

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年10月6日(06.10.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/122233 A1

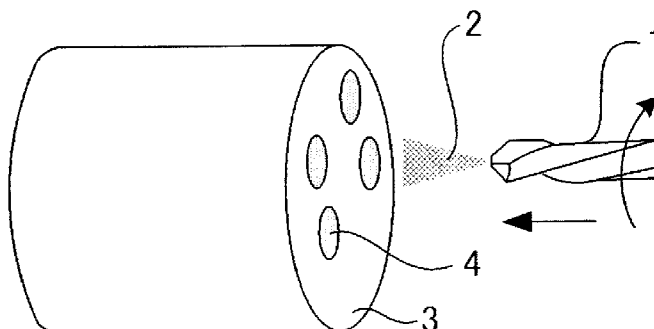
- (51) 国際特許分類:
B23Q 11/10 (2006.01) *B23C 5/28* (2006.01)
B23B 1/00 (2006.01) *C22C 38/00* (2006.01)
B23B 47/00 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/054932
- (22) 国際出願日: 2011年3月3日(03.03.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
 特願 2010-078231 2010年3月30日(30.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 間曾 利治 (AISO Toshiharu) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 宮西 慶 (MIYANISHI Kei) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 吉田 卓 (YOSHIDA Suguru) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: CUTTING METHOD FOR STEEL FOR USE IN MACHINE STRUCTURE

(54) 発明の名称: 機械構造用鋼の切削方法

[図1A]



(57) Abstract: In the disclosed cutting method for steel for use in a machine structure, a cutting oil that is supplied at a supply rate of 0.01-200 ml/hour, and an oxidizing gas comprising 21-50% oxygen by volume are mixed together to form a mist, and steel is cut while the mist is sprayed onto the surface of a blade tip of a tool and the surface of the steel. The steel comprises, by mass percentage, 0.01-1.2% C, 0.005-3.0% Si, 0.05-3.0% Mn, 0.001-0.2% P, 0.001-0.35% S, 0.002-0.035% N, and 0.05-1.0% Al, with the remainder comprising Fe and unavoidable impurities, O being kept at or below 0.003%, and the Al content [Al%] and N content [N%] being such that $[Al\%] - (27/14) \times [N\%] \geq 0.05\%$.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2011/122233 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

この機械構造用鋼の切削方法では、0.01~200ml/時の供給速度で供給される切削油剤と体積%で21%以上かつ50%以下の酸素を含む酸化性ガスを混ぜ合わせてミストを生成し、このミストを工具の刃先表面及び機械構造用鋼の表面に吹きかけながら、前記機械構造用鋼を切削し、前記機械構造用鋼が、質量%で、C:0.01~1.2%、Si:0.005~3.0%、Mn:0.05~3.0%、P:0.001~0.2%、S:0.001~0.35%、N:0.002~0.035%、Al:0.05~1.0%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、O:0.003%以下に制限し、かつAl含有量[Al%]と、N含有量[N%]とが、 $[Al\%] - (27/14) \times [N\%] \geq 0.05\%$ を満足する。

明 細 書

発明の名称： 機械構造用鋼の切削方法

技術分野

[0001] 本発明は、機械構造用鋼の切削方法に関する。

本願は、2010年3月30日に、日本に出願された特願2010-78231号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年の地球環境問題から、工業製品を製造する際に、省エネルギー、省資源、環境負荷物質低減などの環境配慮が必要不可欠になっている。機械構造用鋼から製造される自動車の主要部品、例えば歯車、CVT (Continuously Variable Transmission)、クランクシャフト、コンロッド、CVJ (Constant Velocity Joint) などの部品のほとんどは、機械構造用鋼を切削加工することによって製造されている。そこで、機械構造用鋼の切削加工の分野においても、切削技術及び削られる被削材としての機械構造用鋼の点から、環境に配慮した技術を検討する必要がある。

[0003] 機械構造用鋼の切削技術においては、特に切削油剤の使用を少なくすることが必要である。切削油剤は、工具と被削材との間の潤滑、切削加工時の冷却、切りくずの排除などの役割を担い、切削加工効率を飛躍的に向上させるため、これまで、切削油剤を比較的大量に用いた切削が行われてきた。しかし、生産環境の改善及び廃棄物のミニマム化を目指し、切削油剤を極力低減しても高効率を得られる切削技術が求められている。

[0004] 一方、機械構造用鋼に対しては、切削加工能率を高めるため、鋼材の被削性、つまり鋼材の削りやすさを高めることが必要である。従来、機械構造用鋼の被削性の向上には、鋼中へのSやPbの添加が行われてきた。しかし、Sは、その添加量が増大すると、機械的性質を劣化させるという問題がある。一方、Pbは、機械的性質をあまり低下させることなく被削性を向上させ

ることから、特に機械構造用鋼の被削性向上に重宝されてきた。しかしながら、Pbは、環境負荷物質であるという問題がある。そのため、S及びPbを使わずに被削性を向上させる技術が求められている。

[0005] このような背景の中、機械構造用鋼の切削技術において、例えば非特許文献1では、切削油剤の使用を極力少なくしたMQL (Minimal Quantity Lubricants) 切削という技術が検討されている。MQL切削は、極微量の切削油剤を多量のキャリアガスによりミスト状にし、工具の刃先や被削材の表面にこのミスト状の切削油剤を吹き付けながら切削する方法である。この技術により、切削油剤の使用量を大幅に削減することができる。

[0006] また、機械構造用鋼においては、新しい成分組成や組織をもつ鋼材の検討がなされている。例えば、特許文献1には、Alおよびその他の窒化物生成元素の添加量とNの添加量とを調整するとともに、適切な熱処理を行った機械構造用鋼が開示されている。この機械構造用鋼では、被削性に有害な固溶Nを低く抑え、高温脆化により被削性を向上させる固溶Al、および高温脆化とへき開性の結晶構造とにより被削性を向上させるAlNを適量確保している。そのため、この機械構造用鋼は、低速から高速までの幅広い切削速度域に対して優れた被削性を有し、高い衝撃値と降伏比を併せ持っている。さらに、特許文献2には、微量の潤滑油を使用した切削用の鋼材、つまりMQL切削用の鋼材を開示している。この鋼材では、MQL切削時の切削抵抗と相関のある200~400℃近傍の強度を低下させるために、N、Ti、V、Moなどの元素の添加量を規定し、フェライト-パーライト組織のフェライト率を規定することにより工具寿命の向上を達成している。

[0007] このように、切削加工における環境対応技術として、MQL切削や鋼材成分の検討が進められており、今後さらに環境に配慮した技術を検討する際には、MQL切削の方法と鋼材成分との両方を検討していく必要がある。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2008-13788号公報

特許文献2：特開2006-83448号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：「トライボロジスト」第53巻 第1号（2008）、P4～9「環境対応型切削技術におけるトライボロジーの役割」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、前述した従来の技術には、以下に示す問題点がある。

[0011] 非特許文献1では、MQL切削の方法及び油剤の作用機構が記載されているが、使用される鋼材（被削材）がJISS45C鋼のみであり、被削材に関する詳しい検討はなされていない。特に、MQLは、すべての切削条件（切削油剤、工具、被削材、工作機械、加工法）において適用できるわけではない。

[0012] また、特許文献1には、MQL切削が記載されておらず、機械構造用鋼は、ドリル加工や旋削加工等の従来の切削方法を用いて切削される。

[0013] さらに、特許文献2には、MQL用の鋼材が開示されているが、MQL切削時の条件に関しては詳細に開示されていない。そのため、特許文献2に開示された技術を、幅広い切削条件において適用できるとは限らない。

[0014] MQL切削を幅広い切削条件において適用するためには、MQL切削の方法と鋼材成分との両方を検討し、微量潤滑（Minimal Quantity Lubrication）下でも優れた被削性が得られる手法を開発する必要があるが、現状ではそのような手法が提案されていないと思われる。

[0015] 本発明は、上述した問題点に鑑みて創案されたものであり、その目的は、MQL切削、つまり、極微量の切削油剤をキャリアガスによりミスト状にし、工具の刃先や被削材の表面にこのミスト状の切削油剤を吹き付けながら切削を行う場合において、工具寿命に優れた機械構造用鋼の切削方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0016] 本発明者らは、上記課題を解決するため鋭意研究を行った。特に、工具寿命に与える影響が大きいと考えられる工具と被削材との界面の潤滑メカニズムに注目し、文献調査ならびに実験を行った。
- [0017] 非特許文献1には、MQL切削時の工具と被削材との界面において、次のような現象が起こることを記載している。
- [0018] (A) JISS45C鋼のMQL切削において、キャリアガス中の酸素濃度が高いほど切削抵抗を低減する。この理由は、ミスト中の酸素が切削によって生じた金属新生面へ吸着及び反応して酸化鉄の被膜を形成し、この酸化鉄は、せん断強度が低いため、摩擦における固体潤滑剤として作用するためである。
- [0019] (B) 一方、アルミニウム合金のMQL切削においては、JISS45C鋼とは逆の挙動を示し、キャリアガス中の酸素濃度が高いほど切削抵抗が増加する。この理由は、ミスト中の酸素が切削によって生じた金属新生面へ吸着及び反応して高硬度なアルミナを形成し、このアルミナは、せん断強度が高いため、摩擦特性を悪化させるためである。
- [0020] このように、被削性を向上させるためには、工具と被削材との界面に酸化鉄を生成させることが好ましく、アルミナを生成させることは摩擦特性を悪化させるため好ましくないと考えられていた。発明者らは、このような工具と被削材との界面での酸化物生成に着目し、種々の実験を重ねることで、以下の知見を得た。
- [0021] (a) 発明者らは、固溶Alが多量に存在する鋼材に対して、キャリアガス中の酸素濃度を高めた条件でMQL切削を行った場合、鋼材の新生面及び工具上にアルミナを主体とする酸化物が生成することを、SEM-EDS、AESやTEM-EDSを用いることにより発見した。Alは、Feよりも酸素との結合力が大きい元素であるので、固溶Alを多量に含む鋼材に対して酸素濃度が高いキャリアガスを用いてMQL切削を行った場合、固溶Alとミスト中の酸素との化学反応が起こり、鋼材の場合でも、酸化鉄ではなく

アルミナを主体とする酸化物が生成される。

[0022] (b) 切削後の鋼材表面をSEMなどで詳細に観察したところ、激しい凝着の痕跡などが見られなかったことから、鋼材の新生面に生成したアルミナを主体とする酸化物は、摩擦特性を悪化させないことがわかった。この理由については、次のように考えられる。例えば「溶融金属と金属酸化物間の付着仕事について、中野昭三郎、大谷正康、日本金属学会誌、第34巻、1970年、P562～567」に記載されているように、アルミナと金属元素との結合エネルギーは、金属元素の酸化物の生成自由エネルギーが小さいほど大きい。Feは、Alと比較して酸化物の生成自由エネルギーが大きい元素であるので、アルミナが鋼材の新生面に生成した場合の結合エネルギーは、アルミナがアルミニウム合金の新生面に生成した場合の結合エネルギーに比べて小さい。よって、鋼材の新生面にアルミナが生成しても、鋼材とアルミナとの界面から容易にせん断が生じ、アルミナが摩擦の抵抗として作用しない。

[0023] (c) アルミナが硬質であるため、工具上に生成したアルミナを主体とする酸化物は、工具保護膜として働き、工具に耐摩耗性を付与して工具寿命を向上させる。

(d) 工具上にアルミナを安定的に生成させて工具寿命を向上させるためには、切削油剤の量、キャリアガスの流量と切削油剤の量との比、ミスト吐出断面積とキャリアガスの供給圧力との比、1秒あたりのミスト吐出回数、キャリアガスの温度を最適化することが必要である。

[0024] このように、鋼材成分とMQL切削の条件とを適正化することにより、鋼材の切削時に金属新生面及び工具上にアルミナを主体とする酸化物を生成させることができ、この酸化物による工具保護膜の形成によって工具寿命を向上させることができることを知見した。本発明は、上記知見に基づいて完成させた。

すなわち、本発明に係る機械構造用鋼の切削方法は、次の通りである。

[0025] (1) 本発明の一態様に係る機械構造用鋼の切削方法では、0.01～2

0.0 ml/時の供給速度で供給される切削油剤と、体積%で21%以上かつ50%以下の酸素を含む酸化性ガスとを混ぜ合わせてミストを生成し、このミストを工具の刃先表面及び機械構造用鋼の表面に吹きかけながら、前記機械構造用鋼を切削し、前記機械構造用鋼が、質量%で、C:0.01~1.2%、Si:0.005~3.0%、Mn:0.05~3.0%、P:0.001~0.2%、S:0.001~0.35%、N:0.002~0.035%、Al:0.05~1.0%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、O:0.003%以下に制限し、かつAl含有量 [Al%] と、N含有量 [N%] とが、 $[Al\%] - (27/14) \times [N\%] \geq 0.05$ を満足する。

[0026] (2) 上記(1)に記載の機械構造用鋼の切削方法では、前記機械構造用鋼が、さらに、質量%で、Ca:0.0001~0.02%、Ti:0.0005~0.5%、Nb:0.0005~0.5%、W:0.0005~1.0%、V:0.0005~1.0%、Ta:0.0001~0.2%、Hf:0.0001~0.2%、Mg:0.0001~0.02%、Zr:0.0001~0.02%、Rem:0.0001~0.02%、Sb:0.0001~0.015%、Sn:0.0005~2.0%、Zn:0.0005~0.5%、B:0.0001~0.015%、Te:0.0003~0.2%、Se:0.0003~0.2%、Bi:0.001~0.5%、Pb:0.001~0.5%、Cr:0.001~3.0%、Mo:0.001~1.0%、Ni:0.001~5.0%、Cu:0.001~5.0%、Li:0.00001~0.005%、Na:0.00001~0.005%、K:0.00001~0.005%、Ba:0.00001~0.005%、Sr:0.00001~0.005%の内の1種以上をさらに含有していてもよい。

(3) 上記(1)または(2)に記載の機械構造用鋼の切削方法では、前記酸化性ガスの流量をQ (l/分)、前記切削油剤の供給速度をq (ml/時)と定義した場合に、q/Qの比が、0.001~1を満たしてもよい。

(4) 上記(1)または(2)に記載の機械構造用鋼の切削方法では、前記ミストを吐出する出口の断面積を S (mm^2)、前記酸化性ガスの供給圧力を P (MPa)と定義した場合に、 S/P の比が、 $0.2 \sim 40$ を満たしてもよい。

(5) 上記(1)または(2)に記載の機械構造用鋼の切削方法では、前記切削油剤を供給する吐出ポンプの1秒当たりの吐出回数が、 $0.05 \sim 16$ 回であってもよい。

(6) 上記(1)または(2)に記載の機械構造用鋼の切削方法では、前記酸化性ガスの温度が、 -80°C 以上かつ 40°C 以下であってもよい。

(7) 上記(1)または(2)に記載の機械構造用鋼の切削方法では、前記酸化性ガスの酸素濃度が、 25% 以上かつ 50% 以下であってもよい。

発明の効果

[0027] 本発明によれば、MQL切削、つまり、極微量の切削油剤を多量のキャリアガスによりミスト状にし、工具の刃先や被削材の表面にこのミスト状の切削油剤を吹き付けながら切削を行う際に、工具寿命に優れた、機械構造用鋼の切削方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1A] 工具寿命評価試験の概要を説明する斜視図である。

[図1B] 工具寿命評価試験に使用するドリルの斜視図である。

発明を実施するための形態

[0029] 以下、本発明の機械構造用鋼の切削方法を実施するための最良の形態について説明する。

まず、本発明の一実施形態に係るMQL切削に関して説明する。

[0030] 本実施形態のMQL切削では、キャリアガスに酸化性ガスを使用することが特徴である。本実施形態における酸化性ガスは、ガス中の酸素濃度が 21% 以上のガスであり、空気も酸化性ガスに含まれる。固溶Alを多量に含む鋼材に対して、キャリアガスとして酸化性ガスを用いてMQL切削を行うことにより、工具上にアルミナを主体とする酸化物を生成させることができ、

この酸化物による工具保護膜の形成によって工具寿命を向上させることができる。ガス中の酸素濃度は、酸素濃度計により測定することができる。酸素濃度が21%より高い気体は、空気に酸素を混合したり、酸素濃縮器を使ったりすることで得ることができる。工具上にアルミナを主体とする酸化物が生成するのを促進し、工具寿命をさらに高める場合には、酸素濃度が、25%以上であることが好ましく、30%以上であることがさらに好ましい。但し、安全面の問題から、酸素濃度が、50%以下であることが好ましい。なお、このキャリアガス中の酸素濃度は、体積%である。

[0031] ミスト中の切削油剤の量が200ml/時を超えると、工具に付着したミストが工具上へのアルミナを主体とする酸化物の生成を妨げるため、工具寿命の向上が得られにくい。一方、切削油剤の量が0.01ml/時未満であると、切削油剤による潤滑作用が得られにくい。よって、切削油剤の量（供給速度）は、0.01~200ml/時である必要がある。工具寿命及び切削効率の観点から、この切削油剤の量は、0.1~150ml/時であることが好ましく、1~100ml/時であることがより好ましい。

[0032] 切削油剤の量は、キャリアガスの流量に応じて変化させることが望ましい。キャリアガス中の切削油剤の量（割合）が多すぎると、工具に付着したミストが工具上へのアルミナを主体とする酸化物の生成を妨げるため、工具寿命の向上が得られにくい。一方、キャリアガス中の切削油剤の量（割合）が少なすぎると、切削油剤による潤滑作用が得られにくい。そのため、キャリアガスの流量を Q （l/分）、切削油剤の量を q （ml/時）と定義すると、 q を Q で除した q/Q が、0.001~1であることが好ましく、0.005~0.5であることがより好ましく、0.01~0.2であることがさらに好ましい。

[0033] また、工具刃先に供給されるミストの粒径が大きすぎると、切削油剤が、工具に付着しすぎて工具上へのアルミナを主体とする酸化物の生成を妨げる。一方、ミストの粒径が小さすぎると、工具にミストがほとんど付着せず、切削油剤による潤滑効果が得られにくい。よって、ミストの粒径を最適化す

ることが望ましい。ミストの粒径は、最終的にミストを吐出する出口（油穴の開口端）の断面積と、キャリアガスの流速とにより変化し、断面積が小さく流速が大きいほど、ミストの粒径が大きくなりやすい。キャリアガス（酸化性ガス）の流速は、ガスの供給圧力が大きいほど速くなる。よって、断面積 S (mm^2) を供給圧力 P (MPa) で割った値 S/P (mm^2/MPa) が小さいほど、ミストの粒径が大きくなる。 S/P が $0.2 \sim 40$ である場合には、ミストの粒径を適した範囲に制御でき、工具寿命がより向上する。そのため、ミストを吐出する出口の断面積を S (mm^2)、酸化性ガスの供給圧力を P (MPa) と定義すると、 S を P で除した S/P は、 $0.2 \sim 40$ であることが好ましく、 $0.25 \sim 25$ であることがより好ましく、 $0.3 \sim 10$ であることがさらに好ましい。ミストを吐出する出口の断面積は、ドリルなどの工具の油穴から軸心給油する場合には、油穴の断面積、ノズルから給油する場合には、ノズル穴の断面積である。油穴やノズル穴が複数ある場合には、この断面積は、それらの穴の断面積の合計値である。

[0034] 切削油剤は、吐出ポンプにより供給される。吐出ポンプによるポンプショット頻度（1秒当たりの吐出回数）が多すぎると、工具に付着したミストが工具上へのアルミナを主体とする酸化物の生成を妨げるため、工具寿命の向上が得られにくい。一方、ポンプショット頻度が少なすぎると、切削油剤による潤滑作用が得られにくい。そのため、このポンプショット頻度 N は、 $0.05 \sim 16 \text{ Hz}$ （回）であることが好ましく、 $0.1 \sim 8 \text{ Hz}$ であることがより好ましく、 $0.5 \sim 4 \text{ Hz}$ であることがさらに好ましい。

[0035] MQL切削では、一般的に切削油剤による冷却効果が小さいため、発熱が大きく、熱亀裂が生じて工具摩耗が生じやすい。そのため、冷却効果を高めて熱亀裂を防ぐことで、工具寿命をより高めることができる。そこで、低温のキャリアガスによって、冷却効果を高めることが望ましい。キャリアガスの温度が 40°C 以下の場合に、さらに工具寿命の向上が得られる。そのため、キャリアガス（酸化性ガス）の温度は、 40°C 以下であることが好ましく、 20°C 以下であることがより好ましく、 0°C 以下であることがさらに好ま

しい。冷却ガスの取り扱い及び製造コストを考慮すると、温度が低過ぎない方が良いので、キャリアガスの温度が -80°C 以上であってもよい。冷却ガスは、空気冷却装置により得ることができる。

[0036] ミストは、切削油剤と酸化性ガスをミスト生成装置に供給することで生成する。細径の工具の油穴からミストを軸心給油する場合には、工具内部で圧力損失が大きくなるため、酸化性ガスの供給圧力を高める場合もある。

[0037] MQL切削では、切削油剤の成分は、特に限定されない。なお、より環境に配慮する場合には、切削油剤が、生分解性潤滑油であることが好ましい。例えば、生分解性の高い合成エステル油や植物油を切削油剤として使用することができる。

[0038] MQL切削において、より冷却の効果を高めたい場合には、酸化性ガスと切削油剤とに加え、水などの冷却液をミスト状で供給してもよい。

ミストの供給方法には、外部に設置したノズルから切削部にミストを噴射する方式、工作機械の工具ホルダにMQLミストの供給機能を持たせる方式、回転主軸の中心部に設けた管路を通じて工具刃先の油穴からミストを供給する方式など複数の方式がある。これらのどの方式においても、工具寿命を高めることができる。

[0039] 本実施形態のMQL切削は、ドリル加工、旋削加工、タップ加工などの連続切削、フライス加工、エンドミル加工、ホブ加工などの断続切削のいずれに対して適用することができる。

次に、本実施形態のMQL切削における機械構造用鋼（被削材）の各成分の含有量について説明する。ここで、この機械構造用鋼（被削材）は、以下に説明する各成分の残部がFeおよび不可避免的不純物からなる化学成分を有している。なお、以下の説明においては、化学組成における質量%を、単に%と記載する。

[0040] C : 0.01 ~ 1.2%

Cは、鋼材の基本強度に大きな影響を及ぼす元素である。しかしながら、C含有量が0.01%未満である場合、十分な強度が得られない。一方、C

含有量が1.2%を超えると、硬質の炭化物が多く析出するため、被削性が著しく低下する。よって、十分な強度と被削性とを得るため、被削材中のC含有量は、0.01~1.2%であり、好ましくは0.05~0.8%、さらに好ましくは0.10~0.70%である。

[0041] Si : 0.005~3.0%

Siは、一般に脱酸元素として鋼中に添加され、フェライトの強化及び焼戻し軟化抵抗を付与する。しかしながら、Si含有量が0.005%未満である場合、十分な脱酸効果が得られない。一方、Si含有量が3.0%を超えると、靱性及び延性が低くなると同時に、被削材の硬さが大きくなるため被削性も劣化する。よって、被削材中のSi含有量は、0.005~3.0%であり、好ましくは0.01~2.5%、さらに好ましくは0.05~2.0%である。

[0042] Mn : 0.05%~3.0%

Mnは、マトリックスに固溶して焼入れ性を向上させ、焼入れ後の強度を確保するために必要な元素である。さらに、Mnには、鋼材中のSと結合してMnS系硫化物を生成し、被削性を改善させる効果がある。しかしながら、Mn含有量が0.05%未満であると、鋼材中のSがFeと結合してFeSを生成し、鋼が脆くなる。一方、Mn含有量が増えると、具体的には、Mn含有量が3.0%を超えると、被削材の硬さが大きくなり加工性及び被削性が低下する。よって、被削材中のMn含有量は、0.05~3.0%であり、好ましくは0.2~2.5%、さらに好ましくは0.35~2.0%である。

[0043] P : 0.001~0.2%

Pは、被削性を良好にする効果がある。しかしながら、P含有量が0.001%未満である場合、その効果が得られない。また、P含有量が増えると、具体的には、P含有量が0.2%を超えると、靱性が大きく低化し、鋼中において被削材の硬さが大きくなり、冷間加工性だけでなく、熱間加工性及び鑄造特性も低下する。よって、被削材中のP含有量は、0.001~0.

2%であり、好ましくは0.005~0.1%、さらに好ましくは0.01~0.05%である。

[0044] S : 0.001~0.35%

Sは、Mnと結合し、MnS系硫化物として鋼中に存在する。MnSには、被削性を向上させる効果がある。その効果を顕著に得るためには、S含有量が0.001%以上である必要がある。一方、S含有量が0.35%を超えると、靱性及び疲労強度の低下を著しく促進する。よって、被削材中のS含有量は、0.001~0.35%であり、好ましくは0.005~0.15%、さらに好ましくは0.01~0.07%である。

[0045] N : 0.002~0.035%

Nは、Al、Ti、VまたはNb等と結合して窒化物または炭窒化物を生成し、結晶粒の粗大化を抑制する効果がある。ただし、N含有量が0.002%未満では、その効果が不十分である。また、N含有量が0.035%を超えると、その効果が飽和するとともに熱間延性が著しく劣化し、圧延鋼材の製造が極めて困難になる。よって、被削材中のN含有量は、0.002~0.035%であり、好ましくは0.003~0.02%、さらに好ましくは0.0035~0.016%である。

[0046] O : 0%超かつ0.003%以下

Oは、不可避免的に含まれる不純物である。O含有量が過剰であると、粗大な酸化物系介在物が鋼材中に多量に生成し、アブレイブ摩耗により切削時の工具摩耗が増大する。また、この場合には、後述の固溶Al量が低下する場合がある。したがって、出来るだけO含有量を低減することが望ましい。そのため、O含有量を0.003%以下に制限する必要がある、0.0015%以下に制限することが好ましい。

[0047] Al : 0.05~1.0%

固溶Al : 0.05~1.0%

Alは、本発明で最も重要な元素である。Alは、脱酸元素として鋼材の内部品質を向上させる。また、Alは、酸化性ガスと切削油剤とを含むミス

トを工具の刃先及び被削材の表面に吹き付けながら被削材を切削する場合に、工具寿命を向上させるために不可欠な元素である。すなわち、鋼材中の固溶Alとミスト中の酸素とが化学反応すると、工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜が形成し、工具寿命が向上する。この工具寿命の向上に有効な固溶Alを十分に生成させるためには、0.05%以上のAl含有量が必要である。しかしながら、Al含有量が1.0%を超えると、高融点で硬質な酸化物が鋼材中に多量に生成し、硬質介在物としてアブレシブ摩耗を起こすため切削時の工具摩耗を増大させる。よって、Al含有量は、0.05~1.0%であり、好ましくは0.08~0.5%、さらに好ましくは0.1%超かつ0.26%以下である。

上述の理由から、固溶Alの量は、0.05%以上必要である。鋼中にNが存在すると、AlNが生成するため、Alが含まれる場合であっても、固溶Alが減少してしまう。すなわち、Nの原子量が14、Alの原子量が27であることを考慮すると、例えば、鋼中にNが0.01%添加された場合、N含有量の約2倍（27/14倍）である0.02%の固溶Alが減少してしまうため、工具寿命が十分に向上しないことがある。固溶Alの量は、0.05%以上必要であるので、Nが、所定量（例えば、0.002%以上）存在すれば、そのN量を考慮して鋼中にAlを添加する必要がある。したがって、Al含有量 [Al%] とN含有量 [N%] とが、質量%で、下記（1）式を満たす必要があり、下記（2）式を満たすことが好ましい。

$$[\text{Al}\%] - (27/14) \times [\text{N}\%] \geq 0.05 \quad \dots (1)$$

$$[\text{Al}\%] - (27/14) \times [\text{N}\%] > 0.1 \quad \dots (2)$$

なお、固溶Alの量の上限は、1.0%である。

[0048] また、この機械構造用鋼は、上記各成分に加えて、被削性の向上のために、Caを含有していても良い。

[0049] Ca : 0.0001~0.02%

Caは、脱酸元素であり、Al₂O₃などの硬質酸化物の融点を低下させて硬質酸化物を軟質化することにより、被削物の被削性を向上させ、工具摩耗

を抑制する。しかしながら、Ca含有量が0.0001%未満である場合、この被削性の向上効果が得られない。また、Ca含有量が0.02%を超えると、鋼中にCaSが生成し、却って被削性が低下する。よって、鋼中にCaを添加する場合、Ca含有量は、0.0001~0.02%であり、好ましくは0.0003~0.005%、さらに好ましくは0.0004~0.0020%である。

[0050] 更に、炭窒化物を形成させて、強度を高める必要がある場合には、この機械構造用鋼は、上記各成分に加えて、Ti:0.0005~0.5%、Nb:0.0005~0.5%、W:0.0005~1.0%、および、V:0.0005~1.0%からなる群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0051] Ti:0.0005~0.5%

Tiは、炭窒化物を形成し、オーステナイト粒の成長の抑制及び鋼の強化に寄与する元素である。そのため、Tiは、高強度が必要な鋼、及び低歪を要求される鋼には、粗大粒を防止して組織の結晶粒を整粒する元素として使用される。また、Tiは、脱酸元素でもあり、軟質酸化物を形成させることにより、被削性を向上させる効果もある。しかしながら、Ti含有量が0.0005%未満である場合、その効果が認められない。また、Ti含有量が0.5%を超えると、熱間割れの原因になる未固溶の粗大な炭窒化物が析出し、却って機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にTiを添加する場合、Ti含有量は、0.0005~0.5%であり、好ましくは0.01~0.3%である。

[0052] Nb:0.0005~0.5%

Nbも、炭窒化物を形成し、二次析出硬化による鋼の強化及びオーステナイト粒の成長の抑制に寄与する元素である。そのため、高強度が必要な鋼及び低歪を要求される鋼には、粗大粒を防止して組織の結晶粒を整粒する元素として使用される。しかしながら、Nb含有量が0.0005%未満である場合、強度を高める効果が得られない。また、鋼中にNbを添加してNb含

有量が0.5%を超えると、熱間割れの原因になる未固溶の粗大な炭窒化物が析出し、却って機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にNbを添加する場合、Nb含有量は、0.0005~0.5%であり、好ましくは0.005~0.2%である。

[0053] W : 0.0005~1.0%

Wも、炭窒化物を形成し、二次析出硬化により鋼を強化することができる元素である。しかしながら、W含有量が0.0005%未満である場合、強度を高める効果が得られない。また、鋼中にWを添加してW含有量が1.0%を超えると、熱間割れの原因になる未固溶の粗大な炭窒化物が析出し、却って機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にWを添加する場合、W含有量は、0.0005~1.0%であり、好ましくは0.01~0.8%である。

[0054] V : 0.0005~1.0%

Vも、炭窒化物を形成し、二次析出硬化により鋼を強化することができる元素であり、高強度が必要な鋼には適宜添加される。しかしながら、V含有量が0.0005%未満である場合、強度を高める効果が得られない。また、鋼中にVを添加してV含有量が1.0%を超えると、熱間割れの原因になる未固溶の粗大な炭窒化物が析出し、却って機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にVを添加する場合、V含有量は、0.0005~1.0%であり、好ましくは0.01~0.8%である。

[0055] 更に、さらに高強度が必要な場合には、この機械構造用鋼は、上記各成分に加えて、Ta : 0.0001~0.2%、Hf : 0.0001~0.2%からなる群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0056] Ta : 0.0001~0.2%

Taも、Nbと同様に、二次析出硬化による鋼の強化及びオーステナイト粒の成長の抑制に寄与する元素である。そのため、Taは、高強度が必要な鋼及び低歪を要求される鋼には、粗大粒を防止して組織の結晶粒を整粒する元素として使用される。しかしながら、Ta含有量が0.0001%未満で

ある場合、強度を高める効果が得られない。また、鋼中にT aを添加してT a含有量が0. 2%を超えると、熱間割れの原因になる未固溶の粗大な析出物により、却って機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にT aを添加する場合、T a含有量は、0. 0001~0. 2%であり、好ましくは0. 001~0. 1%である。

[0057] H f : 0. 0001~0. 2%

H fも、T iと同様に、オーステナイト粒の成長の抑制及び鋼の強化に寄与する元素である。そのため、H fは、高強度が必要な鋼、及び低歪を要求される鋼には、粗大粒を防止して組織の結晶粒を整粒する元素として使用される。しかしながら、H f含有量が0. 0001%未満である場合、強度を高める効果が得られない。また、鋼中にH fを添加してH f含有量が0. 2%を超えると、熱間割れの原因になる未固溶の粗大な析出物により、却って機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にH fを添加する場合、H f含有量は、0. 0001~0. 2%であり、好ましくは0. 001~0. 1%である。

[0058] 更にまた、脱酸調整により硫化物の形態制御を行う場合には、この機械構造用鋼は、上記各成分に加えて、M g : 0. 0001~0. 02%、Z r : 0. 0001~0. 02%およびR e m : 0. 0001~0. 02%からなる群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0059] M g : 0. 0001~0. 02%

M gは、脱酸元素であり、鋼中で酸化物を生成する。A lによる脱酸が前提である場合には、被削性に有害なA l₂O₃を、比較的軟質で微細に分散するM g O又はA l₂O₃・M g Oに改質する。また、その酸化物は、M n Sの核となりやすく、M n Sを微細分散させる効果もある。しかしながら、M g含有量が0. 0001%未満では、これらの効果が認められない。また、M gは、M n Sとの複合硫化物を生成して、M n Sを球状化するが、鋼中にM gを過剰に添加してM g含有量が0. 02%を超えると、単独のM g S生成を促進して被削性を劣化させる。よって、鋼中にM gを添加する場合、M g

含有量は、0.0001~0.02%であり、好ましくは0.0003~0.0040%、さらに好ましくは0.0005~0.0030%である。

[0060] Zr : 0.0001~0.02%

Zrは、脱酸元素であり、鋼中で酸化物を生成する。その酸化物は、ZrO₂であると考えられているが、この酸化物がMnSの析出核として作用するため、MnSの析出サイトを増やし、MnSを均一に分散させる効果がある。また、Zrは、MnSに固溶して複合硫化物を生成し、MnSの変形能を低下させ、圧延及び熱間鍛造時にMnS形状の伸延を抑制する働きもある。このように、Zrは、異方性の低減に有効な元素である。しかしながら、Zr含有量が0.0001%未満である場合、これらについて顕著な効果は得られない。一方、鋼中にZrを添加してZr含有量が0.02%を超えると、歩留まりが極端に悪くなるばかりでなく、ZrO₂およびZrS等の硬質な化合物が大量に生成し、却って被削性、衝撃値及び疲労特性等の機械的性質が低下する。よって、鋼中にZrを添加する場合、Zr含有量は、0.0001~0.02%であり、好ましくは0.0003~0.01%、さらに好ましくは0.0005~0.005%である。

[0061] Rem : 0.0001~0.02%

Rem（希土類元素）は、脱酸元素であり、低融点酸化物を生成し、鑄造時のノズル詰りを抑制する。さらに、Remは、MnSに固溶又は結合し、MnSの変形能を低下させて、圧延及び熱間鍛造時にMnS形状の伸延を抑制する働きもある。このように、Remは、異方性の低減に有効な元素である。しかしながら、Rem含有量が総量で0.0001%未満である場合、その効果が顕著ではない。また、鋼中にRemを添加してRem含有量が0.02%を超えると、Remの硫化物が大量に生成し、被削性が悪化する。よって、鋼中にRemを添加する場合、Rem含有量は、0.0001~0.02%であり、好ましくは0.0003~0.015%、さらに好ましくは0.0005~0.01%である。

[0062] 更にまた、被削性をさらに向上させる場合には、この機械構造用鋼は、上

記各成分に加えて、S b : 0.0001~0.015%、S n : 0.0005~2.0%、Z n : 0.0005~0.5%、B : 0.0001~0.015%、T e : 0.0003~0.2%、S e : 0.0003~0.2%、B i : 0.001~0.5%およびP b : 0.001~0.5%からなる群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0063] S b : 0.0001~0.015%

S bは、フェライトを適度に脆化し被削性を向上させる。その効果は、S b含有量が0.0001%未満では認められない。また、S b含有量が増えると、具体的にはS b含有量が0.015%を超えると、過剰なS bのマクロ偏析が生じて衝撃値が大きく低下する。よって、鋼中にS bを添加する場合、S b含有量は、0.0001~0.015%であり、好ましくは0.0005~0.012%、さらに好ましくは0.001~0.01%である。

[0064] S n : 0.0005~2.0%

S nは、フェライトを脆化させて工具寿命を延ばすと共に、表面粗さを改善する効果がある。しかしながら、S n含有量が0.0005%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にS nを添加してS n含有量が2.0%を超えると、その効果は飽和する。よって、鋼中にS nを添加する場合、S n含有量は、0.0005~2.0%であり、好ましくは0.001~1.0%、さらに好ましくは0.01~0.2%である。

[0065] Z n : 0.0005~0.5%

Z nは、フェライトを脆化させて工具寿命を延ばすと共に、表面粗さを改善する効果がある。しかしながら、Z n含有量が0.0005%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にZ nを添加してZ n含有量が0.5%を超えると、その効果は飽和する。よって、鋼中にZ nを添加する場合、Z n含有量は、0.0005~0.5%であり、好ましくは0.001~0.3%、さらに好ましくは0.01~0.1%である。

[0066] B : 0.0001~0.015%

Bは、鋼中に固溶している場合、粒界強化及び焼入れ性に効果があり、B

Nとして析出している場合には、被削性の向上に効果がある。これらの効果は、B含有量が0.0001%未満では顕著ではない。一方、鋼中にBを添加してB含有量が0.015%を超えると、その効果が飽和すると共に、BNが析出しすぎるため、却って鋼の機械的性質が損なわれる。よって、鋼中にBを添加する場合、B含有量は、0.0001~0.015%であり、好ましくは0.0005~0.01%、さらに好ましくは0.001~0.003%である。

[0067] Te : 0.0003~0.2%

Teは、被削性を向上させる元素である。また、Teは、MnTeを生成したり、MnSと共存することでMnSの変形能を低下させ、MnS形状の伸延を抑制したりする働きがある。このように、Teは、異方性の低減に有効な元素である。しかしながら、Te含有量が0.0003%未満である場合、これらの効果が認められない。また、Te含有量が0.2%を超えると、その効果が飽和するだけでなく、熱間延性が低下して疵が発生しやすい。よって、鋼中にTeを添加する場合、Te含有量は、0.0003~0.2%であり、好ましくは0.0005~0.1%、さらに好ましくは0.001~0.01%である。

[0068] Se : 0.0003~0.2%

Seは、被削性を向上させる元素である。また、Seは、MnSeを生成したり、MnSと共存することでMnSの変形能を低下させ、MnS形状の伸延を抑制したりする働きがある。このように、Seは、異方性の低減に有効な元素である。しかしながら、Se含有量が0.0003%未満である場合、これらの効果が認められない。また、Se含有量が0.2%を超えると、その効果が飽和する。よって、鋼中にSeを添加する場合、Se含有量は、0.0003~0.2%であり、好ましくは0.0005~0.1%、さらに好ましくは0.001~0.01%である。

[0069] Bi : 0.001~0.5%

Biは、被削性を向上させる元素である。しかしながら、Bi含有量が0

． 0.01%未満である場合、その効果が得られない。また、鋼中にBiを添加してBi含有量が0.5%を超えると、被削性を向上させる効果が飽和するだけでなく、熱間延性が低下して疵が発生しやすい。よって、鋼中にBiを添加する場合、Bi含有量は、0.001~0.5%であり、好ましくは0.01~0.3%、さらに好ましくは0.04~0.25%である。

[0070] Pb : 0.001~0.5%

Pbは、被削性を向上させる元素である。しかしながら、Pb含有量が0.001%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にPbを添加してPb含有量が0.5%を超えると、被削性を向上させる効果が飽和するだけでなく、熱間延性が低下して疵が発生しやすい。よって、鋼中にPbを添加する場合、Pb含有量は、0.001~0.5%であり、好ましくは0.01~0.3%、さらに好ましくは0.04~0.25%である。

[0071] 更にまた、焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を向上させて鋼材に強度を付与する場合には、この機械構造用鋼は、上記成分に加えて、Cr : 0.001~3.0%、Mo : 0.001~1.0%からなる群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0072] Cr : 0.001~3.0%

Crは、焼入れ性を向上すると共に、鋼に焼戻し軟化抵抗を付与する元素であり、高強度が必要な鋼に添加される。しかしながら、Cr含有量が0.001%未満である場合、これらの効果が得られない。また、鋼中にCrを多量に添加すると、具体的には、Cr含有量が3.0%を超えると、Crの炭化物が生成して鋼が脆化する。よって、鋼中にCrを添加する場合、Cr含有量は、0.001~3.0%であり、好ましくは0.01~2.3%、さらに好ましくは0.1~1.8%である。

[0073] Mo : 0.001~1.0%

Moは、鋼に焼戻し軟化抵抗を付与すると共に、焼入れ性を向上させる元素であり、高強度が必要な鋼に添加される。しかしながら、Mo含有量が0.001%未満である場合、これらの効果が得られない。また、鋼中にMo

を添加してMn含有量が1.0%を超えると、その効果は飽和する。よって、鋼中にMnを添加する場合、Mn含有量は、0.001~1.0%であり、好ましくは0.01~0.8%、さらに好ましくは0.05~0.5%である。

[0074] 更にまた、フェライトを強化する場合には、この機械構造用鋼は、上記各成分に加えて、Ni:0.001~5.0%、Cu:0.001~5.0%からなる群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0075] Ni:0.001~5.0%

Niは、フェライトを強化し、延性を向上させると共に、焼入れ性及び耐食性を向上させる元素である。しかしながら、Ni含有量が0.001%未満である場合、その効果は認められない。また、鋼中にNiを添加してNi含有量が5.0%を超えると、機械的性質の点で効果が飽和し、被削性が低下する。よって、鋼中にNiを添加する場合、Ni含有量は、0.001~5.0%であり、好ましくは0.1~4.0%、さらに好ましくは0.3~3.0%である。

[0076] Cu:0.001~5.0%

Cuは、フェライトを強化すると共に、焼入れ性及び耐食性を向上させる元素である。しかしながら、Cu含有量が0.001%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にCuを添加してCu含有量が5.0%を超えると、機械的性質の点で効果が飽和する。よって、鋼中にCuを添加する場合、Cu含有量は、0.001~5.0%であり、好ましくは0.01~4.0%、さらに好ましくは0.1~3.0%である。なお、Cuは、特に熱間延性を低下させ、圧延時の疵の原因になりやすいため、この場合には、Niを同時に添加することが好ましい。

[0077] 更にまた、被削性をさらに向上させるために、この機械構造用鋼は、上記各成分に加えて、Li:0.00001~0.005%、Na:0.00001~0.005%、K:0.00001~0.005%、Ba:0.00001~0.005%およびSr:0.00001~0.005%からなる

群から選択された1種以上の元素を含有してもよい。

[0078] Li : 0.00001~0.005%

Liは、鋼中で低融点酸化物を形成することにより工具摩耗を抑制する。しかしながら、Li含有量が0.00001%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にLiを添加してLi含有量が0.005%を超えると、その効果が飽和するばかりでなく、耐火物の溶損を引き起こすことがある。よって、鋼中にLiを添加する場合、Li含有量は、0.00001~0.005%であり、好ましくは0.0001~0.0045%である。

[0079] Na : 0.00001~0.005%

Naも、Liと同様に鋼中で低融点酸化物を形成することにより工具摩耗を抑制する。しかしながら、Na含有量が0.00001%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にNaを添加してNa含有量が0.005%を超えると、その効果が飽和するばかりでなく、耐火物の溶損を引き起こすことがある。よって、鋼中にNaを添加する場合、Na含有量は、0.00001~0.005%であり、好ましくは0.0001~0.0045%である。

[0080] K : 0.00001~0.005%

Kも、Liと同様に鋼中で低融点酸化物を形成することにより工具摩耗を抑制する。しかしながら、K含有量が0.00001%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にKを添加してK含有量が0.005%を超えると、その効果が飽和するばかりでなく、耐火物の溶損を引き起こすことがある。よって、鋼中にKを添加する場合、K含有量は、0.00001~0.005%であり、好ましくは0.0001~0.0045%である。

[0081] Ba : 0.00001~0.005%

Baも、Liと同様に鋼中で低融点酸化物を形成することにより工具摩耗を抑制する。しかしながら、Ba含有量が0.00001%未満である場合

、その効果が認められない。また、鋼中にBaを添加してBa含有量が0.005%を超えると、その効果が飽和するばかりでなく、耐火物の溶損を引き起こすことがある。よって、鋼中にBaを添加する場合、Ba含有量は、0.00001~0.005%であり、好ましくは0.0001~0.0045%である。

[0082] Sr : 0.00001~0.005%

Srも、Liと同様に鋼中で低融点酸化物を形成することにより工具摩耗を抑制する。しかしながら、Sr含有量が0.00001%未満である場合、その効果が認められない。また、鋼中にSrを添加して0.005%を超えると、その効果が飽和するばかりでなく、耐火物の溶損を引き起こすことがある。よって、鋼中にSrを添加する場合、Sr含有量は、0.00001~0.005%であり、好ましくは0.0001~0.0045%である。

[0083] 以上説明したように、本発明に係る機械構造用鋼の切削方法によれば、MQL切削、つまり、極微量の切削油剤を多量のキャリアガスによりミスト状にし、工具の刃先や被削材の表面にこのミスト状の切削油剤を吹き付けながら切削を行うことにより、鋼材中の固溶Alとミスト中の酸素とが化学反応して工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜が形成するため、優れた工具寿命を得ることができる。

実施例

[0084] 次に、実施例を挙げて、本発明の効果について具体的に説明する。

本実施例においては、表1~表5に示す組成を有する鋼を150kg真空溶解炉で溶製後、得られた鋼を1250℃の温度条件下で熱間鍛造により直径が50mmの円柱状に鍛伸し、1300℃で2時間加熱後空冷する均質化処理を行い、その後に1200℃で1時間加熱後空冷する熱処理を行った。その後、得られた鋼材から直径が48mm、長さが105mmである工具寿命評価用試験片を切り出し、この試験片を試験（試験No. A1~E12）に供した。

[0085] [表1]

試験 No.	鋼材の化学成分(質量%)								
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	[Al%]-27/14[N%]
A1	0.42	0.57	1.35	0.015	0.022	0.134	0.0045	0.0010	0.125
A2	0.40	0.63	1.23	0.014	0.018	0.114	0.0050	0.0029	0.104
A3	0.56	0.27	0.82	0.015	0.016	0.176	0.0120	0.0008	0.153
A4	0.48	0.53	1.33	0.015	0.050	0.131	0.0044	0.0016	0.123
A5	0.50	0.55	1.28	0.010	0.063	0.139	0.0050	0.0018	0.129
A6	1.10	0.17	0.41	0.022	0.060	0.189	0.0040	0.0015	0.181
A7	0.46	0.78	0.75	0.016	0.047	0.114	0.0041	0.0010	0.106
A8	0.48	0.70	0.73	0.018	0.051	0.113	0.0049	0.0011	0.104
A9	0.46	0.60	1.23	0.016	0.040	0.126	0.0050	0.0013	0.116
A10	0.50	0.59	1.32	0.017	0.046	0.130	0.0045	0.0019	0.121
A11	0.48	0.63	1.37	0.011	0.050	0.132	0.0049	0.0010	0.123
A12	0.55	0.34	1.03	0.013	0.044	<u>0.045</u>	0.0048	0.0014	<u>0.036</u>
A13	0.47	0.61	1.36	0.013	0.051	<u>0.035</u>	0.0050	0.0009	<u>0.025</u>
B1	0.68	0.20	0.76	0.014	0.014	0.120	0.0051	0.0022	0.110
B2	0.38	1.08	0.87	0.010	0.051	0.112	0.0049	0.0011	0.103
B3	0.51	0.29	0.90	0.012	0.029	0.069	0.0040	0.0010	0.061
B4	0.39	0.58	1.52	0.013	0.020	0.111	0.0037	0.0015	0.104
B5	0.39	0.61	1.48	0.017	0.019	0.111	0.0041	0.0014	0.103
B6	0.52	0.27	0.85	0.015	0.029	0.124	0.0045	0.0010	0.115
B7	0.50	0.53	1.20	0.010	0.048	0.089	0.0046	0.0008	0.080
B8	0.45	0.52	1.33	0.013	0.031	0.154	0.0044	0.0003	0.146
B9	0.48	0.49	1.47	0.012	0.065	0.162	0.0040	0.0021	0.154
B10	0.47	0.56	1.24	0.016	0.040	<u>0.030</u>	0.0042	0.0013	<u>0.022</u>
B11	0.35	0.57	1.49	0.013	0.048	0.071	0.0122	0.0014	<u>0.047</u>
B12	0.47	0.66	1.40	0.015	0.067	<u>1.201</u>	0.0065	0.0009	1.188
B13	0.47	0.46	1.48	0.015	0.063	0.164	0.0039	0.0020	0.156
C1	0.44	0.61	1.39	0.014	0.042	0.476	0.0049	0.0015	0.467
C2	0.58	1.56	0.70	0.001	0.034	0.255	0.0080	0.0003	0.240
C3	0.45	0.83	1.30	0.015	0.040	0.133	0.0079	0.0013	0.118
C4	0.41	0.50	1.68	0.014	0.041	0.145	0.0040	0.0008	0.137
C5	0.40	0.53	1.72	0.015	0.045	0.149	0.0043	0.0010	0.141
C6	0.41	0.65	1.22	0.015	0.042	0.187	0.0157	0.0021	0.157
C7	0.40	0.06	1.98	0.015	0.023	0.194	0.0120	0.0012	0.171
C8	0.45	0.58	1.36	0.015	0.041	0.169	0.0052	0.0014	0.159
C9	0.41	0.62	1.37	0.014	0.051	0.111	0.0039	0.0013	0.103
C10	<u>1.37</u>	0.61	0.87	0.011	0.053	0.123	0.0043	0.0011	0.115
C11	0.45	<u>3.11</u>	1.45	0.014	0.031	0.119	0.0046	0.0010	0.110
C12	0.42	0.53	<u>3.06</u>	0.015	0.029	0.137	0.0056	0.0015	0.126
C13	0.40	0.61	1.36	0.015	0.050	<u>1.260</u>	0.0037	0.0012	1.253

*その他の元素を表2に示す。

*試験No. A1~C12では、その他の元素として、

Sb, Sn, Zn, B, Te, Se, Bi, Pb, Li, Na, K, Ba, Srを鋼中に添加していない。

*表中の下線は、本発明の条件を満たさないことを示す。

[0086]

[表2]

試験 No.	鋼材の化学成分(質量%)													
	Ca	Ti	Nb	W	V	Ta	Hf	Cr	Mo	Ni	Cu	Mg	Zr	Rem
A1	0.0031		0.008											
A2	0.0015			0.04										
A3														
A4														
A5														
A6		0.20												
A7														
A8														
A9														
A10														
A11														
A12														
A13														
B1					0.44									
B2	0.0004	0.08						1.20	0.28	0.49	0.28			
B3														
B4														
B5														
B6														
B7		0.02	0.140		0.20	0.001	0.005		0.18					
B8														
B9														
B10														
B11														
B12														
B13														
C1														
C2	0.0006		0.030	0.28	0.05			2.30	0.80	0.63		0.0006	0.0050	
C3	0.0012	0.11	0.030			0.080		0.90		2.30	1.20			
C4														
C5														
C6														0.0010
C7	0.0012												0.0012	
C8														
C9														
C10														
C11														
C12														
C13														

[0087]

[表3]

試験 No.	鋼材の化学成分(質量%)								
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	[Al%]-27/14[N%]
D1	0.55	0.42	0.95	0.012	0.026	0.111	0.0047	0.0010	0.102
D2	0.43	0.67	1.43	0.013	0.049	0.123	0.0048	0.0009	0.114
D3	0.42	0.70	1.46	0.013	0.052	0.120	0.0044	0.0014	0.112
D4	0.50	1.98	0.58	0.016	0.036	0.170	0.0089	0.0021	0.153
D5	0.56	0.40	0.90	0.013	0.028	0.109	0.0043	0.0010	0.101
D6	0.10	1.02	1.24	0.016	0.067	0.221	0.0090	0.0013	0.204
D7	0.38	0.33	1.85	0.013	0.025	0.187	0.0112	0.0011	0.165
D8	0.49	0.39	1.29	0.018	0.045	0.128	0.0052	0.0008	0.118
D9	0.41	0.58	1.26	0.015	0.018	0.143	0.0048	0.0015	0.134
D10	0.47	0.62	1.37	0.014	0.047	0.145	0.0052	0.0010	0.135
D11	0.55	0.30	1.02	0.015	0.030	0.130	0.0050	<u>0.0038</u>	0.120
D12	0.64	0.26	1.36	0.012	0.023	0.201	0.0044	0.0008	0.193
D13	0.48	0.40	1.26	0.020	0.047	0.131	0.0048	0.0009	0.122
E1	0.60	0.33	0.83	0.003	0.020	0.680	0.0090	0.0016	0.663
E2	0.45	0.64	1.45	0.011	0.028	0.203	0.0051	0.0013	0.193
E3	0.46	0.54	1.49	0.018	0.043	0.119	0.0047	0.0008	0.110
E4	0.42	0.50	1.56	0.013	0.045	0.115	0.0042	0.0005	0.107
E5	0.39	0.49	1.68	0.012	0.046	0.960	0.0042	0.0009	0.952
E6	0.62	0.63	0.36	0.011	0.018	0.153	0.0041	0.0006	0.145
E7	0.45	0.26	0.81	0.014	0.002	0.810	0.0110	0.0011	0.789
E8	0.56	0.80	0.39	0.015	0.018	0.342	0.0131	0.0014	0.317
E9	0.52	0.89	0.89	0.020	0.037	0.173	0.0063	0.0013	0.161
E10	0.42	0.71	1.10	0.014	0.016	0.152	0.0037	0.0010	0.145
E11	0.44	0.60	1.32	0.016	0.030	0.127	0.0040	0.0015	0.119
E12	0.40	0.58	1.28	0.015	0.033	0.119	0.0046	0.0010	0.110

*その他の元素を表4及び表5に示す。

*表中の下線は、本発明の条件を満たさないことを示す。

[0088]

[0090] 工具寿命評価試験の概要を、図1Aに示す。図1Aに示すように、横型マシニングセンタの主軸に油穴が設けられた超硬コーティングドリル1を取り付け、ドリル（工具）1の油穴からキャリアガスと切削油剤とが混合されたミスト2を吹き付けながら、バイスにより固定された工具寿命評価用試験片（試験片）3の穴あけ位置4に穴あけを行った。ドリル1には、図1Bに示すように、逃げ面6を形成してある先端刃部に油穴5が設けられている。また、図1A及び図1Bにおいて、曲がった矢印の方向が回転方向であり、直線矢印の方向がドリルの送り方向である。

[0091] 表6及び表7に、工具寿命評価試験における切削時の種々の条件を示す。キャリアガスの酸素濃度について、酸素濃度が21%の気体には、空気を使用した。また、酸素濃度が21%より高い気体は、酸素濃縮器を使うことで調製され、酸素濃度が21%より小さい気体は、空気に窒素を混合することにより調製された。酸素濃度 C_{O_2} (%)を酸素濃度計により測定した。切削油剤の量 q (ml/時)は、不織布にミストを塗布して得られた単位時間当たりの重量変化から切削油剤の比重を用いて求められた。キャリアガスの流量 Q (l/分)及びキャリアガスの供給圧力 P (MPa)を、それぞれ、ミスト発生装置に取り付けた流量計及び圧力計により測定した。ポンプショット頻度 N (Hz)を、ミスト発生装置のエア電磁弁の開閉の回数を測定することで求めた。キャリアガスの温度 T (°C)を、温度計により測定した。0°C以下のガスは、空気冷却装置により調製され、40°C以上のガスは、気体加熱ヒーターにより調製された。それ以外の温度範囲のガスは、試験室内の気温を調整することにより得られた。ミストの吐出口の断面積 S (mm²)を、ドリルに開けられた油穴の直径（開口径） d_n から算出した。今回用いたドリルには、油穴が2つ存在するため、2つの油穴の断面積の和を使用した。油穴の直径は、ドリルの直径により異なるので、直径の異なるいくつかのドリルを使用することで、ミストの吐出口の断面積を変化させた試験を行った。ドリルの直径が異なると、切削抵抗が異なり、その結果工具摩耗量も変化する。そのため、工具摩耗の比較は、直径が同じドリルを用いて行われた。

表 8 に、その他の切削条件を示す。800 穴加工（800 回の穴加工）後に、マイクロスコープによりドリル切れ刃の 2 刃のうち、摩耗が多いほうの切れ刃（工具）の逃げ面の最大摩耗幅 VB_{max} を測定することで工具摩耗を評価し、工具摩耗量（最大摩耗幅 VB_{max} ）が $100 \mu m$ 以下では、切削方法が優れていると評価した。表 6 及び表 7 には、工具摩耗量の測定結果を併せて示している。なお、表 1、2 中では、本発明の条件を満たさない条件に、下線を引いている。

[0092]

[表6]

試験No.	C _{O2} (%)	q (ml/時)	Q (l/分)	q/Q	dh (mm)	S (mm ²)	P (MPa)	S/P	N (Hz)	T (°C)	VB _{max} (μm)
A1	40	3.5	20	0.179	0.4	0.251	0.8	0.31	2.0	20	41
A2	40	1	24	0.041	0.4	0.251	1.0	0.25	0.5	15	52
A3	25	15.5	20	0.791	0.4	0.251	0.8	0.31	0.1	10	62
A4	21	0.15	20	0.008	0.4	0.251	0.8	0.31	0.5	0	56
A5	21	8	20	0.408	0.4	0.251	0.8	0.31	0.5	-5	51
A6	21	1.5	15	0.100	0.4	0.251	0.6	0.42	0.1	-30	61
A7	30	6.8	8	0.820	0.4	0.251	0.3	0.84	1.0	25	50
A8	25	8	11	0.758	0.4	0.251	0.4	0.63	0.5	40	55
A9	<u>15</u>	1	20	0.051	0.4	0.251	0.8	0.31	0.5	20	107
A10	25	<u>0.008</u>	15	0.001	0.4	0.251	0.6	0.42	1.0	0	123
A11	40	8	33	0.241	0.4	0.251	1.4	0.18	2.0	-30	108
A12	21	3.5	15	0.232	0.4	0.251	0.6	0.42	0.1	10	128
A13	40	8	33	0.241	0.4	0.251	1.4	0.18	2.0	-30	212
B1	21	12	78	0.153	0.8	1.005	0.8	1.26	0.5	0	61
B2	25	3.4	60	0.056	0.8	1.005	0.6	1.67	3.0	-10	45
B3	30	1.5	60	0.025	0.8	1.005	0.6	1.67	1.0	25	55
B4	21	15	24	0.622	0.8	1.005	0.2	5.02	0.5	15	65
B5	21	17	78	0.217	0.8	1.005	0.8	1.26	0.5	5	60
B6	30	5.3	60	0.088	0.8	1.005	0.6	1.67	3.0	30	50
B7	21	0.05	42	0.001	0.8	1.005	0.4	2.51	0.5	-70	80
B8	30	0.05	78	0.0006	0.8	1.005	0.8	1.26	0.5	0	130
B9	25	3.4	60	0.056	0.8	1.005	0.6	1.67	1.0	45	126
B10	21	15	78	0.191	0.8	1.005	0.8	1.26	3.0	0	125
B11	30	1.5	42	0.036	0.8	1.005	0.4	2.51	1.0	-70	120
B12	25	17	78	0.217	0.8	1.005	0.8	1.26	0.5	30	135
B13	<u>15</u>	3.4	60	0.056	0.8	1.005	0.6	1.67	1.0	45	230
C1	25	22	176	0.125	1.2	2.261	0.8	2.83	0.5	30	63
C2	21	5.3	136	0.039	1.2	2.261	0.6	3.77	15.0	5	83
C3	21	8	115	0.069	1.2	2.261	0.5	4.52	4.0	20	62
C4	30	5	115	0.043	1.2	2.261	0.5	4.52	0.5	-20	43
C5	30	10	115	0.087	1.2	2.261	0.5	4.52	2.0	10	48
C6	21	1	115	0.009	1.2	2.261	0.5	4.52	0.5	-40	64
C7	35	32	176	0.181	1.2	2.261	0.8	2.83	0.1	0	49
C8	25	5.3	136	0.039	1.2	2.261	0.6	3.77	3.0	25	58
C9	21	10	136	0.074	1.2	2.261	0.6	3.77	0.04	0	149
C10	30	5.3	115	0.046	1.2	2.261	0.5	4.52	2.0	5	144
C11	25	22	176	0.125	1.2	2.261	0.8	2.83	0.5	-40	148
C12	30	1	136	0.007	1.2	2.261	0.6	3.77	3.0	0	150
C13	21	10	136	0.074	1.2	2.261	0.6	3.77	0.04	0	252

*表中の下線は、本発明の条件を満たさないことを示す。

*C_{O2}: キャリアガス中の酸素濃度、q: 切削油剤の量、Q: キャリアガスの流量

dh: 油穴の直径、S: ミストの吐出口の断面積、P: キャリアガスの供給圧力

N: ポンプショット頻度、T: キャリアガスの温度、VB_{max}: 工具逃げ面の最大磨耗幅

[表7]

試験No.	C _{o2} (%)	q (ml/時)	Q (l/分)	q/Q	dh (mm)	S (mm ²)	P (MPa)	S/P	N (Hz)	T (°C)	VB _{max} (μm)
D1	21	5.6	241	0.023	1.6	4.019	0.6	6.70	3.0	-5	64
D2	35	90	241	0.373	1.6	4.019	0.6	6.70	6.0	10	65
D3	30	1	205	0.005	1.6	4.019	0.5	8.04	0.5	15	60
D4	25	140	313	0.447	1.6	4.019	0.8	5.02	4.0	20	79
D5	21	5.6	313	0.018	1.6	4.019	0.8	5.02	3.0	0	59
D6	35	3	313	0.010	1.6	4.019	0.8	5.02	0.5	35	60
D7	25	10	205	0.049	1.6	4.019	0.5	8.04	2.0	25	58
D8	35	160	133	1.206	1.6	4.019	0.3	13.40	4.0	0	173
D9	21	5.6	241	0.023	1.6	4.019	0.6	6.70	18.0	-5	172
D10	30	3	60	0.050	1.6	4.019	0.1	40.19	3.0	15	162
D11	25	90	313	0.287	1.6	4.019	0.8	5.02	0.5	20	177
D12	35	10	205	0.049	1.6	4.019	0.5	8.04	2.0	25	167
D13	35	<u>220</u>	133	1.659	1.6	4.019	0.3	13.40	4.0	0	267
E1	40	6.2	377	0.016	2.0	6.280	0.6	10.47	3.0	20	83
E2	21	50	264	0.190	2.0	6.280	0.4	15.70	1.0	5	73
E3	21	50	490	0.102	2.0	6.280	0.8	7.85	3.0	5	67
E4	21	10	264	0.038	2.0	6.280	0.4	15.70	4.0	15	72
E5	21	180	377	0.478	2.0	6.280	0.6	10.47	4.0	15	82
E6	21	30	264	0.114	2.0	6.280	0.4	15.70	0.5	-5	71
E7	21	25	207	0.121	2.0	6.280	0.3	20.93	2.0	0	77
E8	25	65	151	0.431	2.0	6.280	0.2	31.40	8.0	20	81
E9	40	<u>240</u>	490	0.490	2.0	6.280	0.8	7.85	3.0	-5	176
E10	25	50	122	0.408	2.0	6.280	0.2	41.87	1.0	0	181
E11	21	10	377	0.027	2.0	6.280	0.6	10.47	3.0	15	192
E12	21	25	264	0.095	2.0	6.280	0.4	15.70	4.0	5	191

*表中の下線は、本発明の条件を満たさないことを示す。

*C_{o2}: キャリアガス中の酸素濃度、q: 切削油剤の量、Q: キャリアガスの流量

dh: 油穴の直径、S: ミストの吐出口の断面積、P: キャリアガスの供給圧力

N: ポンプショット頻度、T: キャリアガスの温度、VB_{max}: 工具逃げ面の最大磨耗幅

[0094]

[表8]

切削条件	速度	67 m/分
	送り	0.16 mm/rev
	穴深さ	A1~A12 : 30mm
		B1~B12 : 60mm
		C1~C12 : 90mm
		D1~D12 : 60mm
E1~E12 : 75mm		
ミスト条件	切削油	生分解性エステル
	供給方式	軸心給油(内部給油)
工作機械	横型マシニングセンタ	
ドリル	ドリル径	A1~A12 : 3mm
		B1~B12 : 6mm
		C1~C12 : 9mm
		D1~D12 : 12mm
		E1~E12 : 15mm
	材質	TiAlNコーティング超硬合金

[0095] 表1~7に示すように、試験No. A1~A8、B1~B7、C1~C8、D1~D7、E1~E8では、工具摩耗が小さく優れた工具寿命が得られていた。高強度化や硫化物の形態制御などを行うための元素が添加されている場合でも、鋼材の化学成分及び切削条件を十分に最適化することにより、十分な被削性が得られている。

また、試験No. A11、B8、B9、C9、D8~10、E10では、Al含有量と、キャリアガスの酸素濃度と、キャリアガス中の切削油材の量とが適切に制御されている。そのため、これらの試験No. では、工具上へのアルミナを主体とする酸化物の保護膜の形成によって、工具摩耗が改善した。例えば、試験No. A11では、Al含有量が0.05%以下である試験No. A13に比べて工具摩耗が改善した。試験No. B9では、キャリアガスの酸素濃度が21%よりも低い試験No. B13に比べて工具摩耗が改善した。試験No. C9では、Al含有量が1.0%以上である試験No. C13に比べて工具摩耗が改善した。試験No. D8では、切削油材の供給速度が200mlを超えている試験No. D13に比べて工具摩耗が改善

した。

[0096] また、試験No. A9～A13、B8～B13、C9～C13、D8～D13、E9～E12では、他の試験No. と比べて、被削材または切削加工の条件が最適化されていない場合があった。

試験No. A9では、キャリアガスの酸素濃度が21%よりも低い、すなわちキャリアガスに酸化性ガスを用いていないので、被削材中の固溶Alとミスト中の酸素との化学反応が起こりにくかった。そのため、この試験No. A9では、工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜を形成して工具寿命を向上するという効果が得られず、試験No. A2と比べて工具摩耗が進行した。試験No. A10では、ミスト中の切削油剤の量が少なすぎるため、潤滑作用が得られず、試験No. A3と比べて工具摩耗が進行した。試験No. A11では、試験No. A1と比べて、吐出口断面積 S (mm²) を供給圧力 P (MPa) で割った値 S/P が小さすぎるため、ミストの粒径が大きく増加した。そのため、この試験No. A11では、試験No. A1と比べて、切削油剤が工具に付着しすぎて、工具上にアルミナを主体とする酸化物が生成しにくいため、工具摩耗が進行した。試験No. A12では、Al含有量が不足しているため、被削材中の固溶Alとミスト中の酸素との化学反応が起こりにくかった。そのため、この試験No. A12では、工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜を形成するという効果が得られず、試験No. A6と比べて工具摩耗が進行した。試験No. A13では、Al含有量が不足しているため、被削材中の固溶Alとミスト中の酸素との化学反応がほとんど起こらなかった。そのため、この試験No. A13では、試験No. A11と比べて工具摩耗が進行した。

[0097] 試験No. B8では、試験No. B3と比べて、切削油剤の量 q (ml/時) をキャリアガスの流量 Q (l/分) で割った値 q/Q が小さすぎるため、潤滑作用が得られにくく、工具摩耗が進行した。試験No. B9では、試験No. B2と比べて、キャリアガスの温度が高すぎるため、冷却効果が小さく、発熱量が大きかった。そのため、この試験No. B9では、試験No.

. B 2 と比べて工具摩耗が進行した。試験 N o . B 1 0 では、A l 含有量が不足しているため、被削材中の固溶 A l とミスト中の酸素との化学反応が起こりにくかった。そのため、この試験 N o . B 1 0 では、工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜を形成するという効果が得られず、試験 N o . B 4 と比べて工具摩耗が進行した。試験 N o . B 1 1 では、A l 含有量が 0 . 0 5 % 以上であるが、上記 (1) 式を満たしていないため、鋼材中の固溶 A l とミスト中の酸素との化学反応が起こりにくかった。そのため、この試験 N o . B 1 1 では、工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜を形成するという効果が得られず、試験 N o . B 3 と比べて工具摩耗が進行した。試験 N o . B 1 2 では、A l 含有量が過剰であるため、高融点で硬質な酸化物が被削材中に多量に存在しており、試験 N o . B 2 と比べて工具摩耗が増大した。試験 N o . B 1 3 では、キャリアガスの酸素濃度が 2 1 % よりも低いので、被削材中の固溶 A l とミスト中の酸素との化学反応がほとんど起こらなかった。そのため、この試験 N o . B 1 3 では、工具上にアルミナを主体とする酸化物の保護膜を形成して工具寿命を向上するという効果が得られず、試験 N o . B 9 と比べて工具摩耗が進行した。

[0098] 試験 N o . C 9 では、試験 N o . C 3 と比べて、ポンプショット頻度が少なすぎるため、潤滑作用が得られにくく、工具摩耗が進行した。試験 N o . C 1 0 では、C 含有量が過剰であるため、被削材中に硬質の炭化物が多く析出しており、試験 N o . C 4 と比べて被削性が低下した。試験 N o . C 1 1 では、S i 含有量が過剰であるため、被削材の硬さが大きくなり、試験 N o . C 1 と比べて被削性が低下した。試験 N o . C 1 2 では、M n 含有量が過剰であるため、被削材の硬さが大きくなり、試験 N o . C 6 と比べて被削性が低下した。試験 N o . C 1 3 では、A l 含有量が過剰であるため、高融点で硬質な酸化物が被削材中に多量に存在しており、試験 N o . C 9 と比べて工具摩耗が増大した。

[0099] 試験 N o . D 8 では、試験 N o . D 2 と比べて、切削油剤の量 q (m l / 時) をキャリアガスの流量 Q (l / 分) で割った値 q / Q が大きすぎるため

、工具に付着したミストによって工具上にアルミナを主体とする酸化物が生成しにくくなった。そのため、この試験No. D8では、試験No. D2と比べて工具摩耗が進行した。試験No. D9では、試験No. D1と比べて、ポンプショット頻度が多すぎるため、工具に付着したミストによって工具上にアルミナを主体とする酸化物が生成しにくくなった。そのため、この試験No. D9では、試験No. D1と比べて工具摩耗が進行した。試験No. D10では、試験No. D3と比べて、吐出口断面積 S (mm^2) を供給圧力 P (MPa) で割った値 S/P が大きすぎるため、ミストの粒径が小さくなった。そのため、この試験No. D10では、試験No. D3と比べて、工具にミストがあまり付着せず潤滑効果が得られにくく、工具摩耗が進行した。試験No. D11では、O含有量が過剰であるため、粗大な酸化物系介在物が被削材中に多量に存在し、アブレシブ摩耗を起こした。そのため、この試験No. D11では、試験No. D7と比べ工具摩耗が増大した。試験No. D12では、Ca含有量が過剰であるため、被削材中にCaSが大量に存在し、試験No. D3と比べて被削性が低下した。試験No. D13では、ミスト中の切削油剤の量が多すぎるため、工具に付着したミストが工具上へのアルミナを主体とする酸化物の保護膜の生成を妨げた。そのため、この試験No. D13では、試験No. D8と比べて工具摩耗が進行した。

[0100] 試験No. E9では、ミスト中の切削油剤の量が多すぎるため、工具に付着したミストが工具上へのアルミナを主体とする酸化物の保護膜の生成を妨げた。そのため、この試験No. E9では、試験No. E1と比べて工具摩耗が進行した。試験No. E10では、試験No. E8と比べて、吐出口断面積 S (mm^2) を供給圧力 P (MPa) で割った値 S/P が大きすぎるため、ミストの粒径が小さくなった。そのため、この試験No. E10では、試験No. E8と比べて、工具にミストがあまり付着せず潤滑効果が得られにくく、工具摩耗が進行した。試験No. E11では、Rem含有量が過剰であるため、被削材中にRemの硫化物が大量に存在し、試験No. E4と比べて被削性が低下した。試験No. E12では、Ni添加量が過剰であるた

め、試験No. E4と比べて被削性が低下した。

[0101] 以上、実施例について説明してきた。実施例からわかるように、本発明では、MQL切削、つまり、キャリアガスで切削油剤をミストにして工具の刃先や被削材の表面にこのミスト状の切削油剤を吹き付けながら切削を行うことにより、工具寿命が向上している。実施例では、ドリルを用いた穴あけにおいて油穴からミストを供給する場合を例示した。しかしながら、本発明では、旋削加工、タップ加工などの連続切削、フライス加工、エンドミル加工、ホブ加工などの断続切削のいずれの加工に対しても工具寿命を向上させることができる。さらに、外部に設置したノズルから切削部にミストを噴射する方式や工作機械の工具ホルダにMQLミストの供給機能を持たせる方式など様々なミスト供給方法でミストを供給しても、工具寿命を向上させることができる。実施例に挙げたMQL切削は、一例であり、本発明の趣旨は、これらの記載に限定されるものではなく、特許請求の範囲に基づき広く解釈される。

産業上の利用可能性

[0102] 極微量の切削油剤をキャリアガスによりミスト状にし、工具の刃先や被削材の表面にこのミスト状の切削油剤を吹き付けながら機械構造用鋼の切削を行う際に、工具寿命に優れた、機械構造用鋼の切削方法を提供する。

符号の説明

- [0103]
- 1 ドリル（工具）
 - 2 ミスト
 - 3 工具寿命評価用試験片（試験片）
 - 4 穴あけ位置
 - 5 油穴
 - 6 逃げ面

請求の範囲

[請求項1] 0.01～200ml/時の供給速度で供給される切削油剤と、体積%で21%以上かつ50%以下の酸素を含む酸化性ガスとを混ぜ合わせてミストを生成し、このミストを工具の刃先表面及び機械構造用鋼の表面に吹きかけながら、前記機械構造用鋼を切削し、

前記機械構造用鋼が、質量%で、

C: 0.01～1.2%、

Si: 0.005～3.0%、

Mn: 0.05～3.0%、

P: 0.001～0.2%、

S: 0.001～0.35%、

N: 0.002～0.035%、

Al: 0.05～1.0%

を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、

O: 0.003%以下

に制限し、

かつAl含有量 [Al%] と、N含有量 [N%] とが、 $[Al\%] - (27/14) \times [N\%] \geq 0.05$ を満足する

ことを特徴とする機械構造用鋼の切削方法。

[請求項2] 前記機械構造用鋼が、さらに、質量%で、

Ca: 0.0001～0.02%、

Ti: 0.0005～0.5%、

Nb: 0.0005～0.5%、

W: 0.0005～1.0%、

V: 0.0005～1.0%、

Ta: 0.0001～0.2%、

Hf: 0.0001～0.2%、

Mg: 0.0001～0.02%、

Z r : 0. 0 0 0 1 ~ 0. 0 2 %、
R e m : 0. 0 0 0 1 ~ 0. 0 2 %、
S b : 0. 0 0 0 1 ~ 0. 0 1 5 %、
S n : 0. 0 0 0 5 ~ 2. 0 %、
Z n : 0. 0 0 0 5 ~ 0. 5 %、
B : 0. 0 0 0 1 ~ 0. 0 1 5 %、
T e : 0. 0 0 0 3 ~ 0. 2 %、
S e : 0. 0 0 0 3 ~ 0. 2 %、
B i : 0. 0 0 1 ~ 0. 5 %、
P b : 0. 0 0 1 ~ 0. 5 %、
C r : 0. 0 0 1 ~ 3. 0 %、
M o : 0. 0 0 1 ~ 1. 0 %、
N i : 0. 0 0 1 ~ 5. 0 %、
C u : 0. 0 0 1 ~ 5. 0 %、
L i : 0. 0 0 0 0 1 ~ 0. 0 0 5 %、
N a : 0. 0 0 0 0 1 ~ 0. 0 0 5 %、
K : 0. 0 0 0 0 1 ~ 0. 0 0 5 %、
B a : 0. 0 0 0 0 1 ~ 0. 0 0 5 %、
S r : 0. 0 0 0 0 1 ~ 0. 0 0 5 %

の内の1種以上をさらに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の切削方法。

[請求項3] 前記酸化性ガスの流量を Q (l/分)、前記切削油剤の供給速度を q (ml/時)と定義した場合に、 q/Q の比が、0.001~1を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の機械構造用鋼の切削方法。

[請求項4] 前記ミストを吐出する出口の断面積を S (mm²)、前記酸化性ガスの供給圧力を P (MPa)と定義した場合に、 S/P の比が、0.2~40を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の機械構

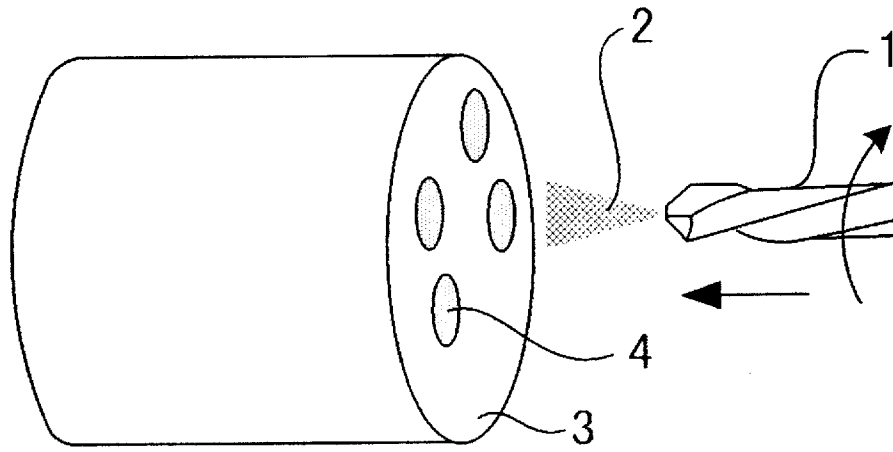
造用鋼の切削方法。

[請求項5] 前記切削油剤を供給する吐出ポンプの1秒当たりの吐出回数が、0.05～16回であることを特徴とする請求項1または2に記載の機械構造用鋼の切削方法。

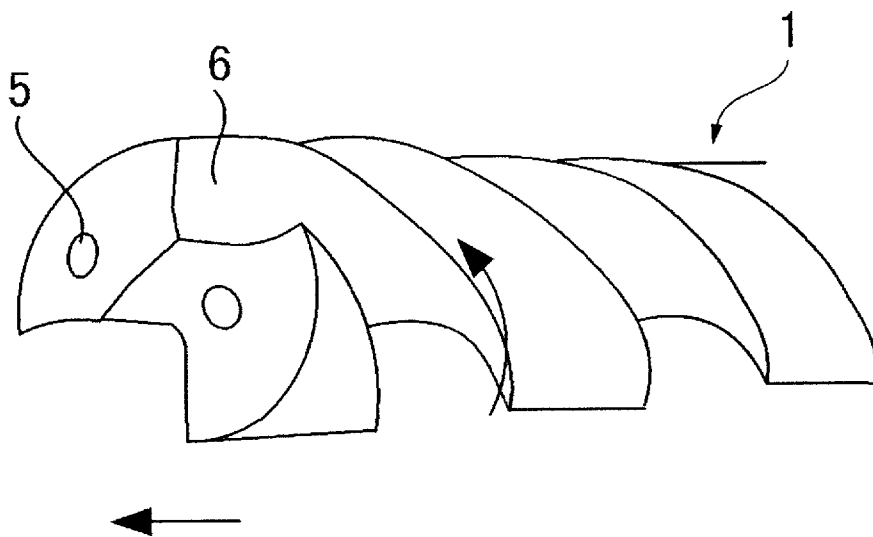
[請求項6] 前記酸化性ガスの温度が、 -80°C 以上かつ 40°C 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の機械構造用鋼の切削方法。

[請求項7] 前記酸化性ガスの酸素濃度が、25%以上かつ50%以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の機械構造用鋼の切削方法。

[図1A]



[図1B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054932

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23Q11/10(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i, B23B47/00(2006.01)i, B23C5/28(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23Q11/10, B23B1/00, B23B47/00, B23C5/28, C22C38/00, C22C38/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/130054 A1 (Nippon Steel Corp.), 30 October 2008 (30.10.2008), page 5, line 18 to page 22, line 13; table 1-1 & JP 4473928 B2 & EP 2138597 A1	1-7
Y	JP 2008-110430 A (NSK Ltd.), 15 May 2008 (15.05.2008), paragraphs [0029], [0042] to [0045]; fig. 10 (Family: none)	1-7
Y	JP 2002-126973 A (Takamatsu Machinery Co., Ltd.), 08 May 2002 (08.05.2002), paragraphs [0002] to [0006], [0023], [0024] (Family: none)	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
31 March, 2011 (31.03.11)

Date of mailing of the international search report
12 April, 2011 (12.04.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054932

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-150451 A (Tako Kabushiki Kaisha), 27 May 2004 (27.05.2004), paragraphs [0002], [0012], [0080] to [0082]; tables 1, 2 (Family: none)	4
Y	JP 2005-271170 A (Renzo UEDA), 06 October 2005 (06.10.2005), paragraphs [0013], [0044], [0046], [0048] (Family: none)	6
Y	JP 2004-276228 A (Shimane University), 07 October 2004 (07.10.2004), paragraphs [0002], [0009], [0023], [0033], [0041] (Family: none)	7
P,X	WO 2010/134583 A1 (Nippon Steel Corp.), 25 November 2010 (25.11.2010), entire text (Family: none)	1,2
A	JP 2006-083448 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 30 March 2006 (30.03.2006), entire text (Family: none)	1-7
A	JP 2008-013788 A (Nippon Steel Corp.), 24 January 2008 (24.01.2008), claims; paragraphs [0017] to [0052], [0057], [0058]; tables 1, 2 (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B23Q11/10(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i, B23B47/00(2006.01)i, B23C5/28(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B23Q11/10, B23B1/00, B23B47/00, B23C5/28, C22C38/00, C22C38/60

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2008/130054 A1 (新日本製鐵株式会社) 2008.10.30, 第5ページ 第18行から第22ページ第13行, 表1-1 & JP 4473928 B2 & EP 2138597 A1	1-7
Y	JP 2008-110430 A (日本精工株式会社) 2008.05.15, 段落【002 9】, 【0042】 - 【0045】, 図10 (ファミリーなし)	1-7

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.03.2011

国際調査報告の発送日

12.04.2011

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

八木 誠

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

3C

4418

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2002-126973 A (高松機械工業株式会社) 2002.05.08, 段落【0002】-【0006】, 【0023】, 【0024】 (ファミリーなし)	1-7
Y	JP 2004-150451 A (タコ株式会社) 2004.05.27, 段落【0002】, 【0012】, 【0080】-【0082】, 表1, 2 (ファミリーなし)	4
Y	JP 2005-271170 A (上田煉三) 2005.10.06, 段落【0013】, 【0044】, 【0046】, 【0048】 (ファミリーなし)	6
Y	JP 2004-276228 A (国立大学法人島根大学) 2004.10.07, 段落【0002】, 【0009】, 【0023】, 【0033】, 【0041】 (ファミリーなし)	7
P, X	WO 2010/134583 A1 (新日本製鐵株式会社) 2010.11.25, 全文 (ファミリーなし)	1, 2
A	JP 2006-083448 A (住友金属工業株式会社) 2006.03.30, 全文 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2008-013788 A (新日本製鐵株式会社) 2008.01.24, 【特許請求の範囲】, 段落【0017】-【0052】, 【0057】, 【0058】, 表1, 2 (ファミリーなし)	1-7