

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5200552号
(P5200552)

(45) 発行日 平成25年6月5日(2013.6.5)

(24) 登録日 平成25年2月22日(2013.2.22)

(51) Int.Cl.

F 1

C 2 2 C 38/00 (2006.01)
 C 2 2 C 38/24 (2006.01)
 C 2 2 C 38/28 (2006.01)
 C 2 1 D 1/06 (2006.01)
 C 2 1 D 9/30 (2006.01)

C 2 2 C 38/00 3 O 1 N
 C 2 2 C 38/24
 C 2 2 C 38/28
 C 2 1 D 1/06 A
 C 2 1 D 9/30 A

請求項の数 4 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-9966 (P2008-9966)
 (22) 出願日 平成20年1月21日(2008.1.21)
 (65) 公開番号 特開2009-167505 (P2009-167505A)
 (43) 公開日 平成21年7月30日(2009.7.30)
 審査請求日 平成22年2月23日(2010.2.23)

(73) 特許権者 000006655
 新日鐵住金株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74) 代理人 100093469
 弁理士 杉岡 幹二
 (74) 代理人 100083585
 弁理士 穂上 照忠
 (74) 代理人 100134980
 弁理士 千原 清誠
 (72) 発明者 吉野 健
 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
 住友金属工業株式会
 社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 調質型軟室化クランク軸用粗形品および調質型軟室化クランク軸

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、C：0.30～0.55%、Si：0.05～0.30%、Mn：0.20%以上0.80%未満、P：0.005～0.05%、S：0.005～0.10%、V：0.01%を超えて0.30%以下およびN：0.005～0.030%を含有し、残部はFeおよび不純物からなり、不純物中のCrおよびAlがそれぞれ、Cr：0.10%未満およびAl：0.05%以下の化学組成を有し、表面からの深さが2mm以上である部位のマイクロ組織が、パーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織であることを特徴とする調質型軟室化クランク軸用粗形品。

【請求項2】

化学組成が、Feの一部に代えて、質量%で、Mo：0.15%以下およびTi：0.030%以下のうちの1種または2種を含有することを特徴とする請求項1に記載の調質型軟室化クランク軸用粗形品。

【請求項3】

化学組成が、Feの一部に代えて、質量%で、Ca：0.020%以下を含有することを特徴とする請求項1または2に記載の調質型軟室化クランク軸用粗形品。

【請求項4】

請求項1から3までのいずれかに記載の調質型軟室化クランク軸用粗形品を素材とする調質型軟室化クランク軸であって、前記粗形品を表面からの深さで少なくとも2mm以上切削加工してから軟室化処理されたことを特徴とする調質型軟室化クランク軸。

10

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、調質型軟窒化クランク軸用粗形品および調質型軟窒化クランク軸に関する。より詳しくは、自動車、産業機械および建設機械などのクランク軸として用いるのに好適な疲労強度と曲げ矯正性に優れる調質型軟窒化クランク軸およびそのクランク軸の素材として用いるのに好適な調質型軟窒化クランク軸用粗形品に関する。

【0002】

なお、「調質型軟窒化クランク軸」とは、いわゆる「調質処理」である「焼入れ - 焼戻し処理」を行った後で、軟窒化処理が施されたクランク軸を指す。なお、以下の説明においては、上記の「軟窒化処理が施されたクランク軸」を単に「軟窒化クランク軸」と称する。

10

【背景技術】

【0003】

従来、自動車、産業機械および建設機械用などのクランク軸は、熱間鍛造などの方法で素材鋼片を所望のクランク軸用粗形品に熱間加工した後、調質処理を行うことによって、あるいは、調質処理を省略するいわゆる「非調質」の場合には成分元素の調整によって、それぞれミクロ組織の微細化を図り、さらにその後、前記粗形品の表面を2mm以上切削加工して所定のクランク軸形状に仕上げた後、主として疲労強度を高める目的で軟窒化処理を施して製造されてきた。

20

【0004】

しかしながら、最近、エンジンのコンパクト化および高出力化の観点から、従来にもまして高い疲労強度を有するクランク軸が望まれ、近年その要求は特に強まっている。そして、一般的な非調質型軟窒化クランク軸の場合には、このような高い疲労強度の確保が困難な状況にある。

【0005】

なお、疲労強度を高めるには、一般に、Nとともに窒化物を形成するCrをAlやVなどの元素と複合添加して表面硬さを上げるのが有効であることが知られている。

【0006】

30

しかしながら、軟窒化処理を施すとひずみが発生してクランク軸の寸法精度が低下するので、軟窒化処理後には曲げ矯正が行われることが多く、このため、軟窒化クランク軸には軟窒化処理後の曲げ矯正性が優れていることも要求される。しかしながら、上記のようにCrをAlやVなどの元素と複合添加して表面硬さを高くした場合には、曲げ矯正性は著しく低下してしまう。

【0007】

このため、高い疲労強度と優れた曲げ矯正性を備えた軟窒化クランク軸、なかでも調質型軟窒化クランク軸に対する要望が大きい。

【0008】

ここで、上記の「優れた曲げ矯正性」とは、大きな曲げ変位量まで軟窒化クランク軸の表面にき裂が入らないことを指す。

40

【0009】

なお、「軟窒化」処理は、一般に、500～600の温度域でNとCを同時に侵入・拡散させて表面を硬化させる手法で「炭窒化」処理と称されることもある。主に耐摩耗性を向上させることを目的とする「窒化」処理に対して、「軟窒化」処理は特に疲労強度を向上させる手法として秀でており、近年急速に普及している処理である。

【0010】

軟窒化処理に関連する技術としては、例えば、特許文献1や特許文献2に提案されているものがある。

【0011】

50

具体的には、特許文献 1 に、重量 % で、Cr : 0 . 9 ~ 1 . 5 %、Al : 0 . 7 ~ 1 . 5 % など特定の元素からなる組成を有する鋼からロッカーアーム素材を製作する工程、その素材に調質処理や軟室化処理を施す工程などを有する「内燃機関用ロッカーアームの製造方法」が開示されている。

【 0 0 1 2 】

特許文献 2 には、重量比で、Cr : 1 . 0 0 ~ 3 . 0 0 %、V : 0 . 0 5 ~ 0 . 1 5 % など特定の元素からなる組成を有する鋼素材を熱間圧延した後、8 0 0 から 5 0 0 までを冷却速度 0 . 2 ~ 4 / 秒の範囲で調整冷却して V 炭室化物を析出させるとともにベイナイト組織を析出させ、その後、機械加工と軟室化処理を行う「強度および耐摩耗性の優れたシャフト部材の製造方法」が開示されている。

10

【 0 0 1 3 】

【特許文献 1】特開平 7 - 1 0 2 3 2 2 号公報

【特許文献 2】特開昭 5 9 - 1 4 0 3 2 8 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

前述の特許文献 1 や特許文献 2 で開示された技術は、Cr と Al や V とを複合添加することにより表面硬さを高くしてこれまで以上に高い疲労強度や優れた耐摩耗性を得ることができるものである。しかしながら、いずれの場合も表面硬さを高めた場合の曲げ矯正性の著しい低下に対する配慮がなされていない。このため、上記の技術をもってしても、高い疲労強度と優れた曲げ矯正性を備えた軟室化クランク軸を得たいとの産業界の要望に必ずしも応えられるものではなかった。

20

【 0 0 1 5 】

そこで、本発明の目的は、軟室化処理を施しても高い疲労強度と優れた曲げ矯正性を両立でき、自動車、産業機械および建設機械などのクランク軸として用いるのに好適な、なかでも、最近のエンジンのコンパクト化および高出力化に十分対応することが可能であって自動車用クランク軸として用いるのに好適な、調質型軟室化クランク軸およびそのクランク軸の素材として用いるのに好適な調質型軟室化クランク軸用粗形品を提供することである。

【課題を解決するための手段】

30

【 0 0 1 6 】

本発明者らは、前記した課題を解決するために、種々の軟室化用鋼を溶製して軟室化処理後の疲労強度と曲げ矯正性を調査するとともに、ミクロ組織や硬さプロファイルについても詳細に研究を行い、疲労強度と曲げ矯正性に及ぼす影響を調査した。その結果、先ず、下記 (a) ~ (c) の知見を得た。

【 0 0 1 7 】

(a) 疲労強度を高めるために Cr と Al や V とを複合添加して表面硬さを高めた従来の技術において曲げ矯正性が著しく低下するのは、パーライト中のフェライトが過度に強化されることになって表層部の硬さが高くなりすぎるためである。

【 0 0 1 8 】

40

(b) V を添加した鋼であっても、曲げ矯正性が低下しないことがある。

【 0 0 1 9 】

そこでさらに検討を加えた結果、下記 (c) ~ (f) の重要な知見を得た。

【 0 0 2 0 】

(c) 調質型軟室化クランク軸に高い疲労強度と優れた曲げ矯正性を兼備させるためには、軟室化処理後の表面硬さを抑制するとともに、生地である芯部の硬さを高める必要がある。

【 0 0 2 1 】

(d) Cr および Al の含有量を制限したうえで V を含有させれば、熱間鍛造後に V が C および N と結合した V 炭室化物が析出する。このため、V を添加した鋼であっても、C

50

r および Al の含有量を制限すれば、上記 V 炭窒化物のピンニング作用によって焼入れの際のオーステナイト結晶粒が微細になるので、調質処理である焼入れ - 焼戻し後のミクロ組織を容易に微細化することができる。

【 0 0 2 2 】

(e) 調質処理後のミクロ組織が微細な場合には、後工程としての軟窒化処理で生じる拡散層の組織も微細になり、このため、軟窒化処理後の表面硬さが過度に上昇することを抑止することができる。そして、上記軟窒化処理後における表面硬さの過度な上昇の抑制により、クランク軸に優れた曲げ矯正性を具備させることが可能となる。

【 0 0 2 3 】

(f) Cr および Al の含有量を制限したうえで V を含有させた場合に、調質型軟窒化クランク軸に高い疲労強度を具備させることができる好適なミクロ組織は、パーライト組織またはフェライトの割合が 1 0 % 未満のフェライト・パーライト 混合組織 である。

10

【 0 0 2 4 】

本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものであり、その要旨は、下記 (1) ~ (3) に示す調質型軟窒化クランク軸用粗形品および (4) に示す調質型軟窒化クランク軸にある。

【 0 0 2 5 】

(1) 質量 % で、C : 0 . 3 0 ~ 0 . 5 5 % 、 Si : 0 . 0 5 ~ 0 . 3 0 % 、 Mn : 0 . 2 0 % 以上 0 . 8 0 % 未満、P : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 5 % 、 S : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 % 、 V : 0 . 0 1 % を超えて 0 . 3 0 % 以下および N : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 3 0 % を含有し、残部は Fe および不純物からなり、不純物中の Cr および Al がそれぞれ、Cr : 0 . 1 0 % 未満および Al : 0 . 0 5 % 以下の化学組成を有し、表面からの深さが 2 mm 以上である部位のミクロ組織が、パーライト組織またはフェライトの割合が 1 0 % 未満のフェライト・パーライト 混合組織 であることを特徴とする調質型軟窒化クランク軸用粗形品。

20

【 0 0 2 6 】

(2) 化学組成が、Fe の一部に代えて、質量 % で、Mo : 0 . 1 5 % 以下および Ti : 0 . 0 3 0 % 以下のうちの 1 種または 2 種を含有することを特徴とする上記 (1) に記載の調質型軟窒化クランク軸用粗形品。

30

【 0 0 2 7 】

(3) 化学組成が、Fe の一部に代えて、質量 % で、Ca : 0 . 0 2 0 % 以下を含有することを特徴とする上記 (1) または (2) に記載の調質型軟窒化クランク軸用粗形品。

【 0 0 2 8 】

(4) 上記 (1) から (3) までのいずれかに記載の調質型軟窒化クランク軸用粗形品を素材とする調質型軟窒化クランク軸であって、前記粗形品を表面からの深さで少なくとも 2 mm 以上切削加工してから軟窒化処理されたことを特徴とする調質型軟窒化クランク軸。

【 0 0 2 9 】

なお、ミクロ組織としての「フェライト・パーライト混合組織」における「フェライト」にはパーライト 組織 中のフェライトは含まない。

40

【 0 0 3 0 】

「調質型軟窒化クランク軸」とは、いわゆる「調質処理」である「焼入れ - 焼戻し処理」を行った後で、軟窒化処理が施されたクランク軸を指すことは既に述べたとおりである。

【 0 0 3 1 】

そして、「調質型軟窒化クランク軸用粗形品」とは、上記「調質型軟窒化クランク軸」の素材となるものであって、所定のクランク軸形状に熱間鍛造された後、「焼入れ - 焼戻

50

し」の熱処理が施されたものを指す。

【0032】

以下、上記（１）～（３）の調質型軟室化クランク軸用粗形品に係る発明および（４）の調質型軟室化クランク軸に係る発明をそれぞれ、「本発明（１）」～「本発明（４）」という。また、総称して「本発明」ということがある。

【発明の効果】

【0033】

本発明の調質型軟室化クランク軸は、軟室化処理後の曲げ矯正性に優れ、しかも、高い疲労強度を有するので、自動車、産業機械および建設機械などのクランク軸として用いることができ、エンジンのコンパクト化および高出力化に対処することが可能である。また、本発明の調質型軟室化クランク軸用粗形品は、上記調質型軟室化クランク軸の素材として用いるのに好適である。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、化学成分の含有量の「％」は「質量％」を意味する。

【0035】

（Ａ）調質型軟室化クランク軸用粗形品の化学組成：

C：0.30～0.55％

Cは、NとともにVと結合してV炭室化物を形成し、生地である芯部の硬さを高めて、疲労強度を向上させる作用を有する。また、前記のV炭室化物は、ピンニング作用によって焼入れの際のオーステナイト結晶粒を微細にするので、調質処理である焼入れ・焼戻し後のミクロ組織が容易に微細化し、このため、後工程としての軟室化処理で生じる拡散層の組織も微細になるので、軟室化処理後の表面硬さが過度に上昇することが抑止され、クランク軸に優れた曲げ矯正性を具備させることが可能となる。さらに、Cには、クランク軸の耐摩耗性を高める作用もある。こうした効果を得るためには0.30％以上の量のCを含有させる必要がある。しかしながら、Cの含有量が多くなり、特に、0.55％を超えると、芯部硬さが上昇するものの延性および靱性が低下して却って疲労強度の低下をきたす。したがって、Cの含有量を0.30～0.55％とした。

20

【0036】

なお、C含有量の望ましい範囲は0.35～0.53％であり、さらに望ましい範囲は0.45～0.53％である。

30

【0037】

Si：0.05～0.30％

Siは、脱酸作用を有するとともにパーライト組織中のフェライトを固溶強化する作用を有するので、0.05％以上含有させる。しかしながら、Siの含有量が多くなると曲げ矯正性が損なわれるとともにフェライト・パーライト混合組織におけるフェライトの割合が高くなって疲労強度が低下し、特に、Siの含有量が0.30％を超えると、曲げ矯正性の劣化が著しくなるとともにフェライト・パーライト混合組織におけるフェライトの割合が容易に10％以上となることによる疲労強度の低下が著しくなる。したがって、Siの含有量を0.05～0.30％とした。

40

【0038】

なお、Si含有量の望ましい範囲は0.09～0.30％であり、さらに望ましい範囲は0.15～0.30％である。

【0039】

Mn：0.20％以上0.80％未満

Mnは、固溶強化元素であり、母材硬さを高めて疲労強度を向上させる作用を有する。この効果を得るには、0.20％以上のMn含有量が必要である。しかしながら、Mnを過剰に含有すると曲げ矯正性が損なわれ、特に、Mnの含有量が0.80％以上になると

50

曲げ矯正性の劣化が著しくなる。したがって、Mnの含有量を0.20%以上0.80%未満とした。

【0040】

なお、Mn含有量の望ましい範囲は0.30~0.75%であり、さらに望ましい範囲は0.50~0.70%である。

【0041】

P: 0.005~0.05%

Pは、強化元素として有効であるため0.005%以上含有させる。しかしながら、過剰のPは粒界に偏析して粒界の脆化割れを助長し、特に、その含有量が0.05%を超えると粒界の脆化割れが著しくなる。したがって、Pの含有量を0.005~0.05%とした。

10

【0042】

なお、P含有量の望ましい範囲は0.005~0.020%であり、さらに望ましい範囲は0.010~0.020%である。

【0043】

S: 0.005~0.10%

Sは、鋼の被削性の向上に有効な元素であり、この効果を得るためには0.005%以上含有させる必要がある。しかしながら、Sの含有量が多すぎると熱間加工性や疲労強度の低下を招き、特に、その含有量が0.10%を超えると熱間加工性および疲労強度の低下が著しくなる。したがって、Sの含有量を0.005~0.10%とした。

20

【0044】

なお、S含有量の望ましい範囲は0.005~0.07%であり、さらに望ましい範囲は0.01~0.04%である。

【0045】

V: 0.01%を超えて0.30%以下

Vは、本発明において最も重要な成分元素である。すなわち、CrおよびAlの含有量を後述のとおり制限した本発明において、VはCおよびNと結合してV炭窒化物として析出し、生地である芯部の硬さを高めて、疲労強度を向上させる作用を有する。また、前記のV炭窒化物は、ピンニング作用によって焼入れの際のオーステナイト結晶粒を微細にするので、調質処理である焼入れ-焼戻し後のミクロ組織が容易に微細化し、このため、後工程としての軟窒化処理で生じる拡散層の組織も微細になるので、軟窒化処理後の表面硬さが過度に上昇することが抑止され、クランク軸に優れた曲げ矯正性を具備させることが可能となる。こうした効果を得るためには0.01%を超える量のVを含有させる必要がある。しかしながら、Vの過度の添加はコスト増大につながり、特に、Vの含有量が0.30%を超えると、コスト増大が著しくなる。したがって、Vの含有量を0.01%を超えて0.30%以下とした。

30

【0046】

なお、V含有量の望ましい範囲は0.03~0.25%であり、さらに望ましい範囲は0.05~0.15%である。

【0047】

N: 0.005~0.030%

Nは、CとともにVと結合してV炭窒化物を形成し、生地である芯部の硬さを高めて、疲労強度を向上させる作用を有する。また、前記のV炭窒化物は、ピンニング作用によって焼入れの際のオーステナイト結晶粒を微細にするので、調質処理である焼入れ-焼戻し後のミクロ組織が容易に微細化し、このため、後工程としての軟窒化処理で生じる拡散層の組織も微細になるので、軟窒化処理後の表面硬さが過度に上昇することが抑止され、クランク軸に優れた曲げ矯正性を具備させることが可能となる。さらに、Nはそれ自体が生地に固溶し、固溶強化によって疲労強度を向上させる作用もある。こうした効果を得るためには0.005%以上の量のNを含有させる必要がある。しかしながら、Nを含有量で0.030%を超えて添加するのは工業的な困難を伴う上、例えば、インゴット中で気泡

40

50

欠陥を生成して材質を損なうことがある。このため、Nの含有量を0.005~0.030%とした。

【0048】

なお、N含有量の望ましい範囲は0.005~0.020%であり、さらに望ましい範囲は0.008~0.013%である。

【0049】

本発明においては、不純物中のCrおよびAlの含有量をそれぞれ、Cr:0.10%未満およびAl:0.05%以下に制限する。

【0050】

以下、このことについて説明する。

10

【0051】

Cr:0.10%未満

0.01%を超えるVを含む場合、Crは曲げ矯正性の低下を招き、特に、その含有量が0.10%以上になると、曲げ矯正性の低下が著しくなる。したがって、不純物中のCrの含有量を0.10%未満とした。なお、不純物中のCrの望ましい含有量は0.07%以下である。

【0052】

Al:0.05%以下

Alは、母材強度にほとんど寄与せず、曲げ矯正性を劣化させるため、不純物として混入する以外は添加せずその含有量は少ないほどよい。製造コストを勘案して曲げ矯正性を害さない範囲でAlは0.05%以下まで許容できるので、不純物中のAlの含有量を0.05%以下とした。

20

【0053】

なお、不純物中のAlの望ましい含有量は0.045%以下である。

【0054】

上記の理由から、本発明(1)に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品の化学組成は、C:0.30~0.55%、Si:0.05~0.30%、Mn:0.20%以上0.80%未満、P:0.005~0.05%、S:0.005~0.10%、V:0.01%を超えて0.30%以下およびN:0.005~0.030%を含有し、残部はFeおよび不純物からなり、不純物中のCrおよびAlがそれぞれ、Cr:0.10%未満およびAl:0.05%以下であることと規定した。

30

【0055】

本発明に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品には、必要に応じて、上記本発明(1)におけるFeの一部に代えて、

第1群:Mo:0.15%以下およびTi:0.030%以下のうちの1種または2種

、
第2群:Ca:0.020%以下、
の少なくとも1つの群の元素のうち1種以上を含有するものとすることができる。

【0056】

すなわち、さらにより優れた特性を得るために、前記第1群と第2群の少なくとも1つの群の元素のうち1種以上を、本発明(1)の調質型軟窒化クランク軸用粗形品におけるFeの一部に代えて、含有してもよい。

40

【0057】

以下、上記の元素に関して説明する。

【0058】

第1群:Mo:0.15%以下およびTi:0.030%以下のうちの1種または2種

MoおよびTiは、いずれも、疲労強度を高める作用を有する。このため、より優れた疲労強度を得たい場合には以下の範囲で含有してもよい。

【0059】

Mo:0.15%以下

50

Moは、固溶強化元素としてパーライト中のフェライトを強化し、疲労強度を向上させる作用を有するので、さらなる疲労強度向上のために含有してもよい。しかしながら、Moは高価な元素であるため、過度の添加はコストの増大につながり、特に、Moの含有量が0.15%を超えると、コスト増大が著しくなる。したがって、Moの含有量を0.15%以下とした。

【0060】

前記したMoの疲労強度向上効果を確実に得るためには、Moの含有量は0.02%以上とすることが好ましい。このため、より好ましいMoの含有量は、0.02~0.15%である。なお、一層好ましいMoの含有量は0.02~0.10%である。

【0061】

Ti：0.030%以下

Tiは、疲労強度を向上させる作用を有する。また、Tiの微細な析出物には、熱間加工時の結晶粒粗大化を抑制し、ひいては、曲げ矯正性を向上させる作用がある。したがって、さらなる疲労強度向上のために、また、さらなる曲げ矯正性向上のためにTiを含有してもよい。しかしながら、Tiの含有量が多くなると却って疲労強度の低下を招き、特に、Tiの含有量が0.030%を超えると、疲労強度の低下が著しくなる。したがって、Tiの含有量を0.030%以下とした。

【0062】

前記したTiの疲労強度向上効果、さらには曲げ矯正性向上効果を確実に得るためには、Ti含有量は0.002%以上とすることが好ましい。このため、より好ましいTiの含有量は、0.002~0.030%である。なお、一層好ましいTiの含有量は0.002~0.015%である。

【0063】

なお、上記のMoおよびTiは、そのうちのいずれか1種のみ、または2種の複合で含有することができる。

【0064】

第2群：Ca：0.020%以下

第2群の元素であるCaは、被削性を改善する作用を有するので、さらなる被削性向上のために含有させてもよい。しかしながら、0.020%を超えるCaを添加、含有させても被削性向上効果が飽和するのでコストが嵩んで経済性が損なわれるばかりである。したがって、Caの含有量を0.020%以下とした。

【0065】

前記したCaの被削性改善効果を確実に得るためには、Caの含有量を0.0002%以上とすることが好ましい。このため、より好ましいCaの含有量は0.0002~0.020%である。なお、一層好ましいCaの含有量は0.0005~0.010%である。

【0066】

上記の理由から、本発明(2)に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品の化学組成は、本発明(1)に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品のFeの一部に代えて、Mo：0.15%以下およびTi：0.030%以下のうちの1種または2種を含有するものと規定した。

【0067】

また、本発明(3)に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品の化学組成は、本発明(1)または本発明(2)に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品のFeの一部に代えて、Ca：0.020%以下を含有するものと規定した。

【0068】

なお、本発明に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品の不純物中のCuおよびNiの含有量は、それぞれ、次の範囲で許容できる。

【0069】

Cu：0.3%以下

10

20

30

40

50

Cuは、その含有量が0.3%を超えると、粒界偏析に起因した熱間加工割れをきたすおそれがある。したがって、Cuの含有量は0.3%以下とすることが好ましい。

【0070】

Ni: 0.3%以下

Niは、その含有量が0.3%を超えると被削性が低下する。したがって、Niの含有量は0.3%以下とすることが好ましい。

【0071】

(B) 調質型軟窒化クランク軸用粗形品のミクロ組織:

知見(f)に述べたように、CrおよびAlの含有量を制限したうえでVを含有させた場合に、調質型軟窒化クランク軸に高い疲労強度を具備させることができる好適なミクロ組織は、パーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織である。

10

【0072】

なお、自動車、産業機械および建設機械用などの調質型軟窒化クランク軸は、熱間鍛造などの方法で素材鋼片を所望のクランク軸の粗形状に熱間加工した後、焼入れ・焼戻しの調質処理を行い、さらにその後、前記クランク軸粗形状品の表面を2mm以上切削加工して所定のクランク軸形状に仕上げた後、軟窒化処理を施して製造されるため、前記クランク軸粗形状品を調質処理し、表面からの深さが2mm以上である部位のミクロ組織をパーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織としておけば、調質型軟窒化クランク軸に高い疲労強度を具備させることができる。

20

【0073】

したがって、本発明(1)~本発明(3)に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品のミクロ組織は、表面からの深さが2mm以上である部位のミクロ組織が、パーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織であることと規定した。

【0074】

既に述べたように、ミクロ組織としての「フェライト・パーライト混合組織」における「フェライト」にはパーライト組織中のフェライトは含まない。

30

【0075】

なお、前記(A)項に記載の化学組成を有する鋼片を、例えば、1100~1250に加熱し、熱間鍛造などの方法で熱間加工して1000以上の仕上げ温度で所望のクランク軸の粗形状にし、その後、800~900に1~3時間加熱して水焼入れし、さらに、550~650で1~4時間焼戻しすることによって、表面からの深さが2mm以上である部位のミクロ組織が、パーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織を有する本発明に係る調質型軟窒化クランク軸用粗形品を製造することができる。

40

【0076】

(C) 調質型軟窒化クランク軸

前記(A)項で述べた化学組成を有するとともに上記(B)項で述べた表面からの深さが2mm以上である部位のミクロ組織が、パーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織である調質型軟窒化クランク軸用粗形品を表面からの深さで少なくとも2mm以上切削加工して所定のクランク軸形状に仕上げた場合、そのミクロ組織は、全体がパーライト組織またはフェライトの割合が10%未満のフェライト・パーライト混合組織である。このため、上記の仕上げ加工後に軟窒化処理を施せば、調質型軟窒化クランク軸に高い疲労強度を具備させることができる。

50

【 0 0 7 7 】

しかも、前記（Ａ）項で述べた化学組成を有する場合、知見（ｄ）および（ｅ）に述べたように、Ｖ炭窒化物のピンニング作用によって焼入れの際のオーステナイト結晶粒が微細になるので、調質処理である焼入れ－焼戻し後のミクロ組織も容易に微細化し、このため、軟窒化処理で生じる拡散層の組織も微細になって、軟窒化処理後の表面硬さが過度に上昇することを抑止できるので、クランク軸に優れた曲げ矯正性を具備させることが可能となる。

【 0 0 7 8 】

したがって、本発明（４）に係る調質型軟窒化クランク軸は、本発明（１）から本発明（３）までのいずれかに記載の調質型軟窒化クランク軸用粗形品を素材とし、前記粗形品を表面からの深さで少なくとも２ｍｍ以上切削加工してから軟窒化処理されたものであることと規定した。

10

【 0 0 7 9 】

なお、上記の軟窒化処理には、ガス軟窒化、塩浴軟窒化やプラズマ軟窒化などを適宜用いればよい。いずれの処理であっても、クランク軸の表面に厚さほぼ２０μｍの化合物層とその直下の拡散層を安定かつ均質に形成させることができる。

【 0 0 8 0 】

例えば、ガス軟窒化の場合には、通常行われるように、ＲＸガスとアンモニアガスを１：１に混合した温度が５７０の雰囲気中で３時間程度処理し、さらにその後、１００の油中に冷却すればよい。なお、上記の「ＲＸガス」は変性ガスの１種で、ガスの商標名である。

20

【 0 0 8 1 】

以下、実施例により本発明を更に詳しく説明する。

【 実施例 】

【 0 0 8 2 】

表１に示す化学組成を有する鋼１～１０を真空炉溶製して１５０ｋｇ鋼塊を作製した。

【 0 0 8 3 】

表１中の鋼１～５および鋼７は、化学組成が本発明で規定する範囲内にある鋼である。一方、鋼６および鋼８～１０は、化学組成が本発明で規定する条件から外れた比較例の鋼である。

30

【 0 0 8 4 】

【表 1】

表 1

| 区分 | 化学組成 | | | | | | | 成分(質量%) | | | | | 残部：F e および不純物 | | | | |
|--|------|------|------|-------|-------|------|---------|---------|-------|------|-------|--------|---------------|--|--|--|--|
| | C | Si | Mn | P | S | V | N | Cr | Al | Mo | Ti | Ca | | | | | |
| 鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.38 | 0.19 | 0.60 | 0.016 | 0.022 | 0.23 | 0.0250 | 0.05 | 0.003 | — | — | — | | | | | |
| 2 | 0.52 | 0.23 | 0.78 | 0.017 | 0.020 | 0.02 | 0.0100 | 0.07 | 0.016 | — | — | — | | | | | |
| 3 | 0.37 | 0.20 | 0.80 | 0.005 | 0.026 | 0.15 | 0.0120 | 0.06 | 0.020 | 0.05 | 0.019 | — | | | | | |
| 4 | 0.39 | 0.25 | 0.65 | 0.012 | 0.040 | 0.05 | 0.0050 | 0.07 | 0.002 | — | — | 0.0017 | | | | | |
| 5 | 0.50 | 0.09 | 0.40 | 0.020 | 0.050 | 0.20 | 0.0190 | 0.08 | 0.014 | — | 0.018 | — | | | | | |
| 6 | 0.38 | 0.19 | 0.60 | 0.016 | 0.022 | 0.23 | *0.0040 | 0.05 | 0.003 | — | — | — | | | | | |
| 7 | 0.37 | 0.20 | 0.80 | 0.005 | 0.022 | 0.15 | 0.0050 | 0.06 | 0.020 | 0.05 | — | — | | | | | |
| 8 | 0.51 | 0.17 | 0.75 | 0.009 | 0.029 | * | 0.0120 | 0.05 | 0.012 | — | — | — | | | | | |
| 9 | 0.54 | 0.20 | 0.40 | 0.011 | 0.025 | * | 0.0150 | 0.07 | 0.018 | — | — | 0.019 | | | | | |
| 10 | 0.39 | 0.24 | 0.67 | 0.013 | 0.042 | 0.24 | 0.0210 | *0.12 | 0.012 | 0.05 | 0.012 | — | | | | | |
| 区分欄における「本」は化学組成が本発明で規定する範囲内にある鋼であることを、「比」は化学組成が本発明で規定する条件から外れた鋼であることを示す。 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【0085】

このようにして得た鋼塊を、1200 に加熱した後、鋼材の温度が1000 を下回らないように熱間鍛造して直径60mmの丸棒とした。熱間鍛造後の冷却は大気中での放

10

20

30

40

50

冷とした。鋼 3 については、放冷後直径 60 mm の丸棒は、長さが半分になるよう切断し、2 等分した。

【0086】

鋼 1、鋼 2、鋼 4、鋼 5、鋼 8 および鋼 10 については、上記直径 60 mm の丸棒を 850 に 2 時間加熱した後水焼入れし、さらにその後、620 で 3 時間焼戻しを行った。

【0087】

鋼 3 については、2 等分した直径 60 mm の丸棒の一方については、上記と同様に 850 に 2 時間加熱した後水焼入れし、さらにその後、620 で 3 時間焼戻しを行った。また、2 等分した残りの一方については、800 に 2 時間加熱した後水焼入れし、さらにその後、620 で 3 時間焼戻しを行った。

10

【0088】

鋼 7 については、上記直径 60 mm の丸棒を 780 に 2 時間加熱した後水焼入れし、さらにその後、620 で 3 時間焼戻しを行った。

【0089】

なお、鋼 6 および鋼 9 については、熱間鍛造後の放冷のままとし、熱処理は行わなかった。

【0090】

各鋼について、上記のようにして得た直径 60 mm の各丸棒の R / 2 部（「R」は半径を示す。）から、図 1 に示す小野式回転曲げ疲労試験片、断面が 10 mm × 10 mm で長さが 50 mm の角柱状試験片および直径 20 mm の曲げ矯正性試験片を採取した。

20

【0091】

次いで、上記の各試験片を、RX ガスとアンモニアガスを 1 : 1 に混合した温度が 570 の雰囲気中で 3 時間保持して軟窒化処理し、その後 100 の油中に冷却した。

【0092】

軟窒化処理した図 1 に示す形状の試験片を用いて、室温、大気中で小野式回転曲げ疲労試験を行い、疲労強度を測定した。

【0093】

また、軟窒化処理した直径 20 mm の試験片を用いて、曲げ矯正性試験を行い、曲げ矯正性を調査した。

30

【0094】

なお、曲げ矯正性試験は、三点曲げの手法で試験片の中央部にひずみゲージを貼付し、ひずみゲージの読みが 15000 μ （曲げ矯正ひずみ 1.5 % に相当）になるところまで負荷をかけた後、いわゆる「蛍光磁粉探傷試験」を行って、き裂の有無を調査することで判定した。

【0095】

さらに、軟窒化処理した断面が 10 mm × 10 mm で長さが 50 mm の角柱状試験片を用いて、その横断面中央部を光学顕微鏡にて観察してミクロ組織を調査した。また、この試験片を用いて、JIS Z 2244（2003）に記載の「ピッカース硬さ試験 - 試験方法」に準拠して、試験力を 4.9 N とし、マイクロピッカース硬度計にてピッカース硬さ（以下、「Hv 硬さ」という。）を測定した。

40

【0096】

表 2 に、各供試鋼について、疲労強度、曲げ矯正性、芯部（軟窒化されていない生地の部分）の Hv 硬さ、表層から 30 μ m 位置の Hv 硬さ（以下、「表層部の Hv 硬さ」という。）およびミクロ組織をまとめて示す。なお、表 2 には、各供試鋼についての焼入れおよび焼戻しの加熱温度を併せて示した。

【0097】

【表 2】

表 2

| 区分 | 試験番号 | 鋼 | 加熱温度 | | 疲労強度 (MPa) | 曲げ矯正性 [き裂有無] | Hv硬さ | | ミクロ組織 | |
|------|------|-----|-------------|-------------|---------------|-----------------|------|-----|-------|-----------------|
| | | | 焼入れ (°C) | 焼戻し (°C) | | | 表層部 | 芯部 | 相 | フェライトの割合 (%) |
| 本発明例 | 1 | 1 | 850 | 620 | 1000 | 無 | 400 | 260 | P | 0 |
| | 2 | 2 | 850 | 620 | 800 | 無 | 410 | 250 | P | 0 |
| | 3 | 3 | 850 | 620 | 950 | 無 | 425 | 260 | P | 0 |
| | 4 | 4 | 850 | 620 | 820 | 無 | 405 | 230 | P | 0 |
| | 5 | 5 | 850 | 620 | 980 | 無 | 420 | 280 | P | 0 |
| | 6 | 3 | 800 | 620 | 800 | 無 | 455 | 240 | F+P | 8 |
| 比較例 | 7 | 6* | * - | * - | 550 | 有 | 350 | 260 | F+P | * 25 |
| | 8 | 7 | 780 | 620 | 600 | 無 | 350 | 230 | F+P | * 14 |
| | 9 | 8* | 850 | 620 | 650 | 有 | 380 | 240 | P | 0 |
| | 10 | 9* | * - | * - | 450 | 有 | 400 | 210 | F+P | * 11 |
| | 11 | 10* | 850 | 620 | 1050 | 有 | 450 | 260 | P | 0 |

加熱温度欄における「-」は焼入れ-焼戻しの調質処理をしないことを示す。
 相の欄における「P」はパーライト、「F」はフェライトを指す。
 *印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。

【0098】

表2から、本発明で規定する条件を満たす試験番号1～6の場合、いずれも曲げ矯正性試験においてき裂は発生しておらず、良好な曲げ矯正性を有していることが明らかである。しかも、上記の各試験番号における疲労強度は、JIS G 4051(2005)に規定されたS50C鋼を素材とする一般的な調質型軟窒化クランク軸で得られる700MPa程度の値よりも高い800～1000MPaであって、疲労強度にも優れていることが明らかである。

【0099】

これに対して、本発明で規定する条件から外れた比較例の試験番号7～11の場合、優れた曲げ矯正性と高い疲労強度の両立を果たすことができない。

【 0 1 0 0 】

すなわち、試験番号 7 は、鋼 6 の N 含有量が 0 . 0 0 4 0 % と本発明で規定する値より少なく、しかも、調質処理していないので、ミクロ組織もフェライトの割合が 2 5 % のフェライト・パーライト混合組織であって、本発明の規定を満たさない。このため、曲げ矯正性試験においてき裂が発生して曲げ矯正性が低く、さらに、疲労強度も 5 5 0 M P a しなく低いものである。

【 0 1 0 1 】

試験番号 8 は、鋼 7 の化学組成は本発明で規定する範囲内にあるものの、焼入れ時の加熱温度が 7 8 0 と低いため、ミクロ組織はフェライトの割合が 1 4 % のフェライト・パーライト混合組織であって、本発明の規定を満たさない。このため、6 0 0 M P a という低い疲労強度しか得られていない。

10

【 0 1 0 2 】

試験番号 9 は、調質処理後のミクロ組織はパーライト組織であるものの、鋼 8 の V 含有量が本発明の規定を満たさなため、曲げ矯正性試験においてき裂が発生して曲げ矯正性が低く、さらに、疲労強度も 6 5 0 M P a という低いものである。

【 0 1 0 3 】

試験番号 1 0 は、鋼 9 の V 含有量が本発明の規定を満たさず、しかも、調質処理していないので、ミクロ組織もフェライトの割合が 1 1 % のフェライト・パーライト混合組織であって、本発明の規定を満たさない。このため、曲げ矯正性試験においてき裂が発生して曲げ矯正性が低く、さらに、疲労強度は 4 5 0 M P a で極めて低いものである。

20

【 0 1 0 4 】

試験番号 1 1 は、調質処理後のミクロ組織はパーライト組織であるものの、鋼 1 0 の C r 含有量が本発明で規定する値より多いため、曲げ矯正性試験においてき裂が発生して曲げ矯正性が低い。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 0 5 】

本発明の調質型軟窒化クランク軸は、軟窒化処理後の曲げ矯正性に優れ、しかも、高い疲労強度を有するので、自動車、産業機械および建設機械などのクランク軸として用いることができ、エンジンのコンパクト化および高出力化に対処することが可能である。また、本発明の調質型軟窒化クランク軸用粗形品は、上記調質型軟窒化クランク軸の素材として用いるのに好適である。

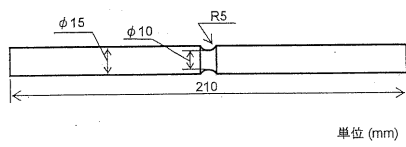
30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 0 6 】

【 図 1 】 実施例で用いた小野式回転曲げ疲労試験片の形状を示す図である。

【図 1】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 3 C 8/32 (2006.01) C 2 1 D 9/30 Z
F 1 6 C 3/06 (2006.01) C 2 3 C 8/32
F 1 6 C 3/06

(72)発明者 多比良 裕章
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内
(72)発明者 江頭 誠
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

審査官 本多 仁

(56)参考文献 特開2007-002292(JP,A)
特開平04-066646(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0