

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420092

研究課題名(和文) 複合ニアドライ加工システム構築のトライボロジー的アプローチ

研究課題名(英文) TRIBOLOGICAL APPROACH TO CONSTRUCTION OF HYBRID NEAR DRY MACHINING SYSTEM

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：アルミニウム合金に最適な複合ニアドライ加工システムとして、ポリオールエステルにアルコールを併用した油剤による加湿式MQL加工を提示した。一方、チタン合金に関しては、オイルミストのみを供給するMQL加工、水溶性切削油剤のミストのみを供給するクーラントミスト(CM)加工、MQLとCMを組み合わせた複合ミスト(HM)加工、油剤を大量に使用する湿式(WET)加工の4種類について実用切削性能を評価した結果、とくにCM加工においてWET加工より工具寿命がかなり延長することを究明し、代表的難削材のチタン合金に最適な複合ニアドライ加工システムとしてCM加工を提示した。

研究成果の概要(英文)：For machining of aluminum alloys, by using a polyol ester in combination with alcohols as a lubricant, this study presented an optimal near-dry machining system mounting a minimal quantity lubrication (MQL) mist generator with a humidifier. Regarding machining of titanium alloys, on the other hand, this study evaluated the practical cutting performance in the cases of four methods, that is, MQL machining, coolant mist (CM) machining which could supply water soluble coolant, hybrid mist (HM) machining which could supply combined mists of MQL oil and coolant, and conventional wet machining. The evaluation results demonstrated CM machining, compared with wet machining, considerably elongated the tool life and thus this study proposed CM machining as an optimal near-dry machining system for such difficult-to-cut material as titanium alloys.

研究分野：トライボロジー

キーワード：環境対応 難削材 トライボロジー ニアドライ加工 MQL加工 含酸素化合物 アルミニウム合金 チタン合金

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も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 加工である。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きた。

(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) これまでの科学研究費補助金による研究「基盤研究(C)：ニアドライ加工の高性能化とトライボロジー挙動 (平成 19-21 年度)」および「基盤研究(C)：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 (平成 22-24 年度)」において、アルミニウム合金に対しては、エステルほかにアルコールなどの含酸素化合物の一部に優れた効果をもつものと判明し、油剤ミストを供給する際に水の雰囲気と組み合わせることの有効性を示唆されたことから、本研究は、この点をさらに検証することが目的である。

(2) 一方、代表的難削材としてはチタン合金を取り上げ、そのニアドライ加工法には MQL の油剤ミストと水溶性切削油のミストを同一ノズルから供給できる複合ミスト方式が有効であることが明らかになりつつあり、ニ

アドライ加工の普及拡大につなげるべく、その高性能化と複合化のための研究開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 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る。そして、これら化合物の中から、構造が比較的明らかであること、入手性が高いこと、MQL 加工油剤に求められる主要物性としての動粘度が 40 で 5~75mm²/s の範囲内であること、等を条件に探索を行う。さらに、入手できた油剤の基礎的トライボロジー特性を評価し、油剤構造と潤滑性能との関係を検討する。また、含酸素化合物以外の極性物質の探索も適宜実施する。

(2) 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、キャリアガス中の湿度制御法にもとづく加湿型 MQL 発生装置を使用し、各種 MQL 加工油剤の実用切削性能を評価する。一方、複合ミスト方式の適用を、チタン合金の加工にも広げ、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する。

4. 研究成果

(1) アルミニウムに対しては、極性物質として大きな効果をもつ可能性のあるアルコールに着目し、引火の危険を避けるという安全性の観点からポリオールエステルに各種アルコールを混合して検討を行った。その結果、分子が直鎖状に近い構造や気体潤滑になりやすい性質を有するアルコールが高い切削性能を示すこと、良好な切削性能のアルコールの中では、その構造と性質のバランスに優れた 2-オクタノールが最も有効であること、油剤供給量が十分な場合、加湿エアーの併用によって、さらに切削性能が向上することを実証した。

表 1 検討に用いた潤滑剤

Type of fluid	Sample name
Synthetic polyol ester	CO-1
Oleyl alcohol	OA
Decyl alcohol	DA
Benzyl alcohol	BA
CO-1 + OA	EA-1
CO-1 + DA	EA-2
CO-1 + BA	EA-3
CO-1 + 1-octanol	EA-4
CO-1 + 2-octanol	EA-5
CO-1 + 1-dodecanol	EA-6
CO-1 + 2-dodecanol	EA-7
CO-1 + Isostearyl alcohol	EA-8
CO-1 + 2-octyl-1-dodecanol	EA-9

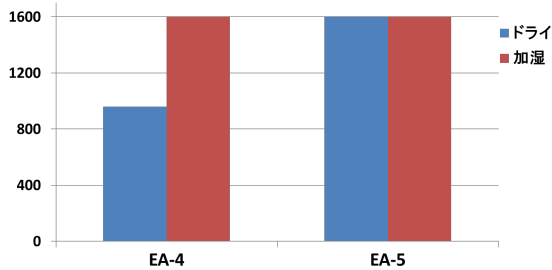


図1 1-オクタノール(EA-4)と2-オクタノール(EA-5)のエンドミル加工における凝着発生までの切削距離(被削材:アルミニウム合金 鋳物 JIS AC8A)

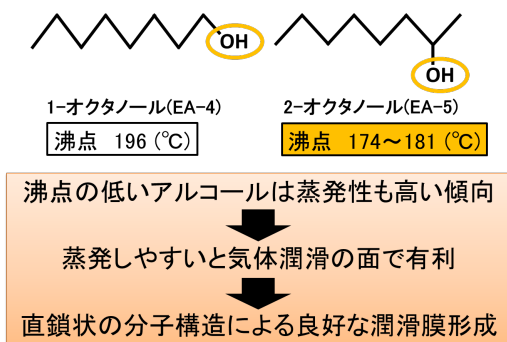


図2 1-オクタノールと2-オクタノールの分子構造と沸点

(2) 難削材としてはチタン合金を取り上げ、複合ミスト方式の加工液供給装置に改良を加えるとともに、油剤ミスト単独による MQL 加工における切削性能の評価条件および評価方法を検討した。前者の装置改良に関しては、従来の装置に比べ、より安定的に油剤ミストと水溶液ミストを供給することが可能となり、複合ミスト方式による評価が可能となるシステムを構築した。



図3 改良した複合ミスト方式の加工液供給装置の外観

(3) 改良した複合ミスト方式の加工液供給装置を用いて、オイルミストのみを供給する MQL 加工、水溶性切削油剤のミストのみを供

給するクーラントミスト(CM)加工、MQL と CM を組み合わせた複合ミスト(HM)加工、油剤を大量に使用する湿式(WET)加工の4種類についてチタン合金の実用切削性能を評価した。

まず、ポリオールエステルとオレイルアルコールを含酸素化合物の代表に選出し、MQL 加工を行ったところ、改良前の装置で得られていた両者の併用による工具寿命延長効果が今回の装置では必ずしも認められず、この理由に関しては、切削性能評価結果の再現性も含め今後の検討課題とした。次に CM 加工では CM 供給量が増加するほど、その冷却作用によって切削距離が延び、とくに 400mL/h まで増やすと WET 加工より工具寿命が約 1000m も延長して、かなり切削性能が向上した。ただし、冷却効果だけであれば WET 加工の方が優れているはずであり、今回の結果より、CM 加工では、工具の熱的摩耗を防ぎつつ、チタン合金の硬度が低下した状態となる温度範囲で切削が可能であることを究明した。一方で、HM 加工の場合、MQL ミストと CM を同時供給するため、CM 中に含まれる可溶油剤が MQL 油剤を抱き込みミセル化することでエマルジョンとなり、これが MQL 油剤の潤滑効果を隠蔽するとともに、CM の供給状態を悪化させ、CM 単独供給と比較してほぼ同等か、若干短い工具寿命となることを明らかにした。

以上の成果にもとづいて、代表的な難削材であるチタン合金に最適な複合ニアドライ加工システムとして CM 加工を提示することができた。

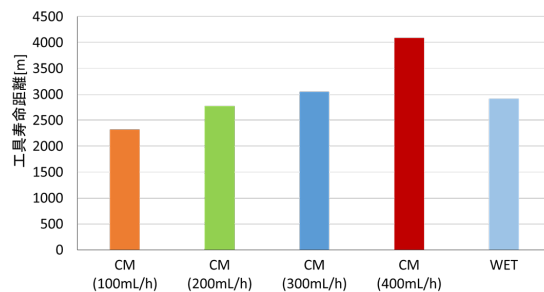


図4 各 CM 供給量における工具寿命測定結果

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

Wakabayashi T., Kuhara J., Atsuta T., Tsukuda A., Shibata J. and Suda S., Near-dry Machining of Titanium Alloy with MQL and Hybrid Mist Supply, Key Engineering Materials, 査読有、vol.656-657、2015、341-346
 DOI: doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.656-657.341

若林利明、極微量潤滑による環境に優しい切削加工、機械技術、査読無、vol.63、2015、13-18

Sembongi N., Tsujimoto T., Takaki T., Yagishita K. and Wakabayashi T., Relationship between Molecular Structure of Organo-sulfur Compounds and Machining Performance、Proceedings of 19th International Colloquium Tribology、査読無、2014、7pages

若林 利明 (WAKABAYASHI, Toshiaki)
香川大学・工学部・教授
研究者番号：00294736

〔学会発表〕(計8件)

Yamada K., Turning of Titanium Alloy with Near-dry Method、International Tribology Conference, Tokyo 2015、2015年9月17日、東京理科大学(東京都葛飾区)

若林利明、チタン合金のMQL加工に対する含酸素化合物の効果、日本機械学会第10回生産加工・工作機械部門講演会、2014年11月16日、徳島大学(徳島県徳島市)

山田圭祐、MQL方式を用いたチタン合金の旋削加工、2014年度精密工学会秋季大会学術講演会、2014年9月17日、鳥取大学(鳥取県鳥取市)

若林利明、アルミニウム合金のMQL加工における潤滑剤と加湿の効果、日本設備管理学会平成26年度春季研究発表大会、2014年5月29日、早稲田大学(東京都新宿区)

若林利明、極微量潤滑による環境に優しいニアドライ加工、第5回横幹連合コンファレンス、2013年12月22日、香川大学(香川県高松市)

若林利明、アルミニウム合金のMQL加工における油剤の効果と水の影響、日本設備管理学会平成25年度秋季研究発表大会、2013年11月21日、西日本総合展示場(福岡県北九州市)

若林利明、アルミニウム合金のMQL加工におよぼす含酸素化合物の効果と加湿の影響、石油学会北九州大会(第43回石油・石油化学討論会)、2013年11月15日、北九州国際会議場(福岡県北九州市)

若林利明、アルミニウム合金のMQL加工に対する含酸素化合物の効果、日本設備管理学会平成25年度春季研究発表大会、2013年6月6日、青山学院大学(東京都渋谷区)

6. 研究組織
(1)研究代表者