

# ステンレス鋼およびチタン合金の切削加工特性に関する研究 －エンドミル側面切削および正面フライス切削－

## Study on Milling Characteristic of Stainless Steel and Titanium Alloy -Peripheral Milling and Face Milling-

日開野輔\*, 小川仁\*  
Tasuku Higaino, Hitoshi Ogawa

### 抄 録

エンドミル側面切削および正面フライス切削において、代表的難削材であるステンレス鋼およびチタン合金の冷却方法の違いによる工具寿命への影響の評価を行った。水溶性切削液の使用は冷却を行わない場合よりも工具寿命を悪化させることがわかった。オイルミストの使用は工具寿命の改善がみられたが、切削速度を高くするとオイルミストの効果は減少することがわかった。また、SUS410 と SUS430 の正面フライス切削においては、SUS304 よりも比較的被削性が良好であった。Ti6Al4V はエンドミル側面切削および正面フライス切削共に SUS304 よりも工具摩耗の進行が速く、被削性が悪いことがわかった。

### 1 緒言

ステンレス鋼やチタン合金は、強度、耐食性等の優れた性質を有しており、様々な分野で使用されている。しかし、熱伝導性が低く切削熱が逃げにくい、韌性が高く溶着しやすい、さらにステンレス鋼は加工硬化が生じやすい等の理由から代表的な難削材とされている。

そこで、ステンレス鋼とチタン合金のエンドミル側面切削および正面フライス切削を行い工具摩耗と表面粗さを調査し、切削条件の違いによる切削性能の比較を行った。

### 2 実験方法

#### 2・1 使用工具、被削材、使用機器

エンドミルは4枚刃φ8mmのTiAlNコーテッド超硬（日立ツール社製）を用いた。

正面フライス切削ではカット直径：80mm，アキシヤルレーキ：+22°，ラジアルレーキ：-11°，真のすくい角：+23°，コーナー角：45°のカッタ（サンドビック社製）を用いた。正面フライス用チップはTiNコーテッド超硬M20種（サンドビック社製）を用いた。

また、以下の機器を使用し実験を行った。  
加工機：マシニングセンタ（オークマ MD-45VA）

工具摩耗測定：マイクロスコープ（キーエンス VH-7000）

表面粗さ測定：ハンディサーフ（東京精密 E-10A）

#### 2・2 切削条件

切削条件は表1～3の通りとした。

表1 エンドミルの切削条件

| 被削材           | SUS304                                          | Ti6Al4V   |
|---------------|-------------------------------------------------|-----------|
| 寸法 mm         | 60×60×100                                       | 50×50×100 |
| 切削速度 m/min    | 75.4                                            |           |
| 送り速度 mm/tooth | 0.08                                            |           |
| 径方向切り込み mm    | 0.5                                             |           |
| 軸方向切り込み mm    | 10.0                                            |           |
| 切削方向          | ダウンカット                                          |           |
| 切削油剤          | 冷却無し，水溶性切削液，<br>エアブロー，オイルミスト<br>Ti6Al4V：エアブローのみ |           |

表2 正面フライスの切削条件（ステンレス鋼）

| 被削材           | SUS304                                  | SUS410<br>SUS430 |
|---------------|-----------------------------------------|------------------|
| 寸法 mm         | 60×60×100                               | 60×30×100        |
| 切削速度 m/min    | 100,150,185                             | 500              |
| 送り速度 mm/tooth | 0.15                                    | 0.3              |
| 切り込み mm       | 0.5                                     |                  |
| 切削方向          | センタカット                                  |                  |
| 切削油剤          | 冷却無し，水溶性切削液，<br>オイルミスト<br>SUS430：冷却無しのみ |                  |

#### 2・3 評価方法

エンドミル側面切削および正面フライス切削共に、

数パス毎にマイクロスコープを用いて工具逃げ面摩耗の評価を行った。ハンディサーフを用いて切削面の表面粗さを評価した。また、工具の寿命判定基準は、逃げ面摩耗幅 0.2mm もしくはチッピングが発生するまでとした。

表3 正面フライスの切削条件（チタン合金）

|               |                                       |      |
|---------------|---------------------------------------|------|
| 被削材           | Ti6Al4V                               | 純チタン |
| 寸法 mm         | 50×50×100                             |      |
| 切削速度 m/min    | 50,100,150                            | 200  |
| 送り速度 mm/tooth | 0.1                                   |      |
| 切り込み mm       | 0.5                                   |      |
| 切削方向          | センタカット                                |      |
| 切削油剤          | 冷却無し，水溶性切削液，<br>オイルミスト<br>純チタン：冷却無しのみ |      |

### 3 実験結果

#### 3・1 エンドミル側面切削

図1に工具摩耗進行曲線を示す。SUS304において冷却無しの場合にはそれ以外の冷却条件より逃げ面摩耗が大きくなっており、9m 切削時点でチッピングが発生した。冷却無し以外の条件では、工具の摩耗は安定して推移しており、明確な差異は見られない。また、Ti6Al4VはSUS304に比べ、工具の摩耗が若干大きい安定して推移しており、SUS304よりも難削材であると言える。

図2に加工終了後の算術平均粗さ Ra, 最大高さ粗さ Rz を示す。SUS304において、水溶性切削液を用いた場合 Ra, Rzともに大きくなっている。これは切削油剤の使用による冷却効果で熱応力が高まり工具に熱クラックが発生したためと考えられる。

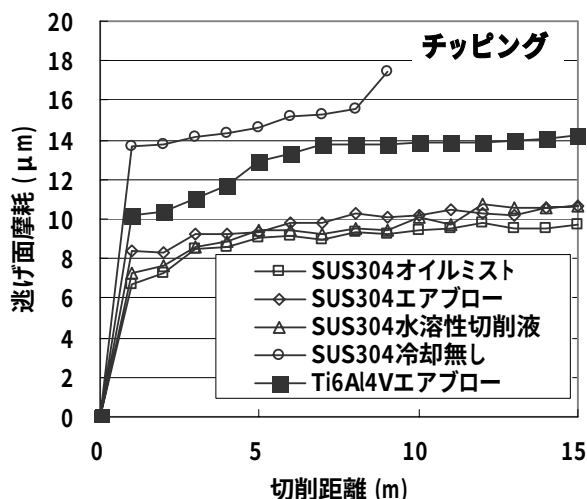


図1 工具摩耗進行曲線

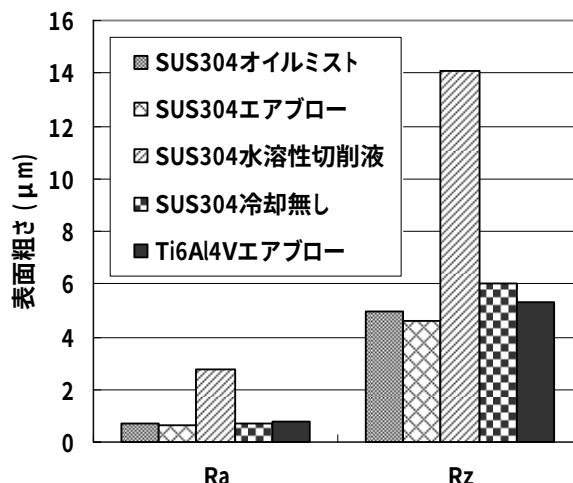


図2 冷却方法の表面粗さへの影響

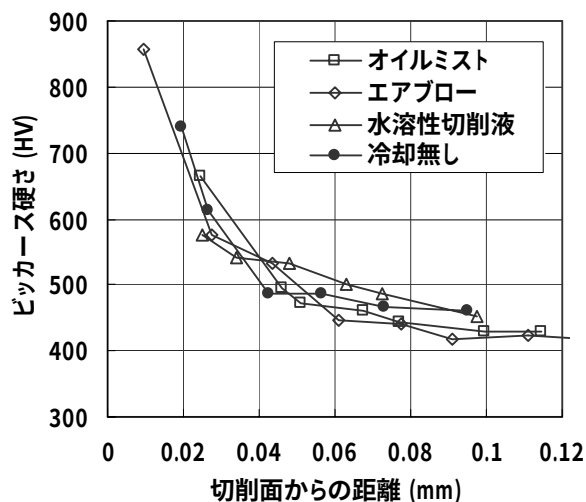


図3 加工硬化層（SUS304）

それ以外の条件での表面粗さに明確な差はみられない。

図3に切削面からの距離に対する被削材のビッカース硬さの関係を示す。切削面からの距離が大きくなるとともにビッカース硬さは小さくなり、0.1mm 付近以降は安定して推移している。このことから加工硬化層は約 0.1mm と考えられ、エンドミル加工をする際の切り込みは 0.1mm 以上にすることが望ましい。

#### 3・2 正面フライス切削

##### 3・2・1 SUS304

切削速度 100m/min において冷却方法の違いによる影響を調査した。冷却方法としては、冷却無し、水溶性切削液、オイルミストの三種類の比較を行った。図4に工具摩耗進行曲線、図5に表面粗さを示す。冷却無しでは、実切削距離 1900m でチッピング

が発生し工具寿命に達したのに対して、水溶性切削液を使用した場合は、実切削距離 362m で工具寿命に達した。水溶性切削液を使用することで、冷却性が向上したため、熱衝撃による熱クラックが発生したためと考えられる。また、オイルミストを使用した場合は、冷却無しよりもさらに実切削距離が伸び 2714m となった。この原因として、オイルミストは、水溶性切削液を使用した場合よりも冷却性が低いことと、オイルによる切削抵抗の低減によるものと考えられる。

表面粗さは、水溶性切削液を用いた場合は、冷却無し加工の場合よりも低い値を示す。また、オイルミストを用いた場合は実切削距離 905m までは冷却無しより高い値を示すが、それ以降は冷却無し加工時とほぼ同じ値で安定して推移する。

図 6 に切削速度ごとのオイルミストの効果を示す。切削速度が高くなるとともに工具寿命が短くなっている。また、各切削速度のオイルミストの効果は切

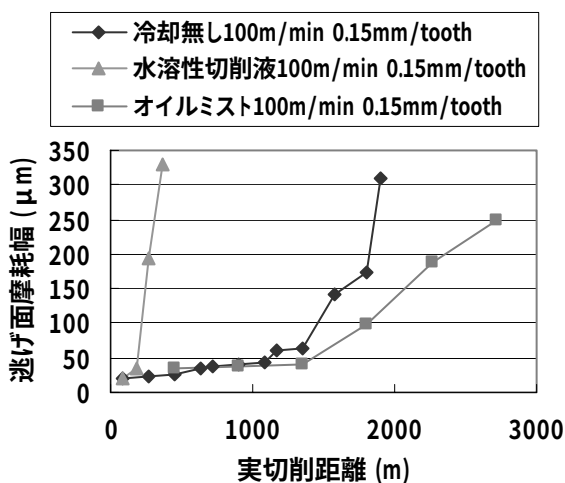


図 4 冷却方法の工具寿命への影響 (SUS304)

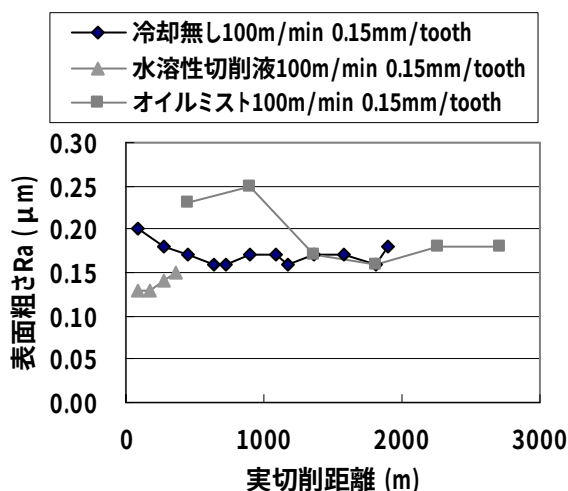


図 5 冷却方法の表面粗さへの影響 (SUS304)

削速度が上がるとともに小さくなっており、切削速度 185m/min ではオイルミストによる効果はほとんどない。

### 3・2・2 SUS410 および SUS430

図 7 に SUS410 と SUS430 の工具摩耗進行曲線を示す。SUS430 は SUS410 に比べ工具摩耗の進行が遅い。切り込みは 0.5mm と各条件とも同じであるが、送りが 0.3mm/tooth、切削速度も 500m/min と高速であり、比較的被削性が良い。

### 3・2・3 Ti6Al4V および純チタン

Ti6Al4V と純チタンの工具摩耗進行曲線を図 8 に、表面粗さを図 9 に示す。Ti6Al4V においては、切削速度が上がると急激に工具寿命が短くなり、切削速度を 100m/min 以下にすることが望ましい。また、Ti6Al4V における加工面の表面粗さは切削速度およ

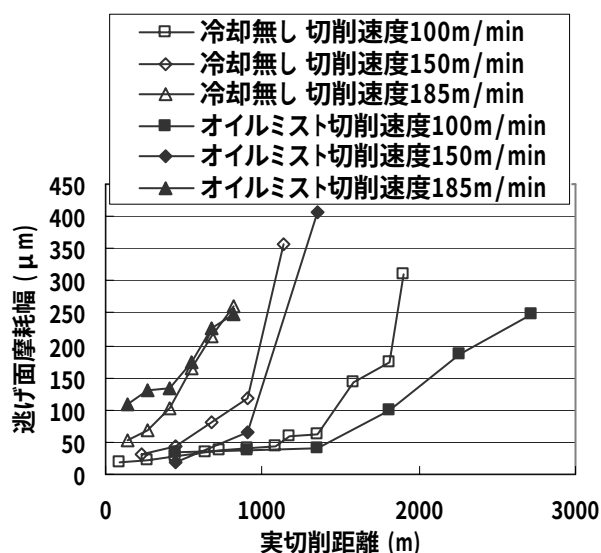


図 6 オイルミストの効果 (SUS304)

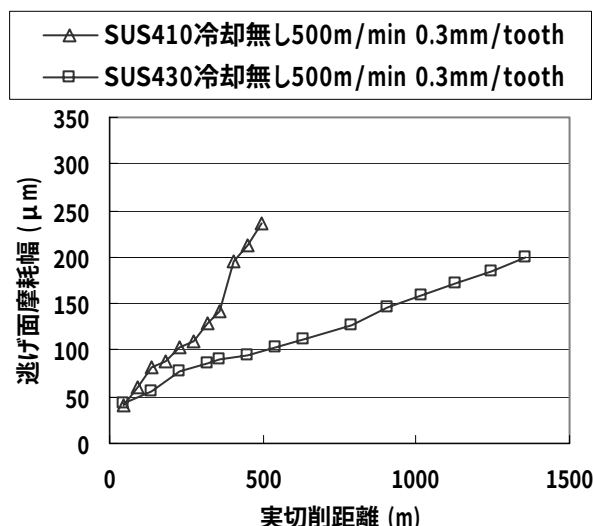


図 7 SUS410 と SUS430 の被削性の違い

び工具寿命に関係なく推移していることがわかる。純チタンは Ti6Al4V に比べると切削速度が 200m/min と高いが、工具摩耗の進行が遅く、被削性は良好であった。純チタンの表面粗さは、Ti6Al4V に比べ大きい。

切削速度 100m/min において冷却方法による影響を調査した。冷却方法としては、冷却無し、水溶性切削液、オイルミストの三種類の比較を行った。図 10 に工具摩耗進行曲線、図 11 に表面粗さを示す。冷却無しでは、実切削距離 1080m でチッピングが発生し工具寿命に達したのに対して、水溶性切削液を使用した場合は、実切削距離 108m で工具寿命に達した。水溶性切削液を使用することで、冷却性が向上したため、熱衝撃による熱クラックが発生したためと考えられる。オイルミストを用いた場合は、冷

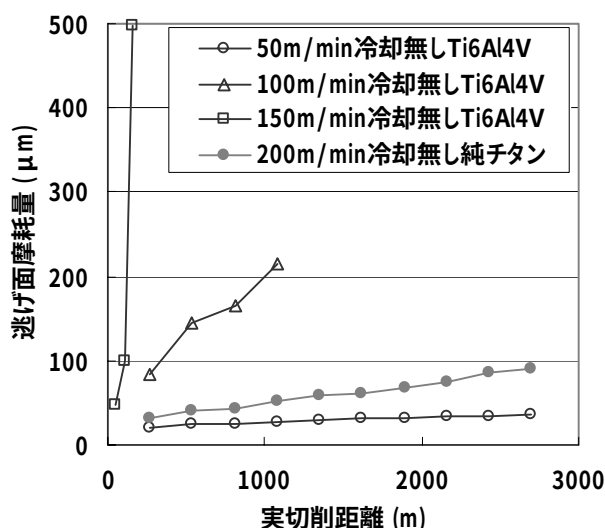


図 8 切削速度の工具寿命への影響 (チタン合金)

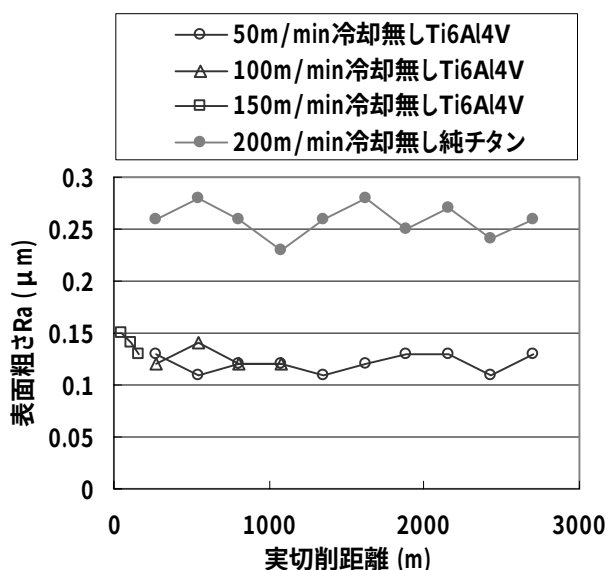


図 9 切削速度の表面粗さへの影響 (チタン合金)

却無しに比べ切削距離が延び、実切削距離 2430m で工具寿命に達した。これは、オイルミストは水溶性切削液よりも冷却性が低く潤滑性が高いことが理由と考えられる。また、表面粗さは冷却無しと水溶性切削液を用いた場合とでは、ほぼ同じであり、オイルミストを用いた場合はそれらよりも若干高い値となった。

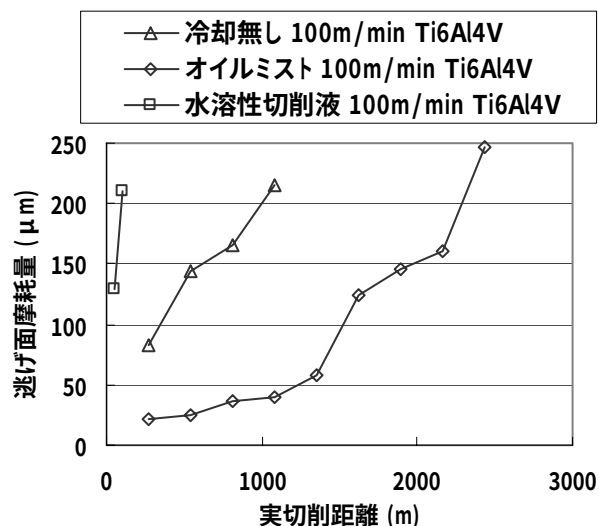


図 10 冷却方法の工具寿命への影響 (チタン合金)

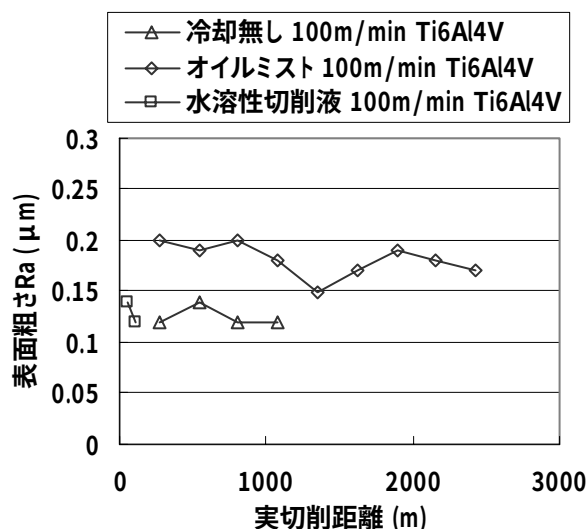


図 11 冷却方法の表面粗さへの影響 (チタン合金)

#### 4 まとめ

エンドミル側面切削において

- 1) SUS304 におけるエアブローによる切削は切削油剤を使用した場合と同等の加工が可能である。
- 2) Ti6Al4V は SUS304 より被削性が悪い。

- 3) SUS304の加工硬化層は約0.1mm存在すると考えられ、切り込みは0.1mm以上にすることが望ましい。

正面フライス切削において

- 1) SUS304 と Ti6Al4V のいずれの場合でもオイルミストの使用により工具寿命を延ばすことができるが、切削速度が上がるとその効果は小さくなる。
- 2) SUS304 と Ti6Al4V のいずれの場合でも水溶性切削液を使用すると工具寿命が短くなる。
- 3) 被削性は以下の順に良好である。  
SUS430 > SUS410 >> SUS304  
純チタン > Ti6Al4V

#### 参考文献

- 1) (社)日本チタン協会編：「チタンの加工技術」，日刊工業新聞社，pp20-26, pp39-45(1998-1)
- 2) 狩野勝吉：「難削材・新素材の切削加工ハンドブック」，工業調査会，pp205-211，pp220-226(2002-7)
- 3) 「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，pp28-39, pp73-75，(2002-2)