

# 超耐熱合金インコネル 625 の基礎的切削実験

## Basic Cutting Experiments of Super Heat Resistant Alloy INCONEL625

加藤 明

Akira Kato

機械素材研究所 機械システム科

航空機産業の発展に伴い、航空機部品加工のニーズも高まると推測される。しかし、航空機部品用材料の加工データは十分に普及していない。そこで、航空機部品用材料の1つである超耐熱合金インコネル 625 の基礎的切削実験を行った。その結果、適切な条件による加工の必要性が高いことが分かった。

### 1. はじめに

世界の航空機産業は、今後20年間で2倍(4万機、300兆円)の規模に拡大すると予想されている。国内においても、平成27年11月11日に、純国産ジェット機である三菱リージョナルジェット(MRJ)の初飛行が成功するなど、航空機産業が大きく発展しつつある<sup>1)</sup>。それに伴い航空機部品加工のニーズも高まると推測され、今後は鳥取県内企業も航空機産業への参入が期待される。

航空機部品には、アルミニウム合金、ステンレス鋼、プラスチックなどの一般的な材料が使用されるが、機体には軽量で高強度なCFRPやチタン合金などが、高温になるジェットエンジンには耐熱合金などが使用され、これらは難削材であることが多い。

難削材は文字通り加工が難しい材料であるが、その理由の一つに、難削材加工が技術開発や製品開発と結びついていることが多く、秘匿性や技術競争のため加工データが十分に公開されないことがある<sup>2)</sup>。ゆえに、最適な加工条件が不明な場合が多く、加工条件抽出のための実験が必要である。しかし、難削材加工は材料及び工具が高価なことから、中小企業では加工条件抽出のための実験を行うのは難しい。

そこで、県内企業に難削材加工技術を普及することを目的に、難削材の1つである超耐熱合金インコネル 625 の基礎的切削実験を行い、切り屑、工具摩耗、加工面粗さの評価を行ったので報告する。

### 2. 実験方法

材料は、超耐熱合金インコネル 625 丸棒(直径40 mm、長さ100 mm、硬度248 HBW)を使用した。インコネル 625 は、Inco Alloys International 社(現 Special Metals 社)で開発され、Ni と Cr の地に Mo と Nb を固溶する固溶強化型合金で、耐熱性、耐食性が良好なため、航空機の燃焼系統に使われるほか、発電所設備用部品などにも用いられている<sup>3)</sup>。実験に使用した材料の化学成分を表1に示す。

実験は複合旋盤(オークマ製 MULTUS B300 C900、主軸動力7.5 kW、振り600 mm、心間900 mm、最高主軸回転数5000 min<sup>-1</sup>)による外径旋削とした。

切削工具は、市販の三角スローアウェイチップ(工具記号 TNMA160408、超硬 K20、逃げ角0°、すくい角0°、チップブレード無し、コーティング無し)とした。

切削条件は表2のとおりである。一般に加工現場では工具摩耗の低減などを目的に切削油が使用されるが、本実験ではインコネル 625 の基本的な切削特性を得るために、切削油の影響を受けない乾式切削とした。送り方向加工長さ25 mmごとに、工具頭微鏡(トプコンテクノハウス製 TUM170ESN)により逃げ面最大摩耗幅を測定し、摩耗幅が100 μmを越えた場合又は加工長さが250 mmに到達した場合に実験終了とした。また、加工長さ25 mm時点での切屑を回収するとともに、工

具写真を工具顕微鏡で撮影し、送り方向加工面粗さを輪郭形状測定機（テーラーホブソン製 PGI-Plus）により測定した。

表 1 インコネル 625 の化学成分 (mass%)

Ni . . . . .	66.16	Si . . . . .	0.08
Cr . . . . .	21.59	P . . . . .	0.004
Fe . . . . .	0.36	S . . . . .	0.001 以下
Mo . . . . .	8.13	Al . . . . .	0.23
Nb+Ta . . . .	3.24	Ti . . . . .	0.28
C . . . . .	0.01	Co . . . . .	0.01
Mn . . . . .	0.01 以下	Cu . . . . .	0.01

表 2 切削条件

切削速度 $V$ (m/min)	12.5 25 50 100
送り $f$ (mm/rev)	0.1
切り込み深さ $d$ (mm)	0.1

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 切り屑

図 1 に加工長さ 25 mm 時点の切り屑形状の写真を示す。図 1 (2) に示す切削速度  $V=25$  m/min の切り屑は、比較的整った螺旋状をしており、適正な加工が行われたことが推測できる。図 1 (1) に示す切削速度 12.5 m/min の切り屑も螺旋状ではあるものの、切り屑表面が粗くなっている様子が観察された。これは、工具にインコネルが溶着し、切り屑生成時に工具から脱落した溶着物が切り屑に付着したものと考えられる。図 1 (3) に示す切削速度 50 m/min、図 1 (4) に示す切削速度 100 m/min の切り屑はカール半径が大きくなった。これは、切り屑が高温になり伸びた状態となったためと考えられ、この加工条件では切削温度が著しく上昇したと思われる。

#### 3.2 工具摩耗

図 2 に実験前及び加工長さ 25 mm 時点の工具逃げ面写真を示す。図 2 (3) に示す加工長さ 25 mm 時点の写真には光沢のある部分が観察されるが、この

部分は工具摩耗とインコネルの溶着物（構成刃先）が合わさった箇所である。逃げ面摩耗幅の測定は、溶着部分（加工前の工具先端位置を基準として飛び出た部分）を除き、光沢のある部分の最大値とした。

図 2 (2) より、切削速度 12.5 m/min では溶着が激しく起こること、図 2 (3) より、切削速度 25 m/min では工具摩耗は少ないものの溶着が発生していること、図 2 (4)、(5) より切削速度 50 m/min 及び 100 m/min では溶着が少ないことが分かった。

図 3 に工具逃げ面最大摩耗幅  $VB_{max}$  の測定結果を示す。横軸は実切削距離（材料外周×送り方向加工長/送り）である。結果は、切削速度 25 m/min では加工長さ 250 mm（実切削距離 287 m）に到達したが、他の条件では実験途中で逃げ面最大摩耗幅が 100  $\mu\text{m}$  に達し、実験終了となった。このことから、インコネル 625 は、本実験条件では切削速度 25 m/min が適すと考えられる。また、切削速度を 12.5 m/min や 50 m/min に変えると急激に工具摩耗が進むことから、インコネル 625 は工具摩耗の少ない実用的な加工速度の幅が非常に狭いことが分かった。

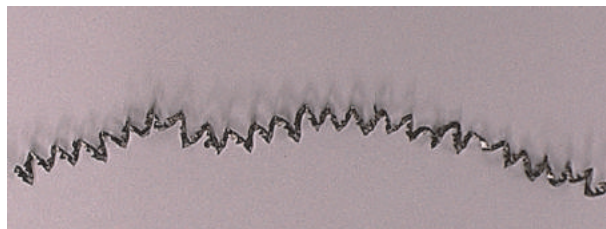
さらに、一般的には切削速度を下げると切削温度が低下し、工具の硬度低下が生じず、工具摩耗の進展も抑えられるが、本実験では、切削速度 12.5 m/min は工具摩耗が激しい結果となった。これは、この切削速度で溶着が激しく生じ、溶着物の脱落に伴い工具母材の一部も脱落し、その結果工具摩耗を促進したと考えられる。また、切削速度 50 m/min、100 m/min では、3.1 で述べたように切削温度が著しく上昇したため、工具母材の硬度が低下し工具摩耗の進展に繋がったと考えられる。

#### 3.3 加工面粗さ

図 4 に加工長さ 25 mm 時点の加工面算術平均粗さ  $Ra$  の測定結果を示す。切削速度 50 m/min が最も加工面粗さが優れた結果となり、加工面粗さを考慮すると切削速度は 50 m/min が適することが分かった。切削速度 12.5 m/min 及び 100 m/min では、工具摩耗により刃先が損傷した状況での加工となり、加工面

粗さは悪化したと考えられる。また、工具摩耗が最も少なかった切削速度 12.5 m/min の加工面粗さは 50 m/min に劣る結果となったが、25 m/min では溶着が

発生しており、加工面に溶着の形状が転写された結果、加工面粗さは劣ることとなったと考えられる。



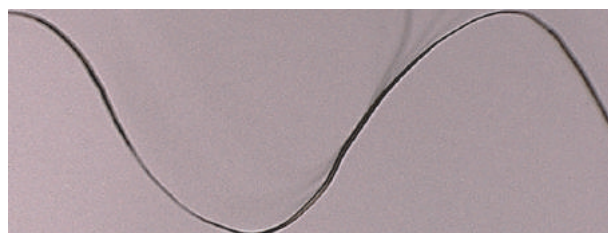
(1) V=12.5 m/min



(2) V=25 m/min



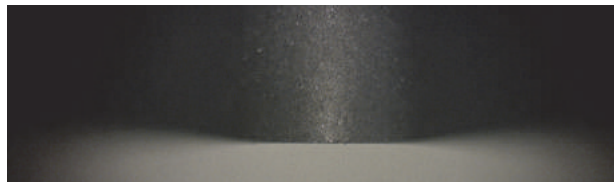
(3) V=50 m/min



(4) V=100 m/min

10 mm

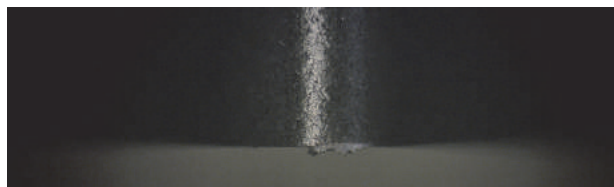
図1 切り屑形状写真



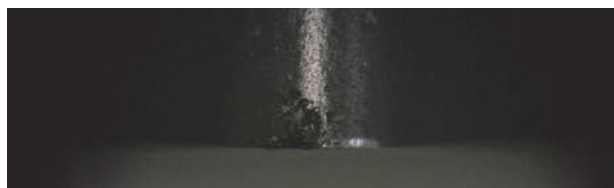
(1) 実験前



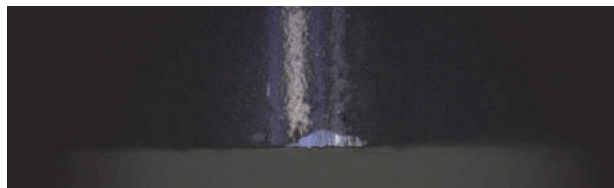
(2) V=12.5 m/min



(3) V=25 m/min



(4) V=50 m/min



(5) V=100 m/min

1 mm

図2 工具逃げ面写真

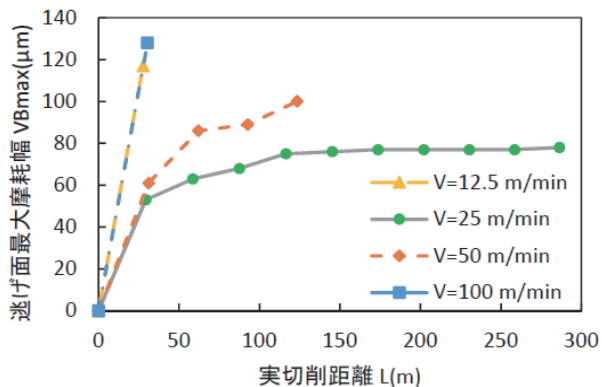


図3 工具摩耗測定結果

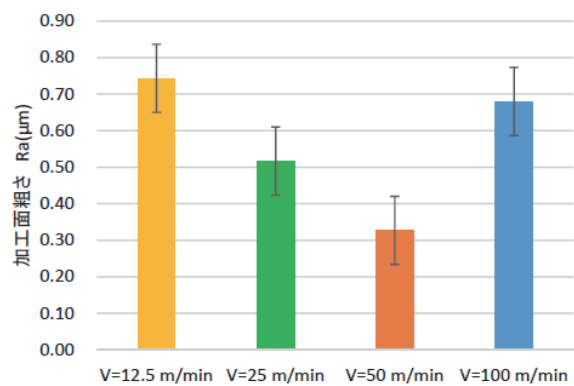


図4 加工面粗さ測定結果

## 4. おわりに

超耐熱合金インコネル 625 の乾式切削による基礎的切削実験を行い、以下の結果を得た。

- (1)本実験条件においては、インコネル 625 の切削速度は、工具摩耗の観点からは切削速度 25 m/min が、加工面粗さの観点からは 50 m/min が適当である。
- (2)切削速度が低いと溶着が発生し、溶着物の脱落に伴い工具母材の一部も脱落し、工具摩耗を促進すると考えられる。
- (3)切削速度が高いと、切削温度が上昇し、工具母材の硬度が低下するため、工具摩耗が著しく進むと考えられる。

インコネル 625 は適切な条件による加工の必要性が高いことが分かった。

今後は、湿式による加工現場に近い条件でのインコネル 625 の加工実験を試みるとともに、チタン合金や CFRP などの難削材の加工実験に取り組み、加工技術情報を提供する予定である。

## 文 献

- 1) 砥粒加工学会；航空機材料の先端加工技術，砥粒加工学会誌，12，p.1(2015).
- 2) 狩野勝吉；難削材・新素材の切削加工ハンドブック，森北出版，p.7(2011).
- 3) Special Metals Corporation；INCONEL alloy 625，p.1(2013).