層：コイルばねの表層から深さ0.30～1.00mm

適切な浸炭硬化層は耐疲労性の向上に有効である。すなわち、コイルばねの表面側を十分に硬化することによって、高負荷応力で繰り返し使用する場合に、ばね表面を起点とする折損の発生を抑制できる。このような効果を発揮するには、少なくともコイルばねの表層から深さ0.30mm以上、好ましくは0.40mm以上、より好ましくは0.50mm以上の浸炭硬化層が形成されている必要がある。しかしながら浸炭硬化層が過剰になると、炭化物が粗大に析出するため、かえって耐疲労性が悪化する。そのため浸炭硬化層は、コイルばねの表層から深さ1.00mm以下、好ましくは0.90mm以下、より好ましくは0.80mm以下とする必要がある。

20

【0037】

表層から深さ方向(1/4)×直径Dの位置におけるビッカース硬さの平均値：600以上

コイルばねの鋼内部の適切なビッカース硬さ(Hv)は耐疲労性の向上に有効である。すなわち、コイルばねの内部硬さが低いと、高負荷応力で繰り返し使用する場合に、ばねに加わる応力が弾性限度以内でも、コイルばねに塑性変形が生じ、必要とされるばね応力を発揮できなくなり、耐疲労性が低下する。そのため、耐疲労性向上の観点からは少なくともコイルばねの表層から深さ方向(1/4)×D位置におけるビッカース硬さの平均値は、600以上、好ましくは670以上、更に好ましくは690以上である。ビッカース硬さの平均値の上限は特に限定されないが、硬くなりすぎると靱性が低下してかえって耐疲労性が低下することがあるため、上記ビッカース硬さの平均値は好ましくは750以下、より好ましくは730以下である。

30

【0038】

上記のような耐疲労性に優れたコイルばねを製造するにあたっては、その製造条件も適切に制御することが望ましい。特に上記所定の浸炭硬化層の深さ、およびビッカース硬さ(平均値)を確保するためには、真空浸炭処理時の温度を制御することが有効である。以下、本発明のコイルばねを製造する際の好ましい条件について説明する。

40

【0039】

本発明のコイルばねは、上記所定の化学成分組成を満足する鋼を溶製、熱間鍛造、熱間圧延して所望の線径の線材とし、皮削り、パテンティング、伸線、オイルテンパーの後、ばねに成形し、これに真空浸炭処理を施すことによって製造できる。この後、疲労特性を更に向上させるために、必要に応じてショットピーニングやセッチングなどを施してもよい。

【0040】

上記溶製、熱間鍛造、熱間圧延条件は特に限定されず、一般的な製造条件を採用すればよい。例えば上記所定の化学成分組成を満足する鋼塊を溶鋳炉で溶製した後、この鋳塊を

50

分塊圧延して所定サイズのピレットを作製し、加工性に影響する変形抵抗の抑制と旧オーステナイト結晶粒の粗大化抑制の観点から例えば900 ~ 1100 程度に加熱した後、所望の圧下率で熱間圧延し、所望の線形の線材とすればよい。その後、線材表面の脱炭層を所望の厚さで皮削り処理して除去すると共に、皮削り処理によって生じる加工硬化層の除去と、伸線性に優れた組織（例えばパーライト）を得るために、パテンティング処理やIH（高周波加熱）設備での軟化焼鈍処理等をおこなう。

【0041】

その後、伸線加工して所望の線径とした後、オイルテンパー処理を施せばね用素線とする。次いで所望のコイル径、自由高さ、巻数でばねに成形する。このように浸炭処理前にばね形状に成形する理由は、浸炭硬化層を形成するための浸炭焼入れ・焼戻し後は、鋼表面部（浸炭硬化層）が硬く、延性が低くなり、コイルばねに形成することが難しいためである。

10

【0042】

ばね形状に成形した後、真空浸炭処理を施すが、本発明では上記所定の浸炭硬化層深さ、およびビッカース硬さを得るためには1000 以上の高温浸炭温度で真空浸炭処理をする必要がある。浸炭温度が1000 よりも低いと、所望の浸炭硬化層やビッカース硬さが得られず、耐疲労性が低下する。好ましい浸炭温度は1020 以上、より好ましくは1040 以上である。しかしながら浸炭温度が高すぎると、炭化物が粗大に析出したり、硬くなりすぎて靱性が低下し、耐疲労性が低下することがある。そのため、浸炭温度は好ましくは1100 以下、より好ましくは1080 以下である。

20

【0043】

次に浸炭処理を施す。浸炭処理時に脱炭が多く、また処理温度のばらつきが大きくなると、コイルばねの疲労強度が低下する。そのため本発明では脱炭や温度ばらつきを抑制する観点から、真空浸炭処理をおこなう。また真空浸炭処理を1000 以上の温度でおこなうことで、均一な浸炭硬化層を上記所望の厚さで形成できる。浸炭時間、および拡散時間は特に限定されず、上記所望の浸炭硬化層が形成される程度でよく、例えば浸炭時間1分~10分、拡散時間1分~10分でありよい。

【0044】

上記浸炭処理後、 A_1 変態点以下の温度までガス冷却、若しくは油焼入れをする。その後、再加熱処理（例えば830 ~ 850 で10~30分）を施すことも望ましく、これによって旧オーステナイト結晶粒の更なる微細化を達成できる。

30

【0045】

得られたコイルばねは、更に耐疲労性の向上を目的として、必要に応じて一般的なショットピーニングやセッチングを施してもよい。

【0046】

本発明のコイルばねを製造するにあたり、上記以外の条件については特に限定されず、一般的な製造条件を採用すればよい。

【0047】

このようにして得られたコイルばねは上記したようにエンジン用弁ばねやトランスミッション用ばねなどの各種用途において、耐疲労性に優れたコイルばねとして利用できる。

40

【実施例】

【0048】

以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明するが、本発明はもとより下記実施例によって制限を受けるものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

【0049】

下記表1に示す化学組成の鋼A~H（残部は、鉄および不可避不純物）となるように鋼材を真空溶解炉にて溶製し熱間鍛造して155mm角のピレットを作製した。このピレットを1000 に加熱し、熱間圧延して直径8.0mmのばね用線材を作製した。このば

50

ね用線材を軟化焼鈍（660 で2時間保持）してから、該ばね用線材の表層部0.15 mmを皮削りして脱炭層を除去した。その後、該ばね用線材を中性ガス雰囲気中で温度900 以上に加熱して一旦オーステナイト化した。次いで、該ばね用線材に鉛パテンティング処理（加熱温度980 、鉛炉温度：620 ）を実施し、組織をパーライト変態させた。その後、該ばね用線材を線径4.1 mmまで冷間伸線加工し、各線材成分に適した条件でオイルテンパー処理（加熱温度：900 ~ 1000 、焼入油温度：60 、焼戻し温度：400 ~ 500 ）を行い、ばね用素線を作製した。このばね用素線を用いて冷間ばね成形（コイルの平均径24.60 mm、自由高さ46.55 mm、有効巻数5.75）してばねを得た。

【0050】

10

次に、得らればねを下記表2に記載の「浸炭温度」に加熱し、真空浸炭処理（浸炭時間5分、拡散時間3分）を施した。その後、該ばねを950 で15分間保持した後、50 に保持した油中に浸漬して焼入れし、その後、焼戻し（350 、90分間）を施した。得られたばねに3段ショットピーニングを行い（1段目から徐々に投射する粒径を小さくした）、続いてホットセッチング（230 、 $m_{ax} = 1600 MPa$ 相当）を行った。得られたコイルばね（試験材No.1~13）について以下の測定、および試験を行った。

【0051】

（浸炭硬化層の深さ）

浸炭硬化層の深さは、コイルばねの炭素濃度を測定することにより特定した。具体的には図1に示すようにコイルばねを形成する鋼線の横断面の中心点から90度間隔でラインを4本引き、各ライン上の炭素（C）%濃度が添加した炭素（C）%と同等となる深さを測定した。測定値を表中の「浸炭硬化層の深さ」欄に記入した。本発明では浸炭硬化層の深さが0.30 mm~1.00 mmの範囲内にある場合を合格とした。

20

【0052】

（1/4 x D位置のビッカース硬さ）

コイルばねの硬さ（Hv）はビッカース硬度計を用いて測定した。具体的には図1に示すようにコイルばねを形成する鋼線の横断面の1/4 x 直径Dの位置（d/4）を90度間隔で引いた4本のライン上で測定し（試験荷重10 kgf）、その平均値を求めた。平均値を表中の「ビッカース硬さ」欄に記載した。本発明ではビッカース硬さが600以上

30

【0053】

（旧オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号）

コイルばねの旧オーステナイト結晶の結晶粒度の測定方法は以下の通りである。具体的にはまず、図2に示すようにコイルばねの横断面の中心点から45度間隔で8等分した区画を決める。そして夫々の区画内においてコイルばねを形成する鋼線の表層から中心部に向かって0.3 mm深さ位置における旧オーステナイト結晶の結晶粒度をJIS G 0551に基づいて光学顕微鏡（倍率400倍）で観察（1視野当たりのサイズ：250 μm x 200 μm ）を行い、測定した。平均測定値を表中の「旧結晶の平均結晶粒度番号」欄に記載した。本発明では、旧オーステナイト結晶の平均結晶粒度番号が11.0以上

40

【0054】

（旧オーステナイト結晶の粒度番号差）

コイルばねの旧オーステナイト結晶の粒度番号差の判断方法は以下の通りである。上記測定した各旧オーステナイト結晶の結晶粒度番号について、最大頻度の粒度番号との差が3以上異なった結晶粒が存在する場合を混粒ありと判断した。表中の「混粒」欄に、混粒が存在する場合は「あり」と記載し、混粒が存在しなかった場合は「なし」と記載した。

【0055】

（耐疲労性：疲労試験）

得られた各試験材に最大せん断応力（ m_{ax} ）588 ± 441 MPaのせん断応力を

50

負荷し、6,000万回までの疲労試験を行った。試験材にせん断応力を6,000万回まで負荷できた場合(すなわち折損しなかった場合)は、「A」判定(耐疲労性に優れる)とし、表中に「>6000」と記載した。また試験材にせん断応力を6,000万回負荷できなかつた場合(すなわち、途中で折損した場合は、「F」判定(耐疲労性に劣る)とし、表中に破断が生じた回数を記載した。

【0056】

【表1】

鋼種	化学成分組成(質量%)									
	C	Si	Mn	Cr	V	Al	Ni	Nb	P	S
A	0.47	2.96	0.53	0.62	0.56	0.003	0.00	0.00	0.010	0.006
B	0.55	3.03	0.52	0.60	0.73	0.003	0.00	0.00	0.012	0.008
C	0.55	3.04	0.52	0.21	0.72	0.006	0.00	0.00	0.008	0.010
D	0.46	2.21	0.71	0.30	0.66	0.002	0.02	0.00	0.016	0.009
E	0.60	1.98	0.55	0.62	0.75	0.003	0.00	0.02	0.011	0.008
F	0.60	2.10	0.50	1.76	0.26	0.004	0.20	0.00	0.013	0.006
G	0.59	2.10	0.51	1.30	0.44	0.003	0.20	0.00	0.011	0.007
H	0.37	1.20	0.35	0.70	0.63	0.004	0.00	0.00	0.009	0.009

10

20

【0057】

【 表 2 】

No.	鋼種	浸炭温度 [°C]	浸炭硬化層の 深さ [mm]	ビッカース硬さ Hv	旧γ結晶の平均結晶 粒度番号	混粒	破断寿命 [×10 ⁴ 回]	破断寿命判定
1	A	1050	0.80	679	11.1	なし	>6000	A
2	B	1050	0.65	718	13.6	なし	>6000	A
3	C	1050	0.70	690	13.1	なし	>6000	A
4	D	1050	0.65	688	13.6	なし	>6000	A
5	E	1050	0.75	691	13.6	なし	>6000	A
6	E	1030	0.70	685	13.6	なし	>6000	A
7	E	1070	0.80	693	13.1	なし	>6000	A
8	F	850	0.27	681	13.0	なし	5000	F
9	F	1050	0.41	705	10.1	あり	2000	F
10	G	1050	0.50	705	11.6	あり	1000	F
11	H	950	0.43	568	12.1	なし	2000	F
12	A	900	0.25	680	12.6	なし	1500	F
13	B	900	0.27	708	13.6	なし	2000	F

10

20

30

40

【 0 0 5 8 】

これらの結果から次のように考察することができる。No. 1～7は、本発明で規定する要件（化学成分組成、結晶粒度、浸炭硬化層の深さ、ビッカース硬さ）を満足する例である。No. 1～7のコイルばねは、いずれも高負荷応力下での破断寿命が長く（A判定

50

)、耐疲労性に優れていることがわかる。

【0059】

これに対し、No. 8 ~ 13は、本発明で規定する化学成分組成や、好ましい製造条件を満足しなかったため、所定の結晶粒度、浸炭硬化層の深さ、ピッカース硬度などを確保できず、耐疲労性に劣る結果（F判定）となった例である。

【0060】

No. 8、9は同じ鋼種を用いた例であり、これらは、特許文献1の実施例No. 4（特許文献1の鋼種A、浸炭条件L）を模擬した例である。No. 8、9は、V添加量が少なく、またCr添加量が多い例であり、Cの拡散係数が著しく低下したため浸炭硬化層が浅かった。特にNo. 8は、浸炭温度も低かったため、十分な浸炭硬化層の深さを確保できず、耐疲労性が悪かった。またNo. 9は、本発明の推奨する浸炭温度で処理したが、V添加量が少なかったため、旧オーステナイト結晶の微細化効果が十分に得られず、混粒も生じて耐疲労性が劣った。

10

【0061】

No. 10は、V添加量が少ないため、所定の浸炭温度で処理すると混粒が生じ、耐疲労性が劣った。

【0062】

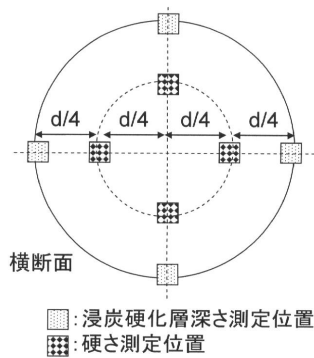
No. 11は、C、Siの添加量が少なく、また浸炭処理温度が低い例である。この例では所定のピッカース硬さが得られず、耐疲労性が劣った。

【0063】

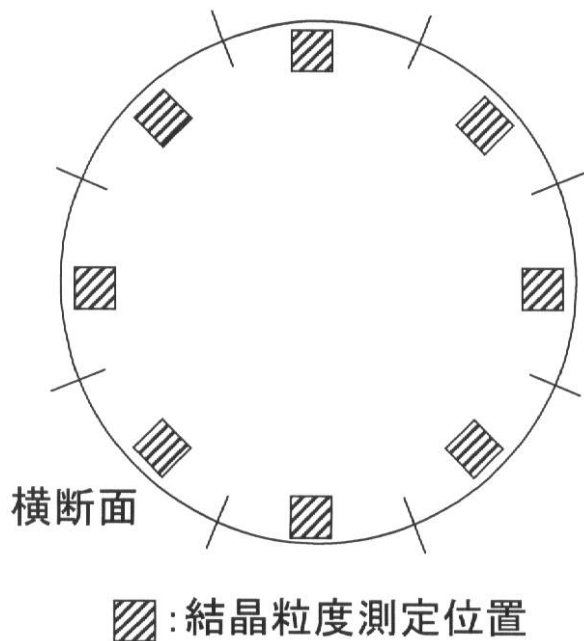
No. 12、13は、浸炭温度が低かったため、所定の浸炭硬化層深さが得られず、耐疲労性が劣った。

20

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 F 1 6 F 1/06 (2006.01) F 1 6 F 1/06 A

- (74)代理人 100115082
 弁理士 菅河 忠志
- (74)代理人 100125243
 弁理士 伊藤 浩彰
- (74)代理人 100125173
 弁理士 竹岡 明美
- (72)発明者 山本 文男
 長野県上伊那郡宮田村 3 1 3 1 番地 日本発條株式会社内
- (72)発明者 鶴貝 健吾
 長野県上伊那郡宮田村 3 1 3 1 番地 日本発條株式会社内
- (72)発明者 吉原 直
 兵庫県神戸市灘区灘浜東町 2 番地 株式会社神戸製鋼所 神戸製鉄所内
- (72)発明者 増本 慶
 兵庫県神戸市灘区灘浜東町 2 番地 株式会社神戸製鋼所 神戸製鉄所内
- (72)発明者 大浦 宏之
 兵庫県神戸市灘区灘浜東町 2 番地 株式会社神戸製鋼所 神戸製鉄所内
- (72)発明者 神保 鉄男
 兵庫県尼崎市中浜町 1 0 番地 1 神鋼鋼線工業株式会社内
- (72)発明者 前畑 俊男
 兵庫県尼崎市中浜町 1 0 番地 1 神鋼鋼線工業株式会社内
- (72)発明者 山本 賢治
 兵庫県尼崎市中浜町 1 0 番地 1 神鋼鋼線工業株式会社内

審査官 鈴木 葉子

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
 C 2 1 D 1 / 0 2 - 1 / 8 4
 C 2 1 D 9 / 0 0 - 9 / 4 4 , 9 / 5 0
 F 1 6 F 1 / 0 6