

スピンドルスルー MQL 機構の開発と高速深穴加工への応用

Development of a Spindle Through MQL Supply System and its Application to High Speed Deep Hole Drilling

80222353 采川佳弘(Yoshihiro Saikawa) Supervisor 青山藤詞郎 (Tojiro Aoyama)

1. 結論

穴加工では、主軸回転数によらず工具先端から切削液を供給する内部給油方式が望ましい。中でもスピンドルスルー型内部通液機構(主軸内部に管を通し、その管を通じて切削液を供給する機構)は、主軸回転時に発生する遠心力の影響を受けにくいいため高速切削に適した機構である。

しかし、環境問題に対応した切削液供給法として知られている、MQL加工のスピンドルスルー型高速主軸への適応に関する研究報告は現在の所ほとんど見られない。これは、MQLとして高速主軸に対応性の高いオイルミスト方式を用いても、回転経路での遠心力による高圧空気と切削液の分離現象が、加工に最低限必要な量の切削液吐出を困難なものとしている為である。昨年度までの研究で、開発された静止パイプ挿入機構(図1)が一般的な加工に応用可能であることが示された。そこで、本研究では本機構の更なる改良を経て、MQL加工が難しいとされているアルミニウム合金の本機構による高速深穴加工の実現を目的とする。

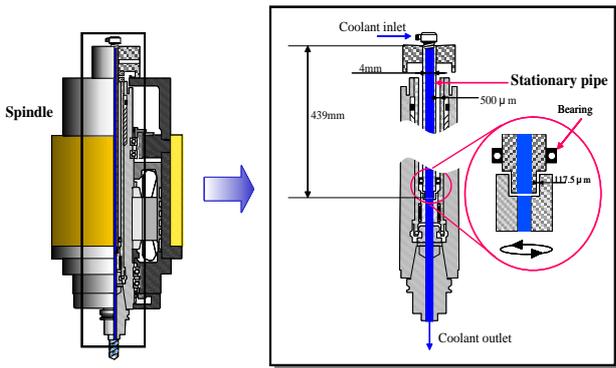


図1 静止パイプ挿入機構

2. スピンドルスルー MQL 機構の開発

オイルミストが主軸の回転の影響を受けにくい静止パイプ挿入機構と、オイルミストの漏れを抑制した静圧軸受型

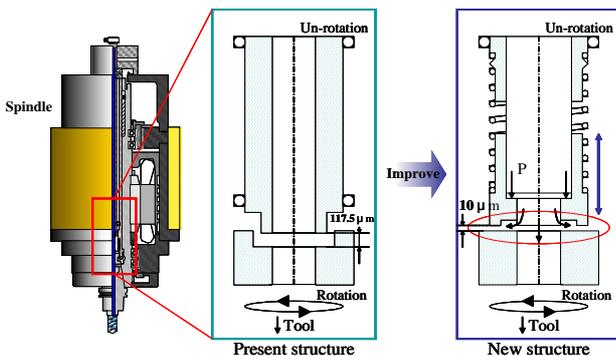


図2 静圧軸受型回転継手

回転継手(図2)を導入し、オイルミスト吐出量測定実験を行った。6.8mm、油穴面積1.22mm²のロングドリルの油穴からのオイルミストを捕集し、その質量から吐出量を求めた結果を図3に示す。スピンドルスルー方式が持つ、高速回転時にオイルミスト吐出量が減少してしまう欠点を改善できており、高速MQL加工に応用できる事が期待された。

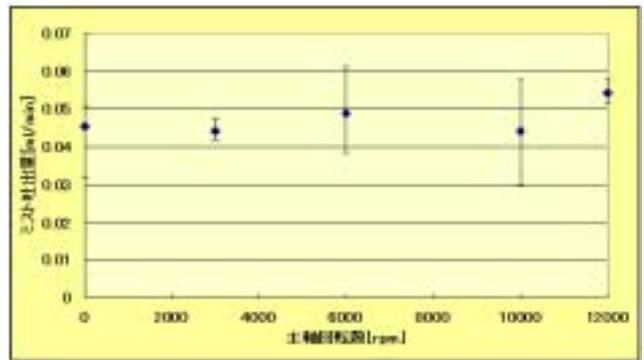


図3 主軸回転数とオイルミスト吐出量の関係

3. 深穴加工実験による評価

実際に本機構での加工評価を行った。選択した加工方法は、ドライ化が遅れているアルミニウム合金の深穴加工とした。アルミニウム合金はMQL加工のニーズの高い材料であるが、凝着を起こしやすく、十分な潤滑が得られないセミドライでの加工が困難である。また、穴加工は加工全体の1/3を占める重要な加工であり、L/D=5以上の深穴加工と呼ばれる加工では、工具側面の閉塞が大きく、ドライ化が遅れている。このときのオイルミストの供給量は約0.035ml/minで、これは湿式加工の約1/2200万にあたる。実験条件は、DLC工具、工具径 6.8、周速度 150m/min、送り 0.2mm/rev、穴深さL/D=13で行った。その時の逃げ面磨耗量を図4に示す。大幅な磨耗も見られずに、加工目標とした1500穴以上を加工できた。また、同様に送りを0.1mm/rev

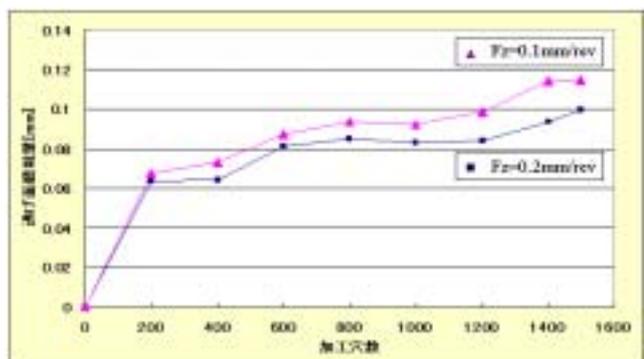


図4 加工穴数と逃げ面磨耗量の関係

とした時の工具磨耗量を示したが、送りが早い高速加工のほうが良好な工具磨耗となった。

4. MQL加工の限界

MQL加工の効果を知るために、完全ドライ加工とミスト吐出量を低減させた加工を行った。実験条件を表1に示す。完全ドライ加工では、3穴しか加工できなかった。このときの工具付近の温度を赤外線温度測定器で測定した(図5)。また、MQL加工、ドライ加工の切屑の様子を図6-a,6-bに示す。完全ドライでの加工は、オイルミストによる潤滑が得られないため、切屑が熱で溶け溶着し(図6-c)工具溝に詰まって工具が折損した(図6-d)。また、このときの加工穴側面(穴底から20mm部分)の表面粗さを図7に示す。MQLで加工したものが、ドライ加工の2倍程度の加工面精度を達成した。

一方、オイルミスト吐出量を低減した加工では、本機構の最大吐出性能の2/3の吐出量でも十分な高速加工が行えた。さらに1/3まで吐出量を絞るとドライ加工同様な折損を起こした。

表1 加工条件

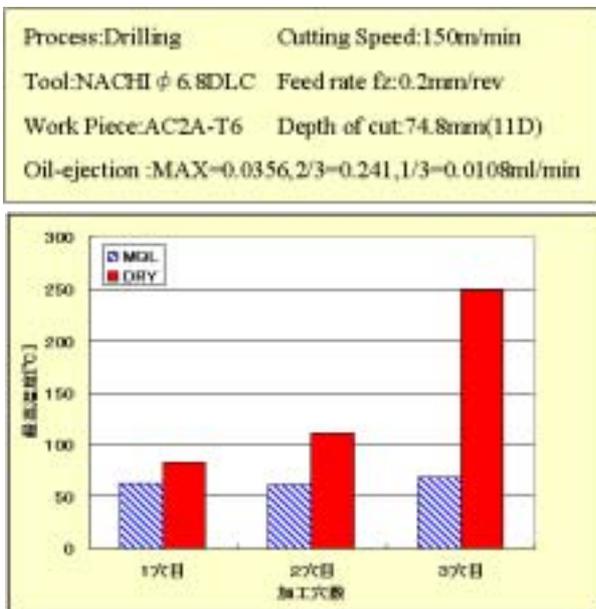


図5 MQL加工とドライ加工での工具付近温度変化



図6-a MQL加工の切屑



図6-b ドライ加工の切屑



図6-c ドライ加工の切屑(拡大)



図6-d 切屑の工具溝詰まり

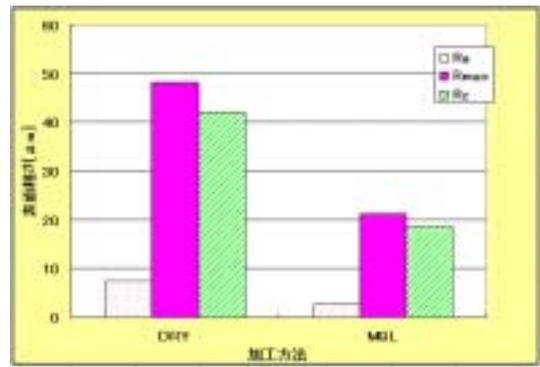


図7 加工面表面粗さ

5. MQL加工の向上

開発した本機構でさらに条件の厳しい加工を行なえるように、工具のコーティング、オイルミスト供給法などの本機構以外の要素を検討した。まずは、高速タップ加工において、DLCコーティングの効果調べた。実験条件と結果を表に示す。結果DLCコーティングした工具が、本工作機の最高条件においても加工が行え、その効果の高さがわかった。

次に小径ロングドリルでの深穴加工を行なった。小径のロングドリルは剛性が低く、オイルミスト用油穴も小さいため、オイルミストの吐出量も少ない。そのため、高速での深穴加工は難しく、本機構を用いても69穴で折損してしまつた。そこで新たに、コレットスルー方式によるオイルミストの供給を併用した。コレットスルー方式は、非切削時間に工具側面にコレット溝からのオイルミストが吹きつけられることで、加工中の摩擦を低減できる。この結果工具も大きく磨耗することなく、1000穴以上の加工を行なうことができた。

表2 タップ加工条件と結果

工具	切削速度(m/min)	送り(mm/rev)	吐出量(cc/min)	L/D	加工穴数	
M5	通常	50	0.1	2654	3	6
	通常	30	0.1	1582	3	184
M4	通常	30	1	2389	3	1
	通常	30	1	2389	3	2
	通常	30	1	2389	3	11
	DLC	30	1	2389	3	1500
	DLC	50	1	3981	3	1500
	DLC	100.5	1	6020	3	1500

6. 結論

- (1) 静止パイプ挿入機構と静圧軸受型回転継手を導入した本機構により、高速回転時に安定したミスト吐出が行なえた。
- (2) 本機構での高速MQL加工はドライ加工の2倍程度の精度の加工表面粗さを達成することができた。
- (3) ドライでのアルミニウム合金の高速深穴加工は、摩擦熱が大きく、切屑が溶着し、工具溝に詰まってわずかに数穴で工具が折損した。
- (4) ミスト吐出量を絞った深穴加工で、本機構の最大性能の2/3の吐出量(0.0241ml/min)で高速MQL深穴加工を達成した。
- (5) 高速MQLタップ加工を行い、工具のDLCコーティングが、凝着を起こしやすいアルミニウム合金のMQL加工に有効であることを確認した。
- (6) 小径ロングドリルでの深穴加工では、工具先端穴からだけのオイルミスト供給だけでは十分な加工が行えなかったが、コレットスルー方式を併用した場合、飛躍的に加工可能数が増加し安定した加工を行うことができた。