

# 油膜付き水滴を用いたアルミニウム合金の深穴ドリル加工

石川和昌<sup>\*1</sup>、河田圭一<sup>\*1</sup>

## Deep Drilling of Aluminum Alloy with Oil on Water Drops

Kazumasa ISHIKAWA<sup>\*1</sup> and Keiichi KAWATA<sup>\*1</sup>

Industrial Technology Division, AITEC<sup>\*1</sup>

本研究では、油膜付き水滴を用いたアルミニウム合金の深穴加工性能を検討するため、立形マシニングセンタによるアルミニウム合金 A2017 のドリル加工を行った。ドリルには 5mm の DLC コーティング超硬合金ドリルを用いた。加工条件は、切削速度 100m/min、送り 0.20mm/rev、加工深さ 90mm(L/D=18)とした。切削力、加工精度などを調べた結果、油膜付き水滴によるアルミニウム合金の深穴加工は、MQLと比較して、良好な加工性能が期待できることが確認できた。

### 1. はじめに

現在、自動車産業を中心に環境対策への取り組みやコスト削減のため、これまでの切削油剤を大量に供給して行ってきた加工方法から、必要最小限の切削油剤をミストで供給する MQL (Minimum Quantity Lubrication) など環境対応型加工法への転換が盛んに行われている。特に、旋削やエンドミル加工などの加工ラインに比較的多く採用されている。これに対して穴の深さがドリル直径の 7~20 倍程度の深穴加工では、加工点への MQL の外部からの供給が難しく、環境対応型加工法への対応が遅れていた。鋼や鉄鋳物ではここ数年の工具性能の向上や加工機の高剛性化・高精度化にともない、MQL の工具内部供給を利用した、ロングドリルによる一発深穴加工が実現しており、これに対応した加工機が市販されるなど実用化が進んでいる。しかし、アルミニウム合金の加工に MQL を適用した場合、油剤の使用量が多くなることや高効率な加工条件では加工できないことが課題となっている。この原因のひとつに、MQL の冷却不足が考えられている。

そこで、筆者らは冷却効果が高く油剤の使用量が少ない油膜付き水滴 (Oil on Water Drops) に注目し、昨年度は炭素鋼 S45C の深穴加工への適用を検討し、良好な加工性能が得られることを明らかにした<sup>1)</sup>。本年度は、油膜付き水滴を用いたアルミニウム合金の深穴加工を検討したので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置および加工条件

実験装置の構成を図 1 に示す。油膜付き水滴は油膜付

き水滴生成ノズルにより生成され、サイドスルーホルダ、油穴付きドリルを經由して、ドリルの先端から吐出される。MQL は油膜付き水滴生成ノズルに油のみを供給し、油ミストとして生成され、吐出される。被削材は切削動力計 (キスラー製:9257B) 上に固定されており、加工時のスラスト抵抗が測定できる。

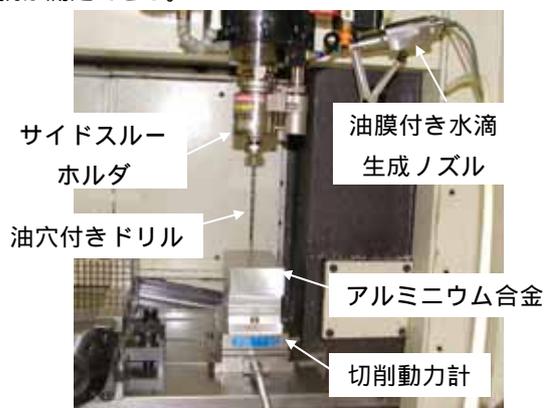


図 1 実験装置の構成

実験は、5mm の DLC コーティングされた油穴付き超硬合金ドリル (オーエスジー製: DLC-CAO) を用いて行った。加工条件は、切削速度 100m/min、送り 0.20mm/rev としてアルミニウム合金 A2017 に深さ 90mm (L/D=18) の穴加工を行った。穴加工の前に、同径の短いドリルを用いて深さ 8mm のガイド穴を開けた。その後、油穴付きドリルに交換し、穴加工を行った。油膜付き水滴は、圧縮空気 0.6MPa、水 1.8L/h、油 30mL/h の条件で供給した。MQL は、圧縮空気 0.6MPa、油 30mL/h の条件で供給した。それぞれを用いて加工を行い、切削力、表面粗さ、穴径・穴位置、加工時の瞬時電力、切削比について比較検討した。

<sup>\*1</sup> 工業技術部 機械電子室

## 2.2 油膜付き水滴加工における工具と切削条件

油膜付き水滴を用いたときの工具や切削条件の影響を調べるため、5mmの超硬合金ドリル3種類（オーエスジー製:DLC-CAO、DLC-HO、CAO）を用いて実験を行った。

図2に、各ドリルを示す。DLC-CAOとCAOは工具形状が同じで、アルミニウム合金を加工するために形状が最適化されている。DLC-CAOとCAOの違いはDLCコーティングの有無である。DLC-HOは、DLCコーティングされているがDLC-CAOとは工具形状が異なっている。加工条件は切削速度80~120m/min、送り0.16~0.24mm/revとした。それぞれの条件で加工を行い、切削力、表面粗さ、穴径・穴位置を調べた。

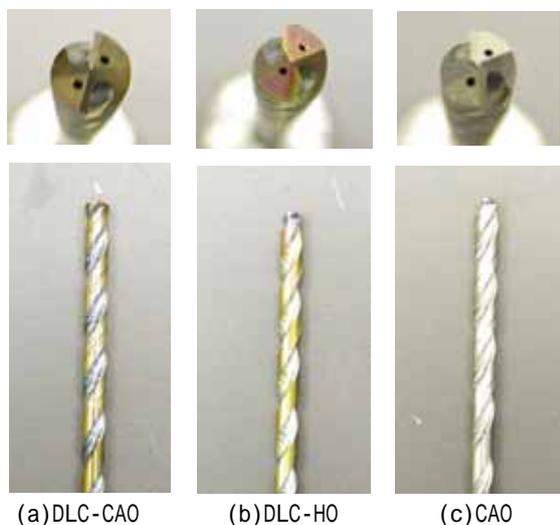


図2 使用ドリル

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 MQL との比較

#### 3.1.1 切削力

図3に、油膜付き水滴、MQLを用いて加工した時のスラスト抵抗を示す。油膜付き水滴、MQLともに加工深さによるスラスト抵抗の上昇はなく安定した加工が可能であった。しかし、MQLのスラスト抵抗は油膜付き水滴より1.5倍程度大きくなった。

直径が小さいドリルは油穴径も小さくなり、切削速度を一定に保つために主軸回転数を大きくする必要がある。油穴径が小さくなることと回転数増大に伴う遠心力の増大により、ホルダ内部に残る油剤量が増し、ドリル先端から吐出する油剤の量が少なくなる傾向がある。そのため、油の供給量の少ないMQLでは、ドリル先端から吐出する油量が設定条件より少なくなり、潤滑性が悪くなっていると考えられる。さらに、油膜付き水滴のような水の冷却効果がないため、加工温度上昇による油の潤滑性能の低下や工具への被削材の溶着が生じ、スラスト抵抗増加の原因にな

っていると考えられる。

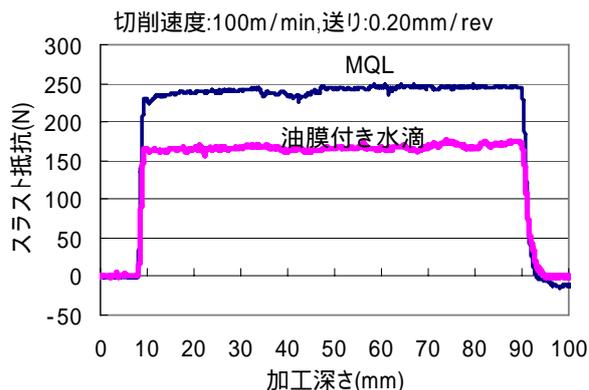


図3 油膜付き水滴、MQLによるスラスト抵抗の比較

#### 3.1.2 表面粗さ

図4に、油膜付き水滴、MQLを用いて加工した時の加工穴の表面粗さを測定した結果を示す。測定位置は加工深さ80mm付近とした。フィルタはガウシアンフィルタを用い、カットオフは0.8mmとした。それぞれ連続加工した5穴の測定を行った。

算術平均粗さRaはそれぞれ5穴を平均すると、油膜付き水滴0.46 $\mu$ m、MQL0.54 $\mu$ mであり差は認められなかった。しかし、MQLでの5穴目の粗さは1.0 $\mu$ mを超えた。加工後のドリル刃先を観察すると図5に示すようにアルミニウム合金が溶着しており、これが原因で表面粗さが悪化したと考えられる。

これに対して、油膜付き水滴での5穴連続加工後にはアルミニウム合金の溶着はなく、MQLに比べ、安定した加工を行うことができた。

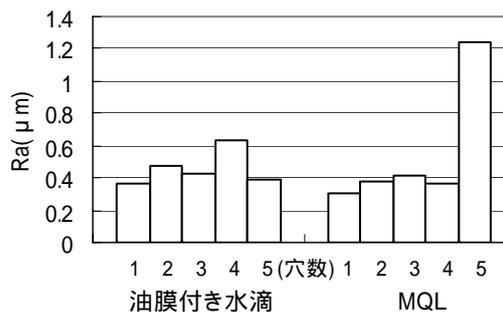


図4 表面粗さの比較(N=5)



図5 アルミニウム合金が溶着したドリル

### 3.1.3 穴径・穴位置

加工深さ 10mm 位置における穴の径および中心位置を基準とし、深さ 80mm 位置の穴の径および中心位置の変化量を測定した結果を図 6、7 に示す。それぞれ連続加工した 5 穴の測定を行った。

油膜付き水滴は 5 穴とも穴径の変化量は小さく、安定した加工ができた。MQL は 4 穴目と 5 穴目で穴径が大きくなった。MQL を用いたときはアルミニウム合金の溶着が確認されており、これが原因と考えられる。

穴の中心位置ずれについても、油膜付き水滴は 5 穴とも 0.04mm 以下であり安定した加工ができた。しかし、MQL は 0.06mm を超える穴もあり、ばらつきが見られた。MQL では油膜付き水滴よりスラスト抵抗が大きくなることから、加工穴の真直性が悪くなり穴の位置ずれが大きくなったと考えられる。

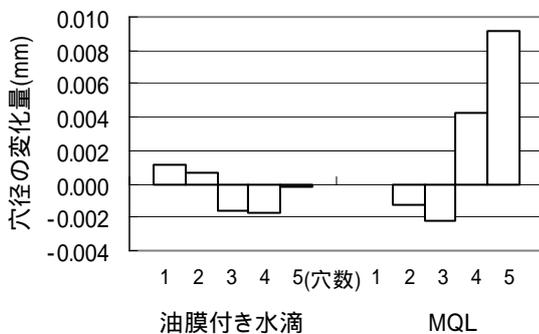


図 6 穴径の変化量比較 (N=5)

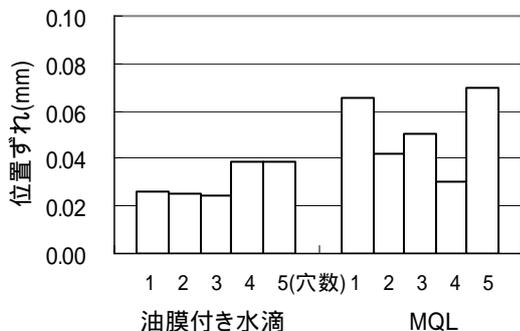


図 7 位置ずれの比較 (N=5)

### 3.1.4 加工時の瞬時電力

油膜付き水滴、MQL を用いて加工した時の、主軸が消費する瞬時電力を測定した。図 8 に、無負荷時を 0W とした時の加工時の瞬時電力を示す。スラスト抵抗と同様に油膜付き水滴の瞬時電力は MQL より小さくなった。

測定を繰り返し行ったところ、油膜付き水滴を用いたときの瞬時電力は安定していたが、MQL を用いたときの瞬時電力はピーク値やピーク値の発生時間にばらつきが見られた。これは MQL においては、加工時の潤滑不足や冷却不足によるアルミニウム合金の溶着が断続的に

発生し、加工力にばらつきが生じたためと考えられる。

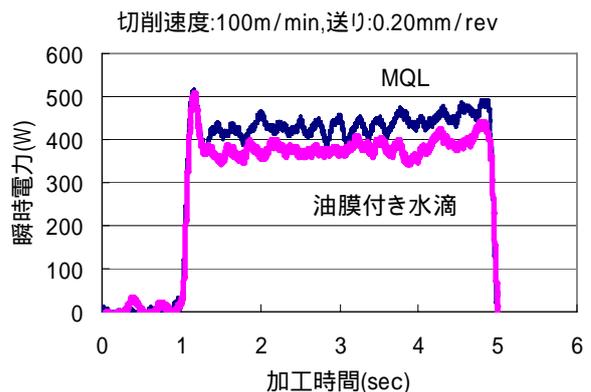


図 8 瞬時電力の比較

### 3.1.5 切削比

切りくず厚さをマイクロメータで測定し、潤滑性の大小を示す切削比(切り込み/切りくず厚さ)を計算した。それぞれの加工条件について、10 個の切りくずの厚さを測定し、その平均値を用いた。図 9 に油膜付き水滴、MQL の切削比を示す。

油膜付き水滴のほうが MQL より切削比は大きくなっており、潤滑性が高いことが確認できた。

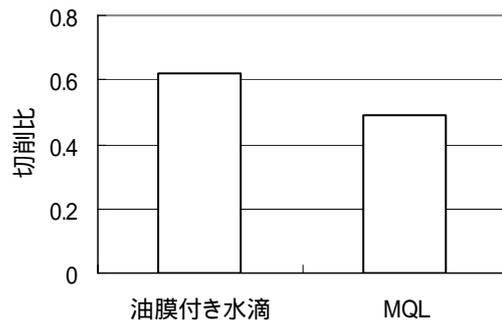


図 9 切削比の比較

## 3.2 油膜付き水滴における工具・切削条件の影響

### 3.2.1 切削力

図 10 に、各ドリルを用いて油膜付き水滴により加工した時のスラスト抵抗を比較した結果を示す。

DLC コーティングしていない CAO ドリルは、ドリル形状が同じで DLC コーティングされている DLC-CAO ドリルより 1.5 倍程度スラスト抵抗が大きく、DLC コーティングの有無により大きく異なった。この結果から、油膜付き水滴を用いた場合、ドリルに DLC コーティングを施すと摩擦抵抗が大幅に小さくなり、効果が高いことがわかった。

一方、DLC-HO ドリルでは DLC コーティングされているにもかかわらず、深さ 50mm を越えるとスラスト抵抗の上昇が顕著に見られた。加工深さが深くなるほど切りくずの排出性が悪くなり、スラスト抵抗が上昇したと

考えられる。これより、DLC コーティングされていても、工具形状が被削材に合わせて最適化されている必要があることがわかった。

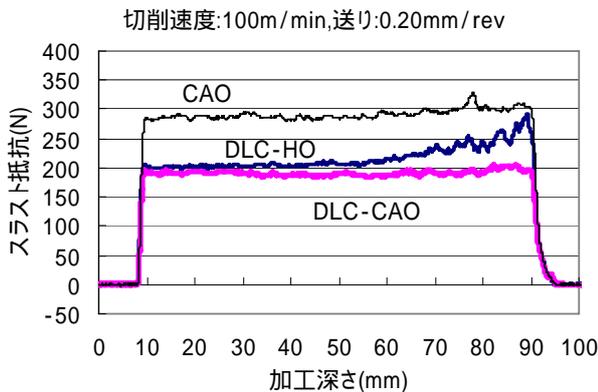


図10 各ドリルでのスラスト抵抗の比較

### 3.2.2 表面粗さ

図11に、各ドリルを用いて加工した後の加工穴の表面粗さを測定した結果を示す。測定位置は加工深さ80mm 付近とした。フィルタはガウシアンフィルタを用い、カットオフは0.8mmとした。

切削速度 100m/min 以下では、DLC-CAO の表面粗さがその他の工具に比べ最も小さくなった。DLC-CAO は他の工具に比べスラスト抵抗が小さいことから切りくず排出性が良く、溶着があまりないため加工面も良くなったと考えられる。しかし、切削速度 120m/min のときではいずれのドリルも算術平均粗さ Ra は  $0.7\mu\text{m}$  程度になっており、切削速度が大きくなると粗さの差があまりないことがわかった。切削速度が大きくなると、主軸回転数増大に伴う遠心力の増大により、ホルダ内部に残る油剤量が増し、ドリル先端から供給される油剤量が少なくなり、加工面に影響していると考えられる。送りを大きくしたときも同様の結果となった。

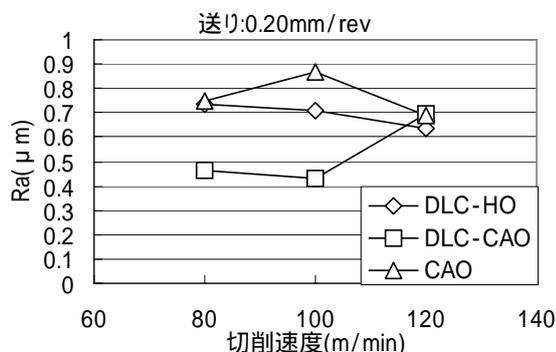


図11 各条件での表面粗さ

### 3.2.3 穴径・穴位置

加工深さ 10mm 位置における穴の径および中心位置を基準とし、深さ 80mm 位置の穴径・中心位置の変化量を

測定した結果を図12、13に示す。

DLC-CAO ドリル、CAO ドリルでの穴径の変化は  $0.005\text{mm}$  以内であった。DLC-HO ドリルでは深さ 80mm 位置の穴径が大きく、切りくず排出性が悪いことが影響していると考えられる。特に切削速度、送りが小さいときに穴径が大きくなる傾向が見られた。

穴の中心位置ずれについても、DLC-CAO ドリル、CAO ドリルと比較して DLC-HO ドリルの方が大きい傾向が見られた。

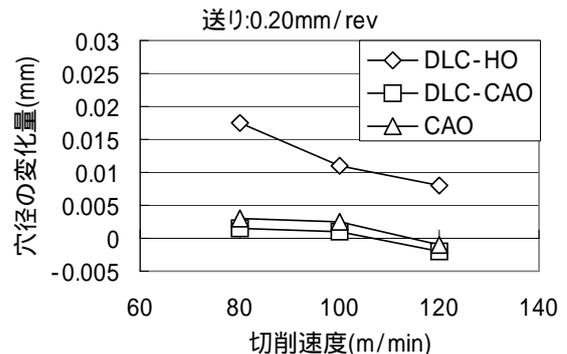


図12 各条件での穴径の変化量

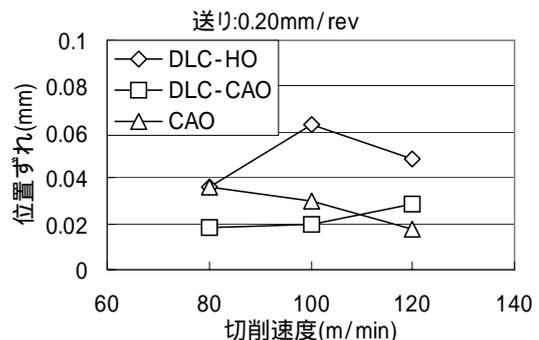


図13 各条件での穴位置ずれ

## 4 . 結び

油膜付き水滴を用いてアルミニウム合金 A2017 の深穴加工を検討したところ、以下の結果が得られた。

- (1)油膜付き水滴は、MQL に比べ潤滑性や加工精度が良く、アルミニウム合金の深穴加工に有効であることがわかった。
- (2)油膜付き水滴を用いた加工では、工具に DLC コーティングすることにより、加工性能を向上できることがわかった。

以上のことから、油膜付き水滴によるアルミニウム合金の深穴加工は、MQL と比較して良好な加工性能が期待できることが確認できた。

## 文献

- 1) 河田, 石川: 愛知県産業技術研究所報告, 5, 58 (2006)