

糖系界面活性剤を用いた安全性の高い加工液に関する研究

梶本英嗣*

A Study on the Safe Cutting Fluid with Sugar-Based Surfactants

Eiji Sugimoto

本研究では安全性の高い環境低負荷な加工液の実現を目指し、天然由来の糖系界面活性剤と固体潤滑剤を用いて加工液を試作し、その潤滑性能についてタッピングトルク試験で評価した。その結果、糖系界面活性剤と固体潤滑剤の添加効果が明らかとなった。しかしながら、安全な水系加工液を既存加工液の代替とするためには、タッピングトルクをさらに2.6Nm 下げなければならない。

1. 緒 言

近年、環境技術への関心は年々高まっており、製造現場においても環境低負荷技術の提案が求められている。マシニングセンタ等を用いた機械加工では、現在、大量の加工液を加工点に供給しつつ加工が行われている。生産性の向上を図るための夜間の加工や無人運転の必要性から、加工液は火災の心配の低い水溶性切削油が主に用いられている。加工液は濾過され循環ポンプにより加工点に再供給されるが、加工液に含まれる潤滑成分は使用に伴い劣化するため、定期的な交換と廃棄が必要となる。

国内では年間約 84 万 kL の加工液が廃棄されている¹⁾。水溶性切削油は廃液の 90%以上が水であり、水と油を分離処理した後、焼却や埋め立て処理されている。しかし処理水から切削油剤の成分を完全に除去することは不可能であり、排水による環境負荷が生じている。この根本的な解決のためには油を含まず、安全な物質のみで潤滑性を実現する必要がある。

切削加工における加工点は非常に厳しい潤滑状態であり、工具と被削材の接触・摩擦を伴う現象として説明される。このような摩擦し合う物質の潤滑状態を表すものとしてストライベック曲線がある²⁾。図1にストライベック曲線の概念図を示す。ストライベック曲線では潤滑状態を流体潤滑、混合潤滑、境界潤滑の3種類に大別している。これらのうち、加工現象に該当する境界潤滑においては、他の2つの状態に比べて粘性の寄与は低く、化学的、界面化学的、表面物理的特性が支配的であると言われている³⁾。また、金属の切削現象において、潤滑は工具と被削材の摩擦面に加工液が侵入し、せん断強度の低い潤滑膜あるいは何らかの反応生成膜が形成されることで成り立つと考えられている⁴⁾。

これらのことから加工液に求められる機能としては、まず被削材表面に広がること、つまり濡れ性を持ち⁵⁾、そして潤滑膜あるいは反応生成膜を形成できることが必要となる。潤滑膜の形成には特に極圧添加剤の性能が重要となる。90年代までは極圧添加剤として塩素系添加剤が多く使用されていたが、有害性が指摘され⁶⁻⁷⁾、硫黄系添加剤に少しずつ置き換わってきた。現在では更なる安全性や環境負

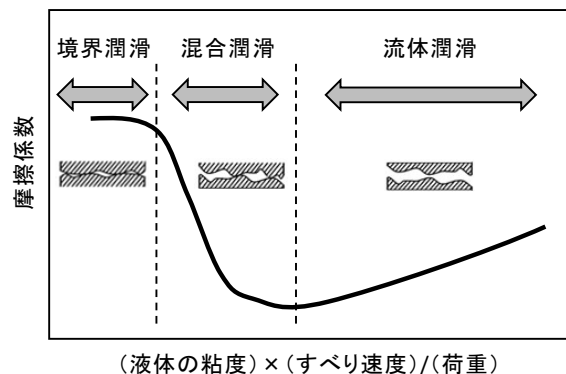


図1 ストライベック曲線の概念図

荷低減のために硫黄系添加剤の代替品が求められているが、有力な代替品は見つかっていない状況である。

これまでに著者は、アルミ合金の切削加工時の切削抵抗が、既存の加工液と同等となるオイルレス加工液を開発した⁸⁾。しかし、鉄系材料の加工においては十分な性能ではなく、潤滑性能の向上が必要であった。

そこで本研究では、環境負荷が小さい加工液を実現するため、油を含まない水ベースの加工液を試作し、基礎的な検討を行った。加工液の特性は、タッピングトルク試験で評価した。比較試験には、既存の加工液を用いた。

2. 試験装置及び試験方法

2・1 加工液の評価方法について

加工液の評価は一般的に摩擦試験と切削試験の2種類に分けられる。摩擦試験では四球試験⁹⁾や、チムケン試験¹⁰⁾、ファレックス試験などがある。これらは加工液の基礎研究などに用いられる。しかし切削現象とは異なり塑性変形や切り屑生成を伴わず、点または線接触での評価となるため、実加工との相関に乏しい傾向がある。切削試験は実際の加工を再現し、加工液を評価するため、現象的には最良の方法であると言える。しかし切り屑の噛みこみや工具摩耗、加工液の供給方法などの影響を受けるため、適切な結果を得るには時間的、経済的負担を要する。それに対し比較的簡便な方法として、タップ加工中のトルクにより加工液を評価するタッピングトルク試験¹¹⁻¹²⁾がある。本研究ではこのタッピングトルク試験により加工液の評価を行った。

* 技術支援部 製品技術グループ

2・2 タッピングトルク試験方法

図2にタッピングトルク試験装置概要、図3にタッピングトルク試験装置、図4に試験治具と被削材を示す。立形マシニングセンタ(牧野フライス製作所製 FNC74-A20)のテーブル上に切削動力計(Kistler 製 Type9273)を設置し、その上に被削材固定用の治具を取付け、下穴をあけた被削材(炭素鋼 S50C)を固定した。下穴はφ9mmのドリル(不二越製 アクア REVO ドリル AQRVDS0900)で加工し、φ9.2mmのリーマ(栄工舎製 SCR ストレートシャンクチャッキングリーマ)で仕上げた。

タッピングトルク試験では下穴に評価する加工液を満たし、ロールタップ(OSG 製 S-XPF M10×1.5)でタップ加工を行った。加工条件は主軸回転数 120rpm, 送り 180mm/min とした。タップ加工中のトルクを切削動力計で測定し、チャージアンプ(Kistler 製 5080A)を介してデータ処理用 PC にサンプリング周波数 360Hz で記録した。図5にタッピングトルク試験時のトルク測定例を示す。タッピングトルクは工具の食い付きと共に上昇し、工具の刃が全当たりすることにより一定値となる傾向を示す。そして設定した深さまで加工すると逆回転しつつ加工開始点まで戻するため後半には負の値となる。本研究では工具が全当たりし一定値となる部分において、試験開始から 6.0~9.0 秒に該当する 1080



図4 試験治具と被削材

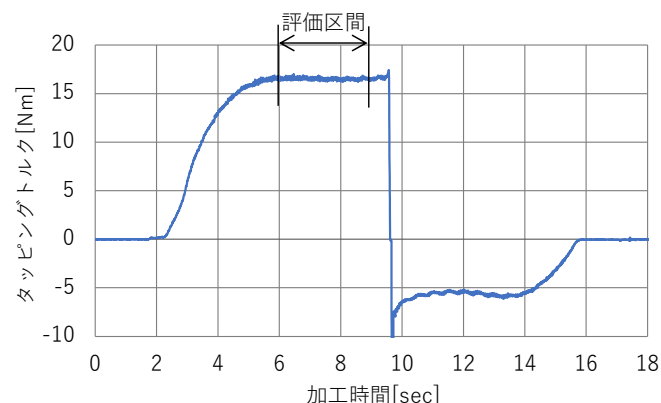


図5 タッピングトルク試験時のトルク測定例

点のデータの平均値をタッピングトルクとして算出した。また、各試験条件共に4回測定を行い、その平均値で評価した。

2・3 タッピングトルク試験と実加工の関係性

加工液の性能は加工方法や加工条件、被削材材質などによって大きく異なるため、加工現場での使用感とタッピングトルク試験結果の相関性について検討した。使用感については、加工液の提供企業にヒヤリングを行い、3段階に分類した。一般的な性能と感じたものをBとし、最も手ごたえが軽く潤滑性に優れるものをA、やや劣ると感じるものをCとした。図6に既存加工液のタッピングトルク試験結果を示す。試験結果から、使用感が良いとされる加工液ほどタッピングトルクが小さくなる傾向にあることが分かった。タッピングトルク試験は、加工現場での使用感を評価する手法の一つと考えられる。

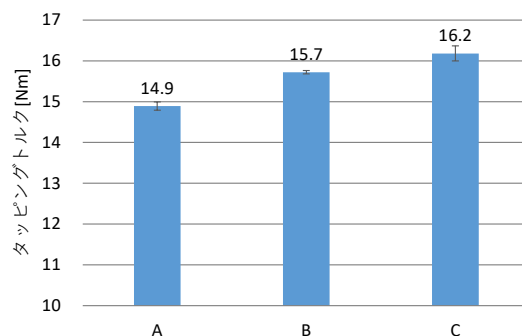


図6 既存加工液のタッピングトルク試験結果
A:優れている, B:普通, C:やや劣る

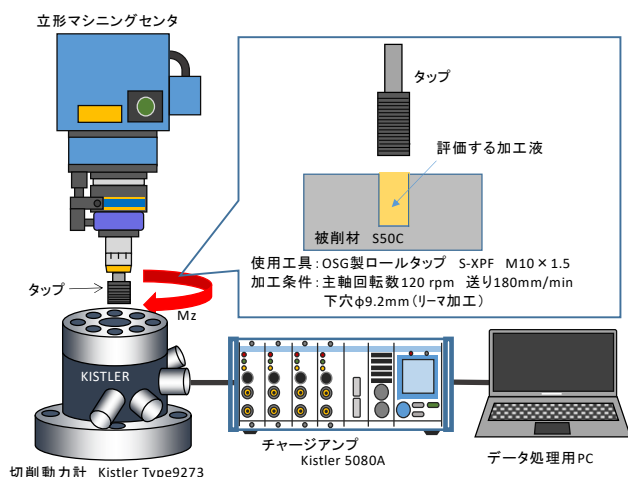


図2 タッピングトルク試験装置概要



図3 タッピングトルク試験装置

2・4 加工液の試作

油を含まない水ベースの加工液を実現させるには、加工点で濡れ性と潤滑性の改善に影響する安全性の高い添加剤を探索しなければならない。そこで、潤滑性改善に効果があると予想された固体潤滑剤であるグラファイト(伊藤黒鉛工業製 AGB-20)と炭酸カルシウム(富士フィルム和光純薬製 試薬特級 030-00385)について検討した。グラファイトや炭酸カルシウムは、水に添加すると沈殿するため、それらに対する分散剤として CNF(セルロースナノファイバー)、CMC(カルボキシメチルセルロース)を使用した。また、濡れ性改善に効果があると予想される糖系界面活性剤としてラウリルグルコシドとデシルグルコシドについて検討した。図7に糖系界面活性剤の構造式を示す。これらの添加剤は、天然由来の非イオン性界面活性剤であり、歯磨き粉やベビーシャンプーなどに使用される安全性の高い界面活性剤である¹³⁾。ラウリルグルコシドについては、先の研究¹⁴⁾で最適添加量が1%であったことから、本研究では添加量を1%とした。デシルグルコシドについても同様に1%で試験を行った。

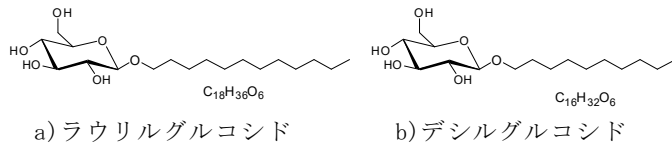


図7 糖系界面活性剤の構造式

3. 結果と考察

3・1 糖系界面活性剤と分散剤の添加効果

タッピングトルク試験によって、加工液の潤滑性に及ぼす糖系界面活性剤と分散剤の添加効果について評価した。図8に糖系界面活性剤と分散剤の添加効果を示す。分散剤の有無に関係なく、タッピングトルクは、ラウリルグルコシドの方が、デシルグルコシドより低くなっていた。また、界面活性剤の種類に関係なく、タッピングトルクはCNFの添加により下り、CMCの添加により上がった。これらの結果から、加工液の潤滑性の改善に対して、ラウリルグルコシドとCNFの組み合わせが良いと考えられる。

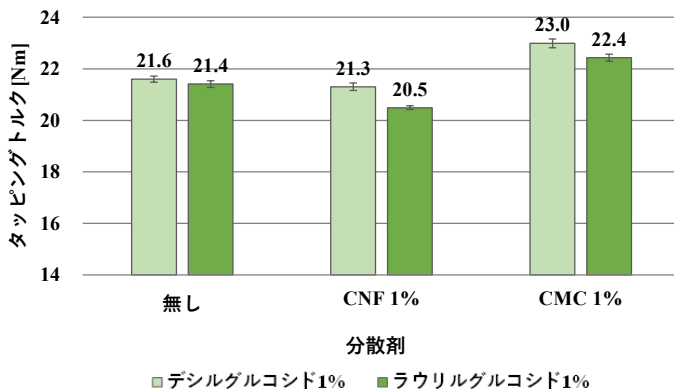


図8 糖系界面活性剤と分散剤の添加効果

3・2 固体潤滑剤の添加効果

加工液の潤滑性に及ぼす固体潤滑剤の影響について検討した。固体潤滑剤としてグラファイトと炭酸カルシウムを用いた。固体潤滑剤は、ラウリルグルコシド 1%+CNF 1%に対して1%, 0.5%, 1%, 5%添加し、加工液を調整した。図9に固体潤滑剤の添加濃度とタッピングトルクの関係を示す。5%添加することでグラファイトで18.3Nm、炭酸カルシウムで18.9Nmまで低下した。各添加濃度においてグラファイトと炭酸カルシウムの添加効果は確認できたが、グラファイトの方が若干低い値を示した。

図10に試作した加工液のタッピングトルクの比較図を示す。基準としたイオン交換水の場合、トルクリミット(24Nm)以上になったため測定できなかった。界面活性剤を添加するとタッピングトルクは下がり、さらに分散剤を加えるとタッピングトルクは低下した。固体潤滑剤として炭酸カルシウムを添加すると18.9Nmまで低下した。グラファイトの場合、18.3Nmとなり、今回行った試験では最小値となった。しかしながら、既存加工液に近づけるためには、さらに2.6Nm下げなければならない。実用のためには更なる改善を要するが、オイルを含まない水ベースの安全性の高い環境低負荷な加工液作製のための知見が得られた。

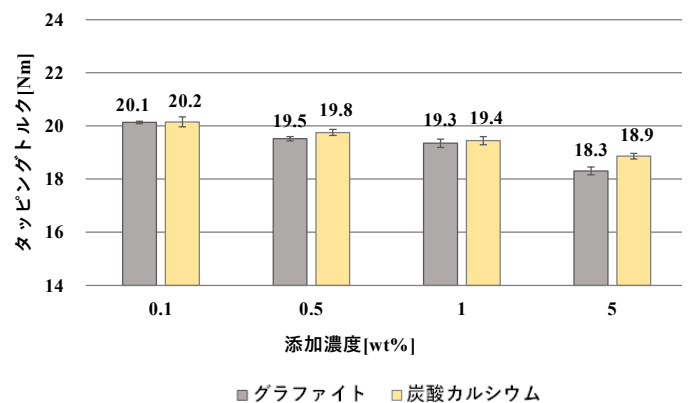


図9 固体潤滑剤の添加濃度とタッピングトルクの関係

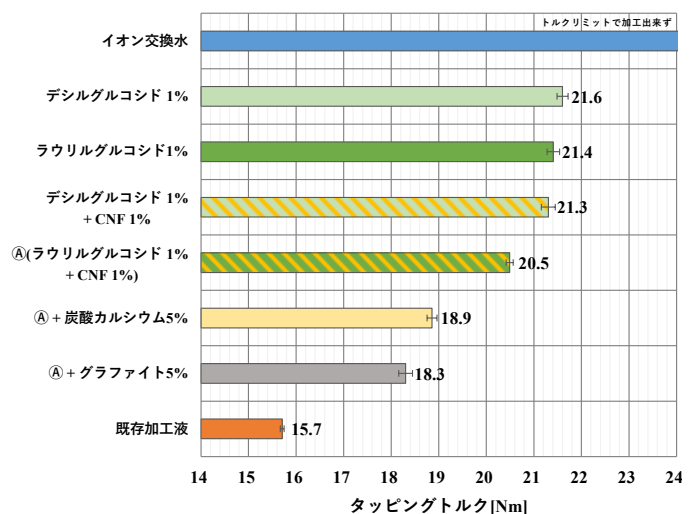


図10 試作した加工液のタッピングトルクの比較図

4. 結 言

本研究では安全性の高い環境低負荷な加工液の実現を目指し、天然由来の糖系界面活性剤と添加剤、固体潤滑剤を用いて加工液を試作して、その潤滑性能についてタッピングトルク試験で評価した。その結果を以下に示す。

- 1) 界面活性剤として比較した二種類の中では、ラウリルグルコシドの方が加工液の潤滑性の改善に効果があった。添加剤として比較した二種類の中では、CNF の方が加工液の潤滑性の改善に効果があった。固体潤滑剤として比較した二種類の中では、グラファイトの方が加工液の潤滑性に効果があった。
- 2) 糖系界面活性剤と添加剤、固体潤滑剤を併用することでタッピングトルクは低下した。ラウリルグルコシド 1%, CNF 1%, グラファイト 5% のとき、タッピングトルクは 18.3Nm となった。一般的な既存加工液に近づけるためには、さらに 2.6Nm 下げなければならない。

参考文献

- 1) 横田秀雄:MQL 切削の現状と課題, 精密工学会誌 **68**(7), p. 903-906(2002)。
- 2) (社)日本機械学会: 機械工学便覧デザイン編 β 4 機械要素・トライボロジー, 丸善, p. 162(2005)。
- 3) 桜井俊男: 新版潤滑の物理化学第二版, 幸書房, p. 29(1983)。

- 4) 山本明, 鈴木音作: 潤滑油剤とその効果, 朝倉書店, p. 83(1966)。
- 5) 山本雄二, 兼田楨宏: トライボロジー, 理工学社, p. 16(1998)。
- 6) 詳細リスク評価書 短鎖塩素化パラフィン外部レビュー, 産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター水圏環境評価チーム, p. 36-46(2004)。
- 7) JIS K2241:2017 切削油剤, (2017)。
- 8) 地方独立行政法人山口県産業技術センター, 梶本英嗣, 潤滑剤とそれを用いた金属加工方法, 特許第 6288645 号。
- 9) JIS K2519:2017 潤滑油-耐荷重能試験方法, (2017)。
- 10) JIS K2220:2013 グリース, (2013)。
- 11) 小倉茂稔, 若林利明: タッピングトルク試験による切削性の評価, 日石レビュー, **31**(6), p277-284(1989)。
- 12) 須田聡, 横田秀雄, 井比政則, 若林利明: MQL システムを用いたタップ加工における加工性能評価, 2005 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, I51(2005)。
- 13) 深田和宏: 糖型界面活性剤, 日本油化学会誌 **49**(10), p. 1035-1040(2000)。
- 14) 梶本英嗣: 切削加工におけるオイルレス極少量潤滑技術に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第 56 期総会・講演会講演論文集, K1407(2018)。