

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6988922号
(P6988922)

(45) 発行日 令和4年1月5日(2022.1.5)

(24) 登録日 令和3年12月6日(2021.12.6)

(51) Int. Cl.	F 1
C 2 3 C 8/10 (2006.01)	C 2 3 C 8/10
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 1 Z
C 2 2 C 38/22 (2006.01)	C 2 2 C 38/22
F 1 6 B 33/06 (2006.01)	F 1 6 B 33/06 C
C 2 1 D 9/00 (2006.01)	C 2 1 D 9/00 B

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2019-568433 (P2019-568433)	(73) 特許権者	000003997
(86) (22) 出願日	平成30年1月30日 (2018.1.30)		日産自動車株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2018/002991		神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(87) 国際公開番号	W02019/150437	(74) 代理人	100102141
(87) 国際公開日	令和1年8月8日 (2019.8.8)		弁理士 的場 基憲
審査請求日	令和2年7月3日 (2020.7.3)	(74) 代理人	100137316
			弁理士 鈴木 宏
		(72) 発明者	浜田 孝浩
			日本国神奈川県厚木市森の里青山1-1
			日産自動車株式会社 知的財産部内
		(72) 発明者	小林 大介
			日本国神奈川県厚木市森の里青山1-1
			日産自動車株式会社 知的財産部内
		審査官	萩原 周治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ボルト及び締結構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

0.50質量%以上0.65質量%以下の炭素(C)と、
 1.5質量%以上2.5質量%以下のケイ素(Si)と、
 1.0質量%以上2.0質量%以下クロム(Cr)と、
 0.2質量%以上1.0質量%以下マンガン(Mn)と、
 1.5質量%以上5.0質量%以下モリブデン(Mo)を含有し、
 不純物であるリン(P)と硫黄(S)との合計含有量が0.03質量%以下であり、
 残部が、鉄(Fe)である組成を有する炭素鋼ボルトの表面に膜厚が5 μm以上20 μm以下の、Fe₃O₄とFe₂SiO₄のみから成る鉄系酸化膜を備えることを特徴とする炭素鋼ボルト。

10

【請求項2】

上記鉄系酸化膜が、Fe₃O₄をボルト基材側よりも表面側に多く含み、Fe₂SiO₄を表面側よりもボルト基材側に多く含むことを特徴とする請求項1に記載の炭素鋼ボルト。

【請求項3】

引張強度が1500MPa以上1800MPa以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の炭素鋼ボルト。

【請求項4】

被締結部材をボルトで締結した締結構造であって、

20

上記ボルトが上記請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つの項に記載の炭素鋼ボルトであることを特徴とする締結構造。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ボルトに係り、更に詳細には、締結軸力の管理が容易な高強度ボルトに関する。

【背景技術】

【0002】

自動車の軽量化、コンパクト化、高性能化への要求から、ボルトの高強度化が要求されており、引張強さが1200MPaを超える高炭素鋼のボルトが知られている。 10

【0003】

しかし、高炭素鋼の高強度ボルトは、静的応力下において、ある時間経過後、突然脆性的に破壊する、所謂「遅れ破壊」の発生が顕著であり、ボルト強度が高いほどその発生の危険性が高い。

【0004】

上記遅れ破壊は、材料 - 環境 - 応力の相互作用によって生じる一種の環境脆化であり、水素による材料の脆化が原因であると考えられており、一般に、耐遅れ破壊性を向上させるために、クロムめっきなどの表面処理がなされる。

【0005】

特許文献1には、ケイ素を含む所定の組成の高炭素鋼を用いることで、遅れ破壊を抑制した高強度ボルトが開示され、クロムめっき皮膜やリン酸鉄皮膜で被覆することが好ましい旨が記載されている。 20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】国際公開第2016/031528号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

高強度ボルトは、締結軸力が大きいことから、ボルトの折れや座面の陥没がないように締結軸力を管理することが重要であり、一般的にトルクレンチにより締めつけトルクを管理することで締結軸力を担保している。 30

【0008】

しかしながら、締めつけトルクは、その全てが締結軸力として作用するのではなく、ねじ面や座面の摩擦によっても消費されるため、同じトルクで締めつけてもボルトの表面粗さや潤滑状態などによって締結軸力がばらついてしまう。

つまり、締めつけトルクが同じであっても、ボルトと被締結物との摩擦が大きいと摩擦損失が多く発生して締結軸力が小さくなり、逆に摩擦が小さいと締結軸力が大きくなる。

【0009】

特に、ケイ素を含む高炭素鋼を用いたボルトは、引張強度や耐遅れ破壊性が優れる一方で、締めつけトルクに対する締結軸力のばらつきが大きく、締結軸力の管理が困難である。 40

【0010】

また、高炭素鋼を用いたボルトに対し、相手材とのかじり防止や締結性の安定させるためにリン酸被膜などの表面処理を行うと、水素侵入による遅れ破壊が生じ易くなり、加えて表面荒れによる疲労強度低下が発生する。

【0011】

本発明は、このような従来技術の有する課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、耐遅れ破壊性に優れ、安定した締結軸力が得られる高強度ボルトを提供す 50

ることにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明者は、上記目的を達成すべく鋭意検討を重ねた結果、ケイ素を含む高炭素鋼を用いたボルトは、表面処理材との親和性が低く、高い締め付けトルクにより表面被膜に欠陥が生じ、ボルトの摩擦係数が変化しての締結軸力のばらつきが生じていることを突き止めた。

【0013】

そして、めっきやリン酸系被膜処理などの表面処理に替えて、表面に膜厚が3 μm以上20 μm以下の鉄系酸化膜を形成することにより、上記目的が達成できることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0014】

即ち、本発明の炭素鋼ボルトは、

0.50質量%以上0.65質量%以下の炭素(C)と、

1.5質量%以上2.5質量%以下のケイ素(Si)と、

1.0質量%以上2.0質量%以下クロム(Cr)と、

0.2質量%以上1.0質量%以下マンガン(Mn)と、

1.5質量%以上5.0質量%以下モリブデン(Mo)を含有し、

不純物であるリン(P)と硫黄(S)との合計含有量が0.03質量%以下であり、

残部が、鉄(Fe)である組成を有する炭素鋼ボルトの表面に膜厚が5 μm以上20 μm以下の、Fe₃O₄とFe₂SiO₄のみから成る鉄系酸化膜を備えることを特徴とする。

【0015】

また、本発明の締結構造は、被締結部材を上記ボルトで締結したことを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、表面に膜厚が3 μm以上20 μm以下の鉄系酸化膜を備えることとしたため、耐遅れ破壊性に優れ、安定した締結軸力が得られる高強度ボルトを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】実施例のボルトの断面画像である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明のボルトについて詳細に説明する。

上記ボルトは、0.50質量%以上0.65質量%以下の炭素(C)と、1.5質量%以上2.5質量%以下のケイ素(Si)と、1.0質量%以上2.0質量%以下のクロム(Cr)と、0.2質量%以上1.0質量%以下のマンガン(Mn)と、1.5質量%以上5.0質量%以下のモリブデン(Mo)を含有し、不純物であるリン(P)と硫黄(S)との合計含有量が0.03質量%以下であり、残部が、鉄(Fe)である組成を有し、表面に膜厚が3 μm以上20 μm以下の鉄系酸化膜を備える。

【0019】

上記鉄系酸化膜は、転造したボルトに対して所定の熱処理を行うことで、ボルト自体の反応によって形成される酸化膜であって、例えば、めっきのように、表面処理材など他の材料でボルトの表面を被覆する膜ではないため、剥離などの被膜欠陥が生じ難い。

したがって、ボルトの摩擦係数が変化しないため、締め付けトルクに対する締結軸力のばらつきを抑制できる。

【0020】

上記鉄系酸化膜の膜厚は、3 μm以上20 μm以下である。鉄系酸化膜の膜厚が、3 μm未満では、鉄系酸化膜が薄く締め付けトルクによって被膜欠陥が生じ易い。

10

20

30

40

50

また、 $20\ \mu\text{m}$ を超える鉄系酸化膜を形成するには、高温での焼き戻しが必要であり、ボルトの引張強度が低下する。また、酸化膜の膜厚が厚くなると、酸化膜自体の強度が弱くなり、締結時の酸化膜の剥離を生じやすい。

【0021】

上記鉄系酸化膜は、Si系酸化物を含むことが好ましい。

上記Si系酸化物は、拡散によって鉄系酸化膜に入り込んだボルト中のケイ素に由来し、鉄系酸化膜がSi系酸化物を含むことで、締め付け時における鉄系酸化膜の剥がれが抑制される。

【0022】

上記鉄系酸化膜は、少なくとも Fe_3O_4 及び Fe_2SiO_4 を含むことが好ましい。

鉄系酸化膜が Fe_3O_4 を含むことで、相手材との摩擦が低減して締め付けトルクに対する締結軸力が大きくなる。また、鉄系酸化膜が Fe_2SiO_4 を含むことで、鉄系酸化膜とボルト基材との親和性が向上し、鉄系酸化膜の剥がれが防止されて締め付けトルクに対する締結軸力のばらつきを抑制できる。

【0023】

上記鉄系酸化膜が、 Fe_3O_4 をボルト基材側よりも表面側に多く含み、 Fe_2SiO_4 を表面側よりもボルト基材側に多く含むことが好ましい。

鉄系酸化膜が、ボルト基材側に Fe_2SiO_4 を主成分とする層と、表面側に Fe_3O_4 を主成分とする層を有することで、ボルト基材との親和性が向上すると共に、相手材との潤滑性がさらに向上する。

なお、本発明において主成分とは、50質量%以上含むことをいう。

【0024】

上記 Fe_2SiO_4 を主成分とする層と、 Fe_3O_4 を主成分とする層とは、所定の熱処理による鉄、酸素およびケイ素の拡散速度差によって層が形成される。

【0025】

上記ボルトは、引張強度が $1500\ \text{MPa}$ 以上 $1800\ \text{MPa}$ 以下であることが好ましい。

引張強度が上記範囲であれば、大きな締結軸力での締結が可能であり、例えば、複リンク機構を有するレシプロエンジンのロアリンクに好適に使用できる。

【0026】

そして、上記ボルトは、その表面に鉄系酸化膜を有するため、被締結部材を上記ボルトで締結した締結構造は、上記鉄系酸化膜と上記被締結部材とが直接接する。

したがって、上記ボルトと相手材との摩擦が低減されてかじりが防止されると共に、締結による鉄系酸化膜の欠陥が防止されて締結軸力のばらつきを抑制できる。

【0027】

炭素(C)の含有量は、0.50質量%以上0.65質量%以下である。

炭素の含有量が0.50質量%未満であると、十分な焼き戻し軟化抵抗が得られず、焼き戻しによって軟化するため、高温での焼き戻しができず、耐遅れ破壊性が低下する。

また、炭素の含有量が0.65質量%を超えると、水素を集積するセメンタイトの量が著しく増加するため、耐遅れ破壊性が優れたものとならない。

【0028】

ケイ素(Si)の含有量は、1.5質量%以上2.5質量%以下である。

ケイ素の含有量が1.5質量%未満であると引張強度が低下し、また、十分な焼き戻し軟化抵抗が得られず、高温での焼き戻しを実施できないため、耐遅れ破壊性が低下する。

ケイ素の含有量が2.5質量%を超えると、鍛造性が著しく悪化するため、ボルトを所定の形状に成形することが困難になる。

【0029】

クロム(Cr)の含有量は、1.0質量%以上2.0質量%以下である。

クロムの含有量が1.0質量%未満であると、十分な焼き戻し軟化抵抗が得られず、高温での焼き戻しが実施できないため、耐遅れ破壊性が低下する。

10

20

30

40

50

また、クロムの含有量が 2.0 質量% を超えると鋼材の冷間鍛造性が低下する。

【0030】

マンガン (Mn) の含有量は、 0.2 質量% 以上 1.0 質量% 以下である。

マンガンは焼入れ性向上元素であり、 0.2 質量% 以上含むことで引張強度が向上する。

また、マンガンの含有量が 1.0 質量% を超えると、結晶粒界への偏析が促進されることにより、粒界強度が低下し耐遅れ破壊性が低下する。

【0031】

モリブデン (Mo) の含有量は、 1.5 質量% 以上 5.0 質量% 以下である。

モリブデンの含有量が 1.5 質量% 未満であると、水素のトラップサイトとなるモリブデン系炭化物の生成量が十分なものとならないため、水素脆化を抑制できず耐遅れ破壊性が低下する。

また、モリブデンは、マルテンサイト組織を得る焼入れ性を高め、焼戻し処理の際に軟化抵抗増加させ、高強度を得るために有効な元素であるが、 5.0 質量% 超えて含有しても増加による効果が得られない。

【0032】

リンと硫黄との合計含有量は、 0.03 質量% 以下であり、 0.02 質量% 以下であることがより好ましい。

リンと硫黄との合計含有量が、 0.03 質量% を超えると、粒界偏析が促進され、粒界結合力が小さくなって粒界強度が低下するため、耐遅れ破壊性が低下する。

【0033】

次にボルトの製造方法について説明する。

本発明のボルトは、 $900 \sim 950$ に加熱したのち急冷して焼入れした後、ボルトのネジ径などに応じて酸素濃度が大気 (20.95%) よりも低く酸素を含有する雰囲気中に調節された雰囲気中で、 $580 \sim 620$ の温度範囲で $90 \sim 120$ 分間加熱し焼き戻すことで作製できる。酸素濃度については、より好ましくは 10% 以下、さらに好ましくは 5% 以下の酸素を含有する雰囲気中で焼き戻しをすることが好ましい。

【0034】

大気中での焼き戻しでは、上記温度範囲内で十分な焼き戻しを行うと鉄系酸化膜の膜厚が厚くなりすぎて均質な鉄系酸化膜を形成できない。そして、高温で焼き戻しを行うと引張強度が低下し、低温で焼き戻しを行うと靱性が低下し疲労強度が低下する。

【実施例】

【0035】

以下、本発明を実施例により詳細に説明するが、本発明は下記実施例に限定されるものではない。

【0036】

下記表 1 に示す組成の高強度ボルト用炭素鋼に対して、冷間鍛造、ねじ転造を行った後、 900 以上で焼入れし、酸素濃度が 3% となるように N_2 を導入した雰囲気中で下記表 2 に示す条件で焼き戻しを行い、高強度ボルトを得た。

なお、比較例 2、3、比較例 6 及び 8 は、 N_2 を導入せず、大気中で焼き戻しを行った。

【0037】

10

20

30

40

【表 1】

	C (質量%)	Si (質量%)	Cr (質量%)	Mn (質量%)	Mo (質量%)	S+P (質量%)	Fe (質量%)
実施例1	0.59	1.80	1.20	0.30	1.60	0.010	残部
実施例2	0.60	1.85	1.20	0.30	1.60	0.015	残部
実施例3	0.58	1.80	1.20	0.30	1.60	0.013	残部
比較例1	0.58	1.80	1.20	0.30	1.60	0.013	残部
比較例2	0.58	1.80	1.20	0.30	1.60	0.013	残部
比較例3	0.40	0.30	1.20	0.30	1.25	0.010	残部
比較例4	0.59	1.80	1.20	0.30	1.60	0.010	残部
比較例5	0.59	1.80	1.20	0.30	1.60	0.010	残部
比較例6	0.59	1.80	1.20	0.30	1.60	0.010	残部
比較例7	0.59	1.80	1.10	0.33	1.65	0.015	残部
比較例8	0.58	1.80	1.20	0.30	1.60	0.013	残部

【0038】

【表 2】

	焼き戻し温度	焼き戻し時間	焼き戻し雰囲気
実施例1	580°C	100min	N2 + 大気
実施例2	590°C	100min	N2 + 大気
実施例3	620°C	100min	N2 + 大気
比較例1	570°C	100min	N2 + 大気
比較例2	600°C	60min	大気
比較例3	600°C	60min	大気
比較例4	580°C	100min	N2 + 大気
比較例5	580°C	100min	N2 + 大気
比較例6	600°C	60min	大気
比較例7	650°C	60min	N2 + 大気
比較例8	590°C	100min	大気

【0039】

上記表 2 中、比較例 2 は、熱処理によって生じた酸化スケールを剥離した。

比較例 4、5 は、鉄系酸化膜上にそれぞれ、リン酸マンガン被膜、リン酸亜鉛被膜を形成した。

比較例 6 は、クロムメッキを形成した後に、表 2 に示す熱処理を行った。

【0040】

10

20

30

40

50

実施例 1 ~ 3 及び比較例 1 ~ 8 の高強度ボルトの断面を撮影して鉄系酸化膜の膜厚を測定した。比較例 4 , 5 は鉄系酸化膜とリン酸系被膜との合計膜厚、比較例 6 はクロムメッキの膜厚を測定した。実施例 2 のボルトの断面を図 1 に示す。

また、電子プローブマイクロアナライザー (Electron Probe Micro Analyzer ; EPMA) で鉄系酸化膜の構成元素を分析した。

さらに、実施例 1 ~ 3 及び比較例 1 ~ 8 の高強度ボルトを以下の条件で評価した。評価結果を表 3 に示す。

【 0 0 4 1 】

< 疲労試験 >

実施例 1 ~ 3 及び比較例 1 ~ 8 のボルトの疲労強度を、ボルト実体品を用いて、室温 (2 5)、大気雰囲気にて、軸方向疲労試験機に取り付け、繰返し引張荷重を作用させ疲労試験を行い、ステアケース法にて引張疲労強度 (M P a) を求め、必要疲労強度に対する安全率を算出した。(J I S B 1 0 8 1 に基づいて実施)

：安全率 1 . 1 以上

× : 安全率 1 . 1 未満

【 0 0 4 2 】

< 締結性試験 >

実施例 1 ~ 3 及び比較例 1 ~ 8 のボルトを規定の締結トルクで被締結物を締結した際のかじり異音の発生の有無により締結の安定性を評価した。

：かじり異音なし

× : かじり異音発生

【 0 0 4 3 】

10

20

【表 3】

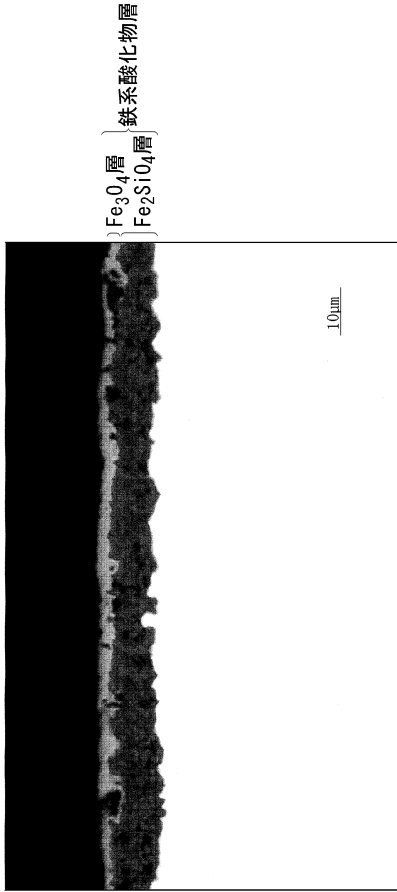
	鉄系酸化被膜	膜厚 (μm)	評価結果	
			疲労試験	締結性試験
実施例1	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$	5	○	○
実施例2	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$	10	○	○
実施例3	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$	20	○	○
比較例1	Fe_3O_4	2	○	×
比較例2	なし	-	○	×
比較例3	Fe_2O_3 被膜のみ	22	×	×
比較例4	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4 +$ リン酸マンガン被膜	8	×	×
比較例5	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4 +$ リン酸亜鉛被膜	8	×	×
比較例6	Crめっき	25	×	×
比較例7	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeSiO}_4$	24	○	×
比較例8	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeSiO}_4$	30	○	×

【 0 0 4 4 】

上記結果より、鉄系酸化膜の膜厚が $3 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下を満たす実施例 1 ~ 3 は、締結による鉄系酸化膜の欠陥が防止されて締結安定性が優れ、かつ十分な焼き戻しが行われて疲労強度が優れることがわかる。

また、鉄系酸化膜上にリン酸系被膜を形成した比較例 4, 5 は、被膜が剥がれやすく被膜欠陥が生じ、比較例 7, 8 は鉄系酸化膜が不均一で締結安定性が低下した。

【 図 1 】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2016/031528(WO, A1)
国際公開第2011/048971(WO, A1)
特開2013-163865(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 8/00 - 12/02
C22C 38/00 - 38/60
F16B 23/00 - 43/02
C21D 9/00 - 9/44
C21D 9/50