

# 航空宇宙産業に向けた耐熱合金の切削加工技術の開発

(モリブデン合金の切削加工)

機械加工科 研究員 梅木 宣明  
機械加工科 主任研究員 福田 洋平  
応用技術部 部長 瀧内 直祐

本研究は、航空宇宙産業機器のエンジン部品等に用いられるモリブデン合金の切削加工に関する研究に取り組み、最適な切削加工技術の確立を目的とする。モリブデン合金の切削に最適な、①切削工具材種の検討、②刃先形状の検討、③切削加工条件の検討を行った。

本報告は上記3つの項目の実験結果から、モリブデン合金の切削における最適な切削工具材種、切削工具の刃先形状および切削加工条件について報告する。

## 1. 緒言

長崎県では2018年の長崎県航空機産業クラスター協議会の設立に伴い、県内機械加工業において、航空機関連部品等の難削材の切削技術の確立に向けた意欲が高まっている。県内には航空宇宙産業機器を製造する大手重工メーカーがあり、エンジン部品等の耐熱合金に使用されているモリブデン合金の切削加工に関するニーズがある。しかし、モリブデン合金は難削材であるため、切削加工の高能率化や加工部品の高品質化等の課題がある。

そこで、本研究では、県内企業からのニーズがあるモリブデン合金の最適な切削加工技術の開発に取り組むことで、県内機械金属加工業の高度化を図ることを目指し、モリブデン合金の切削に最適な、①切削工具材種の検討、②刃先形状の検討、③切削加工条件の検討を行った。

本報告ではモリブデン合金の切削加工実験の結果について報告する。

## 2. 実験方法

モリブデン合金の表面粗さ  $Rz3.2\mu\text{m}$  以下で最適な切削加工条件を確立するために、①工具材種、②刃先形状、③切削加工条件の検討を行った。

被削材は  $\phi 68\text{ mm}$ 、内径  $20\text{ mm}$  の中空円筒状のモリブデン合金を用いた。

表面粗さについては、端面を2回切削後、4方向より外側から内側に向けて測定を行った。なお、同一条件にて3回加工実験を行った。また、カットオフ値は  $0.8\text{ mm}$ 、評価長さは  $4.0\text{ mm}$  とした。

切削加工条件の検討・評価は①工具材種、②刃先

形状、③切削加工条件の順番で行い、工具材種および刃先形状の検討・評価については表1に示す切削加工条件で実施した<sup>[1]</sup>。

今回の切削実験にはDMG森精機(株)製NC旋盤SL-20を使用した。

表1 切削加工条件

切削速度 (m/min)	200
送り速度 (mm/rev)	0.1
切込み量 (mm)	0.2
切削液	水溶性クーラント

## 3. 実験結果

### 3.1 切削工具材種の検討

表2に示す5種類について、切削実験での検討・評価を行った。刃先形状についてはすべて刃先角度  $80^\circ$ 、ノーズ  $R0.8$ 、ネガティブインサートで統一した。

表3にそれぞれの材種における表面粗さ  $Rz$  の平均値を示す。なお、セラミック製の工具については、切削加工中に破損したため、表面粗さは測定することはできなかった。

これらの結果から、検討した材種5種類について、超硬合金の表面粗さ  $Rz$  値が最も低い。これより、モリブデン合金の切削加工には超硬合金が適していると考えられる。

表2 切削工具材種検討

切削工具材種	超硬合金、PVD、サーメット、PVDサーメット、セラミック
--------	-------------------------------

表3 材種違いによる表面粗さ測定結果

材種	表面粗さ Rz (平均値)
超硬合金	5.196 $\mu\text{m}$
PVD	8.331 $\mu\text{m}$
サーメット	9.999 $\mu\text{m}$
PVD サーメット	9.115 $\mu\text{m}$
セラミック	工具破損のためデータ無し

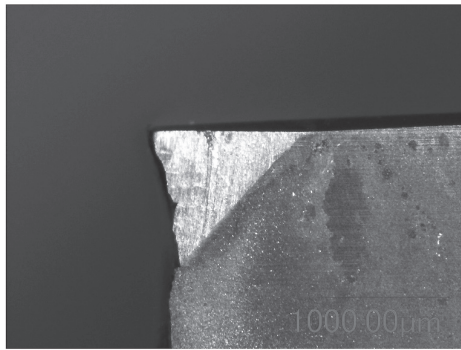


図1 破損したセラミック製インサート

### 3.2 切削工具刃先形状の検討

表4に示す項目について、切削実験での検討・評価を行った。検討・評価は刃先角、ノーズ R、逃げ角、ブレード形状の順番で行った。なお、今回使用したブレード形状を図2および3に示す。ブレード形状については、アルミ合金用のものをブレード①、耐熱合金用のものをブレード②とする。工具材種については、超硬合金で統一した。また、他のインサート仕様についても比較する項目以外は統一して実験を行った。

表4 刃先形状検討

刃先角	80°、55°、35°
ノーズ R	0.8、0.4
逃げ角	ネガティブ、ポジティブ
ブレード形状	2種類で検討 (図2、3参照)

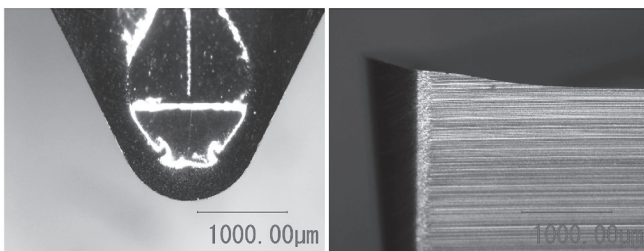


図2 ブレード形状①

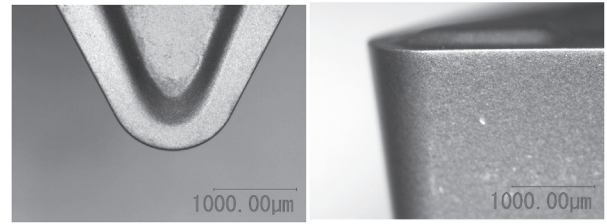


図3 ブレード形状②

それぞれの刃先形状検討項目における表面粗さ Rz の平均値を表5～8に示す。これらの結果を項目ごとにマンホイットニーの U 検定または Steel-Dwass 法を用いて有意水準  $\alpha=0.05$  で分析を行った。

分析の結果、刃先角 80°、55°、35°それぞれで有意差が認められた。ノーズ R についても R0.8 と R0.4 で有意差が認められた。また、ネガティブとポジティブについても有意差が認められた。さらに、ブレード形状についてもブレード形状①とブレード形状②で有意差が認められた。

このことから、モリブデン合金の切削に最適な刃先形状は刃先角 55°、ノーズ R0.8、ブレード形状①のポジティブインサートであることがわかった。

表5 刃先角違いによる表面粗さ測定結果

刃先角	表面粗さ Rz (平均値)
80°	5.196 $\mu\text{m}$
55°	4.453 $\mu\text{m}$
35°	7.256 $\mu\text{m}$

表6 ノーズ R 違いによる表面粗さ測定結果

ノーズ R	表面粗さ Rz (平均値)
0.8 mm	4.453 $\mu\text{m}$
0.4 mm	6.445 $\mu\text{m}$

表7 ネガティブとポジティブの違いによる表面粗さ測定結果

逃げ角	表面粗さ Rz (平均値)
ネガティブ	6.445 $\mu\text{m}$
ポジティブ	5.222 $\mu\text{m}$

表8 ブレード形状違いによる表面粗さ測定結果

逃げ角	表面粗さ Rz (平均値)
ブレード①	3.536 $\mu\text{m}$
ブレード②	7.415 $\mu\text{m}$

### 3. 3 切削加工条件の検討

切削加工条件の検討については、送り速度を 0.07 mm/rev に変更して実験を行った。使用したインサートの仕様については、これまでの実験結果から決定した。(表9参照)

表9 切削加工条件の検討で使用したインサート仕様

材種	超硬合金
刃先角	55°
ノーズ R	0.8 mm
逃げ角	ポジティブ
ブレード形状	ブレード形状①(図1参照)

切削実験の結果、送り速度を 0.07 mm/rev に変更して切削したモリブデン合金の表面粗さ Rz の平均値は 2.505  $\mu\text{m}$  となった。平均値は目標値である Rz3.2  $\mu\text{m}$  を達成したので、安定的な加工が可能であることを確認するために工程能力 Cpk の算出を行った。

の結果、Cpk=1.436 となり、今回の条件でモリブデン合金を加工する場合に、安定的な加工が可能であることが確認された。

### 4. 結言

モリブデン合金の高品位(表面粗さ Rz3.2  $\mu\text{m}$  以下)な切削加工条件についての研究に取り組み、以下の結果を得た。

- 1) 工具材種について、超硬合金、PVD、サーメット、PVD サーメットおよびセラミックにて検討・評価を行った結果、モリブデン合金の切削には超硬合金が最適であることがわかった。
- 2) 刃先形状について、刃先角、ノーズ R、逃げ角(ネガティブまたはポジティブ) およびブレード形状の検討・評価を行った結果、モリブデン合金の切削に最適な刃先形状は刃先角 80°、ノーズ R0.8、ブレード形状①のポジティブインサートであることがわかった。
- 3) 切削加工条件について、送り速度 0.1 mm/rev と 0.07 mm/rev を比較した結果、0.07 mm/rev で良好な表面粗さ値を示すことがわかった。
- 4) 上記の実験結果を踏まえて、超硬合金の刃先角 80°、ノーズ R0.8、ブレード形状①(図2参照)のポジティブインサートを使用し、切削速度 200 m/min、送り速度 0.07 mm/rev、切込み量 0.2

mm として切削実験を行い、得られたデータから目標値である表面粗さ Rz3.2  $\mu\text{m}$  に対する工程能力 Cpk を算出した。この結果、Cpk=1.436 となり、今回の条件でモリブデン合金を安定的に加工可能であることを確認した。

### 参考文献

- [1] 次世代ものづくり基盤加工技術調査、東北経済産業局, p.12, 2011.