

# 非鉄金属材料の切削性評価に関する研究 (第2報)

米山 陽・高尾 清利・堀込 昭彦\*1

## Study on Machinability of Non-Ferrous Metals (2nd Report)

Akira YONEYAMA, Kiyotoshi TAKAO and Teruhiko HORIGOME\*1

### 要 約

平成 19 年度は鉛レス黄銅合金材料の切削性について研究を行い、切削性の改善を図った。そこで本年度は、同じく難切削性を有し切削加工現場において課題となっているチタン合金材料 (Ti-6Al-4V) を対象として、トラブルが生じやすいタップ加工の切削性について研究を実施した。まずタップ加工特性についてマシニングセンタによる切削性評価を実施し、基礎的データの蓄積を行った。次に得られたデータを基に切削性を改善するため、ツーリング、切削工具および加工条件について検討を行った。さらに、超音波ねじり振動を援用したタップ加工方法についても検討を行った結果、切削抵抗が低減されることがわかった。

### 1. 緒 言

近年、材料の高機能化、環境対策への課題等から様々な材料が開発され、新材料として多く出現している。それらは、材料特性を向上させているが難切削性を有する場合が多い。例えば、医療分野などを中心に需要が増えてきているチタン合金材料も、難切削性を有する非鉄金属材料の一つである。これらの難削性を有する材料は、加工現場において切削工具の早期摩耗や切削抵抗の増大などの課題を残しており、切削性の改善が望まれている。本研究では、これらの難削性を有する非鉄金属材料の切削性を改善し生産性の向上を図るため、平成 19 年度は鉛レス黄銅合金材料を対象として切削性の評価を行い、基礎的データの蓄積および切削性の改善を図った。そこで本年度は、チタン合金材料 (Ti-6Al-4V) を対象とし、特に加工現場においてトラブルが生じ易いタップ加工の切削性について、基礎的データの蓄積および切削性の改善を図った。

### 2. タップ加工方法についての検討

本研究では、一般的なネジ切り加工に用いられる、タップを工作機械に取付けて機械加工を行う場合を想定し、実験にはマシニングセンタを使用した。マシニングセンタにおける主なネジ切り加工方法としては、タップ保持具にタッパーを用い工具回転軸と工具送り軸の誤差を吸収させる方法 (タッパー加工) と、タッパーを用いず工作機械のリジットタップ機能により工具回転軸と工具送り軸を同期させる方法 (リジットタップ加工) の 2 種類

が挙げられる。そこで、これらの代表的な加工方法におけるタッピング特性について調査を行った。

#### 2-1 実験方法

##### 2-1-1 被削材および切削工具

ネジ切り加工方法の違いによるタッピング特性を明確にするため、被削材は快削性に優れた快削黄銅合金 C3604 を使用した。また、実験に用いたタップは、高速度工具鋼製であるピッチ 1.0mm の M6 スパイラルタップを使用した。

##### 2-1-2 タップホルダ

タップの把持具には、タッパー加工時に軸方向の伸縮機能およびトルクリミッタ機能を有するタッパー、リジットタップ加工時に伸縮機能を有しないコレットホルダの 2 種類を使用した。

##### 2-1-3 加工条件

切削加工条件を表 1 に示す。使用した加工機は、3 軸立て型マシニングセンタ (三井精機工業 VU50A) である。実験は、どちらのタップホルダにおいてもリジットタップ機能を使用し、主軸回転と Z 軸送りが同期する状態において加工を行った。

表 1 切削条件

切削速度 Vc	10m/min
下穴径	5.4mm
タップ加工深さ	20mm (通り穴)
切削油	ドライ

\*1 株式会社キッツ

### 2-1-4 切削抵抗の測定

タップ加工中の切削抵抗（切削トルクおよびスラスト力）は、圧電型 4 成分動力計（キスラー製、9272）を用いて測定を行った。動力計は加工機のテーブル上に固定し、動力計上にスクロールチャックを取付け、スクロールチャックにて被削材を把持した。

### 2-2 結果および考察

図 1 に、タッパー加工およびリジットタップ加工における切削抵抗を示す。切削トルクはタップが食付き後から加工終了深さまでほぼ一定の値を示し、いずれの加工方法においてもその値はおよそ 50N であった。スラスト力は、タッパー加工では数 N 程度の非常に低い値を示したが、リジットタップ加工では加工初期から-Z 方向への押し付け力が増加し、穴底での逆回転前後において瞬間的に最大値を示し、その値は 340N 程度であった。

加工方法の違いにより、スラスト力のみ相違が見られた理由として、タッパー内部の伸縮機構が要因の一つとして考えられる。実験に使用したタッパーは軸方向に伸縮機構を有するためスラスト力が伸縮機構にて吸収され、非削材に対しては伸縮機構のばね定数以下のスラスト力しか発生しなかったためと考えられる。一方、リジットタップ加工はタップホルダに伸縮機構が存在しないため、同期誤差が生じる場合にはスラスト力が発生するものと考えられる。

そこで、リジットタップ加工中の同期誤差について、主軸モータと軸送りサーボモータの実回転から出力されるパルス信号より得られる同期誤差パルス量を確認した。その結果、実験に使用したマシニングセンタでは、タップ加工時において 100~200 パルス程度の誤差量が検出され、ピッチ 1.0mm のタップ加工時の軸送り量に換算すると、24~49 $\mu$ m に相当する量であることがわかった。

## 3. チタン合金へのタップ加工について

### 3-1 実験方法

#### 3-1-1 被削材および切削工具

被削材としてチタン合金 Ti-6Al-4V および比較対象として機械構造用炭素鋼 S45C を使用した。また使用したタップは、工具材質に高速度工具鋼を用いたピッチ 1.0mm の M6 スパイラルタップを使用し、コレットホルダによる把持を行った。

#### 3-1-2 加工条件

切削加工条件を表 2 に示す。加工は、リジットタップ機能を使用し、主軸回転と Z 軸送りが同期する状態で行い、タップ加工底部において 1.0sec のドゥエル時間を

設けた後に主軸の逆転を行い、タップの抜き取り動作を行った。

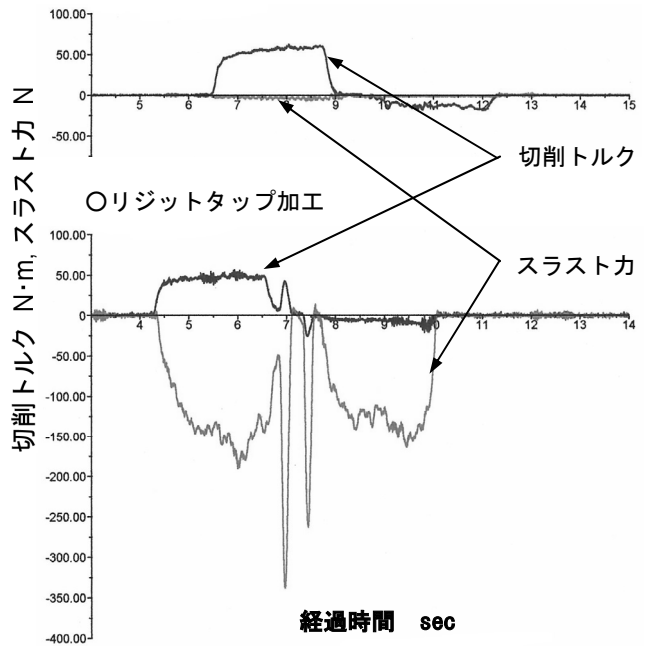


図 1 加工方法による切削抵抗の違い

表 2 切削条件

切削速度 Vc	5.0m/min
タップ加工深さ	10mm
切削油	鈹物油

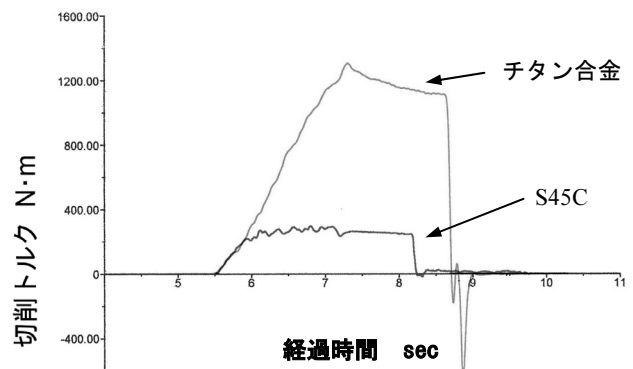


図 2 S45C とチタン合金における切削トルクの比較

### 3-2 結果および考察

図 2 に、チタン合金と S45C のタップ加工時における切削トルクについて示す。S45C の切削トルクは食付き直後は上昇し、その後は 250N 程度のほぼ一定値を示した。一方チタン合金は、切削トルクが加工深さと共に増大する傾向を示し、最大で 1300N 程度の値を示した。また、チタン合金のタップ加工時は、主軸逆転時にタップが折損した。

タップ加工時の切削量は、加工初期はタップ食付き部

において切削が行われるため切削量は 0 から増加し、完全ねじ部まで達した後は一定となる。そのため切削トルクも同様な傾向を示すことが予想される。しかし、チタン合金においては、切削トルクは一定値を示さず直線的に増加し続ける傾向を示している。これは、チタン合金の材料特性が高温下において化学的に活性であることから壁面との摩擦力が増加したためと推察される<sup>1)</sup>。

#### 4. 切削抵抗の低減化について

これまでの実験において、チタン合金へのタップ加工時における切削トルクは、S45C に対して最大で 5 倍程度高い値を示した。よって、このような過大な切削トルクは安定した連続加工を阻害する要因と考えられる。安定した連続加工を実現するためには、タップの折損強度等を考慮すると M6 のタップ加工の場合では最大でも切削トルクが 10N・m 以下程度であることが望ましいと考えられる<sup>2)</sup>。そこで、切削抵抗の低減化を目的としてひっかかり率および刃形形状について検討を行った。

##### 4-1 ひっかかり率について

ひっかかり率とは JIS B0101 において「基準のひっかかり高さに対する実体のひっかかり高さの百分率」と示されており、メートルねじの場合では次の式にて求めることができる。

$$\text{ひっかかり率} = \frac{(\text{おねじ外径}) - (\text{めねじ内径})}{2 \times (\text{基準のひっかかりの高さ})} \times 100 (\%)$$

よって下穴径を大きくした場合は、ひっかかり率は低くなることとなる。

そこで、M6 のタップ加工時の下穴径を 5.4~5.0mm まで 0.1mm 飛びに設定し、ひっかかり率と切削トルクとの関係について測定を行った。加工条件は表 3 に示すとおりである。

表 3 加工条件

被削材料	Ti-6AL-4V
タップ	M6×1 HSS スパイラルタップ
下穴径	5.4, 5.3, 5.2, 5.1, 5.0mm
切削速度 Vc	5.0m/min
タップ加工深さ	10mm
切削油	鋳物油

ひっかかり率と切削トルクの最大値との関係を図 3 に示す。ひっかかり率を低くすることにより最大切削トルクは低くなる傾向を示し、ひっかかり率 92%においておよそ 15N・m であった切削トルクは、ひっかかり率 55%ではおよそ 8N・m まで減少した。しかし、ねじ等級 3 級

以上を満足するためにはひっかかり率が 75%以上であることが必要である。よって、下穴径を大きくしひっかかり率を下げることにより切削トルクを減少させることは可能であるが、ねじ等級を同時に満足させることは難しい。

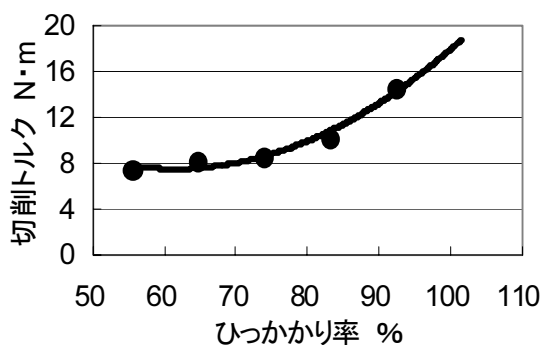


図 3 ひっかかり率と切削トルク

##### 4-2 切れ刃形状についての検討

ひっかかり率の変更はねじ等級との関係があるため大きく減少させることは難しい。そこで切削トルクが少なくなる切れ刃形状について検討を行った。切削トルクの大幅な増加が壁面との摩擦によるものと仮定した場合、円周方向に逃げが付けられているタップは摩擦減少が期待できるものと考えられる。そこで、円周方向へのねじ山の逃げがない通常のタップ（ノーリーフタップ）と円周方向にねじ山の逃げが設けられているタップ（エキセントリックリーフタップ）について比較を行った。図 4 にタップ断面方向からみた場合の切れ刃形状について模式図を示す。

図 5 に切れ刃形状による切削トルクの違いについて示す。いずれのひっかかり率においてもエキセントリックリーフタップの切削トルクは、ノーリーフタップの 1/3 以下程度の低い切削トルクを示した。これは、エキセントリックリーフタップに設けられている円周方向の逃げが影響しているためと推測される。図 6 は、チタン合金に対してエキセントリックリーフタップを用いて、タッパーを使用した場合とコレットホルダを使用した場合のねじ加工面を拡大観察したものである。リジットタップによる加工面はスムーズであるがタッパーによる加工面はリジットタップによる加工面より荒れた面となっている。これは、エキセントリックリーフタップは加工時の自己案内性がノーリーフタップより劣るため、タッパー使用時は加工軸方向のコンプライアンスが加工面に悪影響を及ぼしているものと推測される。

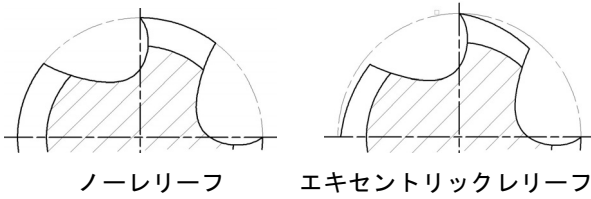


図4 切れ刃形状模式図

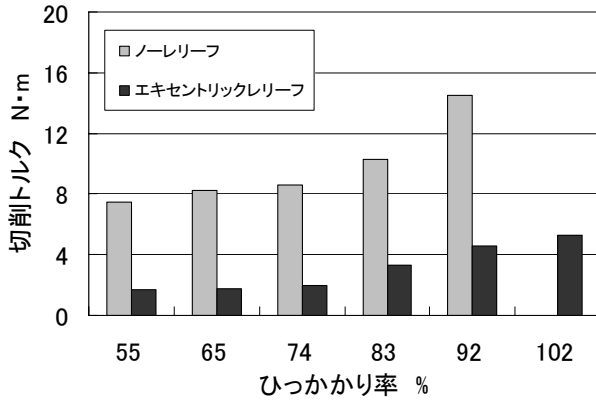


図5 切れ刃形状の違いによる切削トルク

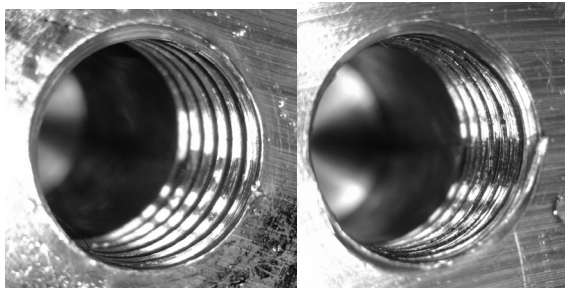


図6 加工方法による加工面状態の違い

## 5. 超音波振動を援用したタップ加工

これまでに難削材の切削時に超音波振動を援用することによりドリル加工時の切削トルク等の低減化が可能とされる研究結果が報告がされている<sup>3)</sup>。そこで、タップ加工時においても同様に超音波振動を援用することにより切削抵抗の低減化が可能であるか検討を行った。

### 5-1 実験方法

実験は、縦型 3 軸マシニングセンタの主軸に超音波振動切削装置（富士工業 FUM-1）を取付けて行った。超音波振動切削装置は、工具先端に周波数 27kHz、振幅 10~20 $\mu$ m のねじり振動を主軸回転に付加することが可能な装置である。図 7 に装置外観および加工機に取付けた状態を示す。タップは、M4×0.7 のサイズである HSS 材種のポイントタップを使用し、表 4 に示す加工条件にて行った。

### 5-2 結果および考察

超音波を付加した場合と付加しない場合の切削抵抗について図 8 に示す。切削トルクは、超音波付加の有無に係わらず大きな差はなく、およそ 400N・m を示した。一方、スラスト力は超音波を付加した場合と付加しない場合を比較すると 50N 程度減少した。

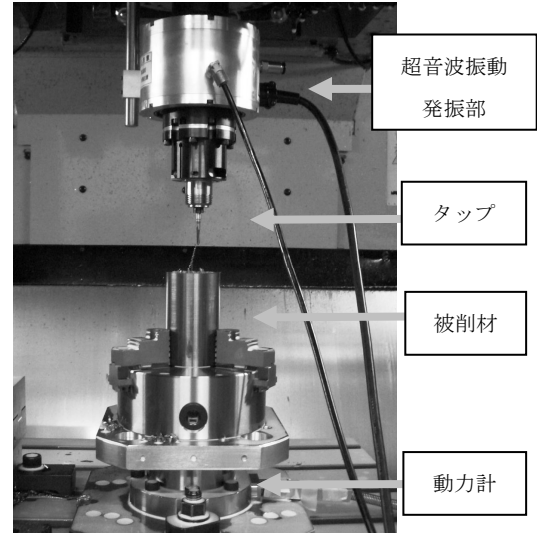


図7 超音波振動切削装置

表3 加工条件

被削材料	Ti-6AL-4V
タップ	M4×0.7 HSS ポイントタップ
下穴径	3.3mm
切削速度 Vc	2.5m/min
タップ加工深さ	6mm
切削油	鉍物油

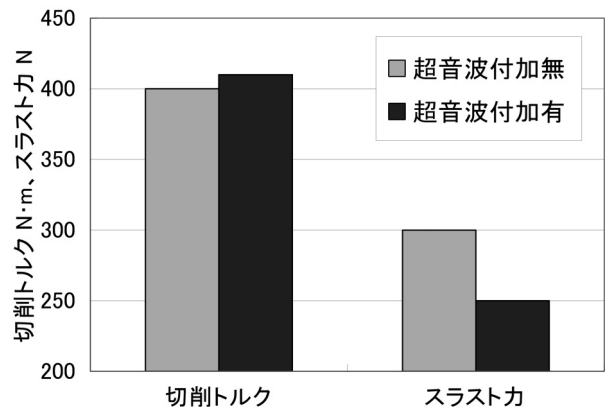


図8 超音波付加の有無による切削抵抗の比較

## 6. 結 言

マシニングセンタによる切削性評価を実施し、基礎的データの蓄積を行った。次に得られたデータを基に切削性を改善するため、ツーリングおよび切削工具、加工条

件について検討を行った。更に、切削抵抗の低減化を目的として、超音波ねじり振動を援用したタップ加工方法についても検討を行い、以下の結果を得た。

- (1) タップ加工時における切削抵抗について、切削動力計による測定を行った結果、チタン合金材料のタップ加工時の切削トルクは、S45C より 5 倍程度高い値を示した。
- (2) エキセントリックレリーフタップの適用について検討を行った結果、ノーレリーフタップと比較して切削トルクは 8 割程度低い値を示した。
- (3) 超音波ねじり振動を援用したタップ加工について検討を行った結果、切削トルクは差が認められないが、タップ加工時のスラスト力は使用しない場合と比較して 2 割程度低下した。

#### 参考文献

- 1) 松井昭彦 他：高比強度チタン合金のトライボロジー特性，三菱重工技報，Vol,31，No.2，P. 138 (1994)
- 2) 切削油技術研究会編：D.R.T.マニュアル，P.280 (1966)
- 3) 西村通喜，藤原和徳，米山陽：高精度加工技術に関する研究（第 2 報），山梨県工業技術センター研究報告，平成 15 年度 第 18 号，P.110-112 (2004)