

超微細加工に関する研究 (1)

—ディーゼルエンジン用ノズルの微細深孔加工—

南部洋平* 落合一裕* 秋葉大輔** 永久保輝昭**

Study on Micro Fabrication

— Micro Long Drilling of the Nozzle for Diesel Engine —

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

抄録

現在、船舶用ディーゼルエンジンの燃料噴射ノズルに対してφ 0.2mm、深さ 4mm(アスペクト比 20)以上の微細深孔をあける要望がでてきている。しかし、船舶用ディーゼルエンジンに使用されるステライトは難削材であり、現状では対応できていない。本研究では微細深孔ドリルに対してシンニング加工を行うことによって、切削動力を最大 30%減少させ、刃先への切粉溶着を抑制することができた。さらに、微細径ドリルに対して、特別な技術を要せずに正確なシンニング加工を施すことができる装置を開発し、φ 0.2mm のドリルに対して左右対称にシンニングを行った。

キーワード：微細深孔ドリル、シンニング、燃料噴射ノズル

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が施行され³⁾、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るため、このため燃料噴射孔は微細化・深孔化することになる。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・耐摩耗性に優れたステライトが用いられている。ステライトは高硬度でさらに引張強度も有するため、ドリル加工時の切削動力は他の難削材と比べても大きく、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、φ 0.2mm 深さ 4mm 以上、つまりアスペクト比 20 以上の微細深孔をあける必要があるが、現状では対応できていない。

そこで本研究では、産学官連携による微細深孔加工研究会(日本ノズル精機㈱、埼玉大学、埼玉県産業技術総合センター)を発足させ、燃料噴射ノズルに対する微細深孔加工について研究を進めている⁴⁾。

* 生産技術部

** 日本ノズル精機㈱

2 研究方法

2.1 手法

微細な孔をあける手法については、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、微細深孔ドリル加工を採用した。

2.2 検討事項

微細深孔ドリル加工では、切粉の排出が困難であるうえ、切削時において発生する熱の逃げ場がないという特徴がある。このことから、加工点の温度が非常に高くなるため、切粉のドリル刃先への溶着が発生し易いという問題がある。

また、ドリル先端の中心部分、いわゆるチゼルエッジでは、加工対象物の塑性変形による除去加工になっているため、大きなスラスト方向圧力がかかる。太いドリルであれば、十分な強度があるためその圧力に耐えて加工を行うことができるが、微細径ドリルではドリル自身の座屈を招いてしまう。そのため、微細径ドリルになるほど小さいチゼルエッジが望まれる。

これらの問題を解決する手法として、チゼルエッジに切り欠きを入れるシンニングに着目し、微細深孔ドリルに対する効果について検討した。

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50000rpmの空気静圧スピンドル^{5)~6)}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。

スラスト方向の切削動力の測定には切削動力計（9254、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。

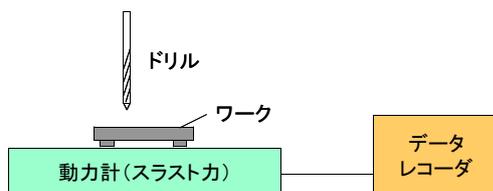


図1 加工スラスト力測定の実験装置

3 結果及び考察

3.1 シンニングの効果について

シンニングの効果を確認及び加工条件の検討をするために同形状のシンニング有り、シンニング無しのドリル（図2、3に刃先のSEM写真）を用いて、表1の加工条件で加工を行い、そのときのスラスト方向の切削動力を測定した。

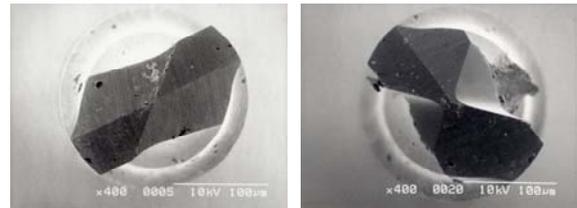


図2 シンニング無し 図3 シンニング有り

表1 加工条件

工具径	φ 0.2mm
回転数	5000 ~ 50000rpm
ステップ量	25 μm
加工深さ	2mm、4mm
1刃当りの送り	1.2 μm
送り速度	12 ~ 120mm/min

10孔連続でφ0.2mm、深さ2mmの貫通孔加工を行ったときの切削動力の推移を図4に示す。なお、1孔目の最初のステップでの切削動力を、0孔目としてグラフには示した。

切削動力はシンニング有りのドリルは無しドリルに比べて常に20~30%低い値となり、シンニングを行うことによってドリルにかかる負荷が軽減できていることが分かる。

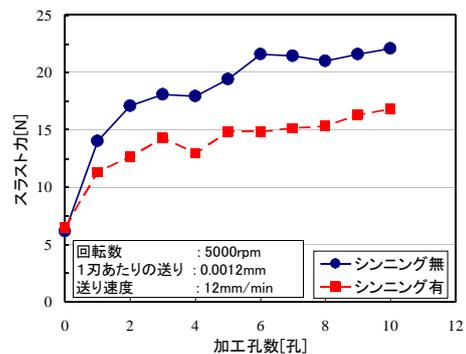


図4 加工孔数と切削動力の関係 (t=2mm)

続いて、1 刃当りの送り量を一定にして、送り速度、回転数を変化させたときの切削動力を図 5 に示す。送り速度を変化させても、シンニング有りのドリルは無しドリルに比べて低い切削動力となっている。また、送り速度を変化させても、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。

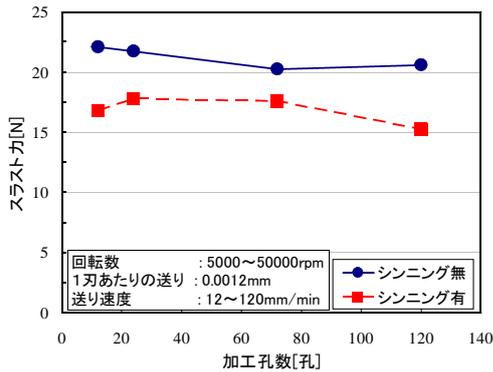


図5 1 刃当りの送り量一定のときの切削動力

続いて、φ 0.2mm、深さ 4mm の貫通孔加工を行った。

1 刃当りの送り量を一定にすれば切削動力がほぼ変わらないという前項の結果より、加工時間短縮のため、一番送り速度の速い条件で加工を行った。

このときの切削動力を図 6 に示す。深さ 2mm のときと同様に、シンニング有りのドリルは無しドリルに比べて常に 15 ~ 25%低い切削動力となり、シンニングが有効に機能していることが分かった。

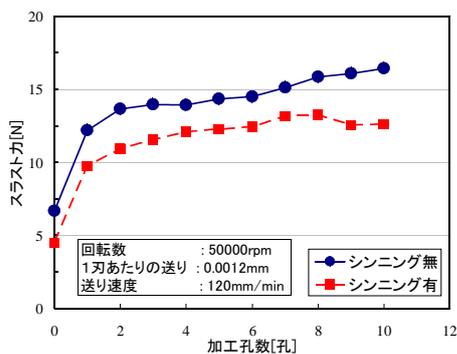


図6 加工孔数と切削動力の関係 (t=4mm)

また、加工後のドリル刃先を SEM 観察したものを図 7、8 に示す。切粉の溶着に注目すると、シンニング有りのドリルの方が溶着が少なく、良好な加工が行われていることが分かった。

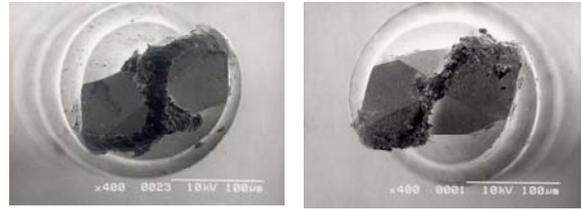


図7 シンニング無し 図8 シンニング有り

3.2 シンニング装置の開発

3.2.1 シンニング装置の概要

φ 0.2mm の微細径ドリルへのシンニング加工は一般に難しく、できたとしても技能に頼らざる得ないのが現状である。そこで本研究では、微細径ドリルへの高精度なシンニング加工を、簡便に行うことができる装置を開発した。

図 9 および図 10 に示すように、観察位置と加工位置を分離し、その間の移動を、軽量なドリルチャック部を精密ステージに載せて制御することで行えるようにした。これにより、カメラ等で観察をするスペースを確保することができ、ドリルのセッティングを正確に行うことができる。

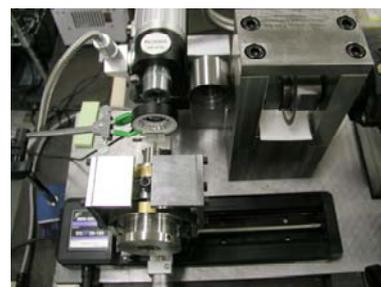


図9 シンニング装置 (観察位置)



図10 シンニング装置 (加工位置)

また、微細径ドリルへのシンニング加工では、ドリルの素材である超硬の微粒子径が相対的に大きくなり、シンニング加工によってチップングが生じる恐れがある。本装置では、シンニング加工状態において、図 11 のようにドリルのシンニング加工部を砥石の切削面に対して揺動させる機構を有しているため、シンニング面の面粗度を向上させることができ、加工エッジでのチップングの発生を抑制できる。

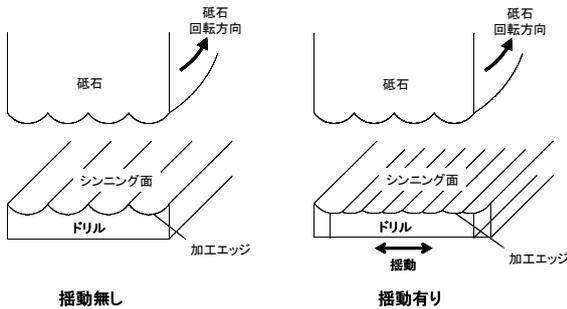


図 11 揺動の効果

3.2.2 シンニング加工実験

まず、φ 0.8mm のドリルに対して、揺動は行わずにシンニング加工を行った。加工条件は表 2 のとおり。

表 2 加工条件

砥石回転数	2700rpm
砥石径	φ 125mm
砥石先端 R	0.25mm
砥石粒度	#1000

加工したドリルの拡大写真を図 12 に示す。左右対称に良好に加工できていることが分かる。

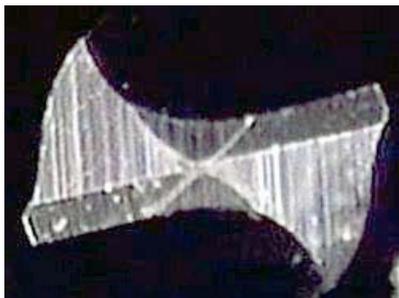


図 12 φ0.8mmドリルへのシンニング加工

また加工後のドリルを横から拡大した写真を図 13、図 14 に示す。切り込み深さ 70 μ m 程度の加工ができていることが分かる。

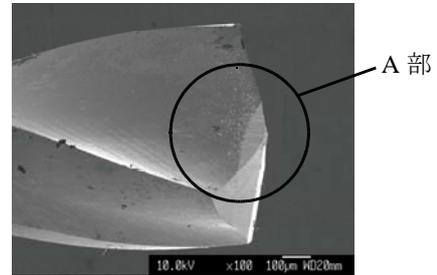


図 13 シンニング加工後

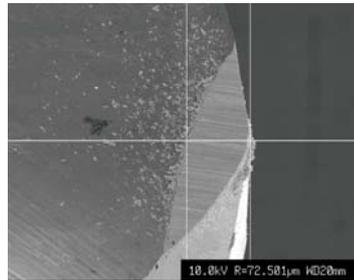


図 14 シンニング加工後 (A部拡大)

3.2.3 加工再現性の確認

加工再現性の確認を行うため、φ 0.8mm のドリル先端に、同じ加工条件、同じステージ移動量で 4 本連続して加工を行った。ドリル 1 本につき 2 カ所加工するため、計 8 回の加工でのシンニング加工のエッジ先端座標を測定した。結果を図 15 に示す。

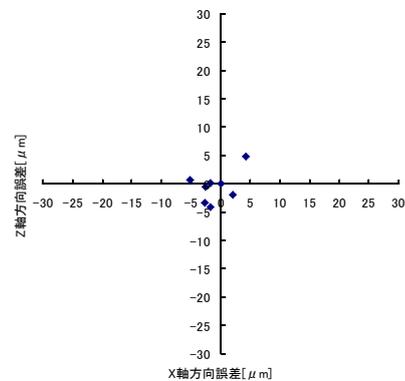


図 15 シンニング加工 エッジ先端座標

この結果より、本装置の加工再現性が±約 5 μ m に収まることが確認された。

この誤差は、切り込み方向の移動を手動で行っていることや、ドリル自体の形状精度によるものと考えられる。切り込み方向の移動については、自動ステージに切り替えることで解消されると考えられる。

3.2.4 φ0.2mmドリルへのシンニング加工

続いて、φ 0.2mm のドリルに対してシンニング加工を行った。加工条件は表3のとおり。

表3 加工条件

砥石回転数	2700rpm
砥石径	φ 125mm
砥石先端 R	25 μ m
砥石粒度	#4000

加工したドリル先端のSEM拡大写真を図16に示す。φ 0.2mm の微細径ドリルにも左右対称にシンニング加工が行うことができた。

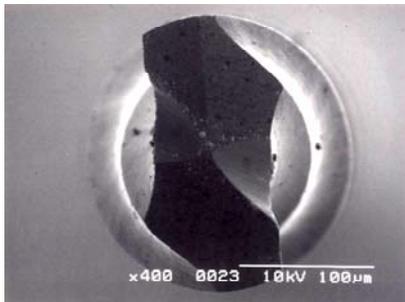


図16 φ0.2mmドリルへのシンニング加工

また、加工面の面粗度を非接触三次元測定器で測定した。測定箇所が微小であり、JIS規格を満たす測定距離は取れなかったため、比較のための参考値とはなるが、揺動無しで Rz91.4nm だったものが、揺動有りで Rz45.9nm となり約 50%低減されている。

4 まとめ

ドリルの刃先にシンニングを行い、切削動力の測定、及び刃先のSEM観察をすることによって、

微細深孔ドリルに対するシンニングの効果について検討を行った。

その結果、微細深孔ドリルに対してシンニングを行うことによって、切削動力が最大 30%減少し、切粉の溶着を抑制できることが分かった。

さらに、微細径ドリルに対して、特別な技術を要せずに正確なシンニング加工を施すことができる装置を開発した。φ 0.8mm 微細径ドリルに対して加工実験を行った結果、加工再現性が±約 5 μ m 以内となることを確認した。また、φ 0.2mm ドリルに対しても、左右対称にシンニング加工が行うことができ、揺動を行うことによって、シンニング面の表面粗さが約 50%低減されることも確認できた。

来年度は、シンニング加工したφ 0.2mm の微細深孔ドリルを用いて、微細深孔加工の実験を行っていきたい。

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) 南部、落合、秋葉、清水、永久保：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、**3**、(2005)172
- 5) 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、ツールエンジニア、**39**、5(1998)36
- 6) 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