

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

野口清隆*¹ 南部洋平*² 永久保輝昭** 清水拓哉**

Study on Micro Long Drilling for Photonic or Semiconductor Component

NOGUCHI Kiyotaka*¹, NANBU Youhei*², NAGAKUBO Teruaki** SHIMIZU Takuya**

抄録

船舶へ排ガス規制を施行する動きがあり、この規制をクリアするにはノズルに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、船舶用エンジンに使用される万能型耐摩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、加工条件と工具形状について検討し、この加工に成功した。

キーワード：アスペクト比、微細深穴加工、万能型耐摩耗合金、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¹⁾)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、船舶に排ガス規制²⁾が施行されることに伴い、船用ディーゼルエンジンにも適用する必要が高まっている。

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、このため燃料噴射穴は微細化・深穴化することになる。また、船の場合、エンジンは長時間の高負荷(最高出力の85%位)連続運転を強いられるため、材料は耐熱・耐摩耗性に優れた万能型耐摩耗合金を選択せざるをえない。万能型耐摩耗合金は高硬度でさらに引張強度も有することか

ら、数ある難削材の中でも、かなり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り、このような加工は、現状では対応できていない。

そこで、産学官連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)を発足して、万能型耐摩耗合金に対する微細深穴加工に挑戦し、生産性にみあう加工を行うための加工条件と工具形状について検討した。

2. 研究目標

共同研究を行う企業と相談の上、排ガス規制をクリアするためのスペック、生産ラインにのせるための効率を考慮し、表1に示すように研究の目標を設定した。

本年度は、第一段階として、穴深さ2mm(アス

*¹ 生産技術部(現 大久保浄水場)

*² 生産技術部

** 日本ノズル精機株式会社

表1 研究目標

穴径	0.2mm
穴深さ (貫通穴)	4 mm(アスパ外比20)以上(16年度) 2 mm(アスパ外比10)以上(15年度)
工具寿命	1 本当たり50穴以上
加工時間	1 穴当たり3分15秒以下

*アスパ外比：穴深さを穴径で割った値

ペクト比10)を目標として実験を行った。

3. 加工手法

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³⁾、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。

4. 検討事項

微細ドリルは、工具剛性の低さから、工具の破損という問題を抱えており、また、切粉排出の面でも問題があり、目標を達成するためには、これらの点に考慮する必要がある。ドリルの切れ刃中心部には、チゼル部と呼ばれるすくい角がネガティブになる部分が存在し、これが、加工時のスラスト方向切削抵抗を上昇させている。工具剛性の問題を解決するためには、この切削抵抗を極力抑える必要がある。一般的に知られている技術として、シンニングがあり、これをチゼル部に施すと、スラスト方向切削抵抗を低減させることが出来る。本研究においては、シンニングを微細ドリルに適用し、シンニングの有無、また、シンニングを含む工具形状の影響について検討した。また、切れ刃の耐久性向上、切粉の溶着防止を目的として、コーティングについても併せて検討した。

5. 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50000 min⁻¹の空気静圧スピンドル⁴⁾⁻⁵⁾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。

切削力の測定には切削動力計(9254、日本キスラー(株)製)を使用した。

6. 実験条件

微細穴加工については、これまでにステンレス鋼 SUS304等の難削材を被削材として、最適な加工条件の検討を行い⁶⁾⁻¹⁰⁾、被削材と工具材種から求まる一般的な切削条件が当てはまらず、回転数は低めの方が工具寿命が延びること、また下穴加工が有効であること等の結果を得た。そこで、この条件を基本に、加工時間を目標値内におさめるために、ステップ量、送り速度を調整して、実験条件を定めた。

また、微細加工の場合は工具の振れの影響も無視できないので、静電容量型非接触変位計(MicroSense 3401HR-01 日本I-テック(株)製)により、機械に取付けたドリルの振れを確認し、1.5 μm以下になるように調整してから実験を行った。

7. シンニングの有無による切削抵抗

7.1 実験方法

万能型耐摩耗合金に0.2mm、深さ2mmの微細穴加工をしたときの、シンニングの有無がスラスト方向切削抵抗に及ぼす影響について検討した。表2に実験条件を示す。

表2 実験条件(シンニング有無の影響)

主軸回転数	5000min ⁻¹
送り速度	4mm/min
ステップ量	0.001 μm
下穴	有り
切削油	ミスト(フルハ)

7.2 実験結果

図1に、シンニングの有無による加工穴数とスラスト方向切削抵抗の関係を示す。シンニング有りの方が10~20%切削抵抗が低くなっており、そ

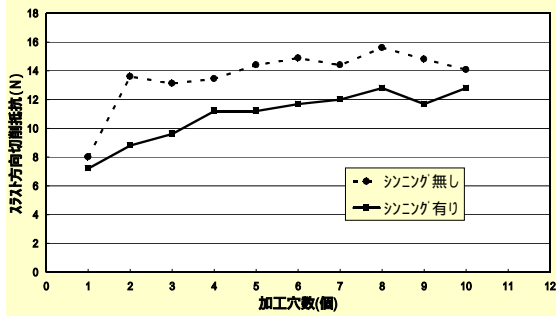


図1 シンニングの有無による加工穴数とスラスト方向切削抵抗の関係

の有効性が確認された。

8. 工具形状、コーティングと工具寿命

8.1 実験方法

万能型耐摩耗合金に 0.2mm、深さ2mm の微細穴加工をしたときの、工具形状（シンニング形状、マージン、芯厚、先端角、チゼルエッジ角等）及び、コーティングが工具寿命に及ぼす影響について検討した。実験は、種々の形状、コーティングの工具を使用して加工実験を行い、それぞれの工具寿命を調べた。工具寿命は、1本のドリルで破損するまでに加工できた加工穴数とした。表3に実験条件を示す。

表3 実験条件(工具形状、コーティングと寿命)

主軸回転数	5000min ⁻¹
送り速度	12mm/min
ステップ量	0.025 μ m
下 穴	有り
切 削 油	ミスト(ブルー)

8.2 実験結果

表4に、各工具における加工穴数を示す。同一形状の工具がないので、コーティングの影響については言及できないが、少なくとも工具形状が加工穴数に影響を及ぼし、工具 No. の組み合わせのとき、加工穴数が170個になり、本年度の目標を満たす工具寿命を確保できることが分かった。

図2に各工具における加工穴数とスラスト方向切削抵抗の関係を示す。加工穴数の多い工具ほど、抵抗値が小さく、十分な工具寿命を確保できた工具 No. が、最も低く安定した抵抗値を示している。

る。工具形状、コーティングによりスラスト方向切削抵抗を減少させ、工具寿命を伸ばす一因になったものと思われる。

表4 工具形状、コーティングと加工穴数の関係

工具 No.	工具形状	コーティング	加工穴数(個)	
	A	A	10	
	B	A	0	1
	C	B	170	
	D	B	0	1

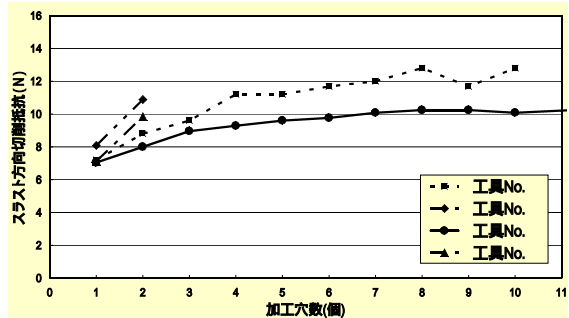


図2 工具形状、コーティングの異なる各工具における加工穴数とスラスト方向切削抵抗の関係

9. 穴深さ4mm(アスペクト比20)の微細深穴加工の検討

9.1 実験方法

万能型耐摩耗合金に対して、0.2mm、深さ4mmの微細深穴加工をトライした。実験は、まず深さ2mmまで前加工を行い、その後、ロングタイプの微細ドリルにより、深さ4mm(アスペクト比20)の微細深穴加工にトライした。ただし、ロングタイプドリルの刃先形状、及び、コーティングは、「8 工具形状、コーティングの検討」の項で長寿命を得た表4中の工具 No. とは異なっている。

9.2 実験結果

2穴貫通後、3穴目で破損した。まだ、寿命的には不十分であるものの、万能型耐摩耗合金に対する穴深さ4mm(アスペクト比20)の微細深穴加工に成功した。

10. まとめ

万能型耐摩耗合金に 0.2mmの微細深穴加工を行った結果、次に示す結果を得た。

- ・微細穴加工時のスラスト方向切削抵抗の低減に、シンニングが有効であることが確認できた。
- ・様々なドリル形状、コーティングでテストした結果、この材料に適したドリルが分かり、本年度の目標である深さ2 mm(アスペクト比10)の加工に対して、十分な工具寿命を確保できた。
- ・深さ4mm(アスペクト比20)の微細深穴加工に成功した。

今後は、深さ4mm(アスペクト比20)の加工に対して、目標の生産性を確保できるよう研究を進めると共に、ノズルの性能を左右すると思われる、内面の表面精度についても検討する予定である。

謝辞

最後に、本研究を進行するにあたり多大な御協力を賜りました、埼玉大学 堀尾健一郎教授、松田信一客員教授(テクノフェロー)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)：船舶に排ガス規制，日本経済新聞，,42217(2003)
- 3) 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
- 4) 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，5(1998)36
- 5) 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
- 6) 野口清隆：高速加工機による微細穴あけ加工，1999年度精密工学会秋季大会講演論文集，(1999)272
- 7) 野口清隆他：空気静圧軸受け加工機による高精度加工，埼玉県工業技術センター研究報告，2,(2000)45
- 8) 野口清隆他：空気静圧軸受け加工機による高速・高精度加工に関する研究，埼玉県工業技術センター研究報告，3,(2001)65
- 9) 野口清隆他：空気静圧軸受け加工機による高速・高精度加工に関する研究，埼玉県工業技術セ

ンター研究報告，1,1(2003)157

- 10) 上久保祐一，野口清隆：細穴+深穴加工におけるガイド穴の効果・有効性，機械と工具，46，9(2002)33

