

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5000367号  
(P5000367)

(45) 発行日 平成24年8月15日(2012.8.15)

(24) 登録日 平成24年5月25日(2012.5.25)

(51) Int.Cl.	F 1		
<b>C 2 2 C 38/00 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Z	
<b>C 2 2 C 38/04 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/04		
<b>C 2 2 C 38/38 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/38		
<b>C 2 1 D 8/06 (2006.01)</b>	C 2 1 D 8/06	A	
<b>C 2 1 D 9/00 (2006.01)</b>	C 2 1 D 9/00	B	
請求項の数 4 (全 12 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2007-105730 (P2007-105730)  
 (22) 出願日 平成19年4月13日(2007.4.13)  
 (65) 公開番号 特開2008-261027 (P2008-261027A)  
 (43) 公開日 平成20年10月30日(2008.10.30)  
 審査請求日 平成21年9月15日(2009.9.15)

前置審査

(73) 特許権者 000006655  
 新日本製鐵株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100108578  
 弁理士 高橋 詔男  
 (74) 代理人 100106909  
 弁理士 棚井 澄雄  
 (74) 代理人 100129403  
 弁理士 増井 裕士  
 (74) 代理人 100134359  
 弁理士 勝俣 智夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、

C : 0.70 ~ 1.10 %、

Si : 0.05 ~ 2.00 %、

Mn : 0.20 ~ 2.00 %

を含有し、

P : 0.020 % 以下、

S : 0.020 % 以下、

N : 0.0150 % 以下

に制限し、

Al : 0.005 ~ 0.100 %、

Ti : 0.002 ~ 0.100 %、

Nb : 0.002 ~ 0.100 %

のうち何れか1種又は2種以上を含有し、

残部がFe及び不可避免不純物からなり、金属組織が面積率90%以上のパーライトからなり、軸部の表層のピッカース硬さと中心のピッカース硬さとの差が30以下であり、引張強さが1200MPa以上であり、遅れ破壊限界拡散性水素量が0.2ppm以上であることを特徴とする耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

【請求項2】

質量%で、

V : 0.05 ~ 2.00 %、

Cr : 0.05 ~ 2.00 %

の一方又は双方を含有することを特徴とする請求項 1 に記載の耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

【請求項 3】

質量%で、

C : 0.70 ~ 1.10 %、

Si : 0.05 ~ 2.00 %、

Mn : 0.20 ~ 2.00 %

を含有し、

P : 0.020 % 以下、

S : 0.020 % 以下、

N : 0.0150 % 以下

に制限し、

V : 0.05 ~ 2.00 %、

Cr : 0.05 ~ 2.00 %

の一方又は双方を含有し、

残部が Fe 及び不可避不純物からなり、金属組織が面積率 90 % 以上のパーライトからなり、軸部の表層のビッカース硬さと中心のビッカース硬さとの差が 30 以下であり、引張強さが 1200 MPa 以上であり、遅れ破壊限界拡散性水素量が 0.2 ppm 以上であることを特徴とする耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

【請求項 4】

鋼中の拡散性水素量が 0.10 ppm 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載の耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、腐食環境中での使用に好適な、耐水素脆化特性に優れる亜鉛めっきボルトに関するものである。

【背景技術】

【0002】

自動車や各種産業機械の軽量化、高性能化、或いは土木・建築構造物の建設費削減のために、ボルトの高強度化が進められている。従来の高強度ボルトは、例えば、JIS G 4105 で規定されている SCM 435 や SCM 440 などの低合金鋼を使い、所定の形状に冷間成形後、焼入れ・焼戻し処理によって製造されている。しかしながら、引張強さの上昇により、遅れ破壊が発生しやすくなるという問題があった。

【0003】

このような問題に対して、伸線加工したパーライト鋼をボルト形状に冷間鍛造し、熱処理を行う方法が提案されている（例えば、特許文献 1、2 を参照）。また、本発明者らの一部は、パーライトの形状を制御して、耐遅れ破壊特性を向上させた高強度ボルトを提案している（例えば、特許文献 3 を参照）。

【0004】

しかしながら、腐食環境では耐食性が要求されるため、表面に亜鉛めっきを施した亜鉛めっきボルトは、めっき時にボルト中に水素が侵入し易いため、特に高強度になると水素脆化を生じるという問題があった。また、拡散性水素量を抑制して亜鉛めっきボルトの耐遅れ破壊特性を向上させる技術が提案されている（例えば、特許文献 4 を参照）。しかしながら、この特許文献 4 に記載の亜鉛めっきボルトは、鋼材の耐遅れ破壊特性の向上を図ったものではない。

【特許文献 1】特開 2001 - 348618 号公報

10

20

30

40

50

【特許文献2】特開2005-281860号公報

【特許文献3】特開2004-307929号公報

【特許文献4】特開昭64-68452号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、金属組織が耐遅れ破壊特性に優れるパーライトからなり、強度が1200MPa以上である亜鉛めっきボルトが実用化されていないという実状に鑑みてなされたものであり、耐食性を有し、耐水素脆化特性に優れた1200MPa以上の強度を有する高強度亜鉛めっきボルトを提供することを目的とするものである。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明者らは、パーライト組織の耐遅れ破壊特性が優れることに着目し、且つ亜鉛めっきを施しても水素脆化を生じないボルト及びその製造方法について検討を行った。その結果、ボルト内部と表層の硬度差の制限によって、めっき時にボルトに侵入した水素に起因する縦割れの発生を防止することができ、更に、ボルト中の水素量を限定することによって遅れ破壊特性が向上することを見出した。

【0007】

本発明はこのような知見に基づいてなされたものであり、その要旨とするところは、以下のとおりである。

20

(1) 質量%で、C：0.70～1.10%、Si：0.05～2.00%、Mn：0.20～2.00%を含有し、P：0.020%以下、S：0.020%以下、N：0.0150%以下に制限し、Al：0.005～0.100%、Ti：0.002～0.100%、Nb：0.002～0.100%のうち何れか1種又は2種以上を含有し、残部がFe及び不可避不純物からなり、金属組織が面積率90%以上のパーライトからなり、軸部の表層のビッカース硬さと中心のビッカース硬さとの差が30以下であり、引張強さが1200MPa以上であり、遅れ破壊限界拡散性水素量が0.2ppm以上であることを特徴とする耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

(2) 質量%で、V：0.05～2.00%、Cr：0.05～2.00%の一方又は双方を含有することを特徴とする上記(1)に記載の耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

30

(3) 質量%で、C：0.70～1.10%、Si：0.05～2.00%、Mn：0.20～2.00%を含有し、P：0.020%以下、S：0.020%以下、N：0.0150%以下に制限し、V：0.05～2.00%、Cr：0.05～2.00%の一方又は双方を含有し、残部がFe及び不可避不純物からなり、金属組織が面積率90%以上のパーライトからなり、軸部の表層のビッカース硬さと中心のビッカース硬さとの差が30以下であり、引張強さが1200MPa以上であり、遅れ破壊限界拡散性水素量が0.2ppm以上であることを特徴とする耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

(4) 鋼中の拡散性水素量が0.10ppm以下であることを特徴とする上記(1)～(3)の何れか1項に記載の耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト。

40

また、上記(1)～(3)の何れか1項に記載の亜鉛めっきボルトは、例えば、上記(1)～(3)の何れか1項に記載の成分からなる鋼材を熱間圧延後、30/s以上の冷却速度で550～700の温度範囲に冷却し、該温度範囲で30～300sの間保持し、次に室温まで冷却した後、摩擦係数を0.1以下として伸線加工を行った後、ボルト形状に成形し、電気亜鉛めっき又は溶融亜鉛めっきを施すことで製造される。

また、上記(1)～(3)の何れか1項に記載の亜鉛めっきボルトは、例えば、上記(1)～(3)の何れか1項に記載の成分からなる鋼材を熱間圧延後、そのまま冷却し、伸線加工の後、ボルト形状に成形し、電気亜鉛めっき又は溶融亜鉛めっきを施すことで製造される。

50

また、上記(1)～(3)の何れか1項に記載の亜鉛めっきボルトは、例えば、上記(1)～(3)の何れか1項に記載の成分からなる鋼材を熱間圧延後、900に再加熱して冷却し、伸線加工の後、ボルト形状に成形し、電気亜鉛めっき又は溶融亜鉛めっきを施すことで製造される。

また、上記(4)に記載の亜鉛めっきボルトは、例えば、上記の何れかに記載の方法によって得られた亜鉛めっきボルトを200～400の温度範囲で加熱することで製造される。また、亜鉛めっきボルトに引張強さの20～60%の張力を負荷しながら加熱してもよい。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、耐水素脆化特性、特に、耐遅れ破壊特性及び耐縦割れ性に優れ、耐食性が良好な高強度の亜鉛めっきボルトを提供することが可能になり、産業上の貢献が極めて顕著である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、本発明の耐水素脆化特性に優れた高強度亜鉛めっきボルト及びその製造方法について詳細に説明する。

耐水素脆化特性に優れるパーライト組織を有する高強度鋼を伸線加工して得られたボルトにZnめっきを施すと、めっき時の侵入水素に起因すると考えられる、めっき後の縦割れを生じることがあった。これを防止するため、本発明者らは、伸線パーライトからなる高強度ボルトを用いて、めっき後の縦割れの発生について検討を行った。

【0010】

本発明者らは、ボルトの組織、特に硬さの均質性とめっき後の縦割れとの関係に着目し、摩擦係数を変化させて、パーライト組織を有する鋼線に伸線加工を施してめっき後の縦割れを評価した。その結果、伸線加工時の摩擦係数を低下させると、ボルトの組織が均質になり、表層と中心の硬さの差が小さくなって、縦割れを防ぐことができるという知見を得た。

【0011】

これは、表層と中央部での伸線加工を均一にすると、表層と中央部での硬さの差が小さくなり、内部応力の負荷や、応力集中が軽減された効果であると考えられる。具体的には、ボルト軸部の表層のビッカース硬さと中心のビッカース硬さの差を30以下とすることにより、めっき後の縦割れを防ぐことができる。

【0012】

なお、ビッカース硬さの測定は、JIS Z 2244に準拠して行った。試料は、ボルトの軸部の長手方向に垂直な断面を測定面として採取した。試料の測定面を機械研磨し、長手方向に垂直な方向の中心部の200 $\mu$ m以内の範囲で3カ所、表層から200 $\mu$ mの位置で3カ所測定し、平均値を求めた。荷重は、98.07N(10kgf)とした。

【0013】

ボルト軸部の表層のビッカース硬さと中心のビッカース硬さの差を30以下とするには、伸線加工時の摩擦係数を0.1以下に限定することが必要である。伸線加工時の摩擦係数が0.1超になると、伸線材の表層と中心の硬度差が大きくなり、侵入水素に起因する縦割れが生じやすくなる。また、摩擦係数が0.08以下にすると硬さを均一にする効果が顕著となり好ましい。

【0014】

伸線加工時の摩擦係数を低減する方法としては、ダイヤモンドダイスを用いる方法や、潤滑皮膜にリン酸亜鉛カルシウムを含むものを用いる方法、伸線時に石けん潤滑剤を用いる方法などが挙げられる。伸線加工時の摩擦係数は、伸線中の引抜力を測定し、Siebelの式を用いて求めることができる。

【0015】

更に、本発明者ら、金属組織と耐遅れ破壊特性との関係を評価するため、伸線加工後の

10

20

30

40

50

鋼線をボルトに加工し、限界拡散性水素量を測定した。限界拡散性水素量は、遅れ破壊を生じない最大の水素量であり、電界水素チャージによって種々のレベルの拡散性水素量を含有させた後、水素が試料から大気中に放出しないようにめっきを施し、その後引張強さの90%の荷重を負荷し、遅れ破壊が発生しない拡散性水素量の最大値を評価した。

【0016】

その結果、パーライト組織の面積率を90%以上にすることによって、限界拡散性水素量が0.2ppm以上になることがわかった。したがって、十分な強度を有し、優れた耐水素脆化特性を備えるためには90%以上のパーライトを含む金属組織とすることが必要である。

【0017】

パーライトが90%未満になると、他の組織が増加することになる。例えば、ベイナイトが増加すれば強度が低下し、十分な強度が得られない。また、初析セメンタイトやマルテンサイトが増加すれば耐水素脆化特性が低下する。パーライトの残部は、フェライト、ベイナイト、マルテンサイト、初析セメンタイトである。

【0018】

パーライトの面積率は、伸線加工前の線材から試料を採取し、長手方向に垂直な断面を鏡面研磨後、ピクラール液でエッチングを行い、走査型顕微鏡にて任意の10視野を2000倍で観察して写真を撮影し、目視にてパーライト部分を決定し、それを画像解析して求めることができる。

【0019】

パーライトの面積率は、熱間圧延後の冷却条件又は再加熱条件によって制御する。具体的には、熱間圧延後又は再加熱後の冷却の際に、30 / s以上の冷却速度で、500 ~ 700 の温度範囲に冷却し、該温度範囲で30 ~ 300 sの間保持し、更に室温まで冷却する。

【0020】

冷却速度は、30 / s未満では冷却途中でパーライト変態が生じ、引張強さが低下するため、下限を30 以上とする。冷却速度の上限は規定しないが、500 / sを超えることは技術的に難しい。

【0021】

冷却の停止温度及び保持温度を550 ~ 700 に限定したのは、パーライト変態を促進し、強度と耐水素脆化特性を向上させるためである。冷却の停止温度及び保持温度が、550 未満ではベイナイトが生じやすく、パーライトの面積率が減少し、強度低下又は耐水素脆化特性が悪化する。一方、冷却の停止温度及び保持温度が700 を超えるとパーライト変態後の引張強さが低下する。

【0022】

さらに、パーライトの面積率を90%以上とするには、550 ~ 700 の温度範囲での保持時間が重要である。550 ~ 700 での保持時間が短く、パーライトの面積率が減少すると、耐水素脆化特性に悪影響を及ぼすベイナイト又はマルテンサイトが生じるため、保持時間は30 s以上とする。保持時間が長時間になると生産性を阻害する。本発明の成分範囲では、保持時間を300 s以下にすればパーライトの面積率を90%以上にする

【0023】

熱間圧延の最終仕上げ温度は、850 未満では変形抵抗が大きくなり圧延材の形状制御が難しく、1150 を超えるとオーステナイト粒が粗大化し伸線加工後の延性低下が生じることがある。したがって、圧延の最終仕上げ温度は850 から1150 の温度範囲が好ましい。

【0024】

本発明では、熱間圧延後、そのまま冷却してもよく、一旦、室温まで冷却してから、再加熱してもよい。熱間圧延後の鋼材を再加熱する場合、再加熱の温度は、900 未満で

10

20

30

40

50

は溶体化が不十分で未溶解炭化物が残存し易くなり合金の効果が減少することがあるため、900以上とすることが好ましい。また、再加熱の温度の上限は、高すぎるとオーステナイト粒が粗大化し、伸線加工後の延性低下が生じるため、1150以下とすることが好ましい。

【0025】

次に、本発明の対象とする鋼の成分の限定理由について述べる。

Cは、ボルトの強度を確保する上で必須の元素であるが、0.70%未満では伸線加工後の強度が十分得られず、一方1.10%を越えると初析セメンタイトの粗大析出を防止するのが困難であり、初析セメンタイトにより耐遅れ破壊特性が低下するため、0.70~1.10%の範囲に限定した。

10

【0026】

Siは、固溶強化によって強度を上昇させる元素であるが、この効果を得るためには0.05%以上の添加が必要であり、2.00%を超えると添加量に見合った効果が得られないため、0.05~2.00%の範囲に限定した。

【0027】

Mnは、脱酸や脱硫のために必要なだけでなく、鋼の焼入れ性を向上させて強度を上昇させる元素であるが、この効果を得るためには0.20%以上の添加が必要である。また、Mnを過剰に添加すると中心偏析部にマルテンサイトが生成し伸線加工性が低下するため、上限を2.00%以下に限定した。

【0028】

P、Sは、不可避な不純物であり、過剰に含まれると耐水素脆化特性が悪化するため、0.020%以下に制限する。

20

【0029】

Nは、不純物であり、0.0150%を超えると延性が低下するため、0.0150%の範囲とする。なお、オーステナイト( )粒径の微細化に有効な窒化物の形成のために、Al、Ti、Nbを含有する場合は、Nを0.0020%以上含有させることが好ましい。

【0030】

更に、強度を上昇させるために、V、Crを、結晶粒の微細化のためにAl、Ti、Nbを選択的に添加してもよい。

30

【0031】

Vは、パーライト変態組織の強度を上昇させるのに対して有効な元素であり、0.05%以上の添加が好ましい。また、パーライト組織からなる高強度ボルトの耐遅れ破壊特性を向上させるには、0.20%以上を添加することが好ましい。一方、Vを2.00%を超えて添加してもコストに見合った効果を得るのが困難である。

【0032】

Crは、パーライト組織のラメラ間隔を微細化する効果があり、0.05%以上の添加が好ましい。また、強度を上昇させるためには0.10%以上の添加が好ましい、一方、2.00%を超えて添加しても効果が飽和する。

【0033】

Alは、脱酸及び微細な $Al_2O_3$ 又はAlN析出のピンニング効果により熱処理時の粒径を微細化するために添加する。この効果を得るには、0.005%以上の添加が好ましく、一方、0.100%を超えて添加しても効果が飽和する。

40

【0034】

Tiは、脱酸及び $TiO_2$ 等の酸化物やTiNの析出によるピンニング効果によって熱処理時の粒径を微細化する元素である。この効果を得るには、Tiを0.002%以上添加することが好ましい。一方、Tiを、0.100%を超えて添加しても効果が飽和する。

【0035】

Nbは、Nbの炭窒化物のピンニング効果によって熱処理時の粒径を微細化するため

50

に添加する。この効果を得るには、Nbを0.002%以上添加することが好ましい。一方、Nb量が、0.100%を超えるとその効果が飽和するため、0.002~0.100%の範囲に限定した。

【0036】

本発明のめっきは、電気亜鉛めっき又は熔融亜鉛めっきどちらでも構わないが、熔融亜鉛めっきであれば一般的な方法、例えば、脱脂、酸洗、フラックス、熔融めっき、冷却の順で処理を行う。電気亜鉛めっきは、つきまわり性がよく、陰極電流効率にも優れている塩化亜鉛浴を用いるのが好ましい。また、工程は、例えば脱脂、酸洗、電界洗浄、めっきの順で処理を行う。

【0037】

本発明のボルトは、鋼中の拡散性水素量が0.10ppmを超えると縦割れや遅れ破壊が生じる可能性が高くなるため、0.10ppm以下とすることが好ましい。なお、拡散性水素量はガスクロマトグラフを用いた昇温水素分析を行い、100/minの昇温速度で室温から200の範囲で放出する水素量とする。

【0038】

ボルト中の拡散性水素量を低減させるために、伸線加工後に冷間でボルト成形し、Znめっきを施した後、熱処理を施すことが好ましい。また、めっき後の加熱中に張力を負荷することが更に好ましい。

【0039】

亜鉛めっき後の熱処理は、ボルト中の拡散性水素を十分放出させるために、200以上で行うことが好ましい。一方、熱処理の温度が400を超えると亜鉛めっきが溶融するため、加熱温度の範囲を200~400に限定する。加熱時間は加熱炉によって変化するため特に限定しないが、上記効果を十分に発揮するためには10s~15ksの範囲が好ましい。

【0040】

また、めっき後のボルトに張力を負荷しつつ熱処理を行うことによって、耐水素脆化特性が一層向上する。張力の下限が引張強さの20%未満では耐水素脆化向上の効果は少なく、60%を超えて張力を負荷しても効果が飽和するため、20~60%の範囲とすることが好ましい。張力を負荷しつつ熱処理を行う方法としては、例えば治具にボルトを締め付けた状態で熱処理を行う方法が挙げられる。

【実施例】

【0041】

以下、実施例により本発明の効果をより明らかなものとする。なお、本発明は、以下の実施例に限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することができる。

【0042】

10

20

30

【表 1】

鋼種	化学成分 (質量%)													備考
	C	Si	Mn	P	S	N	V	Cr	Al	Ti	Nb			
A	0.72	0.21	0.80	0.004	0.003	0.0045	0.22	1.89						
B	1.05	0.33	0.27	0.006	0.005	0.0050			0.046					
C	0.84	0.47	1.78	0.013	0.003	0.0041			0.023					
D	0.85	0.05	0.52	0.007	0.006	0.0047			0.081					
E	0.87	1.86	0.48	0.009	0.009	0.0026			0.026					
F	0.76	0.23	0.40	0.009	0.008	0.0042	1.74	0.16	0.045					
G	0.91	0.17	0.43	0.018	0.016	0.0044			0.092	0.003				
H	0.97	0.33	0.33	0.009	0.004	0.0026			0.005					
I	0.77	0.16	0.32	0.006	0.003	0.0035	0.55	0.31						
J	0.94	0.17	0.63	0.004	0.004	0.0027			0.045	0.034	0.002			
K	0.95	0.26	0.43	0.010	0.008	0.0032			0.060		0.079			
L	1.00	0.09	0.73	0.013	0.009	0.0046				0.082				
M	0.65	0.19	0.49	0.008	0.009	0.0096			0.031					
N	1.18	0.07	0.30	0.005	0.004	0.0058			0.031					
O	0.78	0.01	0.38	0.006	0.007	0.0027			0.037					
P	0.81	0.26	0.12	0.011	0.008	0.0054			0.024					
Q	0.92	0.38	2.31	0.011	0.012	0.0047								

下線は本発明の範囲外であることを意味する。

【表 2】

No.	鋼種	圧延後の冷却		再加熱		再加熱後の冷却		冷却後の保持時間 (s)	摩擦係数	めっき後の熱処理		備考
		冷却速度 (°C/s)	停止温度 (°C)	加熱温度 (°C)	冷却速度 (°C/s)	停止温度 (°C)	温度 (°C)			張力 (%)		
1	A	36	670	-	-	-	-	180	0.04	400	25	本発明例
2	B	-	-	990	58	610	45	45	0.10	400	53	
3	C	72	570	-	-	-	120	120	0.07	220	-	
4	D	-	-	980	70	580	60	60	0.10	280	-	
5	E	71	570	-	-	-	60	60	0.09	310	32	
6	F	-	-	980	51	650	120	120	0.07	-	-	
7	G	54	600	-	-	-	60	60	0.09	350	49	
8	H	-	-	970	68	590	90	90	0.07	350	50	
9	I	50	640	-	-	-	120	120	0.06	-	-	
10	J	-	-	1050	69	590	90	90	0.08	350	40	
11	K	70	580	-	-	-	90	90	0.09	350	46	
12	L	-	-	990	54	610	60	60	0.06	350	49	
13	F	53	570	-	-	-	120	120	0.07	-	-	
14	M	39	670	-	-	-	90	90	0.07	400	31	
15	N	-	-	980	55	610	60	60	0.10	400	51	
16	O	51	620	-	-	-	90	90	0.09	380	25	
17	P	-	-	980	56	600	90	90	0.10	350	34	
18	Q	-	-	1020	67	600	90	90	0.08	-	-	
19	C	22	570	-	-	-	120	120	0.07	210	30	
20	D	53	510	-	-	-	60	60	0.10	230	42	
21	D	48	720	-	-	-	60	60	0.10	230	41	
22	C	70	570	-	-	-	120	120	0.14	-	-	

下線は本発明の範囲外であることを意味する。

## 【0044】

表1に示す化学成分を有する鋼を溶製し、表2に示す条件で熱間圧延後、直ちにソルト浴に浸漬し、又は熱間圧延後に再加熱し、鉛浴に浸漬し、パーライト変態させた。その後、表2に示す摩擦係数で真歪み0.4~2の伸線加工を行い、冷間加工によってボルトに成形した後、ボルトに電気亜鉛めっき又は溶融亜鉛めっきを施した。一部のめっきボルトには、表2に示す条件で、一部は治具にボルトを締め付けた状態で張力を負荷しながら、熱処理を行った。なお、表1中の空欄は、意図的な添加をしていないことを意味し、表2中の「-」は、該当する処理を実施していないことを意味する。

## 【0045】

そして、表2に示すNo.1~22のボルトについて、耐水素脆化特性の評価を行った。その評価結果を表3に示す。

## 【0046】

10

20

30

40

50

【表 3】

No.	鋼種	パーライト 面積率 (%)	硬度差 (HV10)	引張強さ (MPa)	限界拡散性 水素量 (ppm)	拡散性 水素量 (ppm)	備考	
1	A	93	7	1256	2.1	0.01	本 発 明 例	
2	B	91	28	1745	0.3	0.01		
3	C	96	26	1618	0.7	0.07		
4	D	97	24	1663	0.6	0.05		
5	E	96	19	1602	0.8	0.06		
6	F	92	13	1563	0.8	0.10		
7	G	96	21	1588	0.5	0.06		
8	H	98	14	1624	0.8	0.04		
9	I	96	9	1576	0.9	0.09		
10	J	94	17	1611	0.5	0.08		
11	K	94	25	1624	0.7	0.07		
12	L	93	18	1711	0.4	0.02		
13	F	92	21	1792	0.2	0.16		
14	M	84	23	<u>1189</u>	-	-	比 較 例	
15	N	90	29	1812	<u>0.1</u>	0.07		
16	O	92	18	<u>1196</u>	-	-		
17	P	<u>67</u>	30	<u>1175</u>	-	-		
18	Q	伸線中破断						
19	C	<u>81</u>	23	<u>1184</u>	-	-		
20	D	<u>74</u>	28	1396	<u>0.1</u>	-		
21	D	90	27	<u>1196</u>	-	-		
22	C	91	<u>42</u>	めっき後に縦割れ				

下線は本発明の範囲外であることを意味する。

## 【0047】

表3中に示すボルトの引張強さは、JIS B 1051に準拠した引張試験にて求めた。

表3中に示す硬度差は、軸部の表層のビッカース硬さと中心のビッカース硬さとの差であり、ボルトの軸部の長手方向に垂直な断面を測定面とし、中心部の200μm以内の範囲と、表層から200μmの位置で、それぞれ3カ所のビッカース硬さの平均値の差を求めた。なお、ビッカース硬さは、JIS Z 2244に準拠し、荷重を98.07Nとして測定した。なお、単位のHV10は、荷重を98.07Nとして測定したビッカース硬度を意味する。

表3中に示す限界拡散性水素量は、電界水素チャージによって拡散性水素量を含有させた後、水素が試料から大気中に放出しないようにめっきを施し、引張強さの90%の荷重を負荷し、遅れ破壊が発生しない拡散性水素量の最大値を評価した。

表3中に示す拡散性水素量は、100/minの昇温速度で室温から200の範囲で放出する水素量として評価し、ガスクロマトグラフを用いた昇温水素分析を行って測定した。更に、電気亜鉛めっき又は溶融亜鉛めっきを行い、縦割れの発生の有無を確認した。

なお、表3中の「-」は、該当する測定を行っていないことを意味する。

## 【0048】

表3に示すように、No. 1~13のボルト(本発明例)は、何れも金属組織が面積率90%以上のパーライトからなり、軸部の表層と中心のビッカース硬さの差が30以下であり、引張強さが1200MPa以上と高強度であり、耐水素脆化特性にも優れ、めっき

後の縦割れも生じていない。

なお、No. 1 ~ 12のボルトは、鋼中の拡散性水素量が0.1 ppm以下であるのに対して、No. 13のボルトは、そのボルト中の拡散性水素量が0.1 ppmを超えており、遅れ破壊の発生する確率がやや高くなっている。

一方、No. 14、16、17のボルト(比較例)は、それぞれC量、Si量、Mn量が本発明の下限よりも少ないため、引張強さが1200 MPaを下回っている。

No. 15のボルト(比較例)は、C量が本発明の上限よりも多く、耐遅れ破壊特性が低下している。

No. 18のボルト(比較例)は、Mn量が本発明の上限を超えているため、伸線加工性が低下し、伸線中に破断している。

No. 19のボルト(比較例)は、圧延後の冷却速度が小さいため、引張強さが1200 MPaを下回っている。

No. 21のボルト(比較例)は、圧延後の変態温度が700 を超えているため、引張強さが1200 MPaを下回っている。

No. 20のボルト(比較例)は、圧延後の変態温度が550 を下回っているため、ベイナイトが生成し、限界拡散性水素量が0.2を下回っている。

No. 22のボルト(比較例)は、伸線加工時の摩擦係数が0.1を超えているため、ボルト軸部の表層と中心のピッカース硬さの差が30を超えており、めっき後に縦割れを生じている。

## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
 C 2 3 C 2/06 (2006.01) C 2 3 C 2/06  
 F 1 6 B 35/00 (2006.01) F 1 6 B 35/00 J

(72)発明者 千田 徹志  
 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 新日本製鐵株式会社内  
 (72)発明者 樽井 敏三  
 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 新日本製鐵株式会社内  
 (72)発明者 久保田 学  
 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 新日本製鐵株式会社内  
 (72)発明者 中村 謙一  
 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 新日本製鐵株式会社内

審査官 鈴木 毅

(56)参考文献 特開昭 6 4 - 0 6 8 4 5 2 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 4 - 3 0 7 9 2 9 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 1 - 3 4 8 6 1 8 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 6 - 1 0 4 5 4 9 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 2 - 3 2 7 2 3 3 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 1 - 2 7 1 1 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 8 / 0 6  
 C 2 1 D 9 / 0 0  
 F 1 6 B 3 5 / 0 0