

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月 1日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560144

研究課題名（和文） 含酸素化合物のトライボロジー挙動解明と雰囲気制御による高性能ニアドライ加工

研究課題名（英文） HIGH-PERFORMANCE NEAR-DRY MACHINING BY TRIBOLOGICAL BEHAVIOR INVESTIGATION OF OXYGEN-INCLUDING COMPOUNDS AND ATMOSPHERE CONTROL

研究代表者

若林 利明 (WAKABAYASHI TOSHIAKI)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：00294736

研究成果の概要（和文）：切削油剤の使用量を大幅に削減できる環境に優しいニアドライ加工の高性能化について、油剤として適用したエステル、アルコール、酸などの含酸素化合物のトライボロジー挙動を明らかにした。さらに、アルミニウム合金の加工に最適な加湿式の極微量潤滑（MQL）ミスト発生装置によるニアドライシステムを開発するとともに、複合ミスト方式を用いることが、ステンレス鋼やチタン合金といった難削材の加工に適する柔軟性をもったニアドライシステムの構築につながる可能性を見出した。

研究成果の概要（英文）：Regarding high-performance near-dry machining which can considerably decrease the amount of cutting fluids and is therefore environmentally friendly, this study found out the tribological behavior of oxygen-including compounds such as esters, alcohols and acids used as a cutting lubricant. Further, the investigator developed an optimal near-dry system mounting a minimal quantity lubrication (MQL) mist generator with a humidifier for machining of aluminum alloys and provided the possibility that a hybrid mist supply method could be a suitable and flexible near-dry system for machining of difficult-to-cut materials such as stainless steels and titanium alloys.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：環境対応・トライボロジー・ニアドライ加工・MQL加工・含酸素化合物・エコマシニング・切削加工・潤滑剤

1. 研究開始当初の背景

(1) 環境に優しい低炭素社会の実現には、あらゆる分野で炭酸ガス排出量を抑制するこ

とが不可欠である。「ものづくり」の基盤技術である切削加工では、この取り組みの柱として、切削油剤の使用にとまなう供給動力の

削減、工作物洗浄工程の簡略化、廃液処理の軽減を図るため、ドライ化への移行が進められている。しかし、切削油剤を一切用いないドライ加工は、生産効率の低下や製品精度への悪影響といったデメリットを有し、適用範囲も限定されてしまう。そこで本研究では、ニアドライ (near-dry) 加工を取り上げた。

(2) ニアドライ加工は極めて少ない切削油を供給して行う加工技術の総称であり、これらの中で現在、最も普及している成功例が極微量潤滑 (minimal quantity lubrication) 方式による MQL 加工であろう。これは、1 時間あたりの油剤供給量が数十 ml 程度と従来の湿式切削と比べて極微量にもかかわらず、工具摩耗の低減や製品精度の向上の点で遜色がないばかりか、むしろ切削性能が高まる場合も多い。そのため、とくに鋼材を対象にした環境対応型切削 (エコマシニング) 技術として、生産現場への適用が着実に進み、製造ライン全体において、油剤や消費電力量の大幅な削減を実現していた。

(3) MQL 加工の研究開始時点で最大の技術的課題は、軽量化による省燃費のため自動車部品加工等で使用が拡大しているアルミニウム合金と、今後さらに需要が増すと予想される難削材への適用であった。前者では潤滑性不足による切くずの凝着が問題であり、いまだ MQL 加工の普及は一部にとどまっており、後者では冷却性不足による工具寿命の短縮という壁を克服しなければならないという状況にあった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、エステル、アルコール、酸などの極性を有する合成系含酸素化合物に着目してトライボロジー挙動を詳しく検討し、アルミニウム合金や難削材の切削性能と関連づけて明らかにすることが目的である。

(2) さらに、油剤そのものの処理や供給雰囲気制御によって MQL に不足する能力を付与方法論を構築し、ニアドライ加工の普及拡大につながる高性能化と複合化のための研究開発を行う。

(3) 多くの現場では、いまだに旧来の実機評価にもとづいて、MQL 加工の適否の判断が行われている。このような、油剤の作用メカニズム解明に立脚していない判断では、広範囲な加工への適用など、将来の飛躍的進展が全く期待できない。本研究では、切削性能を左右するトライボロジー挙動まで立ち返り、その基本を明らかにするところに最大の特徴がある。

3. 研究の方法

(1) 各種含酸素化合物のトライボロジー特性評価と吸着現象の検討

アルミニウム合金に対しては、極性物質が大きな効果をもつ可能性を秘めていると推測されることから、代表的な極性物質であり、比較的安全性が高く、環境との適合性にも優れるものが多いエステル、アルコール、脂肪酸などの合成系含酸素化合物を対象として取り上げ、基礎的トライボロジー特性を評価した。さらに、作用メカニズム解明の面から、雰囲気制御型切削試験機を用いて、モデル化合物の金属新生面への吸着特性を調べ、含酸素化合物のトライボロジー挙動におよぼす吸着特性の影響を推察した。

(2) キャリアガス中湿度を制御した加湿式 MQL 発生装置の開発と切削性能評価

環境への負荷が極めて小さく、しばしばアルミニウムの摩擦に対して好ましい挙動を示す水の潤滑効果に期待して、キャリアガス (通常は圧縮空気) 中湿度を一定レベルで維持するための制御法を確立し、この制御法にもとづき、加湿式 MQL 発生装置を開発した。また、この装置をアルミニウム合金の MQL 加工に適用し、その実用切削性能を評価した。

(3) 複合ミストによるステンレス鋼とチタン合金のニアドライ加工法の検討

ステンレス鋼を対象に、油剤ミストと水溶性切削油のミストを同時に噴霧できる複合ミスト方式によるニアドライ加工を適用し、油剤ミストと水溶液ミストの最適な組み合わせ条件や適切な供給法を検証した。さらに、複合ミスト方式をチタン合金の加工にも広げ、ミストの組み合わせ条件や供給法について同様に検討した。

4. 研究成果

(1) 各種含酸素化合物のトライボロジー特性評価と吸着現象の検討

探索した合成系含酸素化合物の中では、ポリオールエステルおよび高級アルコールが効果的であり、それらの潤滑性能は前者では蒸発性と、後者では分子構造とよく相関することを明らかにした。さらに、雰囲気制御型切削試験機を用いて、エステルおよびアルコールのモデル化合物の金属新生面への吸着特性を調べた結果、アルミニウムに対しては、とくにアルコールの吸着活性が高いことを実証した。

(2) キャリアガス中湿度を制御した加湿式 MQL 発生装置の開発

環境への負荷が極めて小さく、しばしばアルミニウムの摩擦に対して好ましい挙動を示す水が、アルミニウム合金の MQL 加工にも

効果を発揮すること、ならびにキャリアガス中の湿度を一定レベルで維持してMQL供給すると、図1のとおり切削性能が向上することを究明した。

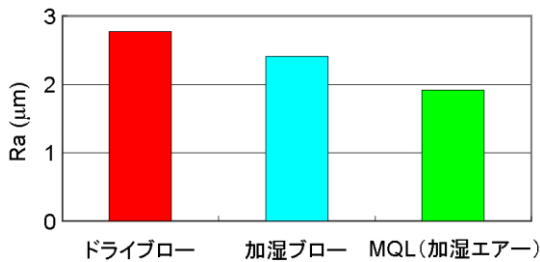


図1 アルミニウム合金鋳物 JIS AC8A のエンドミル加工後の仕上げ面粗さに対する加湿の影響

さらに、後者の加湿式MQL加工法について、キャリアガス中湿度の制御法を確立し、この確立したキャリアガス中湿度の制御法にもとづいて、その湿度を一定レベルで維持してMQL供給することが可能な加湿式MQL発生装置を開発した(図2)。また、この装置を用いて、各種の合成系含酸素化合物を潤滑剤に用いたアルミニウム合金の実用切削性能評価を行った結果、加湿がこれら化合物の一層の性能向上に有効であることを実証した。



図2 加湿式MQL発生装置の外観

(3) アルミニウム合金の加工に最適なニアドライシステムの提示

表1の合成系含酸素化合物を潤滑剤に用いてアルミニウム合金の切削性能評価を行った。その結果を図3に示す。エステルとアルコールを混合することで、各々を単独で用いるよりも良好な切削性能を発揮することを究明した。とくに合成ポリオールエステルへ、分子が直鎖状に近い構造、あるいは気体になりやすいという特徴をもつアルコールを添加すると大幅な切削性能の向上が認められ、前者としてはオレイルアルコール、後者としては2-オクタノールが有効であるといった具体的な切削性能向上効果の高い含

酸素化合物の組み合わせを見出した。

さらに、加湿エアを用いることによって、凝着発生抑制、表面粗さのいずれも顕著に改善できること明らかにし、加湿式MQL発生装置を用いたアルミニウム合金の加工に最適なニアドライシステムを開発した。

表1 検討に用いた潤滑剤

油剤のタイプ	試料名
合成ポリオールエステル	CO-1
オレイルアルコール	OAL
デシルアルコール	DAL
ベンジルアルコール	BAL
CO-1+OAL	EA-1
CO-1+DAL	EA-2
CO-1+BAL	EA-3
CO-1+1-オクタノール	EA-4
CO-1+2-オクタノール	EA-5
CO-1+1-ドデカノール	EA-6
CO-1+2-ドデカノール	EA-7
CO-1+イソステアリアルアルコール	EA-8
CO-1+2-オクチル-1-ドデカノール	EA-9

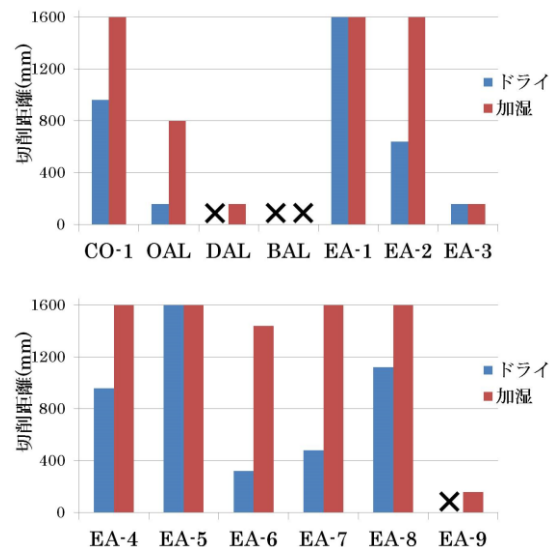


図3 アルミニウム合金鋳物 JIS AC8A のエンドミル加工における凝着発生までの切削距離

(4) 複合ミストによる難削材のニアドライ加工法の検討

合成エステルを用いた油剤ミストと水溶性切削液ミストとを組み合わせた複合ミスト方式のニアドライ加工法が、JIS SUS304、SUS410、SUS430、SUS630など各種のステンレス鋼について、どの材種に有効であるかを検証した。また、これらステンレス鋼に対する

有効性が確認できた複合ミスト方式を、代表的難削材であるチタン合金の加工にも適用し、旋削加工で評価するための切削条件を検討し、この評価法の妥当性を明らかにした。

(5) 難削材の加工に最適なニアドライシステムの提示

複合ミスト方式をステンレス鋼とチタン合金の加工に適用し、潤滑剤として各種合成エステルを用いた油剤ミストと水溶性切削液ミストとの適切な組み合わせ条件や供給法を検証した結果、被削材ごとに適する油剤が存在することが判明した。ステンレス鋼の複合ミスト加工では、粘度の高い油剤において切削性能が向上し、低いものはむしろ低下した。一方、チタン合金では粘度の低い油剤のほうが優れており、潤滑性と冷却性のバランスが重要であることが示唆された。これら成果の代表例として、表2の油剤を用いた場合の旋削加工における工具寿命の測定結果を図4および5に示す。

表2 検討に用いた潤滑剤

油剤のタイプ	動粘度 (40°C)	試料名
PE + オレイン酸	67 mm ² /s	UE-3
合成ポリエステル	19 mm ² /s	CO-1

PE: ペンタエリスリトール C(CH₂OH)₄

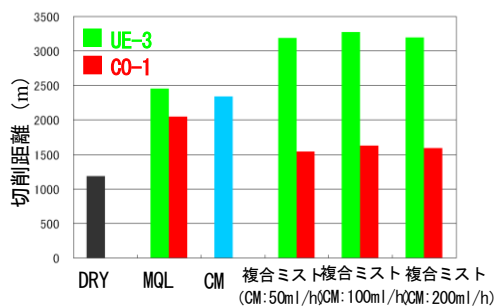


図4 ステンレス鋼 SUS304 の旋削加工における工具寿命測定結果

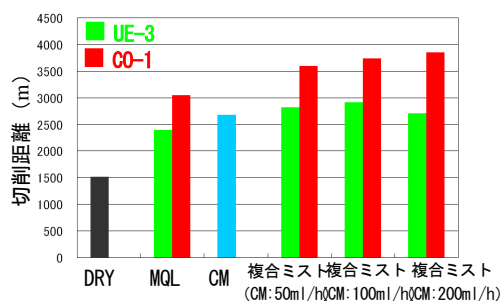


図5 チタン合金 Ti-6Al-4V の旋削加工における工具寿命測定結果

複合ミスト方式は、こうした切削現象の違いに対して柔軟性をもつことから、それぞれの加工への最適化を図ることができるニアドライシステム構築につながる可能性が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

① Wakabayashi T., Atsuta T., Tsukuda A., Sembongi N., Shibata J., Suda S., Cutting Performance of Oxygen-including Compounds in MQL Machining of Aluminum, Key Engineering Materials, 査読有, Vol. 523-524, 2012, pp. 967-972
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.523-524.967

② Wakabayashi T., Kuhara J., Atsuta T., Tsukuda A., Sembongi N., Shibata J., Suda S., Near-dry Machining of Stainless Steel with MQL and Hybrid Mist Supply, Proceedings of the 10th International Conference on Progress of Machining Technology (Niigata, Japan), 査読有, 2012, pp. 249-252

③ Kuhara J., Wakabayashi T., Kakihara T., Atsuta T., Tsukuda A., Sembongi N., Shibata J., Suda S., Effects of Humidified Air and Lubricants on MQL Machining of Aluminum, Proceedings of the 6th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (Saitama, Japan), 査読有, 2011, CD-ROM (4pages)

④ Kuhara J., Wakabayashi T., Kakihara T., Atsuta T., Tsukuda A., Sembongi N., Shibata J., Suda S., Effects of Oxygen-including Compounds on Cutting Performance in MQL Machining of Aluminum, Proceedings of the 4th CIRP International Conference on High Performance Cutting (Gifu, Japan), 査読有, 2010, pp. 237-242

[学会発表] (計8件)

① 若林利明, エコマシニングにおける境界潤滑の役割, 日本トライボロジー学会: トライボロジー会議 2012 秋 北海道室蘭, 2012年9月17日, 室蘭工業大学 (北海道)

- ② 熱田俊文、チタン合金のニアドライ旋削、日本機械学会：第9回生産加工・工学機械部門講演会、2012年10月28日、秋田県立大学（秋田県）
- ③ Wakabayashi T.、Novel near-dry machining of aluminum alloys by combination of atmosphere control and lubricant treatment、Tribology Congress, ASIATRIB 2010、2010年12月7日、ハイアット・リージェンシー（パース、オーストラリア）
- ④ 若林利明、アルミニウム合金のMQL加工に適する油剤とその供給法に関する検討、日本機械学会：第8回生産加工・工学機械部門講演会、2010年11月19日、岡山大学（岡山県）
- ⑤ 若林利明、ニアドライ方式によるステンレス鋼の環境対応加工、日本機械学会2010年度年次大会、2010年9月8日、名古屋工業大学（愛知県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若林 利明 (WAKABAYASHI TOSHIAKI)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：00294736