

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（第2報）

米山 陽・高尾 清利・堀込 昭彦*1

Study on Improvement of Reliability for the Non-ferrous Machined Parts (2nd Report)

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として、本年度は、切削工具の逃げ面を利用し、加工面に圧縮残留応力を付与する加工方法の適用について検討を行った。その結果、鉛フリー黄銅合金の場合、通常の旋削加工方法より 200MPa 程度圧縮残留応力が増大した。また、上記方法を用いて圧縮残留応力を付与した試験片に対し、アンモニア試験を実施したところ、通常の旋削加工試験片より材料表面に生じるクラックの減少が認められ、耐応力腐食割れ性の向上に一定の効果があることが確認された。

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る。また、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ている。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用いられている。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課題がある¹⁾。発生の原因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起因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存在す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、殆ど報告されていない。

そこで本研究では、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の検討を目的とする。第1報³⁾では、黄銅合金の旋削加工条件（切削速度・工具すくい角）と残

留応力との関係について検討を行った。その結果、すくい角を負、切削速度は低速とすることで、圧縮残留応力が増大することが判明している。さらに高い圧縮残留応力を付与する手段としては、より大きな負のすくい角を持つ切削工具による旋削加工方法が考えられるが、特殊な切削工具を必要としたり、切削抵抗の増大等が懸念される。

本年度は、加工面に圧縮残留応力を付与する方法として、切削工具の逃げ面を利用した加工方法の適用について検討を行った。通常、切削工具の逃げ面は、被削材との摩擦を避ける目的で、工具進行方向の水平面に対して数度の範囲で設けられており、主として切削が行われる部位ではない。しかし、工具進行方向を通常使用とは逆として考慮すると、非常に大きな負のすくい角を持つ切削工具として見ることもできる。そこで、逃げ面を用いた旋削加工により圧縮残留応力の付与が可能であるか、残留応力および切削抵抗等の測定を行い検討を行った。また、この加工方法を用いて圧縮残留応力を付与した加工面に対して、アンモニアによる腐食試験を実施し、耐応力腐食割れ性の向上について、併せて検討を行った。

2. 実験方法

2-1 供試材

供試材は、快削成分として Pb が添加された市販の快削黄銅 C3604B（以下、鉛含有黄銅）と本実験用に、Pb

*1 株式会社キッツ

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、材料は丸棒材とし、事前の旋削加工により外径φ30mm に統一し、実験に使用した。その材料特性を表 1 に示す。

表 1 供試材

	鉛含有快削黄銅	鉛フリー快削黄銅
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㈱, INTEGREGX 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。

加工手順は、丸棒材に対して長手方向へ通常の旋削加工を行った後に、僅かに切り込み量を与えることにより切削工具の逃げ面を接触させ、主軸逆回転と共に軸送りを行う方法とした。逃げ面加工時の切り込み量は、 $10\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ の間における 3 条件、切削速度は、 $19\text{m}/\text{min}$ と $314\text{m}/\text{min}$ の 2 条件とした。送り量は一定の値とし、ドライ加工を行った。表 2 に切削加工条件を示す。

表 2 切削加工条件

切削工具	TPGN160304	
工具材種	ISO K10 種 相当	
ノーズ R	0.4mm	
	通常加工	逃げ面加工
切削速度	$113\text{m}/\text{min}$	19, $314\text{m}/\text{min}$
切込み量	1.0mm	10, 25, $50\mu\text{m}$
送り量	0.1mm/rev	

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（日本キスラー㈱, 9172B）を用いて行った。また、切削動力計の保持は、第 1 報³⁾にて製作した治具を改良し、切削工具先端からツールホルダ間の距離を短くすることにより切削工具の保持剛性を高め、切削抵抗の測定精度向上を図った。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。

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, DSF1000）を用いて行った。測定方向は、工具送りと同じ方向である棒材軸方向とした。

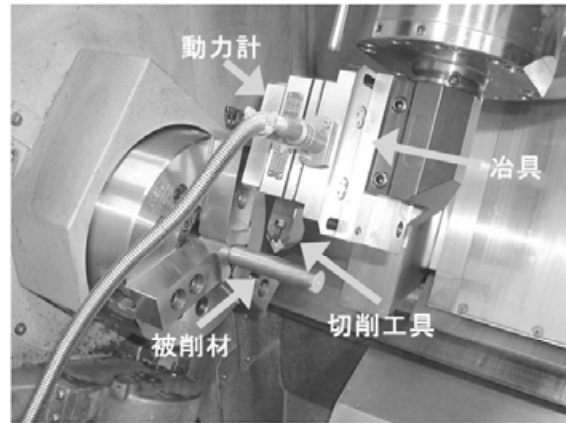


図 1 切削動力計および切削工具の設置状況

切削加工面における残留応力の測定は、X 線回折式応力測定装置（㈱リガク, 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の軸方向と、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。

腐食量の評価は、JIS H3250 のアンモニア試験法を参考とし、切削加工後の試験片をアンモニア雰囲気中で満たしたデシケータ内に 24 時間放置した後、試験片を直径方向に切断し、マイクロ組織観察を行った。

表 3 X線応力測定条件

ターゲットフィルタ	Cr-V
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	-318MPa/deg.

3. 結果および考察

3-1 加工面の残留応力

逃げ面を用いて加工した面の残留応力を測定した結果を図 2 に示す。なお、図中で切込み量が 0 の位置は、逃げ面加工を施さず、通常加工のみの残留応力を示している。通常加工における残留応力の値は -50MPa 前後であるのに対し、逃げ面を用いて加工した面は全般的に圧縮残留応力の増大していることが確認され、切込み量 $10\mu\text{m}$ の時に、逃げ面無加工に対して約 200MPa 高い値を示した。また、切込み量が増大すると、圧縮残留応力は減少する傾向を示した。このことは、切込み量が $10\mu\text{m}$ においては、切屑の発生が認められず、加工面は塑性変形のみが残留したと推測されるが、切込み量が $25\mu\text{m}$ 以上においては、微細な切屑の発生が認められたことから、塑性変形に加えて切削現象が発生し、加工後

の圧縮残留応力が減少したと考えられる。

図3に逃げ面を用いて加工した際に、切削工具軸方向へ発生する切削抵抗（背分力）の値を示す。切込み量に比例して背分力の値が増大する傾向を示しているが、最大でも100N前後であった。通常の切削加工においても100N前後の背分力は発生することから、過大な切込み量を与えない限りにおいては、切削工具および工作機械への悪影響は無いものと推測される。

図4および図5に表面粗さ測定結果およびビデオマイクログによる拡大観察結果を示す。鉛フリー黄銅に逃げ面を用いて加工した面は、加工前と比較して表面粗さの値が約50%減少し、良好な表面粗さが得られた。一方、鉛含有黄銅の表面粗さは、加工前より3倍程度増加する結果を示した。このことは、加工面のむしれ現象が鉛含有黄銅合金より少ない鉛フリー黄銅合金の特性³⁾によるものと考えられる。

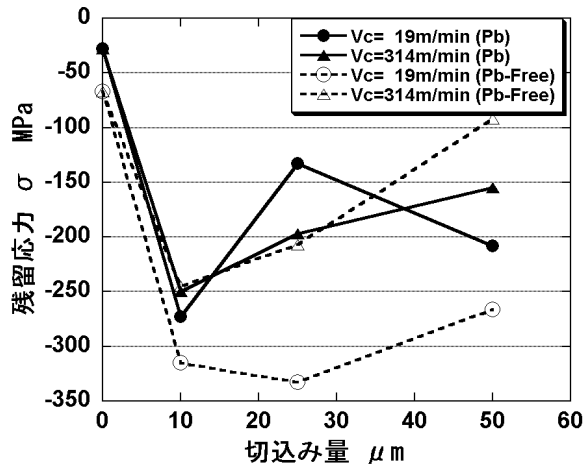


図2 切込み量と残留応力の関係

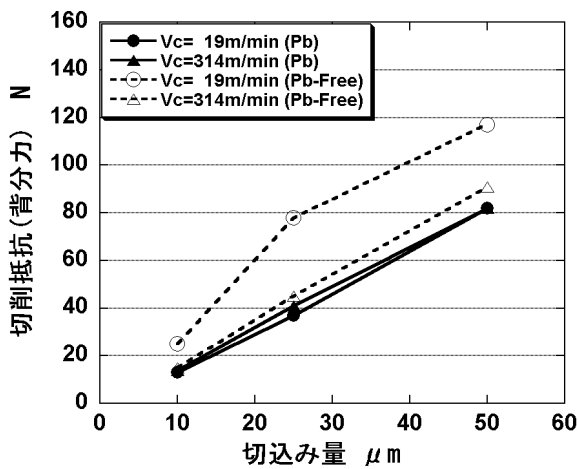


図3 切込み量と切削抵抗の関係

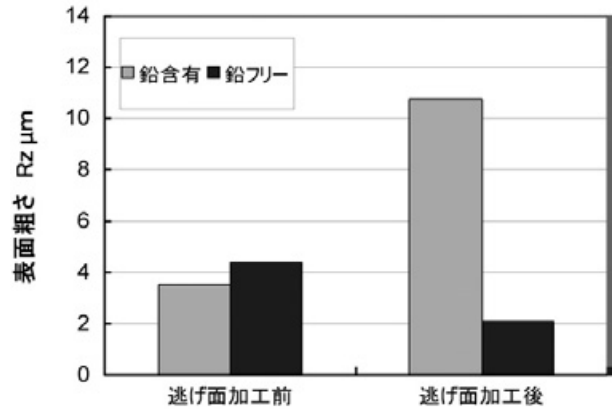


図4 逃げ面加工後の表面粗さ

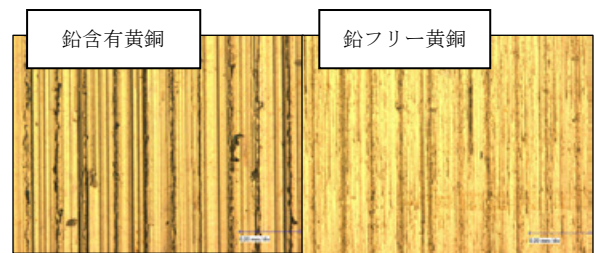


図5 逃げ面加工後の拡大観察結果

3-2 アンモニア試験

図6に、24時間アンモニア雰囲気中に放置した試験片のマイクロ組織観察結果を示す。工具逃げ面を用いて加工した試験片は、最表面から30μm程度の深さまで、組織が押しつぶされている状態が認められた。一方、通常加工の試験片においては、組織が押しつぶされた様子は殆ど認められなかった。

試験片表面近傍の腐食状態を比較すると、試験片1/4周上における最大の腐食深さは、通常加工の鉛含有黄銅は約40μm、鉛フリー黄銅では約25μmであったが、逃げ面を用いて圧縮残留応力を付与した面では、鉛含有黄銅は数μm程度、鉛フリー黄銅は約15μmと腐食深さが減少した。また、通常加工のみの試験片は、結晶粒界に沿って腐食が材料中心方向へ進行する様子が見られたが、逃げ面加工を行った試験片では、組織が圧縮された領域内で腐食の進行が留まっている状況が確認された。

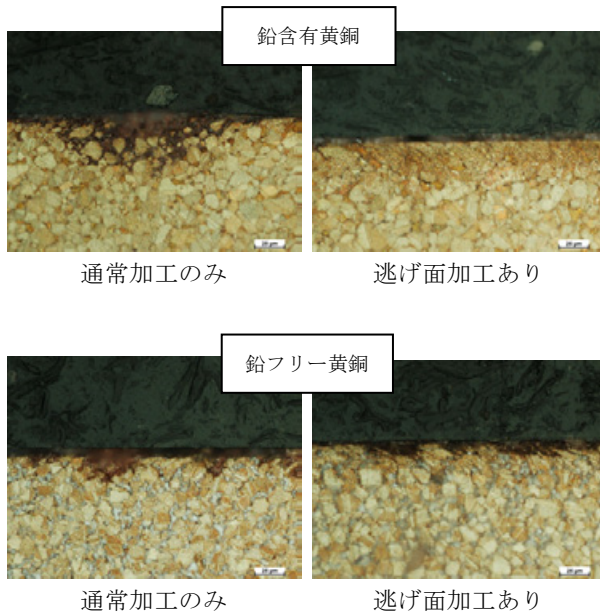


図6 アンモニア試験後のマイクロ組織観察例

4. 結 言

本研究では、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の検討を行った。その手段として工具逃げ面を用いた加工方法の提案を行い、各種評価を行ったところ、以下の結果を得た。

- (1) 仕上げ加工時に工具逃げ面を用いた旋削加工を行い、加工面に圧縮残留応力を与える方法について検討を行った。その結果、鉛フリー黄銅合金の場合、通常の旋削加工方法より 200MPa 程度圧縮残留応力が増大する結果が得られた。
- (2) 耐力腐食割れ性の向上効果について、JIS (H3250) によるアンモニア試験方法を基として評価を行った。その結果、逃げ面を用いた加工により圧縮残留応力を付与した試験片は、通常の旋削加工試験片より腐食量の減少が認められ、耐力腐食割れ性の向上に一定の効果があることが確認された。

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) 米山 陽, 高尾 清利, 堀込 昭彦：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、山梨県工業技術センター研究報告, No.24, p.59-62 (2010)