

(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2010-24549

(P2010-24549A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(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	
C 2 2 C 38/38 (2006.01)	C 2 2 C 38/38	
C 2 2 C 38/58 (2006.01)	C 2 2 C 38/58	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-144267 (P2009-144267)	(71) 出願人	000001199
(22) 出願日	平成21年6月17日 (2009.6.17)		株式会社神戸製鋼所
(31) 優先権主張番号	特願2008-160750 (P2008-160750)		兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
(32) 優先日	平成20年6月19日 (2008.6.19)	(74) 代理人	100064414
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 磯野 道造
		(74) 代理人	100111545
			弁理士 多田 悦夫
		(74) 代理人	100123249
			弁理士 富田 哲雄
		(72) 発明者	増田 智一
			兵庫県神戸市西区高塚台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】 機械構造用鋼

(57) 【要約】

【課題】断続切削における被削性に優れた機械構造用鋼を提供する。

【解決手段】 C : 0 . 0 5 ~ 1 . 2 質量 %、S i : 0 . 0 3 ~ 2 質量 %、M n : 0 . 2 ~ 1 . 8 質量 %、C r : 0 . 1 ~ 3 質量 %、A l : 0 . 0 6 ~ 0 . 5 質量 %、T i : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 質量 %、N : 0 . 0 2 質量 % 以下、O : 0 . 0 0 3 質量 % 以下を含有し、さらに、C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 質量 %、M g : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 質量 % のうち1種以上を含有し、P および S を各 0 . 0 3 質量 % 以下に規制し、残部が F e および不可避免的不純物からなり、前記 C r , A l , O , N , T i の各含有量 (質量 %) を、[C r]、[A l]、[O]、[N]、[T i] と表したとき、 $(0.1 \times [C r] + [A l]) / [O] \geq 150$ 、 $[N] - 0.3 \times [T i] \geq 0.0005$ をそれぞれ満足し、N 固溶量が 0 . 0 0 0 5 質量 % 以下であることを特徴とする機械構造用鋼。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

C : 0 . 0 5 ~ 1 . 2 質量 %、S i : 0 . 0 3 ~ 2 質量 %、M n : 0 . 2 ~ 1 . 8 質量 %、C r : 0 . 1 ~ 3 質量 %、A l : 0 . 0 6 ~ 0 . 5 質量 %、T i : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 質量 %、N : 0 . 0 2 質量 % 以下、O : 0 . 0 0 3 質量 % 以下を含有し、さらに、C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 質量 %、M g : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 質量 % のうち 1 種以上を含有し、P および S を各 0 . 0 3 質量 % 以下に規制し、残部が F e および不可避的不純物からなり、

前記 C r , A l , O の各含有量 (質量 %) を、[C r]、[A l]、[O] として表したとき、 $(0.1 \times [C r] + [A l]) / [O] \geq 150$ を満足し、

前記 N , T i の各含有量 (質量 %) を、[N]、[T i] として表したとき、 $[N] - 0.3 \times [T i] \geq 0.0005$ を満足し、

N 固溶量が 0 . 0 0 0 5 質量 % 以下であることを特徴とする機械構造用鋼。

【請求項 2】

さらに、M o : 1 質量 % 以下を含有することを特徴とする請求項 1 に記載の機械構造用鋼。

【請求項 3】

さらに、N b : 0 . 2 質量 % 以下を含有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の機械構造用鋼。

【請求項 4】

さらに、V : 0 . 5 質量 % 以下、C u : 3 質量 % 以下、N i : 3 質量 % 以下、および B : 0 . 0 0 5 質量 % 以下のうち 1 種以上を含有することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の機械構造用鋼。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、機械構造用鋼材に関するものであり、特に、断続切削加工が施される機械構造用鋼材に関する。

【背景技術】**【0002】**

自動車用変速機や差動装置等の各種歯車伝達装置に利用される歯車、シャフト、プーリ、等速ジョイント、クランクシャフト、コンロッド等の機械構造用部品は、一般に、鋼材に鍛造等の熱間加工を施した後、切削加工を施すことによって最終形状に仕上げられる。そして、最終形状に仕上げられた機械構造用部品は、浸炭や浸炭窒化処理（大気圧、低圧、真空、プラズマ雰囲気を含む）等の表面硬化処理を施され、さらに、必要に応じて焼入れ - 焼戻しや高周波焼入れ等が施されて所定の強度が確保される。このような機械構造用部品の製造において、切削加工に要するコストは占める割合が大きいことから、機械構造部品を構成する鋼材（機械構造用鋼）は被削性が良好であることが要求される。

【0003】

機械構造用部品の一つである歯車の製造方法は、一般的に、機械構造用鋼を鍛造し、ホブ加工によって粗切し（歯切り）、シェーピングにて最終形状に仕上げた後、浸炭等の熱処理を行い、再度研磨加工（ホーニング加工）を行う。さらに、近年では、歯車の寸法精度の向上のため、熱処理による形状の歪みを完全に矯正するために、前記研磨加工の前に研削加工（ハードフィニッシュ）を行うことがある。このように、歯車の製造は非常に多くの工程を必要とし、その中には切削や研削の工程が多いため、特に歯車の材料とする機械構造用鋼には被削性を向上させることが求められている。

【0004】

被削性の劣化要因の一つとして、例えば、被削材中の硬質の介在物によるアブレイブ摩耗があり、特に連続切削において顕著である。一方、ホブ加工等の、工具が被削材に連続的には接触していない断続切削においては、工具の空転時すなわち工具に被削材が接触し

10

20

30

40

50

ていない瞬間があり、工具に付着した鋼材の新生面が、このとき空気に曝され、さらに切削で発熱しているので急速に酸化する。その結果、断続切削に用いられる工具は酸化摩耗し易く、その寿命が短いという問題がある。さらに、ホブ加工に用いられる工具は高価であるため、ホブ加工等の断続切削に供される機械構造用鋼には、被削性、特に工具寿命を向上させることが求められている。

【0005】

そこで、例えば、特許文献1は、JIS鋼にB, S, Caを添加することで硫化物を生成させ、この硫化物を析出核として微細なBNを析出させることにより被削性、疲労強度、および靱性を向上させた鋼材を開示している。また、特許文献2は、被削性を向上させる元素(快削元素)であるSの代わりに、Pb, Caを添加して、靱性を保ちつつ被削性を向上させた鋼材を開示している。また、特許文献3は、Al, Nの各含有量と両者の比を制御することでAlNを析出させ、AlNの潤滑効果により断続切削時の被削性を向上させた鋼材を開示している。特許文献4は、Alを多く添加することにより、MnSを均一分散させて衝撃特性を向上させ、また、高温脆化により被削性を向上させる固溶Al、および高温脆化効果と劈開の結晶構造とにより被削性を向上させるAlNを適量確保し、さらにAlNの微細析出および固溶Alによって降伏比を高くし、一方で被削性および衝撃特性を劣化させる固溶Nを低く抑えた鋼材を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平6-145890公報(段落0009)

【特許文献2】特開平3-10050号公報(請求項1)

【特許文献3】特許第3922691号公報(段落0018~0023)

【特許文献4】特開2008-13788号公報(請求項1、段落0016)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1, 2に開示された鋼材は、超硬工具による旋削に対応したものである。また、鋼材に限らず、近年ではPbを含有しない(Pbフリー)材料が求められている。また、特許文献3に開示された鋼材は、断続切削に対応したものではあるが、特許文献1, 2に開示された鋼材と同様に、鋼材中の析出物により被削性を向上させるものである。これらのような鋼材中の介在物や析出物は、鋼材の機械的特性を劣化させ易いという問題がある。また、特許文献4に開示された鋼材は連続切削に対応したものであり、断続切削に適用すると、工具の空転時に酸素を固着するように活性化した固溶Alは、ある程度抑えられているとはいえ残存する固溶Nに酸素以上に結合し易いため、酸素を固着する効果が失われてしまう。さらに、特許文献3, 4に開示された鋼材において、AlNは熱間加工時の加熱(800~1200)で固溶Alと固溶Nに分解される。その後、熱間加工を施すと、固溶Alと固溶NによりAlNが粒界に偏析し、粒界強度を著しく劣化させる。

【0008】

本発明は、前記問題点に鑑みてなされたものであり、被削性を向上させる手段に靱性や加工性等の機械的特性を兼備させるため、鋼材中の介在物や析出物によらずに断続切削時の被削性を向上させる、特に工具寿命を向上させる機械構造用鋼を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者らは、Feより酸化傾向の大きい、すなわちFeと比較してO(酸素)が結合し易いAlを機械構造用鋼に添加して固溶させることにより、断続切削における機械構造用鋼の新生面の急速な酸化を防止して、工具の酸化摩耗を抑制することにした。一方、Alの添加により、熱間加工時にAlNが偏析して熱間延性(熱間加工性)を劣化させるこ

とを防止するために、Tiを添加してNと結合させることによりAlNの析出を抑制し、さらに、形成されたTiNにより結晶粒の粗大化を防止して、機械的特性を向上させることを見出した。

【0010】

すなわち、請求項1に係る機械構造用鋼は、C：0.05～1.2質量%、Si：0.03～2質量%、Mn：0.2～1.8質量%、Cr：0.1～3質量%、Al：0.06～0.5質量%、Ti：0.01～0.1質量%、N：0.02質量%以下、O：0.003質量%以下を含有し、さらに、Ca：0.0005～0.02質量%、Mg：0.0001～0.005質量%のうち1種以上を含有し、PおよびSを各0.03質量%以下に規制し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、前記Cr、Al、Oの各含有量（質量%）を[Cr]、[Al]、[O]として表したとき、 $(0.1 \times [\text{Cr}] + [\text{Al}]) / [\text{O}]$ 150を満足し、前記N、Tiの各含有量（質量%）を[N]、[Ti]として表したとき、 $[\text{N}] - 0.3 \times [\text{Ti}]$ 0.0005を満足し、N固溶量が0.0005質量%以下であることを特徴とする。

10

【0011】

このように、Feより酸化傾向の大きいAlを添加することにより、断続切削において、機械構造用鋼の新生面が急速に酸化することを防止できる。そして、Tiを添加することで、N（窒素）をAlとではなくTiと結合させてAlNの形成を抑制し、一方で形成したTiNにより結晶粒を微細化させる。さらにTiに対するNの含有量を一定以下に制限することにより、Nの固溶量を所定値以下に抑制する。これによって、断続切削時にAlが固溶Nに結合することなく、酸化摩耗抑制効果を十分に発揮できる。さらに、鋼中のAlNや固溶Nによる熱間加工時のAlNの偏析を防止できる。一方、Ca、Mgの少なくとも1種を添加することで、Al酸化物が硬質介在物としてアブレシブ摩耗を生じさせることを防止できる。また、Cr、Alに対するO（酸素）の含有量を一定以下に制限することで、粗大な酸化物系介在物の生成を抑制することができる。

20

【0012】

また、請求項2に係る機械構造用鋼は、請求項1に記載の機械構造用鋼が、さらに、Mo：1質量%以下を含有することを特徴とする。Moを添加することにより、機械構造用鋼の焼入れ性を向上させて、焼入れ後の硬さを向上させることができる。

【0013】

請求項3に係る機械構造用鋼は、請求項1または請求項2に記載の機械構造用鋼が、さらに、Nb：0.2質量%以下を含有することを特徴とする。Nbを添加することにより、浸炭処理における結晶粒の異常成長を効果的に防止することができる。

30

【0014】

また、請求項4に係る機械構造用鋼は、請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の機械構造用鋼が、さらに、V：0.5質量%以下、Cu：3質量%以下、Ni：3質量%以下、およびB：0.005質量%以下のうち1種以上を含有することを特徴とする。V、Bを添加することにより、浸炭処理における結晶粒の異常成長を効果的に防止することができる。また、Cu、Niを添加することにより、機械構造用鋼の焼入れ性を向上させて、焼入れ後の硬さを向上させることができる。

40

【発明の効果】

【0015】

本発明に係る機械構造用鋼は、靱性等の機械的特性および熱間加工性を十分有し、また、被削性を向上させたものである。本発明に係る機械構造用鋼は、特に、歯車等の機械構造部品を構成する鋼材として、断続切削における被削性を向上させたものであり、これにより切削工具の酸化摩耗を抑制して工具寿命を延ばすことができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】引張試験における試験片の平面図である。

【発明を実施するための形態】

50

【0017】

以下、本発明に係る機械構造用鋼を実施する形態について説明する。

本発明に係る機械構造用鋼は、C：0.05～1.2質量%、Si：0.03～2質量%、Mn：0.2～1.8質量%、Cr：0.1～3質量%、Al：0.06～0.5質量%、Ti：0.01～0.1質量%、N：0.02質量%以下、O：0.003質量%以下を含有し、さらに、Ca：0.0005～0.02質量%、Mg：0.0001～0.005質量%のうち1種以上を含有し、PおよびSを各0.03質量%以下に規制し、残部がFeおよび不可避免の不純物で構成されるものであり、さらに、N固溶量を0.0005質量%以下とするものである。

【0018】

そして、本発明に係る機械構造用鋼は、前記各成分のうち、酸化物系介在物を形成し易いCr、Alの各含有量の、O含有量に対する比を所定値以上に限定するものである。すなわち、Cr、Al、Oの含有量（質量%）それぞれを[Cr]、[Al]、[O]で表したとき、下式を満足するように、これらの成分の含有量が調整されるものである。

$$(0.1 \times [\text{Cr}] + [\text{Al}]) / [\text{O}] \geq 150$$

【0019】

さらに、本発明に係る機械構造用鋼は、前記各成分のうち、Nの含有量を、Alと比較してNが結合し易いTiの含有量に対して所定値以下に限定するものである。すなわち、N、Tiの含有量（質量%）それぞれを[N]、[Ti]で表したとき、下式を満足するように、これらの成分の含有量が調整されるものである。

$$[\text{N}] - 0.3 \times [\text{Ti}] \leq 0.0005$$

【0020】

以下に、本発明に係る機械構造用鋼を構成する各成分の含有量の数値範囲およびその数値範囲の限定理由について説明する。

【0021】

(C：0.05～1.2質量%)

Cは、機械構造用鋼の強度を向上させる効果を有し、機械構造用部品に必要な芯部の硬さを確保するために有効な元素である。機械構造用鋼の硬さを十分なものとするため、C含有量は0.05質量%以上とされ、0.10質量%以上が好ましく、0.15質量%以上がさらに好ましい。一方、Cが過剰に添加されると、硬さが過剰となって被削性や靱性、加工性が低下する。したがって、C含有量は1.2質量%以下とされ、1.0質量%以下が好ましく、0.8質量%以下がさらに好ましい。

【0022】

(Si：0.03～2質量%)

Siは、脱酸効果を有し、機械構造用鋼の酸化物系介在物を低減させて内部品質を向上させる。この効果を十分なものとするため、Si含有量は0.03質量%以上とされ、0.05質量%以上が好ましく、0.1質量%以上がさらに好ましい。また、FeよりもSiにOが結合し易いため、Siは断続切削時の工具の酸化摩耗を抑制する効果を有する。一方、Siが過剰に添加されると、浸炭時に異常組織が生成したり、熱処理（焼入れ）後の残留オーステナイト（残留γ相）の量が増大して浸炭相に十分な硬さが得られない。したがって、Si含有量は2質量%以下とされ、1.8質量%以下が好ましく、1.5質量%以下がさらに好ましい。

【0023】

(Mn：0.2～1.8質量%)

Mnは、焼入れ性を向上させる効果を有し、焼入れ後の機械構造用鋼の硬さを向上させる。この効果を十分なものとするため、Mn含有量は0.2質量%以上とされ、0.3質量%以上が好ましく、0.5質量%以上がさらに好ましい。また、FeよりもMnにOが結合し易いため、Mnは断続切削時の工具の酸化摩耗を抑制する効果を有する。一方、Mnが過剰に添加されると、焼入れ性が過剰となって、焼ならし後でも過冷組織が生成して被削性を低下させる。したがって、Mn含有量は1.8質量%以下とされ、1.6質量%

10

20

30

40

50

以下が好ましく、1.4質量%以下がさらに好ましい。

【0024】

(Cr: 0.1~3質量%)

Crは、焼入れ性を向上させる効果を有し、焼入れ後の機械構造用鋼の硬さを向上させる。この効果を十分なものとするため、Cr含有量は0.1質量%以上とされ、0.3質量%以上が好ましく、0.7質量%以上がさらに好ましい。また、FeよりもCrにOが結合し易いため、Crは断続切削時の工具の酸化摩耗を抑制する効果を有する。一方、Crが過剰に添加されると、焼入れ性が過剰となって過冷組織が発達するとともに、粒界に粗大な炭化物が生成して被削性が劣化し、また、焼入れ後の硬さが過剰となって靱性が低下する。したがって、Cr含有量は3質量%以下とされ、2質量%以下が好ましく、1.6質量%以下がさらに好ましい。

10

【0025】

(Al: 0.06~0.5質量%)

Alは、強い脱酸効果を有し、機械構造用鋼の内部品質を向上させる。また、FeよりもAlにOが結合し易いため、Alは断続切削時の工具の酸化摩耗を抑制する効果を有する。また、Alは、微量であるが鋼中のNと結合してAlNを形成し、このAlNが、浸炭処理において結晶粒の異常成長(異常粒成長)を抑制する効果を有する。これらの効果を十分なものとするため、Al含有量は0.06質量%以上とされ、0.1質量%以上が好ましく、0.15質量%以上がさらに好ましい。一方、Alが過剰に添加されると、アルミナ(Al_2O_3)が過剰に形成されて硬質介在物となる割合が増加して被削性が低下したり、浸炭における熱処理(焼入れ)後の残留オーステナイト(残留 γ 相)の量が増大して浸炭相に十分な硬さが得られない。したがって、Al含有量は0.5質量%以下とされ、0.45質量%以下が好ましく、0.4質量%以下がさらに好ましい。

20

【0026】

(Ti: 0.01~0.1質量%)

Tiは、鋼中に不可避免的に含有するNと結合することにより、製品中のN固溶量を減少させる。また、形成されたTiNは、熱処理において結晶粒を微細化する効果を有し、機械構造用鋼の機械的特性を向上させる。これらの効果を十分なものとするため、Ti含有量は0.01質量%以上とされ、0.02質量%以上が好ましく、0.03質量%以上がさらに好ましい。さらに、TiNは、浸炭処理時の異常粒成長を抑制する効果を有する。一方、Tiが過剰に添加されると、TiNのサイズが大きくなって加工性等の機械的特性および被削性が劣化する。したがって、Ti含有量は0.1質量%以下とされ、0.09質量%以下が好ましく、0.08質量%以下がさらに好ましい。

30

【0027】

(N: 0.02質量%以下)

N(窒素)は鋼の溶融工程で不可避免的に混入する元素であり、鋼中にTi等と共存する場合はこれに結合して窒素化合物を形成させ、あるいは鋼中に固溶する。固溶Nは、後記するように、鋼中にAlと共存する場合は、Alによる断続切削時の酸化摩耗抑制効果を低下させ、また機械的特性を劣化させるため、できる限り低減する必要がある。鋼中にNが多く含有されると、それに伴い、鋼中に固溶するNも増大するため、その含有量は制限されて、さらにNは極力窒素化合物として固着させることが好ましい。しかし、鋼中のNの多くを窒素化合物としても、Nが多く含有されると過剰に形成され、そのサイズも大きくなるため、被削性および浸炭処理時の異常粒成長の抑制効果が劣化する。したがって、N含有量は0.02質量%以下とされ、0.018質量%以下が好ましく、0.015質量%以下がさらに好ましい。

40

【0028】

(N固溶量: 0.0005質量%以下)

機械構造用鋼中に固溶したNは、それ自体は被削性を向上させる効果があるが、鋼中にAlと共存する場合は、切削時の発熱で固溶Alと結合してAlNを形成、工具表面に付着させる。その結果、断続切削時におけるAlのOへの結合力が損なわれて工具の酸化摩

50

耗抑制効果が低下する。また、固溶Nは熱間加工時にもAlと結合してオーステナイト粒界にAlNとして偏析することで、粒界強度を著しく低下させる。さらにNが過剰に固溶されていると、時効硬化が進み過ぎて、延性および靱性が低下する場合がある。したがって、N固溶量はできる限り低減して、0.0005質量%以下とされ、0.0004質量%以下が好ましく、0.0003質量%以下がさらに好ましい。このようなN固溶量は、前記のN含有量の制限および後記のN含有量とTi含有量との関係式を満足することにより、制御される。なお、本発明におけるN(窒素)固溶量の値は、JIS G 1228に準拠され、機械構造用鋼の全窒素量(N含有量)から窒素化合物における窒素量の差とされる。以下に、鋼中のそれぞれの窒素量を測定する方法を説明する。

【0029】

鋼中の全窒素量は、不活性ガス融解法-熱伝導度法により測定される。この方法は、供試鋼材から切り出された試料をるつぽに投入し、この試料を不活性ガス気流中で融解して窒素を含めたガスを抽出し、このガスを熱伝導度セルに搬送して熱伝導度の変化を測定して、窒素の量を求めるものである。

【0030】

鋼中の窒素化合物における窒素量は、アンモニア蒸留分離インドフェノール青吸光度法により測定される。この方法は以下の通りである。まず、供試鋼材から切り出された約0.5gの試料は、10%AA系電解液(鋼材の表面に不動態皮膜を生成させない非水溶媒系の電解液であり、具体的には、10%アセチルアセトン、10%塩化テトラメチルアンモニウム、残部：メタノール)中での定電流電解により溶解される。この溶解した試料(と電解液)はメッシュサイズ0.1μmのポリカーボネート製フィルタでろ過されて、不溶解残渣(窒素化合物)とろ液とに分離される。不溶解残渣は硫酸、硫酸カリウム、および純Cuチップ中で加熱、分解された後、前記ろ液に混合される。この混合された溶液は、水酸化ナトリウムでアルカリ化された後、水蒸気蒸留されて、留出したアンモニウムが希硫酸に吸収される。溶液はフェノール、次亜塩素酸ナトリウム、およびペンタシアノニトロシル鉄(III)酸ナトリウムを加えられて青色錯体を生成させる。この青色錯体の吸光度を光度計を用いて測定して、この吸光度から窒素化合物中の窒素の量を求めるものである。

【0031】

(Ca: 0.0005~0.02質量%、Mg: 0.0001~0.005質量%のうち1種以上)

Ca, Mgは、それぞれがアルミナ等の硬質介在物を軟質化させる作用があるので、硬質介在物による工具摩耗を抑制する。また、Ca, Mgは、それぞれがMnS介在物を球状化する作用があるので、このMnS介在物による靱性の劣化を抑制する。これらの効果を十分なものとするため、Ca含有量は0.0005質量%以上とされ、0.0007質量%以上が好ましく、0.001質量%以上がさらに好ましい。同様に、Mg含有量は0.0001質量%以上とされ、0.0002質量%以上が好ましく、0.0003質量%以上がさらに好ましい。Ca, Mgは、いずれか1種のみ前記それぞれの規定含有量含有されていれば前記工具摩耗を抑制する効果を得られ、もう1種は含有されていない、あるいは規定含有量未満を含有されていてもよい。また、Ca, Mgが共に規定含有量含有されていてもよい。一方、Ca, Mgは、どちらも過剰に添加されると、CaO, MgO等の介在物が増大して、これらの介在物により延性および靱性が低下する。したがって、Ca含有量は0.02質量%以下とされ、0.015質量%以下が好ましく、0.01質量%以下がさらに好ましい。同様に、Mg含有量は0.005質量%以下とされ、0.004質量%以下が好ましく、0.003質量%以下がさらに好ましい。

【0032】

(P: 0.03質量%以下)

Pは鋼に不可避免的に含まれる元素(不純物)である。Pは、熱間加工時の割れを助長するので可能な限り低減されることが好ましい。したがって、P含有量は0.03質量%以下とされ、0.025質量%以下が好ましく、0.02質量%以下がさらに好ましい。

10

20

30

40

50

【0033】

(S : 0.03 質量%以下)

Sは鋼に不可避免的に含まれる元素(不純物)である。Sは、被削性を向上させる効果を有するが、一方で、延性および靱性を低下させる。さらに、SはMnと反応してMnS介在物を形成する。この介在物が圧延時に圧延方向に伸展することにより、鋼材の圧延方向に対して垂直な方向(この方向を一般に「横目」という)の靱性が劣化する。したがって、S含有量は0.03 質量%以下とされ、0.025 質量%以下が好ましく、0.02 質量%以下がさらに好ましい。

【0034】

(O : 0.003 質量%以下)

O(酸素)は鋼の溶融工程で不可避免的に混入する元素である。O含有量が過剰になると、粗大な酸化物系介在物が生成して、この酸化物系介在物により被削性や延性、靱性、鋼の熱間加工性が低下する。したがって、O含有量は0.003 質量%以下とされ、0.002 質量%以下が好ましく、0.0015 質量%以下がさらに好ましい。

【0035】

前記の本発明に係る機械構造用鋼の各成分のうち、Cr, Alは、Feより酸化傾向が大きい、すなわちFeと比較してOに結合し易いため、断続切削時の工具の酸化摩耗を抑制する効果を有するが、一方で、硬質な酸化物系介在物 Cr_2O_3 , Al_2O_3 等を形成する。Cr含有量の1/10と、CrよりさらにOが結合し易いAl含有量との和が、O含有量の150倍未満では、前記の酸化摩耗の抑制効果が十分に得られず、断続切削時の被削性が劣化すると共に、硬質な酸化物系介在物を過剰に形成して、アブレシブ摩耗が顕著になって断続切削時の被削性も劣化する。したがって、Cr, Al, Oの含有量(質量%)それぞれを[Cr]、[Al]、[O]で表したとき、下式を満足するように、これらの成分の含有量は調整される。

$$(0.1 \times [Cr] + [Al]) / [O] \geq 150$$

【0036】

また、前記の本発明に係る機械構造用鋼の各成分において、前記したように、Tiは、Nと結合してTiNを形成することにより固溶Nを低減させ、さらに熱間加工時にはAlに優先して固溶Nと結合することにより、粒界へのAlNの偏析を抑制する効果を有する。したがって、N含有量がTi含有量に対して過剰である、具体的にはTiが結合できるN量を過大に超えると、これらの効果が十分に得られずに、Nの一部が固溶状態となり、またAlNを形成する。その結果、断続切削時の酸化摩耗抑制効果を低下させ、また熱間延性が劣化する。Tiが結合できるN量とは、両者の原子量の比から、質量にしてTi量の約0.3倍であり、Tiに結合していないNが固溶Nになると推定できる。すなわち、N, Tiの含有量(質量%)それぞれを[N]、[Ti]で表したとき、下式を満足するように、これらの成分の含有量は調整される。

$$[N] - 0.3 \times [Ti] \leq 0.0005$$

【0037】

本発明に係る機械構造用鋼は、Mo : 1 質量%以下をさらに含有してもよい。また、本発明に係る機械構造用鋼は、Nb : 0.2 質量%以下をさらに含有してもよい。また、本発明に係る機械構造用鋼は、さらに、V : 0.5 質量%以下、Cu : 3 質量%以下、Ni : 3 質量%以下、およびB : 0.005 質量%以下のうち1種以上を含有してもよい。

【0038】

(Mo : 1 質量%以下)

Moは、鋼に固溶して焼入れ性を確保し、不完全焼入れ組織の生成を抑制する効果を有し、Mo含有量増加に伴いこの効果が大きくなる。この効果を得るために、Mo含有量は0.005 質量%以上が好ましく、0.008 質量%以上がより好ましく、0.01 質量%以上がさらに好ましい。一方、Moが過剰に添加されると、焼入れ性が過剰となって、焼ならし後でも過冷組織が生成して被削性が低下する。したがって、Mo含有量は1 質量%以下とされ、0.9 質量%以下が好ましく、0.8 質量%以下がさらに好ましい。

10

20

30

40

50

【0039】

(Nb: 0.2質量%以下)

機械構造用鋼の中でも特に肌焼鋼は、通常、表面硬化のために浸炭処理が施される。この浸炭処理時に、処理温度および処理時間、加熱速度等によっては異常粒成長が発生する場合がある。Nbは、この異常粒成長を防止する効果を有する。この効果を得るために、Nb含有量は0.001質量%以上が好ましく、0.002質量%以上がさらに好ましい。一方、Nbが過剰に添加されると、硬質炭化物が生成して加工性等の機械的特性および被削性が劣化する。したがって、Nb含有量は0.2質量%以下とされ、0.15質量%以下が好ましく、0.1質量%以下がさらに好ましい。

【0040】

(V: 0.5質量%以下、Cu: 3質量%以下、Ni: 3質量%以下、B: 0.005質量%以下)

V, Bは、前記Nbと同様に、浸炭処理時の異常粒成長を防止する効果を有する。この効果を得るために、V含有量は0.001質量%以上が好ましく、0.002質量%以上がさらに好ましい。同様に、B含有量は0.0004質量%以上が好ましく、0.0008質量%以上がさらに好ましい。また、Bは、被削性を向上させる効果を有する。一方、これらの元素が過剰に添加されると、硬質炭化物が生成して加工性等の機械的特性および被削性が劣化する。したがって、V含有量は0.5質量%以下とされ、0.4質量%以下が好ましく、0.3質量%以下がさらに好ましい。B含有量は0.005質量%以下とされ、0.003質量%以下が好ましく、0.001質量%以下がさらに好ましい。

【0041】

CuおよびNiは、焼入れ性を向上させる効果を有し、焼入れ後の機械構造用鋼の硬さを向上させる。さらに、CuおよびNiの含有量増加に伴いこの効果が大きくなる。この効果を得るために、Cu, Niの各含有量は0.1質量%以上が好ましく、0.3質量%以上がさらに好ましい。一方、これらの元素が過剰に添加されると、焼入れ性が増大して過冷組織が生成し、延性および靱性が低下する。したがって、Cu, Niの各含有量は3質量%以下とされ、2質量%以下が好ましく、1質量%以下がさらに好ましい。

【実施例】

【0042】

以上、本発明を実施するための形態について述べてきたが、以下に、本発明の効果を確認した実施例を、本発明の要件を満たさない比較例と対比して具体的に説明する。なお、本発明はこの実施例によって制限を受けるものではなく、請求項に示した範囲で適当に変更を加えて実施することも可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

【0043】

〔供試材作製〕

表1および表2に示される化学成分組成の鋼150kgが、真空誘導炉で溶解され、上面: $\phi 245\text{ mm}$ 、下面: $\phi 210\text{ mm} \times$ 高さ 480 mm のインゴットに鑄造された。このインゴットは、 $1200^\circ\text{C} \times 3\text{ hr}$ 程度でソーキングされた後、 $1100^\circ\text{C} \times 1\text{ hr}$ 程度で、 150 mm 角 $\times$ 長さ 680 mm の四角材に鍛造されて、長さ 100 mm 程度に切断された。この切断された四角材は、 $1100^\circ\text{C} \times 1\text{ hr}$ 程度で、厚さ $30\text{ mm} \times$ 幅 155 mm の板材および $\phi 80\text{ mm}$ の丸棒材に、それぞれ熱間鍛造された。そして、板材は長さ 100 mm に、丸棒材は長さ 300 mm に、それぞれ切断された。これらの板材および丸棒材は、焼ならし($900^\circ\text{C} \times 2\text{ hr}$ の熱処理後、放冷)されて、供試材No. 1~70(実施例、比較例)に作製された。Cr, Al, Oの含有量の関係式「 $(0.1 \times [\text{Cr}] + [\text{Al}]) / [\text{O}]$ 」およびN, Tiの含有量の関係式「 $[\text{N}] - 0.3 \times [\text{Ti}]$ 」は、前記化学成分組成から算出されて表1および表2に併記されている。また、供試材(板材)から切り出したサンプルで、不活性ガス融解法-熱伝導度法およびアンモニア蒸留分離インドフェノール青吸光光度法にて測定されたN固溶量は、表1および表2に併記されている。作製された供試材で、以下の測定および評価が行われた。

【 0 0 4 4 】

〔 測定、評価 〕

（ 被削性 ）

断続切削時の被削性を評価するために、エンドミル工具での断続切削によるホブ加工の模擬評価が行われた後、工具摩耗が観察された。供試材（板材）は、スケールを除去されて、その表面を厚さ方向に 2 mm 研削されて、厚さ 25 mm × 幅 145 mm × 長さ 100 mm の切削試験片に作製された。マニシングセンタ主軸にエンドミル工具（三菱マテリアル製ハイスエンドミル、型番 K - 2 S L、外径 ϕ 10 mm、Ti A l N コーティング厚さ 2.6 μ m）が取り付けられ、パイスにより固定された切削試験片に対して、乾式の切削雰囲気下で断続切削が行われた。断続切削条件は下記に示される。200 カット（切削距離：約 3000 m）の断続切削の後、使用されたエンドミル工具が光学顕微鏡にて観察され、平均逃げ面摩耗幅（工具摩耗量）が測定された。被削性の合格基準は、工具摩耗量が 70 μ m 以下とされた。なお、同じ切削試験片の表面のピッカース硬さが測定された。工具摩耗量およびピッカース硬さは表 1 および表 2 に示される。

10

【 0 0 4 5 】

（ 断続切削条件 ）

軸方向切り込み量：1.0 mm

径方向切り込み量：1.0 mm

送り量：0.117 mm / rev

送り速度：558.9 mm / min

切削速度：150 m / min

回転速度：4777 rpm

20

【 0 0 4 6 】

（ 横目の靱性 ）

機械的特性として、浸炭処理後の供試材の横目の靱性が評価された。供試材（丸棒材）は、圧延（鍛伸）方向に垂直な方向（横目）に沿ったノッチ（R：10 mm、深さ：2 mm）を形成され、10 mm × 10 mm × 55 mm のサイズに削り出されて、シャルピー衝撃試験片に作製された。この試験片は、下記の条件で浸炭処理され、次に 60 のコールド油を用いて油焼入れされた後、焼戻しされた（170 × 120 min の熱処理後、空冷）。以上の処理後の試験片でシャルピー衝撃値（シャルピー吸収エネルギー）が測定された。測定したシャルピー吸収エネルギーは表 1 および表 2 に示される。横目の靱性の合格基準は、シャルピー吸収エネルギーが 10.0 J 以上とされた。

30

【 0 0 4 7 】

（ 浸炭処理条件 ）

900 × 90 min（CO₂濃度：0.11%、カーボンポテンシャル（以下、CP）：1.0% 狙い）→ 900 × 90 min（CO₂濃度：0.17%、CP：0.8% 狙い）→ 840 × 60 min（CO₂濃度：0.39%、CP：0.8% 狙い）

【 0 0 4 8 】

（ 熱間加工性 ）

熱間加工性として、供試材の熱間延性が評価された。供試材（丸棒材）は、図 1 に示される形状の試験片に作製された。この試験片は、熱間加工再現試験装置（富士電波工業（株）製）によって、900 °C まで加熱された状態において 0.01 mm / s で引張試験を行われ、以下の式から断面減少率（%）を測定した。なお、試験片の標点距離は平行部の長さと同じ 15 mm である。測定した断面減少率は表 1 および表 2 に示される。熱間加工性の合格基準は、断面減少率が 40 % 以上とされた。

40

(断面減少率) = {(標点間部の断面積) - (破断部の断面積)} / (標点間部の断面積) × 100

【 0 0 4 9 】

【 表 1 】

供試材 区分	鋼の化学成分組成 (注1) (質量%)															N固溶量 (質量%)	工具 磨耗量 (μm)	ヒッカース 硬さ (HV)	シャルピー 吸収 エネルギー (J)	断面 減少率 (%)
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	P	S	Ti	N	O	Ca	Mg	その他	0.1Cr+Al O	(注2) N-0.3Ti				
実	1	0.43	0.18	0.80	0.12	0.28	0.014	0.015	0.068	0.0076	0.0010	0.0019	-		292	0	64	161	14.5	45.9
	2	0.19	0.19	0.82	1.11	0.27	0.010	0.016	0.035	0.0086	0.0010	0.0026	0.0001		381	0	47	173	12.3	52.7
	3	0.19	0.18	0.82	1.11	0.28	0.012	0.015	0.081	0.0092	0.0009	0.0035	0.0002		434	0	42	175	13.0	55.9
	4	0.19	0.20	0.81	1.13	0.26	0.015	0.014	0.078	0.0104	0.0011	0.0027	0.0001		339	0	45	169	11.9	56.4
	5	0.18	0.20	0.80	1.13	0.28	0.015	0.014	0.051	0.0097	0.0008	0.0025	-		491	0	50	170	12.5	58.0
	6	0.19	0.20	0.82	1.14	0.27	0.014	0.016	0.036	0.0108	0.0012	0.0033	0.0001		320	0	39	171	11.4	58.9
	7	0.18	0.21	0.82	1.15	0.28	0.013	0.014	0.061	0.0125	0.0013	0.0025	0.0001		304	0	48	169	12.4	63.1
	8	0.18	0.20	0.82	1.14	0.29	0.015	0.015	0.047	0.0132	0.0010	0.0028	0.0002		404	0	52	173	10.9	65.5
	9	0.06	0.19	0.82	1.13	0.27	0.015	0.024	0.040	0.0098	0.0009	0.0026	-		426	0	45	132	18.2	62.3
	10	0.99	0.16	0.23	1.09	0.28	0.015	0.002	0.036	0.0108	0.0008	0.0029	0.0002		486	0	47	245	12.5	45.4
施	11	0.18	0.05	0.82	1.49	0.28	0.014	0.022	0.025	0.0073	0.0026	0.0024	-		165	0	53	154	15.6	56.4
	12	0.20	1.73	0.78	1.13	0.28	0.013	0.018	0.045	0.0045	0.0013	0.0027	0.0001		302	0	47	229	13.8	42.7
	13	0.20	0.19	1.71	1.08	0.32	0.014	0.015	0.052	0.0109	0.0010	0.0028	-		428	0	64	296	11.1	48.9
	14	0.20	0.19	0.79	1.12	0.27	0.015	0.026	0.059	0.0107	0.0011	-	0.0001		347	0	38	171	13.6	45.7
	15	0.30	0.19	0.81	2.88	0.27	0.014	0.016	0.094	0.0101	0.0011	0.0029	0.0002		507	0	58	305	11.2	44.6
	16	0.20	0.19	0.80	1.01	0.07	0.013	0.019	0.030	0.0089	0.0009	0.0029	0.0002		190	0	67	168	10.5	55.2
	17	0.21	0.19	0.79	1.11	0.46	0.013	0.016	0.072	0.0189	0.0011	0.0028	-		519	0	35	176	11.6	52.9
	18	0.20	0.19	0.79	1.12	0.28	0.015	0.017	0.029	0.0089	0.0010	0.0028	0.0001		392	0.0002	38	163	11.5	45.3
	19	0.21	0.17	0.80	1.13	0.27	0.014	0.016	0.095	0.0103	0.0012	0.0025	0.0001		319	0	64	183	12.3	41.2
	20	0.18	0.20	0.82	1.14	0.18	0.013	0.015	0.047	0.0120	0.0011	0.0007	0.0002		167	0	52	163	10.9	52.6
例	21	0.19	0.19	0.81	1.06	0.03	0.012	0.013	0.036	0.0110	0.0009	0.0029	0.0001	Ni: 2.70	440	0.0002	38	162	12.4	56.0
	22	0.28	0.18	0.55	1.12	0.89	0.015	0.015	0.073	0.0099	0.0008	0.0027	-	Nb: 0.05	503	0	54	223	15.9	48.7
	23	0.20	0.21	0.82	1.34	0.17	0.013	0.016	0.037	0.0103	0.0012	0.0021	0.0001	V: 0.19	337	0	62	219	13.7	43.4
	24	0.51	0.23	0.78	0.98	0.01	0.008	0.009	0.038	0.0113	0.0007	0.0026	0.0001	V: 0.03, Cu: 1.55	526	0	58	184	15.4	55.3
	25	0.20	0.20	0.76	1.12	0.19	0.014	0.008	0.082	0.0119	0.0011	0.0026	0.0001	Ni: 1.55	347	0	64	189	15.8	52.6
	26	0.18	0.17	0.81	0.80	0.28	0.015	0.018	0.049	0.0103	0.0012	0.0023	0.0002	Cu: 0.07, Ni: 1.55	300	0	54	189	12.2	49.3
	27	0.18	0.18	0.81	1.13	0.27	0.015	0.014	0.055	0.0109	0.0011	0.0022	0.0002	B: 0.0008	348	0	37	169	13.4	47.7
	61	0.38	0.18	0.82	1.08	0.21	0.015	0.015	0.023	0.0073	0.0010	0.0017	-		418	0.0004	55	199	15.4	46.5
	62	0.44	0.19	0.81	1.13	0.20	0.014	0.016	0.054	0.0057	0.0013	0.0021	0.0002		310	0	24	205	13.2	58.1
	63	0.43	0.22	0.80	1.12	0.21	0.010	0.013	0.037	0.0113	0.0007	-	0.0001		403	0.0002	47	189	16.1	44.3
	64	0.35	0.15	0.79	1.14	0.20	0.010	0.015	0.028	0.0043	0.0011	0.0019	-		376	0	19	174	15.0	61.5
	65	0.48	0.19	0.81	1.12	0.26	0.014	0.014	0.021	0.0061	0.0010	0.0031	0.0001		372	0	39	200	17.1	50.1
	66	0.16	0.20	0.80	1.09	0.14	0.011	0.013	0.031	0.0096	0.0008	0.0022	-		311	0.0003	44	164	16.5	45.1
	67	0.18	0.21	0.78	1.15	0.30	0.011	0.016	0.027	0.0082	0.0014	0.0030	-		296	0.0001	20	171	12.3	67.1
	68	0.21	0.21	0.80	1.10	0.19	0.013	0.015	0.015	0.0048	0.0011	-	0.0002		273	0.0003	57	169	13.9	42.2
	69	0.23	0.20	0.83	1.10	0.29	0.015	0.013	0.034	0.0104	0.0009	0.0014	-		444	0.0002	51	175	14.2	48.9
	70	0.25	0.16	0.80	1.11	0.27	0.014	0.014	0.015	0.0049	0.0013	0.0013	0.0002		293	0.0004	66	165	15.6	41.0

(注2) 0未満の値は、0として表示

(注1) 残部はFeおよび不可避免的不純物

10

20

30

40

【表 2】

供試材		鋼の化学成分組成 (注1) (質量%)															N固溶量 (質量%)	工具 磨耗量 (μm)	ヒッカース 硬さ (HV)	シャルピー 吸収 エネルギー (J)	断面 減少率 (%)	
区	分	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	P	S	Ti	N	O	Ca	Mg	その他	0.1Cr+Al O						(注2) N-0.3Ti
比	28	1.26*	0.19	0.82	1.13	0.18	0.31	0.015	0.015	0.042	0.0106	0.0012	0.0023	0.0001			353	0	295	8.9	36.1	
	29	0.21	0.01*	0.82	1.15	0.11	0.46	0.008	0.015	0.022	0.0070	0.0035*	0.0033	0.0001			164	0.0004	140	15.1	56.5	
	30	0.19	2.11*	0.83	1.12	0.17	0.27	0.013	0.015	0.039	0.0119	0.0016	0.0031	-			239	0.0002	268	7.9	55.8	
	31	0.16	0.20	0.04*	1.12	0.19	0.27	0.013	0.018	0.029	0.0083	0.0011	0.0008	-			347	0	36	141	6.3	54.8
	32	0.18	0.19	1.85*	1.14	-	0.27	0.042*	0.017	0.061	0.0105	0.0012	0.0025	0.0002			320	0	81	320	5.3	44.6
	33	0.20	0.19	0.81	1.12	0.16	0.27	0.015	0.040*	0.051	0.0107	0.0011	0.0025	-			347	0	35	168	7.3	35.3
	34	0.19	0.19	0.82	0.01*	0.17	0.21	0.012	0.015	0.046	0.0056	0.0009	0.0024	0.0001			234	0	78	149	13.8	43.8
	35	0.19	0.18	0.82	3.20*	0.17	0.28	0.014	0.018	0.081	0.0112	0.0009	0.0020	0.0001			667	0	71	317	9.3	47.3
	36	0.18	0.18	0.80	1.16	0.18	0.03*	0.012	0.017	0.074	0.0127	0.0008	0.0010	0.0002			183	0	92	167	8.4	61.3
	37	0.20	0.19	0.78	1.12	0.18	0.02*	0.013	0.014	0.033	0.0097	0.0015	0.0008	-			88*	0	92	171	8.1	55.1
較	38	0.19	0.19	0.81	1.12	0.17	0.60*	0.014	0.015	0.042	0.0110	0.0010	0.0035	0.0001			712	0	36	178	9.7	53.2
	39	0.20	0.18	0.82	0.59	0.17	0.30	0.013	0.017	0.083	0.0209*	0.0013	0.0021	0.0002			276	0	81	343	6.8	19.4
	40	0.19	0.22	0.82	1.12	0.17	0.28	0.015	0.017	-	0.0122	0.0015	0.0026	0.0001			261	0.0122	32	174	10.6	22.3
	41	0.19	0.19	0.83	0.89	0.17	0.29	0.012	0.015	0.115*	0.0168	0.0011	0.0029	0.0002			345	0	79	185	11.6	34.4
	42	0.20	0.20	0.82	1.45	0.17	0.12	0.014	0.017	0.056	0.0105	0.0012	-	*			221	0	72	175	10.5	46.7
	43	0.19	0.18	0.82	1.12	0.17	0.12	0.013	0.016	0.058	0.0095	0.0011	0.0002*	-	*		211	0	72	174	11.0	44.0
	44	0.22	0.21	0.83	1.18	0.06	0.27	0.014	0.016	0.069	0.0112	0.0008	0.0250*	0.0001			485	0	74	182	9.5	42.3
	45	0.19	0.18	0.81	1.13	1.20*	0.19	0.014	0.015	0.047	0.0111	0.0010	0.0028	-			303	0	78	245	13.8	51.0
	46	0.19	0.21	0.82	0.95	0.19	0.29	0.012	0.013	0.041	0.0102	0.0009	0.0034	-	Nb: 0.25 *		428	0	89	241	11.1	32.5
	47	0.19	0.21	0.54	1.12	0.18	0.27	0.011	0.015	0.068	0.0110	0.0010	0.0019	-	V: 0.60 *		382	0	98	135	16.7	23.4
例	48	0.19	0.21	0.83	1.13	0.17	0.28	0.016	0.017	0.060	0.0107	0.0008	0.0021	-	B: 0.006*		491	0	42	174	11.5	35.8
	49	0.21	0.19	0.81	0.45	0.17	0.08	0.015	0.014	0.045	0.0103	0.0009	0.0028	0.0001			139*	0	85	168	11.6	51.0
	50	0.21	0.21	0.82	1.12	0.18	0.27	0.013	0.015	0.030	0.0156	0.0008	-	0.0002			478	0.0066	59	179	9.5	38.2
	51	0.44	0.19	0.77	1.12	0.18	0.15	0.009	0.012	0.020	0.0071	0.0014	0.0015	-			187	0.0011*	83	181	12.5	31.5
	52	0.42	0.18	0.78	1.15	0.18	0.27	0.013	0.016	0.026	0.0104	0.0011	0.0024	0.0001			350	0.0026*	88	184	13.5	23.6
	53	0.37	0.21	0.79	1.05	0.20	0.16	0.015	0.013	0.014	0.0054	0.0010	0.0029	-			265	0.0012	78	174	14.7	29.5
	54	0.36	0.20	0.80	1.08	0.21	0.31	0.013	0.012	0.019	0.0091	0.0007	0.0018	-			597	0.0034	99	180	12.8	21.5
	55	0.40	0.17	0.82	1.06	0.17	0.18	0.011	0.014	0.045	0.0143	0.0009	0.0017	-			318	0.0008	71	194	12.7	31.9
	56	0.18	0.19	0.78	1.13	0.20	0.32	0.012	0.013	0.031	0.0111	0.0012	0.0020	0.0001			361	0.0018	84	174	15.1	28.1
	57	0.19	0.20	0.82	1.11	0.18	0.12	0.014	0.014	0.017	0.0059	0.0010	0.0036	-			231	0.0008	74	179	14.3	32.1
58	0.22	0.18	0.79	1.09	0.19	0.28	0.012	0.015	0.032	0.0108	0.0012	0.0022	-			324	0.0012	80	173	13.4	30.3	
59	0.26	0.18	0.83	1.13	0.17	0.28	0.012	0.015	0.029	0.0111	0.0008	0.0031	-			491	0.0024	110	185	11.9	23.1	
60	0.23	0.22	0.81	1.07	0.22	0.18	0.016	0.014	0.023	0.0079	0.0015	-	0.0002			191	0.0010	81	169	13.7	30.2	

(注1) 残部はFeおよび不可避免的不純物

(注2) 0未満の値は、0として表示

下線は合格基準を満たさない値

*: 本発明の範囲外

(注1) 残部はFeおよび不可避的不純物

*: 本発明の範囲外

(注2) 0未満の値は、0として表示 下線は合格基準を満たさない値

10

20

30

40

50

(評価)

表 1 に示すように、供試材 N o . 1 ~ 2 7 , 6 1 ~ 7 0 は、その各成分の含有量および相関が本発明の範囲の実施例であるので、断続切削試験後の工具摩耗量が小さくて断続切削時の被削性に優れており、横目の靱性および熱間加工性も良好であった。

【 0 0 5 2 】

これに対して、表 2 に示すように、供試材 N o . 2 8 ~ 6 0 は、その各成分の含有量や相関の少なくとも 1 つが本発明の範囲外の比較例である。供試材 N o . 2 8 は C 含有量が過剰なため、被削性、横目の靱性、および熱間加工性が低下した。供試材 N o . 2 9 は、S i 含有量が不足しているため、また O 含有量が過剰なため、被削性が低下した。一方、供試材 N o . 3 0 は S i 含有量が過剰なため、浸炭処理による強度向上効果が不十分で横目の靱性が低下した。供試材 N o . 3 1 は M n 含有量が不足しているため、焼入れ性が不十分で横目の靱性が低下した。一方、供試材 N o . 3 2 は、M n 含有量が過剰なため被削性が低下し、さらに P 含有量が過剰なため横目の靱性が低下した。供試材 N o . 3 3 は S 含有量が過剰なため、被削性は向上したが横目の靱性および熱間加工性は低下した。

10

【 0 0 5 3 】

供試材 N o . 3 4 は C r 含有量が不足しているため、被削性が低下した。一方、供試材 N o . 3 5 は C r 含有量が過剰なため、被削性および横目の靱性が低下した。供試材 N o . 3 6 は A l 含有量が不足しているため、被削性が低下し、さらに浸炭処理における異常粒成長が抑制されず横目の靱性が低下した。また、供試材 N o . 3 7 は A l 含有量がそれ自体で不足し、かつ O 含有量に対して C r , A l の各含有量が不足しているため、被削性および横目の靱性が低下した。一方、供試材 N o . 3 8 は A l 含有量が過剰なため、浸炭処理による強度向上効果が不十分で横目の靱性が低下した。

20

【 0 0 5 4 】

供試材 N o . 3 9 は、N 含有量が過剰なため被削性が低下し、また固溶 N も過剰になって横目の靱性および熱間加工性が低下した。供試材 N o . 4 0 は T i 含有量が不足している (無添加である) ため、相対的に N 含有量が過剰となったことで固溶 N が過剰になって、熱間加工性が低下した。一方、供試材 N o . 4 1 は T i 含有量が過剰なため、被削性および熱間加工性が低下した。

【 0 0 5 5 】

供試材 N o . 4 2 , 4 3 は、C a , M g の各含有量がいずれも不足している (無添加である) ため、それぞれ被削性が低下した。一方、供試材 N o . 4 4 は C a 含有量が過剰なため、被削性および横目の靱性が低下した。

30

【 0 0 5 6 】

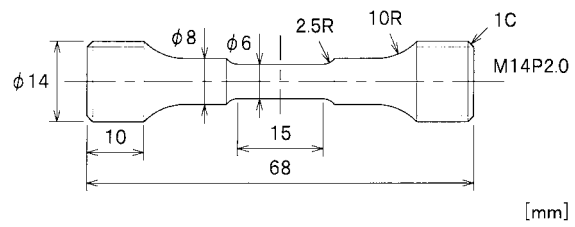
供試材 N o . 4 5 は M o 含有量が過剰なため、被削性が低下した。供試材 N o . 4 6 は N b 含有量が過剰なため、供試材 N o . 4 7 は V 含有量が過剰なため、それぞれ被削性および熱間加工性が低下した。供試材 N o . 4 8 は B 含有量が過剰なため、被削性は向上したが熱間加工性が低下した。

【 0 0 5 7 】

供試材 N o . 4 9 は、各成分の含有量は本発明の範囲であるが、O 含有量に対して C r , A l の各含有量が不足しているため、被削性が低下した。供試材 N o . 5 0 ~ 6 0 は、各成分の含有量は本発明の範囲であるが、N 含有量に対して T i 含有量が不足しているため、固溶 N が過剰になっていずれも熱間加工性が低下した。さらに、供試材 N o . 5 1 ~ 6 0 は、A l による被削性の向上効果が低下した。一方、供試材 N o . 5 0 は、N 含有量が本発明の範囲内における上限近傍で、T i 含有量に対する過剰分が特に大きいため、固溶 N 単独による作用で被削性は向上したが、横目の靱性が低下した。

40

【 図 1 】



フロントページの続き

(72)発明者 土田 武広

兵庫県神戸市西区高塚台 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

(72)発明者 永濱 睦久

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