

# 非鉄金属材料の切削性評価に関する研究

米山 陽・佐野 正明・堀込 昭彦<sup>\*1</sup>

## Study on Machinability of Non-Ferrous Metals

Akira YONEYAMA, Masaaki SANÔ and Teruhiko HORIGOME<sup>\*1</sup>

### 要 約

近年、需要が高まってきている鉛レス銅合金を対象として、加工時の切削抵抗および加工面の表面粗さ、残留応力について測定し、鉛を含有した従来材料との比較を行い切削性の基礎的データを蓄積した。また、鉛レス化により増加する切削抵抗について、すくい角のコントロールによる低減化についても検討を行った。その結果、すくい角が正の状態において切削した面は、表面粗さの向上、切削抵抗および残留応力が低減されることが確認できた。

### 1. 緒 言

近年、材料の高機能化、環境対策への問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、微量元素の添加により、材料特性を向上させているが、難切削性を有する場合はほとんどである。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、難切削性を有する材料の一つである。また、環境問題の対策については、材料に含まれる有害物質の削減への取り組みが行われてきており、特に水道のバルブや継手等に用いられている銅合金は、水道水中の鉛許容値が定められたことから、鉛成分を置換した新材料が開発され、鉛レス銅合金へと代替が進んでいる。しかし、快削成分が制限された材料は切削性が劣り、切削工具の早期摩耗や切削抵抗の増大などの問題が生じている。そのため、切削性改善を実現するために、加工面の健全性（サーフェスインティグリティ）の調査は非常に重要である。

そこで本年度は、一般的な銅合金材料の中から鉛レス黄銅合金を対象として、加工時の切削抵抗および加工面の表面粗さ、残留応力について測定し、鉛を含有した従来材料との比較を行い切削性の基礎的データを蓄積した。また、鉛レス化により増加する切削抵抗について、すくい角のコントロールによる低減化についても検討を行った。

### 2. 実験方法

#### 2-1 非削材料

被削材は、鉛を含有した快削黄銅合金C3604（以下、鉛含有黄銅）とPbの代替成分としてBiを添加した黄銅

合金（以下、鉛レス黄銅）の2種類の丸棒材とし、事前にφ32mmの素材からφ31mmに旋削加工したものを実験に用いた。

#### 2-2 切削工具及び加工条件

切削工具は市販のスローアウェイ式バイトを用い、工具材種は超硬合金K10とした。ノーズRは0.4mmとし、横切れ刃角を $-5^\circ$ 、前切れ刃角は $+5^\circ$ とした。また、すくい角と切削性との関係を検討するため、すくい角 $\alpha$ が負、0、正である3種類の切削工具を使用した。すくい角 $\alpha$ は、バイトシャンクを加工することにより加工機への取り付け角度を変更し、すくい角 $\alpha = -4.2^\circ, 0^\circ, +3.5^\circ$ において実験を行った。

加工は、NC旋盤を用いて丸棒材の長手方向への旋削加工を行った。切削条件は、切削速度140m/min、送り速度0.2mm/rev、切込み量3.0mmとし、切削液等は用いずドライにて行った。

#### 2-3 切削抵抗測定

加工中の切削抵抗の測定は、圧電型二成分動力計（キスラー製、9172B）にて行った。動力計は既存の刃物台を取り外した箇所を治具を作製して取り付け、取付けた動力計上面に切削工具を固定し、実験を行った。

#### 2-4 表面粗さ測定

切削加工面の表面粗さ測定は、触針式の表面粗さ輪郭形状測定機（㈱小坂研究所製 DSF1000）を用いて行った。測定方向は、工具送りと同一方向である棒材軸方向とした。

\*1 株式会社キッツ

## 2-5 残留応力測定

切削加工面における残留応力の測定は、微小部X線応力測定装置(縞リガク製AUTOMate)を使用し、並傾法により行った。表1にX線応力測定条件を示す。残留応力の測定方向は、工具送り方向である材料長手方向(軸方向)と、工具送り方向に対して直交した材料円周方向(円周方向)の2方向から測定を行った。また、加工表面から材料内部方向への残留応力分布は、電解研磨を用いて微量除去し、X線応力測定を行うサイクルを繰り返すことにより測定した。

表1 X線応力測定条件

回折面	$\alpha$ Cu (400)
ターゲットフィルタ	Co-Fe
管電圧	40kV
フィラメント電流	30mA
測定手法	$\psi_0$ 一定 並傾法
応力定数	-153MPa/deg.

## 3. 結果および考察

### 3-1 切削抵抗について

図1に切削抵抗測定結果を示す。鉛含有黄銅における主分力の値は、すくい角 $\alpha$ の影響を受けず450N程度を示し、ほぼ一定であった。一方、鉛レス黄銅における主分力の値は、すくい角 $\alpha$ が正方向に移行するにつれて低くなる傾向を示し、すくい角 $\alpha = -4.2^\circ$ において600N程度、すくい角 $\alpha = +3.5^\circ$ において550N程度の値を示し、10%程度の減少が見られた。

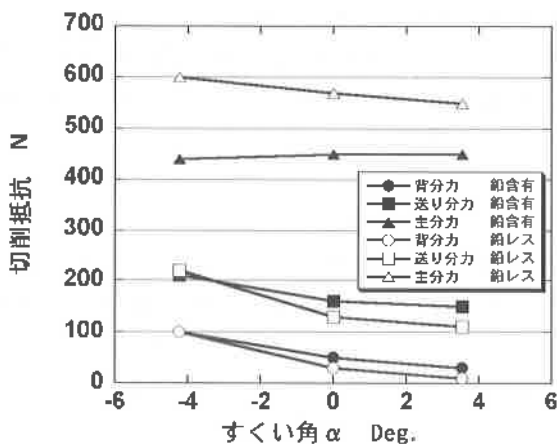


図1 切削抵抗測定結果

### 3-2 表面粗さについて

図2に切削加工面の表面粗さとすくい角 $\alpha$ の関係を示す。算術平均粗さRaの値は、鉛含有黄銅および鉛レス黄銅共に、すくい角 $\alpha$ の影響を受けず $2.5 \mu\text{mRa}$ を示し、ほぼ一定であった。

最大高さRzの値は、鉛レス黄銅の切削加工面は、すくい角 $\alpha$ を正方向に移行させると低くなる傾向を示したが、鉛含有黄銅は、すくい角 $\alpha = +3.5^\circ$ において増大し、その値は $14.9 \mu\text{mRz}$ であった。また、最大高さRzが最も低い値を示したのは、鉛レス黄銅をすくい角 $\alpha = +3.5^\circ$ で切削した面で、その値は $8.3 \mu\text{mRz}$ であった。

図3は、鉛含有黄銅と鉛レス黄銅の粗さ曲線を示したものである。鉛レス黄銅の粗さ曲線は刃先ノーズRが正しく転写された形状となっているが、鉛含有合金は鉛レス黄銅と比較すると乱れた形状を示している。一般的に、刃先ノーズRが正しく転写されない場合は、切れ刃稜が傷んでいる可能性や刃先に溶着物が生じている可能

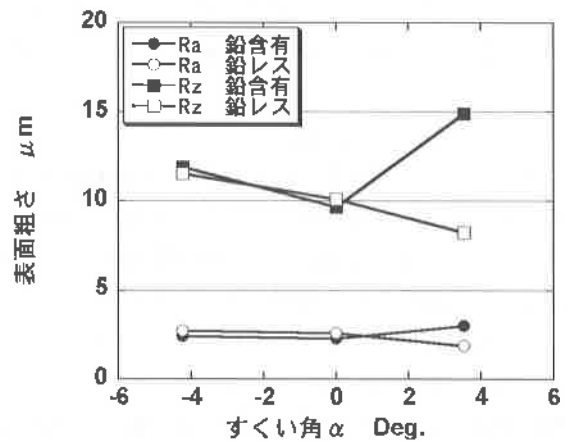


図2 表面粗さ測定結果

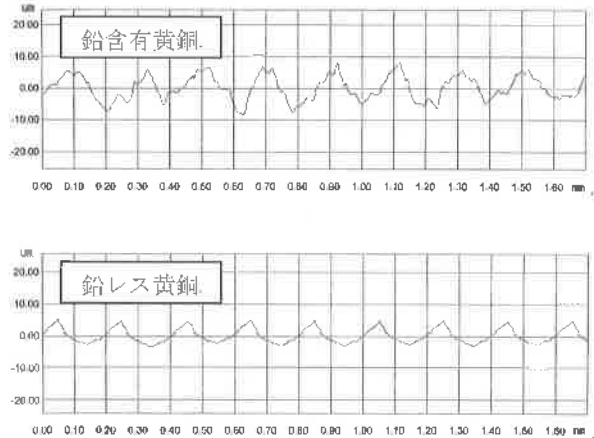


図3 粗さ曲線の比較(すくい角 $\alpha = +3.5^\circ$ )

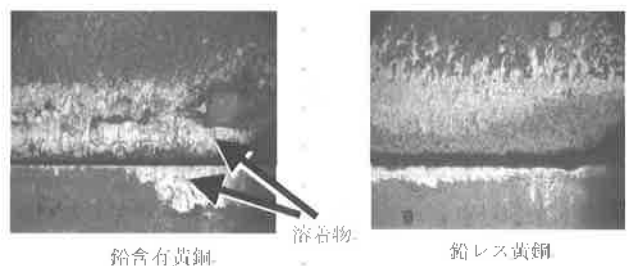


図4 切削後刃先の観察結果

性等が考えられる<sup>1)</sup>。そこで、切削後の刃先を光学顕微鏡により拡大観察を行った。その結果、図4に示すように切れ刃の損傷は見られなかったが、鉛含有黄銅を切削した刃先に溶着物が認められた。一方、鉛レス黄銅を切削した刃先への溶着物はほとんど見られなかった。このことから溶着物の付着が、鉛含有合金の表面粗さを悪化させているものと推察される。

### 3-3 残留応力について

図5に、切削後の最表面における残留応力とすくい角 $\alpha$ との関係を示す。その結果、鉛含有黄銅および鉛レス黄銅共に切削後の表面は全体的に圧縮の残留応力を示した。また、最も高い残留応力値を示したのは、すくい角 $\alpha = -4.2$ による切削加工面を軸方向に測定した時で、鉛含有黄銅において $-330\text{MPa}$ であった。更に、両者共にすくい角 $\alpha$ が負から正方向に移行すると、残留応力が全般的に減少する傾向を示し、鉛レス黄銅では、すくい角 $\alpha = +3.5$ による切削面の軸方向における残留応力の値が、すくい角 $\alpha = -4.2$ の場合と比較すると25%程度減少した。

図6、7に、加工表面から内部方向への残留応力分布について示す。残留応力の存在領域の深さは、鉛含有黄銅および鉛レス黄銅ともに、表面からおよそ $100\mu\text{m}$ 程度であった。また、残留応力の深さ方向分布形態は両者で異なる挙動を示し、軸方向の残留応力を比較した場合、鉛含有黄銅では、表面からおよそ $20\mu\text{m}$ の深さまで圧縮の残留応力が減少し、その後圧縮の残留応力が増加に転じた後に再び減少する傾向を示した。一方、鉛レス黄銅は、表面からおよそ $30\mu\text{m}$ の深さまで圧縮の残留応力が増大した後に減少する傾向を示し、その極値において $-370\text{MPa}$ 程度であった。

深さ方向の残留応力は、すくい角 $\alpha = +3.5$ による切削加工面とすくい角 $\alpha = -4.2$ の場合を比較すると、すくい角 $\alpha = +3.5$ では、鉛含有黄銅において $100\text{MPa}$ 程度、鉛レス黄銅については若干ではあるが全体的に減少することが確認できた。これは、すくい角 $\alpha$ を正方向に移行するにつれて背分力の値が減少していることから、刃先が被削材に押し付けられる力が低下したことによりパニシ効果が軽減され、残留応力が減少したものと推察される<sup>2)</sup>。

## 5. 結 言

本研究では、鉛レス銅合金を対象として、加工時の切削抵抗および加工面の表面粗さ、残留応力について測定し、鉛を含有した従来材料との比較を行い切削性の基礎的データを蓄積した。また、鉛レス化により増加する切削抵抗について、すくい角のコントロールによる低減化

について検討を行った。以下に得られた結果について示す。

- (1) 切削抵抗は、すくい角が正方向に移行するに従って減少傾向を示したが、すくい角 $\alpha = +3.5$ において最も低い値を示した。
- (2) 算術平均粗さRaの値は、鉛含有の有無、すくい角の影響を受けずほぼ一定の $2.5\mu\text{m}$ を示し、最大高さRzは、すくい角が正方向に移行するに従い低下

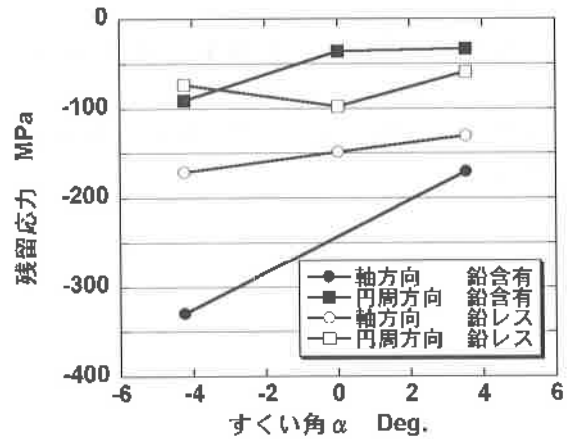


図5 最表面における残留応力とすくい角

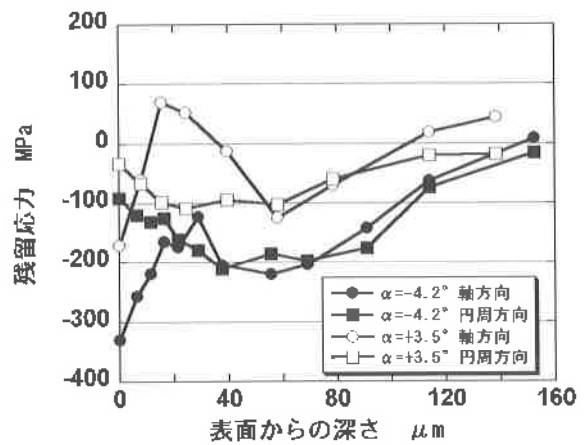


図6 残留応力の深さ方向分布 (鉛含有黄銅)

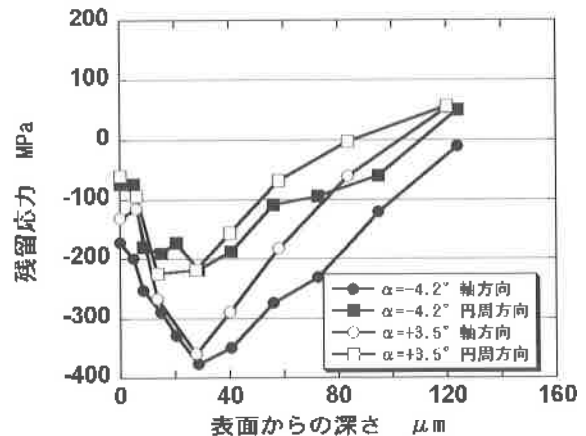


図7 残留応力の深さ方向分布 (鉛レス黄銅)

する傾向を示した。

- (3) 最表面の残留応力は、すくい角  $\alpha$  が負から正方向に移行すると減少する傾向を示し、鉛レス黄銅では、切削面の軸方向における残留応力の値が25%程度減少した。
- (4) 内部方向への残留応力を測定した結果、すくい角  $\alpha$  が負から正方向に移行すると残留応力領域が減少する傾向を示した。

#### 参考文献

- 1) 狩野勝吉：切削加工実践Q&A 100選 日刊工業新聞社, p.194-197 (2007)
- 2) 米谷茂：残留応力の発生とその対策 養賢堂, p.165 (1981)