

光通信、半導体等関連部品のための超微細深穴加工の研究

南部洋平* 落合一裕* 秋葉大輔** 清水拓哉** 永久保輝昭**

Study on Micro Long Drilling for Photonic or Semiconductor Component

NANBU Youhei*, OCHIAI Kazuhiro*, AKIBA Daisuke**, SHIMIZU Takuya**, NAGAKUBO Teruaki**

抄録

現在、船舶用ディーゼルエンジンに対して排ガス規制が進んできており、この規制をクリアするためには、燃料噴射ノズルに対して 0.2mm、深さ 4mm(アスペクト比 20)以上の微細深穴をあける必要がある。しかし、船舶用ディーゼルエンジンに使用される万能型耐磨耗合金は難削材であり、現状では対応できていない。本研究では既存設備を活用できるドリル加工に着目し、切削動力としてスラスト力とトルクを評価することで、加工条件や工具形状等について検討を行い、その加工に成功した。

キーワード：アスペクト比，微細深穴加工，万能型耐磨耗合金，工具形状，シンニング

1 はじめに

近年、ディーゼルエンジンにおいては、NOx や CO₂ を削減し、燃費の大幅向上を求める燃料高圧噴射の技術革新(コモンレール方式など¹⁾⁻²⁾が進んでいる。乗用車・トラックでは既に実用化されているが、2004 年秋より、船舶用ディーゼルエンジンにも排ガス規制³⁾が施行され、今後も規制の強化が予想されることから、船舶用ディーゼルエンジンにも同方式を適用する必要性が高まってきている。

燃料噴射を高圧にすると、ノズル径を絞る必要があり、このため燃料噴射穴は微細化・深穴化することになる。また、船舶の場合、エンジンは航海中、長時間の高負荷(最高出力の 85%位)連続運転を強いられるため、材料には耐熱・耐磨耗性に優れた万能型耐磨耗合金を選択せざるをえない。万能型耐磨耗合金は高硬度でさらに引張強度

も有する。図 1 に示すように、ドリル加工時の切削動力は他の難削材と比べて大きく、加工難易度の高い材料である。

この材料に対して燃料高圧噴射技術を導入するためには、0.2mm 深さ 4mm 以上、つまりアスペクト比 20 以上の微細深穴をあける必要があるが、現状では対応できていない。

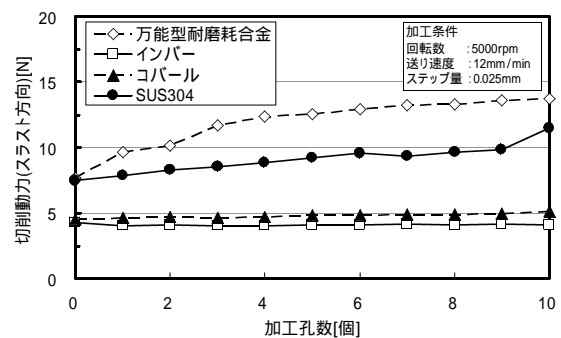


図 1 被削材による切削動力の比較

そこで本研究では、昨年度の研究⁴⁾で達成した 0.2mm 深さ 2mm(アスペクト比 10)の微細穴加工技術をベースに表 1 の目標を設定し、産学官連

* 生産技術部

** 日本ノズル精機(株)

携による微細深孔加工研究会(日本ノズル精機(株)、埼玉大学、産業技術総合センター)を発足し、万能型耐摩耗合金に対する微細深穴加工について研究を進めた。

表1 研究目標

穴径	0.2mm
穴深さ	4mm(アスペクト比 20)以上
工具寿命	1本あたり 50穴以上

2 研究方法

2.1 手法

微細な穴をあける手法については、レーザー、電子ビーム、プレス、放電、ドリル等様々なものが考えられるが⁵⁾、目標を達成するための精度や能率を考慮して、また、部品の外形加工後にそのまま加工できるという段取り替えの削減や、専用機械を必要としない利点を考慮して、ドリル加工を採用した。

2.2 検討事項

微細ドリルは、工具剛性が低いために加工中に破損し易い。また、微細な深穴になると切粉の排出が難しいという問題があり、目標を達成するためにはこれらの点を考慮する必要がある。昨年度の研究では、ドリルの切れ刃中心部にあるチゼル部に切り欠きを入れ、スラスト方向の切削動力を抑えるシンニングという手法に着目し、微細ドリルに対してもシンニングは有効であることを実験により確認した。しかし、現時点ではこのシンニングをアスペクト比 20 以上の微細ドリルに対して行うことは、微細加工を非常に高い精度で行う必要があり、解決すべき課題も多い。そこで、微細ロングドリルに対するシンニングについては来年度検討することとした。

本研究では、0.2mm 深さ 2mm(アスペクト比 10)の加工において、切削動力としてスラスト力だけでなく、新たにトルクを測定することで、加工条件の最適化について検討した。

さらに加工ドリルへのコーティングについても検討を行い、目標である 0.2mm、深さ 4mm(アスペクト比 20)の加工を行った。

2.3 実験装置

実験には、高速加工機(ASV400、東芝機械(株)製)を使用した。この機械は最高回転数が 50000min^{-1} の空気静圧スピンドル⁶⁾⁻⁷⁾を搭載し、圧縮空気を供給している状態では回転部に金属接触がないことから、回転精度が高く低振動であり、微細加工には有利であると考えられる。

スラスト力の測定には切削動力計(9254、日本キスラー(株)製)、トルクの測定にはリアクショントルクセンサー(9339A、日本キスラー(株)製)を使用し、図2のような構成で実験を行った。

また、移動ステージを組み込んだことにより、同一のワークに複数穴加工しても、常にトルクセンサの中心で測定を行うことが可能になった。

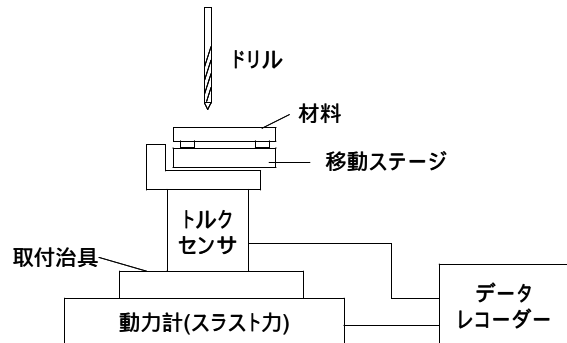


図2 加工スラスト力・トルク測定の実験装置

3 結果及び考察

3.1 加工条件の検討

加工条件の検討については、昨年度に実績のある 0.2mm、深さ 2mm 貫通穴の加工で行った。

まず、工具回転数 5000rpm、送り速度 12mm/min、ステップ量 0.025mm のときの加工穴数毎のスラスト力、トルクの推移を図3に示す。

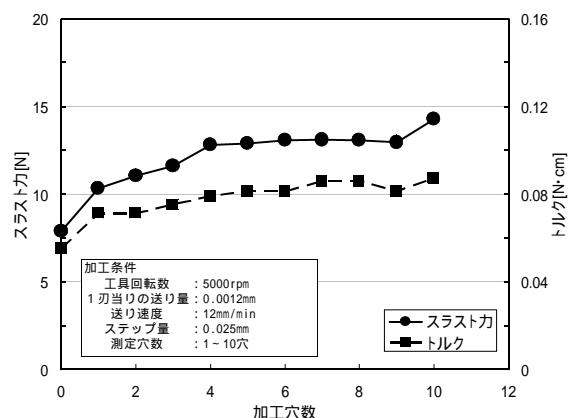


図3 スラスト力・トルクの加工穴数毎の変化

加工を始めると最初は急激にスラスト力、トルク共に上昇するが、4～5穴目からはほぼ横ばいとなり安定する。

続いて、1刃当りの送り量を一定にして、回転数、送り速度を変化させたときの切削動力を図4に示す。結果を見ると、1刃当りの送り量を一定にすれば、回転数を変化させても切削動力がほぼ変わらないことが分かった。

また、回転数を一定にして、1刃当りの送り量、送り速度を変化させたときの切削動力を図5に示す。結果から、送り速度および1刃当りの送り量が大きくなるにしたがって、切削動力(特にスラスト力)が大きくなることが分かる。

以上2つの実験結果から、加工時間短縮のために送り速度を上げる場合は、1刃当りの送り量が大きくなるないように回転数も上げる方が切削動力の上昇を抑えられると考えられる。

さらに、ステップ量を変化させたときの切削動力を図6に示す。結果より、ステップ量を大きくしても、工具回転数や1刃あたりの送り量が変わらなければ、ほぼ同じ切削動力になることが分かった。しかし、ステップ量は切り粉の排出等へも影響があるため、この結果だけでは評価できない。

3.2 コーティングの検討

続いて、コーティングについても検討し、0.2mm、深さ4mm貫通穴の加工を行った。

コーティングについては、被膜硬度、耐酸化性、潤滑性に優れるといわれるJFE精密のSX-3コートを選定した。

同形状のコーティング有り、コーティング無し of 工具で、1.5mmの下穴に対して4mm貫通穴を加工したときの加工穴数を図7に示す。このとき、送り速度は12mm/minと、加工時間短縮を目的として120mm/minの2通りで行った。工具回転数は前項で検討した結果より、1刃当り送り量が一定となるようにした。

結果を見ると、コーティング無しでは1穴も加工できないが、コーティングを施すことで最大20穴まで加工穴数が延びることが分かる。これは、

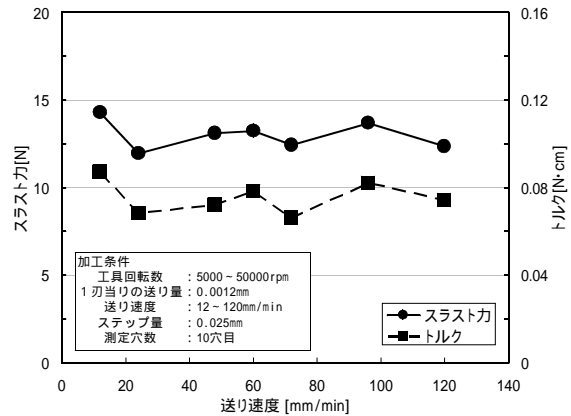


図4 1刃当り送り量一定のスラスト力・トルク

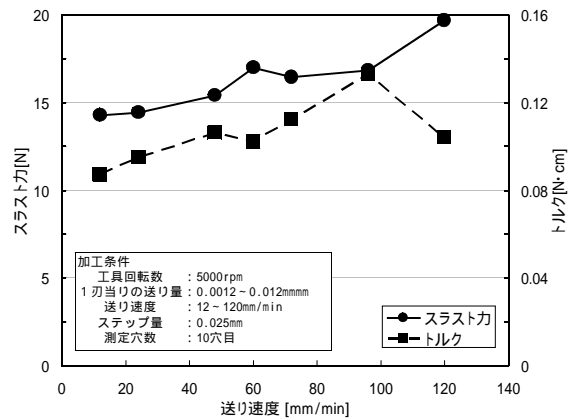


図5 回転数一定のスラスト力・トルク

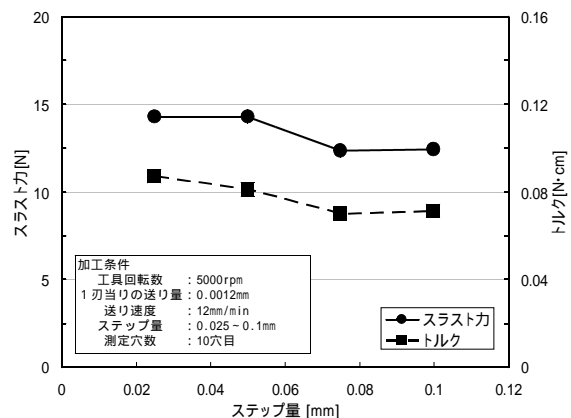


図6 ステップ量毎のスラスト力・トルク

コーティングにより工具剛性および潤滑性が増加しているためと考えられる。

また、コーティング有りで送り速度を120mm/minとしたものは、12mm/minのときに比べて若干加工穴数が減少している。これは工具回転数が大きくなる、つまり切削速度が大きくなることでコーティングに剥がれ等が発生している可能性が考えられる。

最後に、このとき加工した4mm貫通穴の拡大写真を図8に示す。多少バリが見られるものの、真円に近い穴が加工できていることが確認できた。

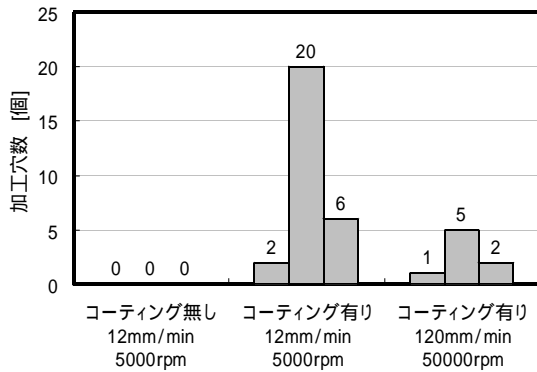


図7 加工穴数の比較

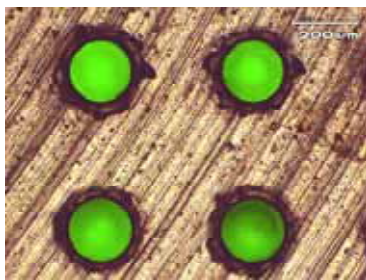


図8 0.2mm(深さ4mm)加工穴

4 まとめ

- (1) 昨年度その有効性を確認したシンニングについては、現時点ではアスペクト比20以上の微細ドリルに対して行うことが難しいため、微細ロングドリルに対するシンニングについて来年度検討することとした。
- (2) 移動ステージを組み込んだ測定装置を構成することで、同一のワークへの複数穴加工に対し

て、常にスラスト力、トルクを同時測定することができるようになった。これにより、従来難しかったスラスト力とトルクによる加工条件の検討を行うことができた。

検討を行った結果、微細ドリルにおいても1刃当りの送り量を一定にすれば、切削動力はほとんど変わらないことが分かった。

(3) コーティングについても検討を行った結果、

0.2mm、深さ4mm(アスペクト比20)の貫通穴を1本のドリルで数十穴加工することに成功した。しかし、加工穴数が安定しないという課題が残った。来年度はこの成果を元に、さらに精密シンニングを行うことで、より安定した加工をして目標を達成できるよう検討する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大な御協力、御指導を頂きました埼玉大学の堀尾健一郎教授、金子順一助手、フジノン(株)の松田信一参事(技術アドバイザー、客員研究員)に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中野良治他：高出力ガス機関 KU30GA の開発，三菱重工技報，38，4(2001)202
- 2) 三木好信：電子制御 ME 型機関と排気エミッション制御，将来燃料と原動機に関する最新情報講演論文集，日本内燃機関連合会，(2002)2
- 3) 船舶に排ガス規制，日本経済新聞，42217(2003)
- 4) 野口清隆，南部洋平：光通信、半導体等関連部品のための超微細深穴加工の研究，埼玉県産業技術総合センター研究報告，2，(2004)158
- 5) 松岡甫篁：高精度・高速微細穴加工のポイント，機械技術，50，2(2002)18
- 6) 百地武：空気静圧軸受搭載高速加工機による微小径穴あけ加工例，ツルエンジニア，39，5(1998)36
- 7) 嶽岡悦雄：マシニングセンタによる金型高効率・高精度加工，機械技術，43，6(1995)24