

微小油滴直噴潤滑システムのパンチ・レーザ複合加工への適用

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科

専任講師 柿沼康弘

(平成19年度一般研究開発助成 AF-2007019)

キーワード：潤滑，切削，パンチ・レーザ複合加工機

1. 緒言

板金加工の高能率・高品質化が急速に進められており、素材に対する穴あけ、タップ加工と切断工程を同一機上で行うことが可能な、NC タレットパンチプレスとレーザ加工機を一体化した複合加工機が開発されている。ここで、タップ加工における工具の潤滑は、従来から切削油剤の間欠塗布方式が用いられている。しかし、この方式は、タップに塗布される油剤の使用量の調整が困難であり、このため余剰油剤が製品に付着し完成品としての品質に問題が生ずることが多い。また、パンチプレス工程とタップ工程の後に実施されるレーザ切断工程において、素材表面に付着している油剤が火災発生の原因となることが指摘されている。以上のような背景から、板金加工工程におけるタップ加工に関する、新しい切削油剤の供給システムの開発が強く望まれている。すなわち、タップ工具刃先に必要最小限の微量切削油剤を適確に供給可能な新しい潤滑システムが求められている。

板金加工工程において、これまで潤滑油剤や切削油剤の供給方法については各種の問題が指摘されてはいるが、これを解決する為の技術開発があまり進められていない。本研究は、直径が数十 μm の微小油滴を高圧・高速でピンポイント供給可能な微小油滴直噴潤滑装置を開発し、これを板金加工工程に適用しようとするものである。板金加工におけるタップ工程に対する切削油剤の供給自動化に関する研究は、これまでにあまり行われておらず、切削加工機械分野に比べて遅れていると言わざるを得ない。本研究で試作開発しようとする、微小油滴直噴潤滑装置の開発に関連した研究は、切削加工の分野において盛んに行われている¹⁾³⁾。その目的は、主に環境保護の観点から切削プロセスにおける油剤の消費量を必要最小限に抑制し、かつ従来

の加工品質と同等あるいはそれ以上のものを達成しようとするにあって、一般に、ニアドライ加工と呼ばれている⁴⁾⁵⁾。ニアドライ加工に使用される潤滑法は、MQL法と呼ばれ、微量のオイルミストをエアによって供給するものである。当該分野の国内研究は、香川大学、名古屋工業大学や日本工業大学の研究グループなど、国外ではドイツを中心としたヨーロッパで活発に行われている⁶⁾⁸⁾。しかしながら、MQL方式では、オイルミストが周囲環境に浮遊することによる各種の障害が問題視されており、ミスト浮遊の無い新しい装置開発が期待されてきた。

本研究で提案する、微小油滴直噴潤滑装置は、ミストの浮遊が極めて少ない新しい方式によるもので、周囲への油剤の浮遊と付着が殆ど無いことが特徴である。この特性は、本研究で対象とする、パンチ・レーザ複合加工機のニーズに適合する性能が期待できるものと考えられる。本システムは、油滴の吐出量と間隔ならびに位置などが制御可能であり、これが板金加工プロセスに適用されれば、パンチ・レーザ複合加工機の性能の向上と、これによる板金加工製品の品質向上に大いに貢献できるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、板金加工工程におけるタップ加工に注目し、これに極微量の切削油剤を適確に供給することができる、微小油滴直噴潤滑システムを開発する。これにより、油剤の過剰供給に起因する素材表面の油汚染やレーザ切断工程における火災発生の危険性といった従来からの問題を解決することにつながり、板金加工のさらなる高能率・高品質化を実現することを目的とする。

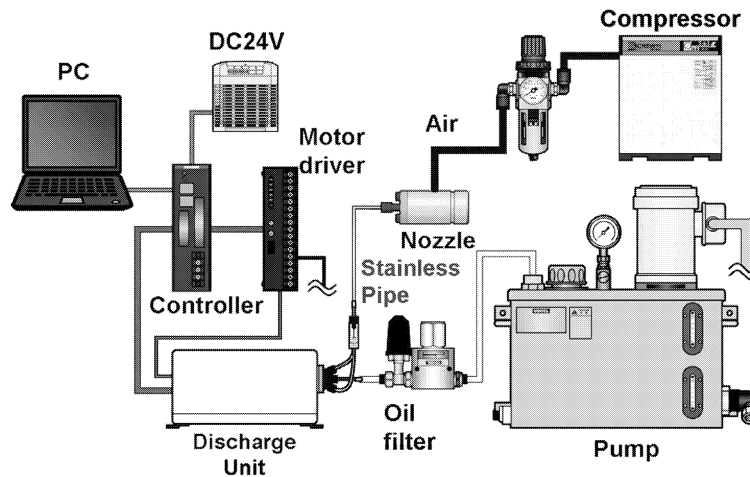


図1 微小油滴直噴潤滑システム

3. 微小油滴直噴潤滑システム

開発した微小油滴直噴潤滑システム (Fig.1) は、加工点に対し極微量の油滴をノズルから連続的に吐出することで加工点の潤滑を行うシステムである。微小油滴直噴潤滑システムにおいて、ディスチャージユニットはPCからのプログラムによって駆動し、切削油をノズルへと供給する重要な部分である。ディスチャージユニットはロータリー分配弁と回転モーターによって構成されている。ロータリー分配弁は油圧ポンプから供給された切削油をモーターの回転によりノズルへとつながるステンレス管へ供給する部分である。ステータの中心の給油ボードには油圧ポンプから高圧の油が供給されていて、供給された切削油は、高速で回転しているローターの油溝と吐出ボードが連通した時にモーター側からステンレス管側へと吐出される。ローターは高速回転しているために、回転の中で連通する時間はわずかであり、微量の油が吐出される。また、ローターは、モータードライバから送られるパルス波によって回転する。駆動モーターは1パルスあたり1.8°回転するようになっていて、200パルスで1回転する。

また、ノズルからの油滴の供給のみでは不十分である、冷却効果や切り屑排出効果を補うために圧縮空気も同時に供給することが可能である。ノズルから突出する切削油の量を機械的に調節することはできないが、Fig.1中に示すステンレス管の径と長さを変化させる事により、ノズルから突出される1滴当たりの切削油の量を変化させることが可能である。また、油滴の突出間隔はPCにより制御

可能でありノズルから突出される切削油量の調節と合わせて微小油滴直噴潤滑システム全体の切削油消費量を調節することが可能である。今回の研究では、切削油消費量が5ml/hrになるように調節し実験を行った。以下、微小油滴直噴潤滑法をDOS法(Direct Oil Shot Lubrication)、圧縮空気を併用する潤滑法をDOS+AIR法と呼ぶ。

4. 実験方法

4. 1 オイルミスト浮遊量の測定

微小油滴直噴潤滑システムにおいて、工具に対して供給された切削油の挙動を観察するために、高速度カメラを用いて、工具に供給された油滴の観察を行った。用いたカメラは1600frame/sで撮影が可能である。油滴の供給方向は従来の実験で使用していた供給方向である水平方向(A)からとねじれ角に沿う角度(B)から供給した。撮影の結果より、油剤供給条件の検討を行なった

4. 2 エンドミル加工実験

微小油滴直噴潤滑システムの潤滑効果を検証するためにエンドミル加工実験を行った。DRY法、MQL法、DOS法、DOS+AIR法の各潤滑法において切削実験を行い、工具磨耗幅、工作物仕上げ面粗さにより潤滑効果を評価した。被削材にはステンレス合金(SUS304)、工具には2枚刃の超硬スクエアエンドミル($\phi 10\text{mm}$)を採用した。Table.1に切削条件を示す。

5. 実験結果

5. 1 オイルミスト浮遊量

各潤滑法におけるオイルミスト浮遊量の測定結果を Fig.2 に示す. DOS 法は圧縮空気を併用した場合でも, ミストコレクタを使用した MQL 法以下のオイルミスト浮遊量に抑えられており環境に優しい潤滑法であると言える.

5. 2 高速度カメラ撮影結果

DOS 法により供給された油滴の挙動高速度カメラにより撮影した写真を Fig.3 に示す. 上の写真は工具に対して水平方向から切削油を供給した時の挙動であり, 下の写真は工具のすくい面に対して切削油を供給した時の挙動である. 工具のすくい面に沿うように切削油を供給した条件では工具に対して水平方向から切削油を供給した供給法と比較して, 油滴の飛散が抑えられおり, 実際の加工においては切削油剤が有効に作用すると考えられる.

5. 3 工具磨耗評価

切削実験後の工具の写真を Fig.4, 工具磨耗幅と切削距離の関係を図 5 に示す. DRY 法, DOS 法, DAR 法, MQL 法の順に磨耗幅が小さくなっている. DRY 法に比べ, 飛躍的に DOS 法, DOS+AIR 法において大きく磨耗幅が抑えられる事が分かる. 特に DOS+AIR 法においては MQL 法とほぼ同等の磨耗幅に抑えられている.

この結果から DOS 法において圧縮空気による冷却作用を加えることに MQL と同等の潤滑効果を発揮できることが分かった.

5. 4 工作物仕上げ面粗さ評価

切削距離と工作物仕上げ面粗さ Ra の関係を Fig.6 に示す. 工具磨耗幅測定において DOS+AIR 法が良好な結果を示したが, 工作物仕上げ面粗さにおいても, 切削距離によって交差するところはあるが DOS+AIR 法が全体的に良好な表面粗さを保っており, 他の潤滑法と比較して良好な加工面が得られることがわかった. オイルミスト浮遊量, 工具逃げ面磨耗幅評価, 工作物仕上げ面粗さ測定結果より, DOS 法に圧縮空気を作用させた DOS+AIR 法は, 環境に優しく最も潤滑効果の高い潤滑油供給方法であることが

表 1 加工条件

Work piece	Stainless steel SUS 304	
Tool used	Carbide Square Endmill φ10mm	
Spindle speed	4777min ⁻¹	
Cutter feed	0.05mm/tooth	
Depth of cut	Axial 6mm	Radial 0.5mm
Type of machining	Down cut	

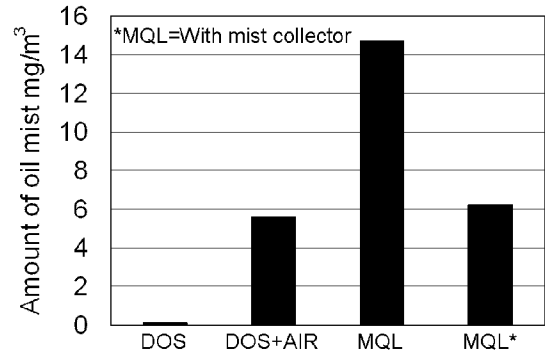


図 2 オイルミスト浮遊量の測定結果

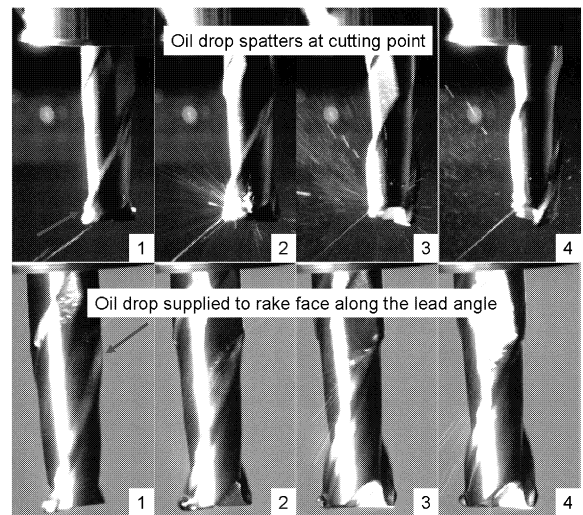


図 3 刃先における油滴の挙動 (高速度カメラによる観察結果)

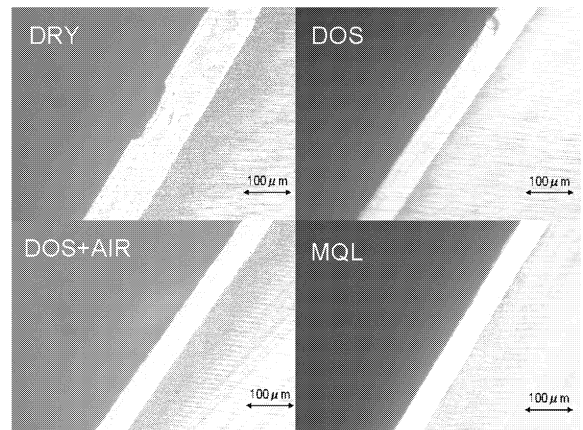


図 4 工具逃げ面磨耗の観察結果

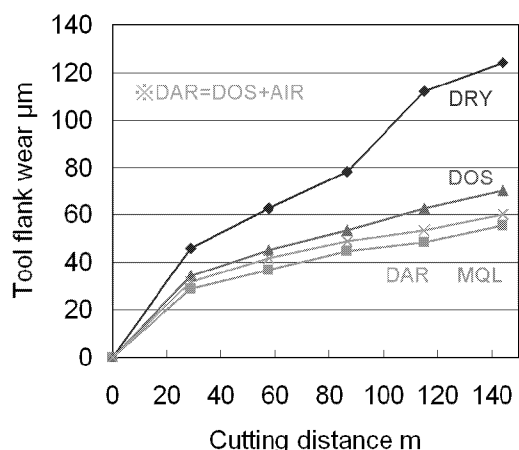


図5 各潤滑法における逃げ面摩耗の推移

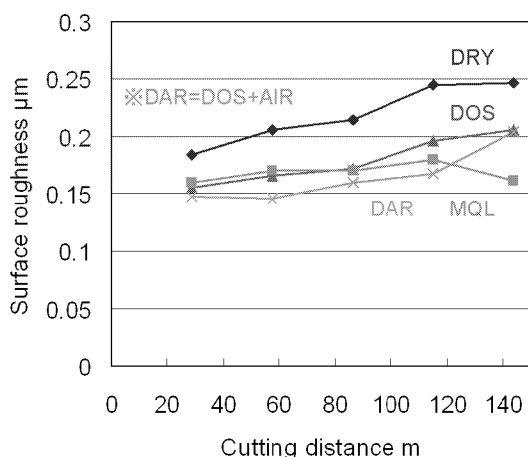


図6 各潤滑法における加工面粗さ (Ra) の推移

分かった。

6. 結言

本研究において開発した微小油滴直噴潤滑システムをエンドミルの切削工程に適用し、潤滑効果を検証した。また、高速度カメラを用いて供給された油滴の挙動を観察し、油剤供給条件の検討を行った。以下に結言を示す。

- (1). 微小油滴直噴潤滑システムをエンドミル加工に適用した結果、オイルミスト浮遊量を MQL 法と比較して飛躍的に削減することに成功した。
- (2). 高速度カメラを用いて供給された油滴の挙動を観察した結果、切削油剤を工具すくい面に対して供給することで油剤が効率的に作用することが分かった。
- (3). 工具逃げ面磨耗幅を測定した結果、DOS 法のみで

もかなりの潤滑効果を発揮した。また、DOS+AIR法においてMQLとほぼ同等の潤滑効果を達成することができた。

仕上げ面粗さの測定結果より、DOS法においてMQLと同等の良好な潤滑が行われていることが示された。

謝 辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成のもとで行われたもので、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 井上正之 MQLセミドライ加工の可能性 機械技術 Vol.53 No.9 (2005)Page.28-31
- (2) 稲崎一郎 MQL切削の技術動向 トライボロジスト Vol.47 No.7 (2002) Page.519-525
- (3) 中村隆 切削加工のトライボロジーと環境対策 トライボロジスト Vol.46 No.7 (2001) Page.516-521
- (4) 須田聡 MQL切削用油剤の技術動向 トライボロジスト Vol.47 No.7 (2002) Page.550-556
- (5) 横田秀雄 切削油剤のトライボロジーと環境対策 トライボロジスト Vol.46 No.7 (2001) Page.528-533
- (6) F.KLOCKE : Dry Cutting, Annals of the CIRP, Vol.46, No.2 (1997) pp.519
- (7) RAHMAN M, Experimental evaluation on the effect of lubricant in milling, International journal of machine tools and Manufacturing, Vol.42, No.5 (2002), pp.539-547
- (8) SU Y., An experimental investigation of effects of cooling, Wear, Vol.261, No.7-8, (2006) pp.760-770