

切削加工による非鉄金属部品の信頼性向上に関する研究

米山 陽・高尾 清利・堀込 昭彦*¹

Study on Improvement of Reliability for the Non-ferrous Machined Parts

Akira YONEYAMA, Kiyotoshi TAKAO and Teruhiko HORIGOME*¹

要 約

非鉄金属材料を用いた配管部品等には高い信頼性および安全性が要求されている。しかし、非鉄金属材料には応力腐食割れが発生する可能性が存在している。そこで、需要の高い黄銅合金を対象とし、応力腐食割れの低減化が期待できる切削加工方法について検討を行った。本年度は、切削加工条件と加工影響の関係について把握を行うため、残留応力および切削抵抗の測定等による評価を行った。その結果、圧縮残留応力値は切削速度の低下に伴い増大し、鉛含有黄銅は、鉛フリー黄銅より圧縮残留応力値が増大する傾向を示した。また、工具すくい角 α を $+5^\circ$ から -6° では、鉛フリー黄銅合金切削面の圧縮残留応力値は、平均で約110MPa増大した。

1. 緒 言

切削加工により生産される部品は、輸送機器や家電製品などから一般機械に至るまで、幅広い分野で使用されている。その中でも、工場プラントや建築関連に使用される配管部品などは、一般加工部品より耐用年数が比較的長期に要求され、設備安全面においても重要であることから、各部品に対して高い信頼性と安全性が求められる。このような配管部品には、銅合金をはじめ耐食性に優れた非鉄金属材料が広く使用されている。しかし、これらの材料には「応力腐食割れ」と呼ばれる、ある条件下において亀裂が発生する等の問題が発生する場合がある¹⁾。

「応力腐食割れ」として様々な要因が指摘されているが、その中で切削加工が影響している可能性が考えられている。切削加工は、その加工形態により加工面に高い残留応力や微小クラックを発生させる要因があることがこれまでの研究により確認されており²⁾、応力腐食割れとの関連性が予想される。しかし、切削加工と応力腐食割れとの関係を示した具体的なデータは、ほとんど報告されていない。

そこで、配管部品等として需要の高い黄銅合金を対象とし、応力腐食割れの低減化が期待できる加工方法について検討を行った。今年度は、黄銅合金の各種切削加工条件と加工影響との関係について明らかにした。

2. 実験方法

2-1 供試材

供試材の材質は、快削成分としてPbが含まれている市販の快削黄銅C3604B（以下、鉛含有黄銅）と、本実験用に、Pbの代替成分としてBiを添加した鉛フリー快削黄銅（以下、鉛フリー黄銅）試作材を用いた。また、材料の形状は、直径20mmの棒材で、その材料の特性を表1に示す。

表1 供試材

	鉛含有快削黄銅 C3604B	鉛フリー快削黄銅 試作材
快削成分	Pb	Bi
ビッカース硬さ	167HV0.1	174HV0.1

2-2 使用工作機械および加工条件

切削加工実験には、複合加工CNC旋盤（ヤマザキマザック株製、INTEGREX 200Y）を用いた。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。

加工形態は、丸棒材に対して長手方向への旋削加工と

表2 切削加工条件

切削速度	57, 113, 226, 314m/min
送り量	0.2mm/rev
切込み量	1 mm (半径値)
工具材種	超硬合金 K10種
ノーズR	0.4mm
工具すくい角 α	$+5^\circ$

*1 株式会社キッツ

した。表 2 に切削加工条件を示す。切削速度は、57m/minから314m/minの間における 4 条件とし、送り量と切込み量は一定値とした。また、切削液等はいずれもドライ加工とした。

2-3 評価方法

旋削加工において発生する切削抵抗の測定は、圧電型三成分切削動力計（キスラー社製、9172B）を用いて行った。また、切削動力計を、加工機の汎用ツールホルダにて保持を行うため、固定治具の製作を行った。切削動力計の上面部へ切削工具を固定し実験を行った。図 1 に、切削動力計および切削工具を工作機械に設置した状況を示す。

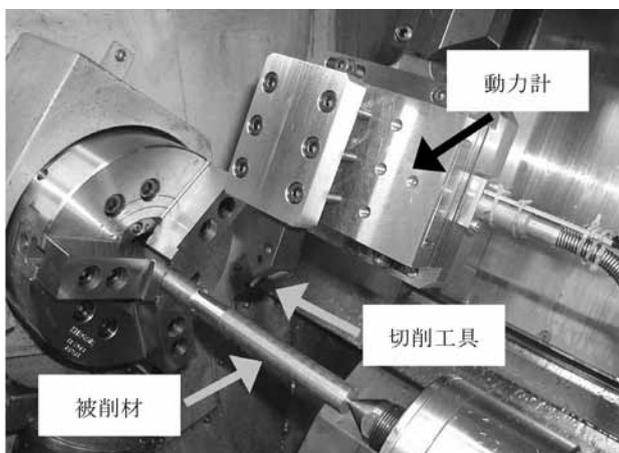


図 1 切削動力計および切削工具の設置状況

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（株小坂研究所製、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。

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（株リガク製、AUTOMate）を使用し、並傾法により行った。表 3 にX線応力測定条件を示す。残留応力の測定方向は、切削工具移動方向である材料長手方向（軸方向）と、切削工具移動方向に対して直交した材料円周方向の 2 方向から測定を行った。

表 3 X線応力測定条件

ターゲットフィルタ	Co-Fe
管電圧	40kV
フィラメント電流	40mA
測定手法	ψ_0 一定 並傾法
応力定数	-153MPa/deg.

3. 結果および考察

3-1 加工面の表面粗さ

加工面の表面粗さを測定した結果を図 2 に示す。鉛フリー黄銅合金の表面粗さは切削速度の増減に拘らず、表面粗さは14~15 μmRz とほぼ一定な値を示した。一方、鉛含有黄銅は、切削速度が低い領域においては約 18 μmRz の値を示し、切削速度の上昇と共に減少する傾向が見られ、切削速度314m/min時に最も低い値の約 12 μmRz を示した。また、本実験における理論表面粗さは12.5 μmRz であることから、鉛フリー黄銅は切削速度が低い領域においても鉛含有黄銅より、理論表面粗さに近く安定した値を示すことが分かった。

図 3 および図 4 に切削速度113m/minにおける、加工面の電子顕微鏡観察結果および表面粗さ曲線を示す。鉛

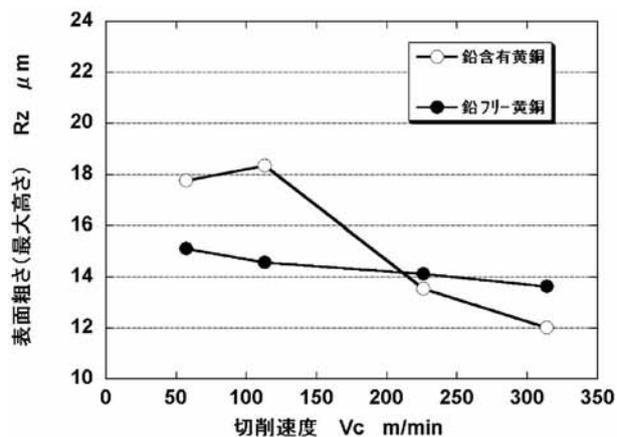


図 2 表面粗さ（最大高さRz）と切削速度の関係

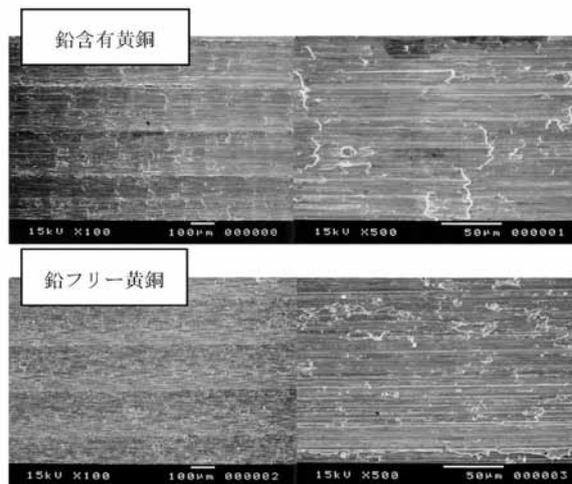


図 3 切削加工面の電子顕微鏡観察写真

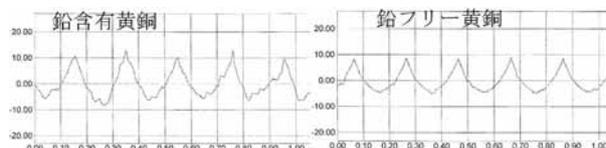


図 4 表面粗さプロフィール比較

フリー黄銅合金の表面粗さ曲線は、工具切れ刃形状が正確に転写された形状を示し、切れ刃への付着物等が少ない良好な切削状況にあることが推察される。一方、鉛含有黄銅の粗さ曲線には、鉛フリー黄銅より細かい凹凸の存在が認められ、電子顕微鏡による観察においても素材が引き伸ばされた様な痕跡が認められた。そのため、表面粗さの値が両者では異なる結果を示している。

3-2 加工面の残留応力および切削抵抗

図5に、加工面の残留応力と切削速度との関係を示す。その結果、鉛含有黄銅および鉛フリー黄銅共に、切削速度が低くなると圧縮残留応力が増大する傾向を示した。また、鉛含有黄銅は鉛フリー黄銅より、圧縮残留応力が大きくなり、実験を行った切削速度範囲内においては、平均値で160MPa程度の差異が見られた。

図6に、切削抵抗と切削速度との関係を示す。鉛フリー黄銅と鉛含有黄銅を比較すると、送り分力および背分力については、両者ともほぼ同じ値を示し、材料の違いによる差は認められなかった。しかし、主分力については、鉛含有黄銅は切削速度の変化に拘らずほぼ一定

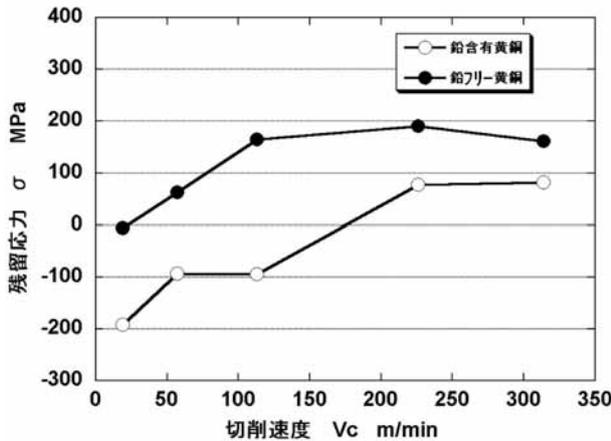


図5 切削加工面の残留応力と切削速度

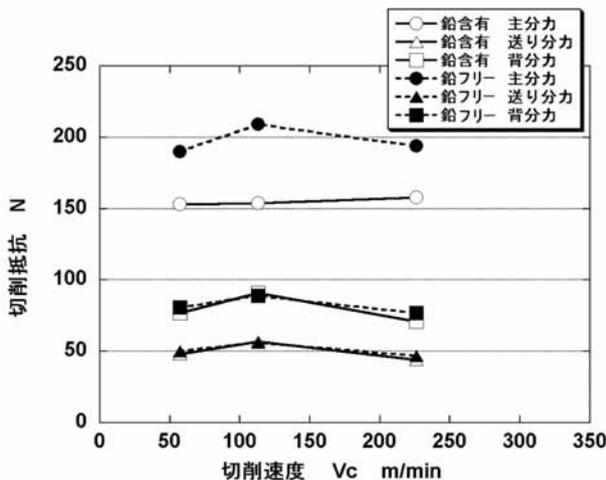


図6 切削抵抗と切削速度

であったが、鉛フリー黄銅は切削速度113m/min時に最大となる210Nを示し、57m/minおよび226m/min時には190Nまで減少した。また、図7に切りくず厚さと切削速度の関係を示すが、鉛フリー黄銅は、切削速度が高まるにつれて切屑厚さが薄くなっていることから、切削速度の増減によって切削加工時のせん断角が変化していると考えられる。これらのことから、鉛フリー黄銅の切削抵抗は、切削速度の影響を受けて変動するものと考えられる。

3-3 工具すくい角による残留応力の変化

応力腐食割れの危険性を考慮すると、加工面の残留応力は圧縮残留応力あるいは引張残留応力では低い方が望ましい⁴⁾。そこで、鉛フリー黄銅合金加工面の残留応力について、工具すくい角 α を変更することにより、圧縮残留応力が増大可能であるか検討を行った。

図8に、すくい角を変化させた際の残留応力を示す。すくい角を $+5^\circ$ から -6° に変更したところ、圧縮残留応力は平均で110MPa増大し、鉛含有黄銅をすくい角 $\alpha = +5^\circ$ において加工した際の残留応力とほぼ近い傾向を示すことが分かった。

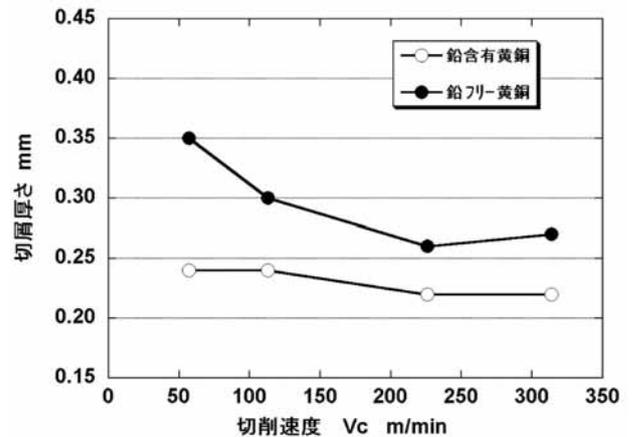


図7 切りくず厚さと切削速度

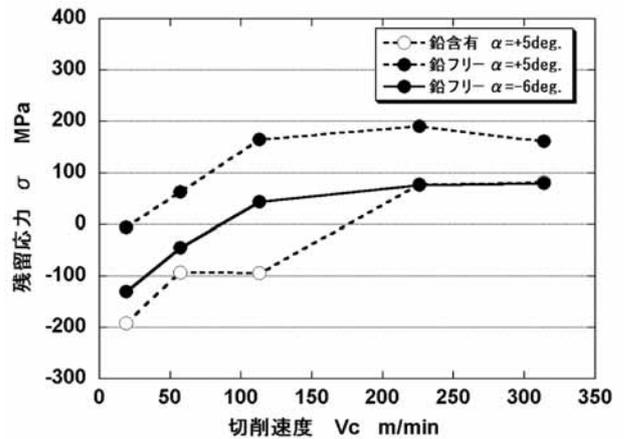


図8 すくい角変更による残留応力の変化

4. 結 言

応力腐食割れの低減化が期待できる加工方法について検討を行うため、本年度は黄銅合金の切削加工条件と加工影響との関係について、主に残留応力および切削抵抗値の測定等による評価を行ったところ、以下の結果を得た。

- (1) 鉛フリー黄銅を切削した加工面の表面粗さは、約 $14\mu\text{mRz}$ とほぼ一定の値を示したが、鉛含有黄銅は、切削速度の低下に伴って増大する傾向を示した。
- (2) 鉛フリー黄銅は、鉛含有黄銅より残留応力値が全般的に引張応力側にシフトした傾向を示し、平均で約 160MPa の差を示した。また、両材料ともに圧縮残留応力が切削速度の低下に伴って増大する傾向を示した。
- (3) 工具すくい角 α を $+5^\circ$ から -6° に変更した結果、鉛フリー黄銅を切削した加工面の圧縮残留応力は、平均で約 110MPa 増大した。

参考文献

- 1) Von Friedrich Karl Naumann 著／辻 栄一訳：機械部品・鉄鋼材料の事故例集，丸善株式会社，p.443 (1981)
- 2) 米山 陽，佐野 正明，堀込 昭彦：非鉄金属材料の切削性評価に関する研究，山梨県工業技術センター研究報告，No.22，p.111-114 (2008)
- 3) 精密工学会編：精密工作便覧，p.7 (1992)
- 4) H.V.ユーリック他：腐食反応とその制御，p.344 (2007)