

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-155687

(P2009-155687A)

(43) 公開日 平成21年7月16日(2009.7.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 1 Y	4 K O 3 2
C 2 2 C 38/06 (2006.01)	C 2 2 C 38/06	
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60	
C 2 1 D 8/06 (2006.01)	C 2 1 D 8/06 A	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-334598 (P2007-334598)	(71) 出願人	000001199
(22) 出願日	平成19年12月26日 (2007.12.26)		株式会社神戸製鋼所
			兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
		(74) 代理人	100075409
			弁理士 植木 久一
		(74) 代理人	100115082
			弁理士 菅河 忠志
		(74) 代理人	100125184
			弁理士 二口 治
		(74) 代理人	100125243
			弁理士 伊藤 浩彰
		(72) 発明者	増田 智一
			神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会
			社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 冷間加工用鋼およびその製造方法ならびに冷間加工鋼部品

(57) 【要約】

【課題】冷間加工性に優れる（特に、冷間加工鋼部品に割れが生じず、かつ部品硬さに対する加工時の変形抵抗が低く抑えられて、金型の長寿命化を図り得ることをいう）と共に、加工後は所定の硬度・強度を確保することのできる冷間加工用鋼を提供する。

【解決手段】 C : 0.20 ~ 0.40 % (質量%、以下同じ)、S i : 0.01 ~ 0.30 %、M n : 0.2 ~ 1.0 %、P : 0.05 % 以下 (0 % を含まない)、S : 0.05 % 以下 (0 % を含まない)、A l : 0.010 ~ 0.1 %、および N : 0.0070 % 以下 (0 % を含まない) を満たし、残部は鉄及び不可避免的な不純物からなると共に、透過型電子顕微鏡を用いて倍率15万倍で鋼組織を観察したときに、粒径50 nm以下のセメンタイトの密度が5 ~ 25 個 / 0.25 μm^2 で、かつ粒径50 nm超のセメンタイトの密度が1 個以下 / 0.25 μm^2 であることを特徴とする冷間加工用鋼。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0.20 ~ 0.40 % (質量%、以下同じ)、
Si : 0.01 ~ 0.30 %、
Mn : 0.2 ~ 1.0 %、
P : 0.05 % 以下 (0 % を含まない)、
S : 0.05 % 以下 (0 % を含まない)、
Al : 0.010 ~ 0.1 %、および
N : 0.0070 % 以下 (0 % を含まない) を満たし、残部は鉄及び不可避免的不純物からなると共に、
透過型電子顕微鏡を用いて倍率15万倍で鋼組織を観察したときに、
粒径50nm以下のセメンタイトの密度が5 ~ 25個 / $0.25 \mu\text{m}^2$ で、かつ
粒径50nm超のセメンタイトの密度が1個以下 / $0.25 \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする冷間加工用鋼。

10

【請求項2】

更に他の元素として、
Cr : 2 % 以下 (0 % を含まない)、および / または
Mo : 2 % 以下 (0 % を含まない)
を含有する請求項1に記載の冷間加工用鋼。

20

【請求項3】

更に他の元素として、
Ti : 0.2 % 以下 (0 % を含まない)、
Nb : 0.2 % 以下 (0 % を含まない)、および
V : 0.2 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選ばれる少なくとも1種を含有する
請求項1または2に記載の冷間加工用鋼。

【請求項4】

更に他の元素として、B : 0.005 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項1 ~ 3のいずれかに記載の冷間加工用鋼。

【請求項5】

更に他の元素として、
Cu : 5 % 以下 (0 % を含まない)、
Ni : 5 % 以下 (0 % を含まない)、および
Co : 5 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選ばれる少なくとも1種を含有する
請求項1 ~ 4のいずれかに記載の冷間加工用鋼。

30

【請求項6】

更に他の元素として、
Ca : 0.05 % 以下 (0 % を含まない)、
REM : 0.05 % 以下 (0 % を含まない)、
Mg : 0.02 % 以下 (0 % を含まない)、
Li : 0.02 % 以下 (0 % を含まない)、
Pb : 0.5 % 以下 (0 % を含まない)、および
Bi : 0.2 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選ばれる少なくとも1種を含有する
請求項1 ~ 5のいずれかに記載の冷間加工用鋼。

40

【請求項7】

請求項1 ~ 6のいずれかに記載の冷間加工用鋼を製造する方法であって、
請求項1 ~ 6のいずれかに記載の化学組成を有する鋼を用いて、($A_{c1} - 50^\circ\text{C}$) ~ ($A_{c1} + 20^\circ\text{C}$) の温度範囲で10 ~ 60分保持し、その後、 $8^\circ\text{C} / \text{sec}$ 以上の冷却速度で室温まで冷却することを特徴とする冷間加工用鋼の製造方法。

【請求項8】

請求項1 ~ 6のいずれかに記載の冷間加工用鋼を加工温度 200°C 以下で冷間加工する

50

ことにより製造される冷間加工鋼部品であって、冷間加工後の部品強度（H）と冷間加工中の変形抵抗の最大値（DR）が、下記式（1）を満たすことを特徴とする冷間加工鋼部品。

$$H \geq (DR + 1000) / 6 \quad \cdots (1)$$

[式（1）中、Hは冷間加工後の部品強度（Hv）、DRは冷間加工中の変形抵抗の最大値（MPa）を示す]

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷間加工用鋼およびその製造方法ならびに冷間加工鋼部品に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

冷間加工（例えば200℃以下の雰囲気における鋼の加工）は、熱間加工や温間加工と比較して、生産性が高く、寸法精度が良く、しかも鋼材の歩留が良好であるといった利点を有するため、各種部品の製造に幅広く用いられている。

【0003】

このような背景下、冷間加工に使用される鋼は、冷間加工時の変形抵抗が低いことが必要とされる。鋼の変形抵抗が高いと、冷間加工に使用する金型の寿命低下を招くからである。

20

【0004】

鋼の変形抵抗を低下させるには、C（炭素）、Si、Mnなどの添加元素を低下させればよいことが知られている。しかしながら、単純に添加元素を低減し、変形抵抗を低下させると、金型の寿命は改善できるものの、加工後に必要な部品強度が得られないという問題が生じる。そのため、従来、鋼を所定形状に冷間加工した後は、所定の硬度を確保するため、焼入れ焼戻しが施されていた。しかし部品加工後に焼入れ焼戻しを行うと、部品寸法が変化し易いため、更に部品加工を行わなければならないといった問題がある。

【0005】

また特許文献1には、冷間鍛造用棒鋼の製造方法として、Ac1～（Ac1－50℃）の範囲で5時間以上保持することで、セメンタイトを凝集させて、変形抵抗を下げることで開示されている。また介在物を利用して、フェライト粒の粗大化を抑制することで鍛造時の割れ発生を防止している。該方法では、セメンタイトを球状化することで安定的に存在させているため、部品強度は変形抵抗に応じた強度レベルとなるが、変形抵抗に比してより高い部品強度を達成するには、更に検討が必要と思われる。また、通常の球状化焼鈍より生産性が良くなるものの、5時間以上の保持時間を要するため、生産性向上や省エネルギーの観点からは改善が必要と思われる。

30

【0006】

特許文献2には、フェライト組織中に、窒化物および炭化物が混合若しくは複合された状態で、平均で25個以上／25μm²存在させることが示されている。この技術は、変形抵抗に悪影響を及ぼす固溶Nおよび固溶Cを固定化し、所定個数以上の窒化物および炭化物をフェライト組織中に析出させることにより、動的ひずみ時効を抑制し、変形抵抗を低減するものである。該技術は、固溶Cおよび固溶Nを安定的に存在させているため、部品強度は変形抵抗に応じた強度レベルになるが、変形抵抗に比してより高い部品強度を達成するには、更に検討が必要と思われる。

40

【特許文献1】特開昭57－63635号公報

【特許文献2】特開2000－8139号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明はこの様な事情に鑑みてなされたものであって、その目的は、冷間加工性に優れ

50

る（特に、冷間加工鋼部品に割れが生じず、かつ、部品硬さに対する加工時の変形抵抗が低く抑えられて、金型の長寿命化を図り得ることをいう）と共に、加工後は所定の硬度・強度を確保することのできる冷間加工用鋼、およびその製造方法、ならびに該冷間加工用鋼を用いて得られる冷間加工鋼部品を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る冷間加工用鋼とは、

C：0.20～0.40%（質量%、以下同じ）、

Si：0.01～0.30%、

Mn：0.2～1.0%、

P：0.05%以下（0%を含まない）、

S：0.05%以下（0%を含まない）、

Al：0.010～0.1%、および

N：0.0070%以下（0%を含まない）を満たし、残部は鉄及び不可避免の不純物からなると共に、

透過型電子顕微鏡を用いて倍率15万倍で鋼組織を観察したときに、

粒径50nm以下のセメンタイトの密度が5～25個/0.25 μm^2 で、かつ

粒径50nm超のセメンタイトの密度が1個以下/0.25 μm^2 である

ところに特徴を有する。

【0009】

尚、上記「粒径50nm以下のセメンタイト」「粒径50nm超のセメンタイト」とは、後述する実施例に示す方法で測定したものをいう（以下同じ）。

【0010】

上記冷間加工用鋼は、更に他の元素として、

(a) Cr：2%以下（0%を含まない）、および／またはMo：2%以下（0%を含まない）

(b) Ti：0.2%以下（0%を含まない）、Nb：0.2%以下（0%を含まない）、およびV：0.2%以下（0%を含まない）よりなる群から選ばれる少なくとも1種

(c) B：0.005%以下（0%を含まない）

(d) Cu：5%以下（0%を含まない）、Ni：5%以下（0%を含まない）、およびCo：5%以下（0%を含まない）よりなる群から選ばれる少なくとも1種

(e) Ca：0.05%以下（0%を含まない）、REM：0.05%以下（0%を含まない）、Mg：0.02%以下（0%を含まない）、Li：0.02%以下（0%を含まない）、Pb：0.5%以下（0%を含まない）、およびBi：0.2%以下（0%を含まない）よりなる群から選ばれる少なくとも1種

を含んでいてもよい。

【0011】

本発明は、上記冷間加工用鋼を製造する方法も規定するものであって、該方法は、上記化学組成を有する鋼を用いて、(Ac1-50℃)～(Ac1+20℃)の温度範囲で10～60分保持し、その後、8℃/sec以上の冷却速度で室温まで冷却するところに特徴を有する。

【0012】

また本発明は、上記冷間加工用鋼を加工温度200℃以下で冷間加工することにより製造される冷間加工鋼部品であって、冷間加工後の部品強度(H)と冷間加工中の変形抵抗の最大値(DR)が、下記式(1)を満たすところに特徴を有する冷間加工鋼部品も含む。

$$H \geq (DR + 1000) / 6 \quad \cdots (1)$$

[式(1)中、Hは冷間加工後の部品強度(Hv)、DRは冷間加工中の変形抵抗の最大値(MPa)を示す]

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、冷間加工後に焼入れ焼戻しを行ったり煩雑な熱処理を施すことなく、従来よりも、冷間加工鋼部品の硬さを向上できる。また、割れを生じさせることなく、ひずみの大きな冷間加工を良好に行うことができる（例えば、真ひずみが150%の冷間加工も良好に行うことができる）。更には、冷間加工に用いられる金型の長寿命化を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明者らは、冷間加工中は良好な加工性を示し、ひずみの大きな加工を良好に行い得ると共に、該加工に用いる金型の長寿命化を図ることができ、更には、加工後に所定の硬度・強度を確保することのできる冷間加工用鋼を得べく鋭意研究を行った。その結果、特に、規定サイズの微細なセメンタイトを規定の密度で鋼中に存在させればよいことを見出した。また、上記サイズ・量のセメンタイトを存在させるための鋼材の化学成分や製造条件についても検討を行い、その最適範囲を見出した。以下、本発明について詳述する。

【0015】

本発明では、粒径が50nm以下のセメンタイトを鋼中に存在させる。この粒径が50nm以下の微細なセメンタイトは、冷間加工中（変形中）に分解されて、材料中にCが拡散され（固溶Cが鋼中に供給され）、該固溶Cが鋼中の可動転位に固着されることにより、所定の部品強度を達成できると考えられる。

【0016】

上記セメンタイトの粒径が50nmを超えると、安定性が高くなり分解し難くなるので好ましくない。上記セメンタイトの粒径は、好ましくは45nm以下であり、より好ましくは40nm以下である。

【0017】

尚、冷間加工中に、固溶Cが供給される鋼部位は変形抵抗が高くなるが、本発明では上記セメンタイト量の上限を規定することで、該セメンタイト以外の組織が変形を担うため、変形抵抗を著しく高めることなく加工を行うことができる。

【0018】

この様な作用効果を十分に発揮させるには、上記粒径が50nm以下の微細なセメンタイトを0.25 μm^2 あたり5個以上存在させる必要がある。0.25 μm^2 あたり5個未満だと、固溶Cが多く存在することとなり変形抵抗が高くなるからである。上記サイズのセメンタイトは0.25 μm^2 あたり好ましくは8個以上、より好ましくは10個以上であるのがよい。一方、上記サイズのセメンタイトが0.25 μm^2 あたり25個を超えて存在すると、析出強化による変形抵抗の増加が顕著となるので好ましくない。よって、本発明では、上記サイズのセメンタイトの密度を0.25 μm^2 あたり25個以下とする。好ましくは23個以下/0.25 μm^2 であり、より好ましくは20個以下/0.25 μm^2 である。

【0019】

また粒径50nm超のセメンタイトの密度は、0.25 μm^2 あたり1個以下に抑える必要がある。粒径50nm超のセメンタイトの密度が1個超/0.25 μm^2 であると、微細セメンタイトが析出しにくくなり、所定の部品強度が得られ難くなる（後述する式（1）を満たさなくなる）からである。粒径50nm超のセメンタイトの密度は、好ましくは0.8個以下/0.25 μm^2 、より好ましくは0.5個以下/0.25 μm^2 に抑える。

【0020】

本発明では、この様な作用機構により、変形抵抗を上昇させずに部品強度を向上させることができるため、特許文献1や特許文献2の技術と比べて、同じ変形抵抗量で部品強度をより高めることができる。また、従来と同じ強度の部品を製造する場合には、冷間加工に用いる金型の長寿命化を図ることができる。尚、特許文献2の実施例では、炭化物の平均粒径が小さく変形抵抗が高い例があるが、これは、析出させる炭化物数が少なく、動的

ひずみ時効に寄与する固溶Cが多く残存しているため、加工時に変形抵抗が増大したものである。

【0021】

本発明は、上記の通り、特に鋼中における上記セメンタイトのサイズおよび量を制御する点に特徴があるが、この様にセメンタイトの析出形態を制御して良好な冷間加工性を容易に確保すると共に、鋼部品の強度やその他必要な特性を確保するには、化学成分を下記範囲内とする必要がある。

【0022】

[C: 0.20~0.40%]

Cは、強度を高めると共に規定のセメンタイトを確保するのに必要な元素である。よって、C量は0.20%以上とする。好ましくは0.21%以上、より好ましくは0.22%以上である。しかしC量が0.40%を超えると、変形抵抗が増大するので好ましくない。よって本発明では、C量の上限を0.40%とした。好ましくは0.39%以下であり、より好ましくは0.38%以下である。

【0023】

[Si: 0.01~0.30%]

Siは、製鋼過程において脱酸剤として使用される元素である。Si量が少なすぎると、凝固過程でガスが発生し、これらが欠陥として作用しやすくなるため、冷間加工中に割れが発生し得る。そこでSi量の下限を0.01%と定めた。好ましくは0.015%以上であり、より好ましくは0.02%以上である。一方、Si量が過剰になると、変形抵抗の増大を招くと共に、圧延中の脱炭を進行させて製品の表面品質が劣化するため好ましくない。よってSi量の上限を0.30%とする。好ましくは0.28%以下であり、より好ましくは0.25%以下である。

【0024】

[Mn: 0.2~1.0%]

Mnは、製鋼過程において脱酸剤や脱硫剤として有効な元素であり、また焼入性の向上にも有効な元素である。更に、SをMnSとして固定させ、Sによる悪影響の抑制にも有効な元素である。よって、Mnは0.2%以上含有させる。好ましくは0.22%以上、より好ましくは0.25%以上である。一方、Mn量が過剰になると変形抵抗が増大するため、Mn量は1.0%以下、好ましくは0.98%以下、より好ましくは0.95%以下とする。

【0025】

[P: 0.05%以下(0%を含まない)]

リン(P)は、不可避的不純物であり、フェライト粒界に偏析して冷間加工性を劣化させる元素である。また、フェライトを固溶強化させて変形抵抗の増大をもたらす元素でもある。よって、冷間加工性向上の観点から、P量を0.05%以下とする。好ましくは0.03%以下であるが、P量を0にすることは、工業上困難である。

【0026】

[S: 0.05%以下(0%を含まない)]

硫黄(S)も、Pと同様に不可避的不純物であり、FeSとして結晶粒界に膜状に析出し、加工性を劣化させる元素である。また、熱間脆性を引き起こす作用も有する。そこで変形能を向上させる観点から、本発明ではS量を、0.05%以下(好ましくは0.03%以下)とする。但しS量を0にすることは、工業上困難である。尚、Sは被削性を向上させる効果を有するため、被削性向上の観点からは、0.002%以上含有させることが好ましく、より好ましくは0.006%以上含有させることが推奨される。

【0027】

[Al: 0.010~0.1%]

Alは、製鋼過程における脱酸元素として有効な元素であり、また、固溶Nと窒化物(AlN)を形成させて、固溶Nによる動的ひずみ時効を抑制するのに有効な元素である。該効果を十分に発現させるには、Alを、0.010%以上、好ましくは0.015%

10

20

30

40

50

以上、より好ましくは0.02%以上含有させる。しかしAl量が0.1%を超えると、靱性が低下し、割れが生じやすくなるので好ましくない。そこでAl量を0.1%以下とする。好ましくは0.09%以下であり、より好ましくは0.08%以下である。

【0028】

〔N：0.0070%以下（0%を含まない）〕

窒素（N）は、不可避的不純物であり、変形抵抗を増大させる元素である。よってN量を0.0070%以下とする。好ましくは0.006%以下であり、より好ましくは0.005%以下である。

【0029】

本発明で規定する含有元素は上記の通りであって、残部は鉄および不可避的不純物である。該不可避的不純物としては、原料、資材、製造設備等の状況によって持ち込まれる元素の混入が許容され得る。尚、必要に応じて、以下の元素を更に含有させても良い。

【0030】

〔Cr：2%以下（0%を含まない）および／またはMo：2%以下（0%を含まない）〕

Cr、Moは、冷間加工後の部品の硬さおよび靱性を向上させる作用を有する元素である。この様な効果を有効に発現させるには、Crを含有させる場合、好ましくは0.1%以上、より好ましくは0.2%以上含有させることが有効である。またMoを含有させる場合には、好ましくは0.04%以上、より好ましくは0.1%以上含有させることが推奨される。

【0031】

しかし、Crの過剰添加は変形抵抗を増大し、冷間加工性が低下するので、Cr量は2%以下とすることが好ましく、より好ましくは1.5%以下である。また、Moが過剰に含まれると冷間加工性が劣化するので、Mo量は、2%以下とすることが好ましく、より好ましくは1.5%以下、更に好ましくは1%以下である。

【0032】

〔Ti：0.2%以下（0%を含まない）、Nb：0.2%以下（0%を含まない）、およびV：0.2%以下（0%を含まない）よりなる群から選ばれる少なくとも1種〕

Ti、Nb、Vは、窒素と共に窒化物を形成して結晶粒を微細化し、冷間加工後に得られる部品の靱性を高めるために有効な元素である。この様な効果を有効に発現させるには、Tiを含有させる場合、好ましくは0.001%以上、より好ましくは0.002%以上のTiを含有させるのがよく、Nbを含有させる場合には、好ましくは0.001%以上、より好ましくは0.002%以上のNbを含有させるのがよい。また、Vを含有させる場合には、好ましくは0.001%以上、より好ましくは0.002%以上のVを含有させることが推奨される。

【0033】

一方、これらの元素は、窒素との親和力が強く、窒化物を形成して、冷間加工後の硬化上昇に有効な固溶窒素を低減させてしまうため、上限量を次のように定めた。Ti量は、好ましくは0.2%以下、より好ましくは0.1%以下であり、Nb量は、好ましくは0.2%以下、より好ましくは0.1%以下であり、V量は、好ましくは0.2%以下、より好ましくは0.1%以下である。

【0034】

〔B：0.005%以下（0%を含まない）〕

Bは、結晶粒界の強度を高めることにより鋼の変形能を向上させる元素である。そこで必要に応じて、B量を好ましくは0.0001%以上、より好ましくは0.0002%以上含有させることが推奨される。しかしBは、窒素との親和力が強く、B窒化物を形成するが、このB窒化物が過剰になると冷間加工性が低下し易くなる。よってB量は、好ましくは0.005%以下、より好ましくは0.003%以下とする。

【0035】

〔Cu：5%以下（0%を含まない）、Ni：5%以下（0%を含まない）、および

C o : 5 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選ばれる少なくとも 1 種類]

C u、N i、C o は、いずれも鋼材をひずみ時効させて硬化させる作用を有する元素であり、加工後の強度を向上させるのに有効な元素である。これらの効果を発揮させるには、いずれの元素を含有させる場合にも、0. 1 % 以上含有させることが好ましく、より好ましくは 0. 3 % 以上である。しかし、いずれの元素を含有させる場合も、5 % を超えると効果が飽和し、かえって割れを促進させるので好ましくない。そこで含有させる場合の上限を、それぞれ 5 % (好ましくは 4 %、より好ましくは 3 %) とする。

【 0 0 3 6 】

[C a : 0. 0 5 % 以下 (0 % を含まない)、R E M : 0. 0 5 % 以下 (0 % を含まない)、M g : 0. 0 2 % 以下 (0 % を含まない)、L i : 0. 0 2 % 以下 (0 % を含まない)、P b : 0. 5 % 以下 (0 % を含まない)、および B i : 0. 2 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選ばれる少なくとも 1 種]

C a、R E M (希土類元素)、M g、L i、P b および B i は、鋼の被削性向上に寄与する元素である。また C a、R E M、M g および L i は、M n S 等の硫化物系介在物を球状化させ、鋼の靱性を高める作用も有する。この様な効果を有効に発現させるには、C a を含有させる場合、好ましくは 0. 0 0 0 5 % 以上、より好ましくは 0. 0 0 1 % 以上の C a を含有させるのがよく、R E M を含有させる場合、好ましくは 0. 0 0 0 5 % 以上、より好ましくは 0. 0 0 1 % 以上の R E M を含有させるのがよい。また、M g を含有させる場合には、好ましくは 0. 0 0 0 5 % 以上、より好ましくは 0. 0 0 0 8 % 以上の M g を含有させるのがよく、L i を含有させる場合には、好ましくは 0. 0 0 0 1 % 以上、より好ましくは 0. 0 0 0 5 % 以上の L i を含有させるのがよく、P b を含有させる場合には、好ましくは 0. 0 0 5 % 以上、より好ましくは 0. 0 1 % 以上の P b を含有させるのがよい。また、B i を含有させる場合には、好ましくは 0. 0 0 5 % 以上、より好ましくは 0. 0 1 % 以上の B i を含有させることが推奨される。

【 0 0 3 7 】

しかしこれらの元素量が過剰でも、その効果が飽和する。そこで含有させる場合の上限量を、それぞれ次のように定めた。C a 量は、好ましくは 0. 0 5 % 以下、より好ましくは 0. 0 1 % 以下、R E M 量は、好ましくは 0. 0 5 % 以下、より好ましくは 0. 0 1 % 以下、M g 量は、好ましくは 0. 0 2 % 以下、より好ましくは 0. 0 1 % 以下、L i 量は、好ましくは 0. 0 2 % 以下、より好ましくは 0. 0 1 % 以下、P b 量は、好ましくは 0. 5 % 以下、より好ましくは 0. 3 % 以下、および B i 量は、好ましくは 0. 2 % 以下、より好ましくは 0. 1 % 以下である。

【 0 0 3 8 】

次に、本発明の製造方法について説明する。本発明の鋼は、上述の通り、特にセメンタイトのサイズ・量を規定したところに特徴を有する。この様にセメンタイトの析出形態を制御するには、一般的な方法で溶解・圧延し、熱間加工 (熱間圧延や熱間鍛造等) を施した後に、特に、焼ならし温度 : (A c 1 - 5 0 ° C) ~ (A c 1 + 2 0 ° C) の温度範囲で 1 0 ~ 6 0 分保持し、その後、8 ° C / s e c 以上の冷却速度で室温まで冷却することが大変有効であることを見出した。

【 0 0 3 9 】

上記焼ならし温度が (A c 1 - 5 0 ° C) 未満であると、微細なセメンタイトが析出しないので好ましくない。好ましくは (A c 1 - 4 0 ° C) 以上とするのがよく、より好ましくは (A c 1 - 3 0 ° C) 以上である。

【 0 0 4 0 】

一方、焼ならし温度が (A c 1 + 2 0 ° C) を超えると、セメンタイトからオーステナイトへの変態が促進して、規定のセメンタイトが得られないので好ましくない。

【 0 0 4 1 】

よって、焼ならし温度は、(A c 1 + 2 0 ° C) 以下、好ましくは (A c 1 + 1 5 ° C) 以下、より好ましくは (A c 1 + 1 0 ° C) 以下とする。尚、(A c 1 - 5 0 ° C) ~ (A c 1 + 2 0 ° C) の温度範囲内の一定温度で保持するのみならず、上記温度範囲内で焼ならし温

度が変動してもよい。

【0042】

また上記温度範囲での保持時間が短いと、上記サイズのセメントタイトの数が不十分となる。よって保持時間を10分以上（好ましくは15分以上、より好ましくは20分以上）とする。一方、保持時間が長すぎると、微細セメントタイトが凝集して粗大化し始めるので好ましくない。よって、保持時間は60分以下とする。好ましくは55分以下、より好ましくは50分以下である。

【0043】

上記温度・時間で保持した後は、 $8^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上の冷却速度で室温まで冷却する。該冷却速度が遅いと、セメントタイトが凝集してサイズが大きくなり、規定サイズのセメントタイトを十分確保できないからである。好ましくは $8.5^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上、より好ましくは $9^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上の冷却速度で室温まで冷却するのがよい。冷却手段としては、放冷、風冷等が挙げられる。

【0044】

尚、冷間加工用鋼として線材を製造する場合、上記冷却速度を達成させる一手段として、上記熱間加工で細径化（例えば直径10～12mm）したものをを用いて、上記手段で冷却することが挙げられる。

【0045】

以上のようにして製造される冷間加工用鋼（例えば線材や棒鋼）は、その後、冷間加工され、鋼部品（ボルトやナット等の部品、自動車用部品、その他の機械部品）となる。ここでの冷間加工方法には、冷間鍛造、冷間圧造、冷間転造、冷間打抜き等の冷間加工が含まれる。また、部品の加工に必要であれば、伸線、圧延等の加工を行ってもよい。

【0046】

加工の際の温度も冷間加工性に影響するため、加工温度の上限値は、好ましくは 200°C 、より好ましくは 180°C 、さらに好ましくは 160°C に設定することが推奨される。加工温度が高すぎると変形中に動的歪み時効が発生し、変形抵抗が上昇してしまうからである。一方、冷間加工は通常、室温で実施されるが、 0°C を下回ると温度依存性により変形抵抗が逆に高くなってしまうため、加工温度の好ましい下限は 0°C とする。なお加工温度は、加工の際の雰囲気温度を指す。

【0047】

この様な条件下で得られる本発明の鋼部品は、その強度が、冷間加工時の変形抵抗の最大値との関係において、下記式（1）を満たすところに特徴を有する。

$$H \geq (DR + 1000) / 6 \quad \cdots (1)$$

[式（1）中、Hは冷間加工後の部品強度（HV）、DRは冷間加工中の変形抵抗の最大値（MPa）を示す]

【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、本発明は以下の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】

まず、下記（I）（II）の条件で順次製造し、次いで下記（III）に示す通り、表2に示す条件（焼ならし温度T、保持時間t）で加熱し、その後、表2に示す冷却速度で室温まで冷却し、表1に示す化学成分組成の線材を得た。

【0050】

尚、表1中のAc1は、下記K. W. Andrewsの式（「レスリー鉄鋼材料学」丸善（1985）p. 273）によって計算した。

$$\text{Ac1} (^{\circ}\text{C}) = 723 - 10.7 (\% \text{Mn}) - 16.9 (\% \text{Ni}) + 29.1 (\% \text{Si}) + 16.9 (\% \text{Cr}) + 290 (\% \text{As}) + 6.38 (\% \text{W})$$

（上記％は、鋼中各成分の質量％を示す）

(I) 溶解・圧延：ビレット溶製 → 溶製材を 1 1 5 0 ～ 1 2 5 0 °C に加熱 → 1 5 5 m m 角に圧延

(II) 棒鋼圧延：1 1 0 0 ～ 1 2 5 0 °C に加熱 → 直径 1 2 m m に圧延 → 放冷

(III) 焼ならし：表 2 に示す焼ならし温度 $T \times$ 保持時間 $t \rightarrow$ 室温まで表 2 に示す冷却速度で冷却（風冷以上の冷却速度で冷却）

上記の様に得られた直径 1 2 m m の線材を用いて、鋼組織の観察（セメンタイトのサイズ・量の測定）、加工試験および変形抵抗の測定、および鋼部品のビッカース硬さ（ H_v ）の測定を、それぞれ下記の要領で行った。

【0051】

〔鋼組織の観察〕

粒径 5 0 n m 以下のセメンタイトの密度と、粒径 5 0 n m 超のセメンタイトの密度は、以下 (i) ～ (v) の手順により求めた。

(i) 上記線材の $D/4$ 位置から、圧延方向に平行な面を観察できるように薄片を採取する。

(ii) S t r u e r s 社製 T e n u p o l - 2 を用い、電解薄膜法（ツインジェット法）でサンプルを調整する。

(iii) 日立製作所製 H - 8 0 0 透過電子顕微鏡を用い、加速電圧 2 0 0 k V、観察倍率 1 5 万倍で観察・写真撮影する。

(iv) 上記写真をスキャナーで取り込み、Media Cybernetic社製のImage Pro PLUSを用いて、任意の位置について白黒の 2 値化処理を実行する。

(v) ラメラセメンタイトを除いた上記黒色部分の各面積について、オブジェクトの外周の 2 点を結び、かつ重心を通る径を 2° きざみで測定した平均値を、セメンタイトの粒径とした（粒径の判定限界は 1 n m）。この様にして、視野サイズ $0.5 \mu m \times 0.5 \mu m$ に存在する上記セメンタイトの粒径と個数を測定し、粒径 5 0 n m 以下のセメンタイトの $0.25 \mu m^2$ あたりの個数と、粒径 5 0 n m 超のセメンタイトの $0.25 \mu m^2$ あたりの個数をそれぞれ求めた。これらの測定結果を表 2 に示す。

【0052】

次に、上記鋼材の中心部から、 $\phi 6 m m \times$ 長さ 9 m m の試験片を切り出した。該試験片を用いて、加工試験を行い、変形抵抗の測定、割れの有無確認、および加工後（鋼部品）のビッカース硬さ（ H_v ）を測定した。尚、一般に変形抵抗が下がると金型寿命が向上し、変形抵抗が 2 0 % 下がると金型寿命が 5 ～ 1 0 倍延びることから、ここでは金型寿命の評価を変形抵抗の値で行った。

【0053】

〔加工試験および変形抵抗の測定〕

上記試験片を、歪み速度：1 / 秒、加工温度：2 0 ～ 2 0 0 °C、圧縮率：2 0 ～ 8 0 % の加工条件で、容量 2 0 0 k N の加工フォーマスター試験装置を用いて鍛造し、鋼部品に加工した。歪み速度は、加工中（塑性変形中）の歪み速度の平均値を用いた。得られた部品について、観察倍率 2 0 倍での実態顕微鏡で表面を観察して、割れの有無を確認した。各部品の冷間加工条件（加工温度、圧縮率）、各部品の割れの有無（割れが発生した場合を $\times$ 、割れが発生しなかった場合を $\circ$ とする）、および変形抵抗の最大値を表 3 に示す。

【0054】

尚、表 3 の圧縮率は、 $[(1 - L / L_0) \times 100 (\%)]$ (L_0 ：加工前の試験片長さ、 L ：加工後の試験片長さ) をいう。

【0055】

〔鋼部品のビッカース硬さ（ H_v ）の測定〕

加工試験後の試験片を用い、荷重：1 0 0 0 g、測定位置：試験片断面の $D/4$ 中央部（ D ：部品直径）、および測定回数：5 回の条件で、ビッカース硬さ試験機を用いて、鋼部品のビッカース硬さ（ H_v ）を測定した。測定結果を表 3 に併記する。

【0056】

〔式 (1) による判定〕

表 3 には、各試験片が下記式 (1) を満たすか否かを示しており、式 (1) を満たす場合には「○」、式 (1) を満たさない場合には「×」を付している。

$$H \geq (DR + 1000) / 6 \quad \cdots (1)$$

但し、H：冷間加工後の部品強度 (Hv)、DR：冷間加工時の最大変形抵抗 (MPa)

【0057】

本実施例では、部品に割れが無く、かつ部品硬さに対して鋼の変形抵抗が低い鋼 [具体的には上記式 (1) を満たすもの] を、冷間加工性に優れると判定した。

【0058】

【表 1】

鋼 記号	化学成分組成 (mass%)※								Ac1 ℃
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	その他	
1A	0.18	0.02	0.57	0.013	0.015	0.036	0.0036	—	717
1B	0.22	0.04	0.41	0.016	0.013	0.043	0.0037	—	720
1C	0.38	0.24	0.88	0.021	0.017	0.021	0.0045	—	721
1D	0.44	0.03	0.75	0.016	0.014	0.029	0.0040	—	716
1E	0.25	0.32	0.42	0.015	0.018	0.015	0.0041	—	728
1F	0.24	0.23	1.08	0.017	0.033	0.018	0.0052	—	718
1G	0.24	0.21	0.17	0.015	0.018	0.015	0.0043	—	727
1H	0.25	0.19	0.32	0.015	0.018	0.015	0.0047	—	725
1I	0.34	0.02	0.74	0.062	0.009	0.033	0.0044	—	716
1J	0.36	0.03	0.72	0.019	0.055	0.028	0.0046	—	716
1K	0.35	0.04	0.08	0.013	0.008	0.008	0.0061	—	723
1L	0.26	0.28	0.46	0.022	0.025	0.013	0.0055	—	726
1M	0.25	0.19	0.44	0.012	0.022	0.021	0.0065	—	724
1N	0.25	0.18	0.35	0.016	0.011	0.008	0.0076	—	724
1O	0.27	0.29	0.57	0.028	0.017	0.038	0.0040	—	725
1P	0.28	0.16	0.58	0.015	0.014	0.011	0.0045	—	721
1Q	0.23	0.27	0.33	0.019	0.013	0.035	0.0038	—	727
1R	0.23	0.15	0.56	0.016	0.013	0.039	0.0051	—	721
1S	0.28	0.08	0.32	0.011	0.009	0.022	0.0032	—	722
1T	0.26	0.02	0.34	0.019	0.023	0.045	0.0038	—	720
1U	0.22	0.09	0.31	0.008	0.015	0.021	0.0058	—	722
1V	0.23	0.03	0.34	0.017	0.011	0.022	0.0052	—	720
1W	0.37	0.28	0.62	0.024	0.026	0.034	0.0047	—	725
1X	0.33	0.27	0.88	0.014	0.012	0.038	0.0044	—	721
1Y	0.34	0.17	0.65	0.009	0.019	0.045	0.0045	—	721
1Z	0.33	0.16	0.85	0.022	0.011	0.038	0.0039	—	719
2A	0.38	0.09	0.84	0.017	0.019	0.021	0.0043	—	717
2B	0.37	0.02	0.89	0.023	0.028	0.045	0.0032	—	714
2C	0.36	0.03	0.62	0.018	0.008	0.022	0.0033	—	717
2D	0.33	0.09	0.86	0.011	0.023	0.044	0.0055	—	716
2E	0.21	0.19	0.81	0.019	0.022	0.031	0.0064	Cr:1.12、Mo:0.17	737
2F	0.23	0.18	0.35	0.008	0.019	0.032	0.0054	Ti:0.018	724
2G	0.24	0.21	0.48	0.022	0.024	0.026	0.0043	Cr:0.15、Nb:0.026	726
2H	0.27	0.24	0.55	0.021	0.018	0.032	0.0043	Cr:0.13、B:0.0022、V:0.03	724
2I	0.36	0.26	0.82	0.014	0.009	0.027	0.0044	Cu:0.25、Ni:0.16	719
2J	0.34	0.18	0.72	0.022	0.025	0.035	0.0046	Co:0.3、Mg:0.0015	721
2K	0.23	0.03	0.44	0.013	0.014	0.024	0.0038	Pb:0.06	719
2L	0.26	0.23	0.43	0.017	0.021	0.027	0.0048	Bi:0.05	725
2M	0.38	0.22	0.69	0.017	0.023	0.019	0.0055	Ca:0.0026、Li:0.0002	722
2N	0.36	0.04	0.67	0.023	0.022	0.037	0.0051	REM:0.0008	717

※残部鉄および不可避不純物

【表 2】

鋼 記号	焼ならし温度T	保持時間t	冷却速度	粒径50nm以下の セメントの密度 個/0.25 μm^2	粒径50nm超の セメントの密度 個/0.25 μm^2
	°C				
1A	700	30	10	3	0
1B	675	30	10	7	0
1C	700	15	10	23	0
1D	700	30	10	27	0
1E	700	30	10	16	0
1F	700	30	10	17	0
1G	700	30	10	21	0
1H	700	30	10	24	0
1I	700	30	10	23	0
1J	700	30	10	19	0
1K	700	30	10	19	0
1L	700	30	10	17	0
1M	700	30	10	16	0
1N	700	30	10	20	0
1O	700	30	10	22	0
1P	700	5	10	4	0
1Q	750	30	10	3	0
1R	700	30	100	19	0
1S	700	45	10	24	0
1T	700	30	1	4	1
1U	700	30	10	15	0
1V	650	30	10	1	0
1W	700	15	10	8	0
1X	700	75	10	8	2
1Y	700	30	10	20	0
1Z	650	30	10	2	0
2A	700	30	10	19	0
2B	750	30	10	2	0
2C	焼ならし無し			0	0
2D	700	60	10	14	0
2E	700	30	10	25	0
2F	700	30	10	21	0
2G	700	30	10	17	0
2H	700	30	10	15	0
2I	725	30	10	21	0
2J	700	30	10	9	0
2K	725	30	10	17	0
2L	700	30	10	15	0
2M	700	30	10	21	0
2N	675	30	10	16	0

【0060】

【表 3】

鋼 記号	加工温度 ℃	圧縮率 %	変形抵抗の最大値 MPa	加工後の硬さ Hv	割れ 判定	式(1)に よる判定
1A	20	80	495	240	○	×
1B	20	80	548	270	○	○
1C	200	80	738	321	○	○
1D	20	80	781	332	×	○
1E	20	80	622	293	×	○
1F	20	80	744	320	×	○
1G	20	80	585	301	×	○
1H	20	40	568	286	○	○
1I	20	80	700	319	×	○
1J	20	80	713	321	×	○
1K	20	80	736	322	×	○
1L	20	80	633	292	○	○
1M	150	80	598	295	○	○
1N	20	80	710	318	×	○
1O	20	60	629	306	○	○
1P	20	80	644	272	○	×
1Q	20	80	588	307	×	○
1R	20	80	583	299	○	○
1S	20	80	628	305	○	○
1T	20	80	582	251	○	×
1U	20	80	550	292	○	○
1V	20	80	558	242	○	×
1W	20	80	738	306	○	○
1X	20	80	706	267	○	×
1Y	20	80	708	321	○	○
1Z	20	80	706	280	○	×
2A	20	80	744	320	○	○
2B	20	80	730	299	×	○
2C	20	80	712	271	×	×
2D	20	80	696	315	○	○
2E	20	80	583	283	○	○
2F	20	80	582	287	○	○
2G	50	80	594	300	○	○
2H	20	80	638	306	○	○
2I	20	20	701	309	○	○
2J	20	80	713	304	○	○
2K	20	80	554	284	○	○
2L	100	80	596	299	○	○
2M	20	80	765	325	○	○
2N	20	80	728	315	○	○

【0061】

表1～3から次のように考察できる（尚、下記記号は、表1～3の鋼記号を示す）。

1B、1C、1H、1L、1M、1O、1R、1S、1U、1W、1Y、2Aおよび2D～2Nは、本発明で規定する要件を満足する例であり、部品に割れが無く、かつ部品硬

10

20

30

40

50

さに対する加工時の変形抵抗が低い鋼材が得られている。これに対し、本発明の要件を満たさないものは、割れが発生しているか、部品硬さに対する加工時の変形抵抗が高くなっており（即ち、式（１）を満たさず）、金型の長寿命化が望めないものとなっている。

【００６２】

詳細には、１Ａは、Ｃ量が不足し、規定のセメンタイトを十分確保できていないので式（１）を満たさないものとなった。１Ｄは、Ｃ量が過剰であるため、セメンタイトが必要以上に析出し、部品に割れが生じた。

【００６３】

１Ｅは、Ｓｉ量が不足しているため、冷間加工中に割れが発生した。

【００６４】

１Ｆは、Ｍｎ量が過剰であるため、部品に割れが生じた。１Ｇ、１Ｋは、Ｍｎ量が不足（１ＫではＡｌ量も不足）しているため、ＳがＭｎによって固定されず、ＦｅＳとして結晶粒界に膜状に析出して部品に割れが生じた。

【００６５】

１Ｉは、フェライト粒界に偏析して冷間加工性を劣化させるＰが過剰に存在するため、部品に割れが生じた。１Ｊは、Ｓ量が過剰であるため、結晶粒界の脆化が促進され、部品に割れが生じた。

【００６６】

１Ｎは、Ａｌ量が不足し、かつＮ量が過剰であるため、固溶Ｎによる動的ひずみ時効が生じて、部品に割れが生じた。

【００６７】

１Ｐは、焼ならし時の保持時間ｔが短いため、規定のセメンタイトを十分確保できず、式（１）を満たさないものとなった。

【００６８】

１Ｑ、２Ｂは、焼ならし温度Ｔが（ $A_{c1} + 20^{\circ}C$ ）を上回っているため、規定のセメンタイトを析出させることができず、動的ひずみ時効に寄与する固溶Ｃを十分低減できなかったため、変形抵抗が増大して加工性の低下（割れ）が生じた。

【００６９】

１Ｔは、焼ならし温度Ｔで保持した後の冷却をゆるやかに行ったため、規定サイズのセメンタイトを十分確保できず、式（１）を満たさないものとなった。

【００７０】

１Ｖ、１Ｚは、焼ならし温度が（ $A_{c1} - 50^{\circ}C$ ）を下回っているため、規定サイズのセメンタイトを十分確保できず、式（１）を満たさないものとなった。

【００７１】

１Ｘは、焼ならし時の保持時間ｔが長すぎるため、粗大な炭化物が形成され、式（１）を満たさないものとなった。

【００７２】

２Ｃは、焼ならしを行っていないため、規定サイズのセメンタイトを確保できず、部品に割れが生じると共に式（１）を満たさないものとなった。

10

20

30

フロントページの続き

(72)発明者 土田 武広

神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

Fターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA03 AA05 AA08 AA09 AA10 AA11 AA12 AA14

AA15 AA16 AA19 AA20 AA21 AA22 AA23 AA24 AA27 AA28

AA29 AA31 AA35 AA36 AA40 BA02 CF02