

難削材の切削加工特性に関する研究  
 ーステンレス鋼とインコネルの切削加工特性ー  
**Study on Milling Characteristic of Low Machinability Materials**  
**- Milling Characteristic of Stainless Steel and Inconel -**

日開野輔\*, 小川仁\*

Tasuku Higaino and Hitoshi Ogawa

抄 録

徳島県内の金属加工事業所を対象に切削加工に関する調査を行った結果、切削加工データの要望があることがわかった。その結果から、要望のあったステンレス鋼(SUS304, SUS316)とニッケル基合金(Inconel600, Inconel718)について、ドリル穴あけ加工の切削加工特性を把握し、工具寿命の長いドリルの使用が、必ずしもコスト改善に繋がらないことがわかった。また、ニッケル基合金(Inconel625)については、タップ加工特性を把握し、下穴の加工硬化を抑えることが、タップの工具寿命改善になることを明らかにした。

1 はじめに

ステンレス鋼や耐熱合金などの難削材とされている金属は、熱伝導率が小さい、高温まで機械的強度の低下が少ない、また耐酸化性に優れるなどの特性をもっている。しかし、その特性のためにこれらの材料は難削性を示し、適切な切削加工条件を探るには多大な工数を要する。また、切削加工条件は工具メーカーから推奨加工条件が示されているが、金属加工事業所では高能率な生産が求められており、各事業所の加工サイクルに合わせた加工条件を採用している場合が多い。

そこで、徳島県内の金属加工事業所で難削材とされる材料や加工方法について調査し、それに基づいた加工実験を行った。

2 難削材に関する調査結果

徳島県内の企業を対象とし、切削加工に関するアンケート調査を行った結果を図1と図2に示す。材料は、ステンレス鋼の要望がもっとも多く、続いて炭素鋼、チタン合金、アルミ合金の順であった。加工方法では、エンドミル切削がもっとも多く、続いて、穴あけ、旋削、ネジ・タップ加工が多い。エンドミル加工については、平成14年に加工試験を行っているため、今回は、ドリル穴あけ加工、タップ加工

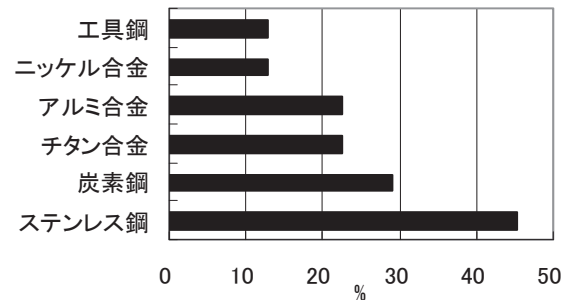


図1 加工データの要望が高い材料

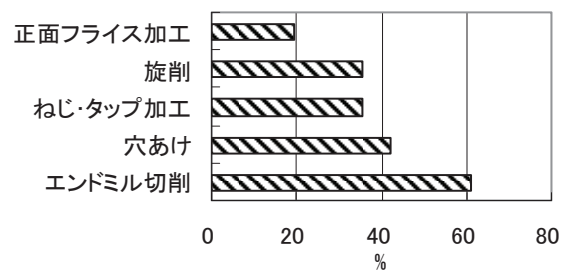


図2 加工データの要望が高い加工方法

工について加工試験を行った。

3 加工実験

3. 1 SUS304のドリル穴あけ加工

ステンレス鋼 SUS304 の加工条件を表1に示す通りとし、ステップ送り量が工具寿命に及ぼす影響と加工コストについて検討を行った<sup>1)</sup>。

\*電子機械課

表 1 SUS304 加工条件

被削材	SUS304
使用工具	TiN コーテッドハイス TiAlN コーテッド超硬
穴径	φ 2.0 mm
加工深さ	12 mm
切削速度	15 m/min
送り速度	0.07 mm/rev
ステップ送り量	0.0, 0.8, 1.6, 3.0 mm
切削油剤	水溶性切削液 (約 10 倍希釈)

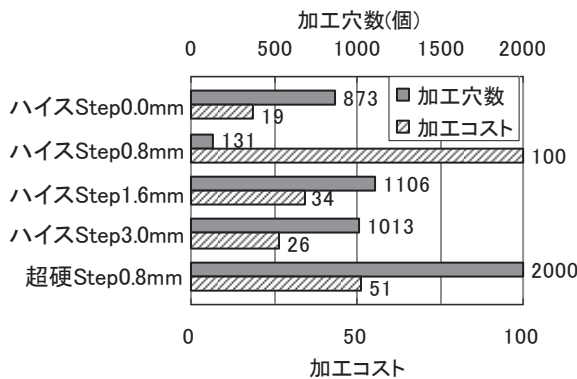


図 3 SUS304 加工時の工具寿命と加工コスト

図 3 にステップ送り量を変化させた場合の加工可能であった穴数と加工コストを示す。ステップ送り量 0.8mm では、加工可能な穴数が最も少なかった。この原因は、加工硬化層を加工する時間が長かったために、工具寿命が短くなったと考えられる。ハイスドリルを使用した場合、ステップ送り量 0.8mm 以外の条件では 1000 穴程度加工可能であった。超硬ドリルを使用した場合は、ステップ送り量 0.8mm であっても 2000 穴以上、加工可能であった。

加工コストは、加工穴数の最も少ない条件を 100 とし、加工時間、機械費、工具交換時間などを考慮し、1500 ロット/月、穴数 2 穴/ロットとし試算を行った。ハイスドリルを用いステップ送り量 0.0mm とした場合の加工コストが最も低かった。超硬ドリルを使用した場合は、ドリルの寿命が最も長い、ドリルの単価が高いため、ハイスドリルを用いた場合よりも、加工コストが高く、工具寿命の改善効果が大きくても、必ずしもコスト低減が可能ではない。

### 3. 2 SUS304 と SUS316 の穴あけ加工

被削材をステンレス鋼 SUS304 と SUS316 とし、

表 2 SUS304 と SUS316 の加工条件

被削材	SUS304	SUS316
切削速度	20m/min	
送り速度	0.15mm/rev	
ステップ送り量	1.0mm	
使用工具：工具 突出量	TiCN コーテッド粉末ハイス:20mm TiAlN コーテッドハイス:30mm TiAlN コーテッド超硬:20mm	
加工方式	止まり穴加工	
加工深さ	6mm	
切削油剤	水溶性切削液 (約 10 倍希釈)	

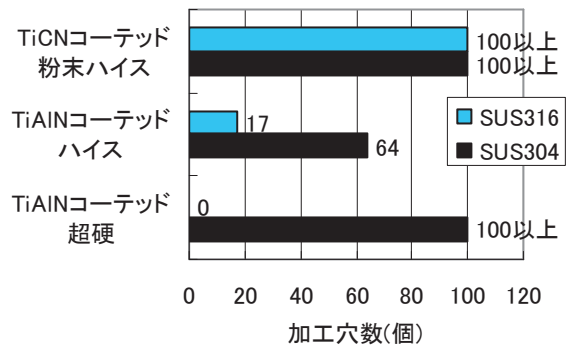


図 4 SUS304 と SUS316 の工具寿命

加工方法、加工条件を表 2 の通りとした。実験は、工具の違いによる工具寿命の検討を行った。図 4 に各工具を使用したときの工具寿命を示す。工具寿命判断基準は、100 穴加工時または工具折損時とした。加工穴数は、SUS316 より SUS304 が多く、被削性は SUS316 より SUS304 がよい。粉末ハイスの場合は、両被削材ともに 100 穴以上の加工が可能であった。超硬ドリルを用いた場合は SUS316 では 1 穴も加工できず、ドリルが折損した。これは、送り速度が高いことと、また SUS304 より SUS316 の方がねばく、切り屑つまりが発生したことなどが原因の一つと考えられ、送り速度をより低くとすることが望ましい。

### 3. 3 Inconel718 と Inconel600 の穴あけ加工

ニッケル基合金 Inconel718 と Inconel600 を被削材とし、加工方法はドリルによる貫通穴加工とした。加工条件は表 3 の通りとし、送り速度による工具寿命の検討を行った<sup>2)</sup>。

図 5 に Inconel718 と Inconel600 の送り速度を変化させた場合の加工可能であった穴数を示す。送り速度が 0.05mm/rev では、両被削材とも 100 穴以上の加

表 3 Inconel718 と Inconel600 の加工条件

被削材	Inconel718	Inconel600
工具材種	TiCN コーテッド粉末ハイス	
穴径	φ 6.0 mm	
加工深さ	20 mm	
切削速度	10 m/min	15 m/min
送り速度	0.05, 0.10, 0.15 mm/rev	
ステップ送り量	なし	
切削油剤	水溶性切削液 (約 10 倍希釈)	

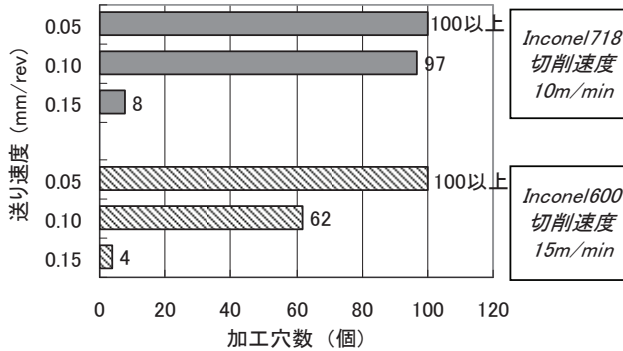


図 5 Inconel718 と Inconel600 の工具寿命



Inconel718 97 穴目 (切削速度 0.10mm/rev)      Inconel600 62 穴目 (切削速度 0.10mm/rev)

図 6 加工終了時の工具の様子

工が可能であった。また、送り速度を上げると工具寿命が短くなり、0.15mm/rev では数穴で加工音が増大し、加工終了となった。図 6 に工具損傷の様子を示す。いずれも、切り屑が激しく溶着していることがわかる。また、コーナー部の摩耗が大きく進行している。

### 3. 4 Inconel625 の穴あけ加工

ニッケル基合金 Inconel625 を被削材とし、加工方法はドリルによる止まり穴加工とした。加工条件は表 4 の通りとし、切削速度による工具寿命の検討を行った。

図 7 と図 8 に切削速度を変化させた場合の工具寿命とそのときの切削抵抗(スラスト力)を示す。TiCN コーテッド粉末ハイスドリルでは、36 穴、22 穴と加

表 4 Inconel718 と Inconel600 の加工条件

被削材	Inconel625	
工具	TiCN コーテッド粉末ハイス	TiAlN コーテッド超硬
切削速度	5,10 mm/rev	5, 10, 15 mm/rev
送り速度	0.025 mm/rev	
ステップ送り量	0.2 mm	
加工穴径	φ 2.3 mm	
加工深さ	6.0 mm	
切削油剤	水溶性切削液(約 10 倍希釈)	

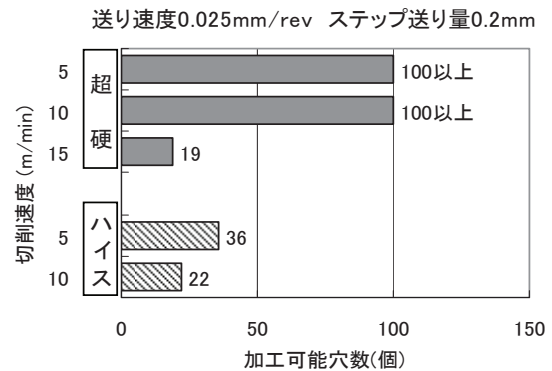


図 7 Inconel625 の工具寿命

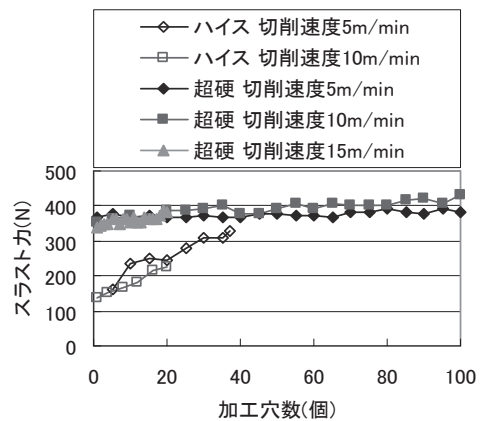


図 8 Inconel625 切削抵抗(スラスト力)

工可能な穴数が少なく、切削速度を上げると工具寿命が短くなっている。TiAlN コーテッド超硬ドリルでは、切削速度 5m/min, 10m/min では 100 穴以上の加工が可能であったが、切削速度 15m/min では加工可能穴数が 19 穴と切削速度が上がると急激に工具寿命が短くなった。また、切削抵抗は、両ドリルともに加工穴数の増加とともに増加しており、摩耗が進行したためと考えられる。また初期の切削抵抗を

比較すると、超硬ドリルよりもハイスドリルが低く、工具のねじれ角の違いによるものと考えられる。

### 3. 5 Inconel625 のタップ加工

加工条件は表 5 に示す通りとし、下穴加工に二種類のドリルを用いた場合のタップ加工時の工具寿命について検討した。

図 9 にハイスドリルと超硬ドリルで下穴加工を行った場合の穴深さ 3mm 付近における穴壁面からの距離とビッカース硬さの関係を示す。加工条件は同じであるが、超硬ドリルを用いた場合は、穴壁面に近いほど硬度が高く、加工硬化が生じており、その厚さは約 0.1mm 存在することがわかる。この原因は、超硬ドリルはハイスドリルよりねじれ角が小さいため、すくい角が小さくなっていることによると考えられる。

図 10 に下穴加工ドリルの種類を変えた場合のタップ加工可能穴数を示す。下穴の加工は、ドリルの種類が違うのみで、その他の加工条件は同一である。下穴加工に超硬ドリルよりもハイスドリルを使用した方が、タップの加工可能穴数が改善している。これは、下穴の加工硬化層の違いが影響しており、下穴の加工硬化を抑えたことで、タップの工具寿命が改善したと考えられる。

## 4 結言

徳島県内の金属加工事業所を対象に、切削加工技術に関する調査を行い、それに基づき切削加工実験を行い、各種金属の切削加工特性を把握した。

SUS304 の穴あけ加工では、工具寿命の長い工具の使用が、必ずしも加工コストの改善に繋がらないことがわかった。また、同じステンレス鋼でも、鋼種が変わると、切削加工特性が違うことがわかった。

かなりの難削性示すニッケル基合金では、超硬工具を使用しなくても、安価なハイス工具で 100 穴程度の穴あけが可能であることがわかった。また、Inconel625 のタップ加工では、下穴加工時の加工硬化を抑えることが、タップ加工時の工具寿命改善に繋がることがわかった。

加工データは、見たいときにすぐに調べられることが重要である。そのため、本研究で得られた切削加工データを、インターネット上のホームページに

表 5 Inconel625 のタップ加工条件

被削材	Inconel625	
	下穴加工	タップ加工
加工方法	下穴加工	タップ加工
工具	TiCN コーテッド粉末ハイス TiAlN コーテッド超硬	粉末ハイス (窒化処理)
切削速度	5 m/min	—
主軸回転速度	692 min <sup>-1</sup>	50 min <sup>-1</sup>
送り速度	0.025 mm/rev	0.635 mm/rev
ステップ送り量	0.2 mm	1.0 mm
加工直径	φ 2.3 mm	No.4-40UNC
加工深さ	6.0 mm	3.0 mm
加工方式	止まり穴加工	—
切削油剤	水溶性切削液 (約 10 倍希釈)	油性切削液

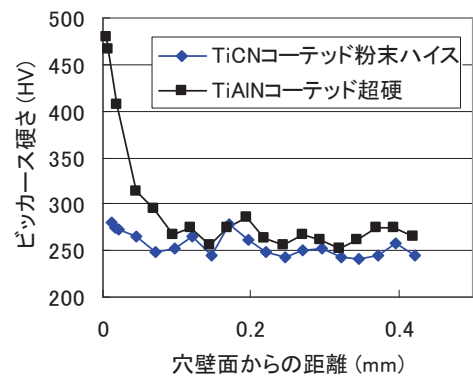


図 9 下穴の加工硬化

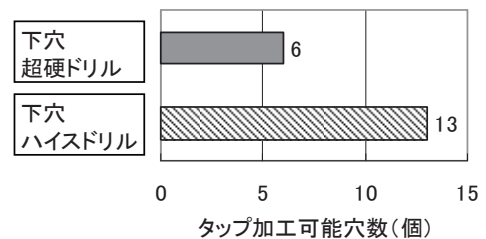


図 10 下穴加工とタップ加工可能穴数

公開した (<http://www.techno-qanda.net>).

## 参考文献

- 1) 「平成 13 年度共同加工試験報告書」, 独立行政法人産業技術総合研究所, 5-12(2002)
- 2) 「平成 14 年度共同加工試験報告書」, 独立行政法人産業技術総合研究所, 24-29(2003)