

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19650700
 研究課題名（和文）ねじり戻し加工による黄銅棒の強化と応力腐食割れ防止策としての利用
 研究課題名（英文） Application of Back-torsion Working to strengthening and prevention of stress corrosion cracking in brass bars
 研究代表者
 穴田 博 (ANADA HIROSHI)
 富山大学・大学院理工学研究部（工学）・教授
 研究者番号：30019195

研究成果の概要：

一般に非鉄金属材料の棒材ならびに管材の強化法としては引き抜き加工が利用されているが、この方法はサイズの異なるダイスを複数使用する複雑な加工法である。これに対して著者は新しい材料強化法として「ねじり戻し加工」を発見し、各種アルミニウム合金について実験を行い、その有効性を実証している。また加工材の表面には圧縮残留応力が生じ、これが 60/40 黄銅 ($\alpha+\beta$ 黄銅) の欠点とされる応力腐食割れの防止に有効ではないかとの観点から本研究を行った。その結果、ねじり戻し加工法が黄銅材料の強化ならびに応力腐食割れ防止いづれに対しても有効な加工法であることを実証することができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：強度・靱性・破壊・疲労・クリープ・応力腐食割れ・超塑性・磨耗

1. 研究開始当初の背景

【ねじり戻し加工とは】

ねじり加工法は、棒状の材料の両端をチャッキングして、片側チャックを回転するきわめて簡単な加工により、材料に大きな剪断ひずみを与えることができる特徴のある加工法である。丸棒では目立たないが、アルミニウム合金六角棒について、この加工を加えると、右図 A→D のように材料にはねじれ模様が発生し元の形状を損なう。ところが「ねじり加工」した材料に、更に逆方向に等量のねじりを行うと F→I の様にほぼ元の形状に復する。これをねじり戻し加工による原形回復現象と著者は命名した。ねじり戻し加工した(I)の状態

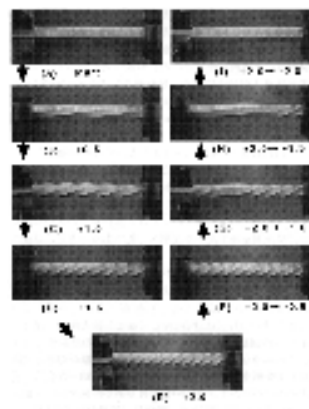


Fig.1 2011 アルミ合金六角棒のねじり戻し加工による原形回復現象の工程図

の材料は、(A)と形状は同じであっても、(1)式による歪みを与えられているので材料が強化されていると言える。

現在のところ、黄銅材料棒の強化は「引き抜き加工」が一般的であるが、著者は 65/35 黄銅についてもねじり戻し加工による強化が有効であることを一部報告してきたが、応力腐食割れが生じやすい、60/40 黄銅 ($\alpha + \beta$ 黄銅) については強化法としてだけでなく腐食防止の観点からも以下の理由で有効であることが示唆される。

従来の強化法「引き抜き加工」では材料表面には引っ張り残留応力が生じ、これが応力腐食割れを助長することが言われてきた。そのため応力腐食しやすい環境下では 60/40 黄銅材の棒あるいはパイプの使用は大幅に制限を受けているのが現状である。しかしながら、簡易的残留応力判定試験によれば、ねじり戻し加工された材料表面には、圧縮の残留応力が生じており、このことは「ねじり戻し加工」材には「応力腐食割れ抑制」の効果があることを示唆している。

2. 研究の目的

工業的な黄銅棒の強化手段は、もっぱら引き抜き加工に依存している。この方法では押出しにより成形された黄銅棒を、さらにダイスから引き抜くもので、加工率が大きい場合には、複数個のダイスが必要とされるのでコストパフォーマンスの大きな加工法である。これに対し、「ねじり戻し加工」は、一定標点間距離を保ちながら材料の回転数をコントロールするだけの簡単な方法で材料強化が可能であるだけでなく、材料表面には圧縮残留応力が生じるので、60/40 黄銅に特有な「応力腐食割れ」の防止に繋がる可能性がある。

以上のことより、本研究の目的は以下の 2 点としている

- (1) 黄銅に対するねじり戻し加工による材料強化の適応性の検証 (ステップ 1)
- (2) ねじり戻し加工による 60/40 黄銅の応力腐食割れの改善の検証 (ステップ 2)

3. 研究の方法

3.1 試料の調達

これまで研究したアルミニウム合金、オーステナイト型ステンレス鋼などと同様に、今回使用の黄銅についても企業から無償で提供いただいた。いずれも市販されている材料とはいえ、材料の成分ならびに加工・熱処理履歴が重要であり、市販材料ではこれらが不明のためである。今秋の黄銅材料は (株) サンエツ金属から提供頂いた。

3.2 材料のねじり戻し加工

当初計画では、新規にねじり試験機を設計製作する予定であったが、製作費ならびに製

作までの期間が予想以上にかかり過ぎるため、加工機の製作を中止し、既存の「ねじり戻し加工機」により加工した。

3.3 黄銅のねじり戻し加工材の機械的特性評価

入手した 65/35 黄銅、鉛入り 60/40 黄銅について結晶粒度測定を行い、焼鈍時間を調整し、各種結晶粒度の試料を揃えてからねじり加工、ねじり戻し加工に供した。特に 60/40 黄銅については、 α 相と β 相の混合組織を持つ事などを考え、焼鈍後の空冷処理ならびに水冷処理により、 β 相量を変化させた材料について、ねじり戻し加工をおこない、加工硬化特性を調べた。

結晶粒度の判定はサークル法による。腐食液は α 相にはアンモニア+過酸化水素水、 β 相の道程は塩化第 2 鉄溶液で行った。

ビカース硬さ試験機で、試料横断面における硬さ測定を行った。

3.4 応力腐食割れ試験

鉛入り 60/40 黄銅丸棒のひき抜き加工材 (直径 18 Φ 、粒径 10 μ m) と歪み取り材 (直径 18 Φ 、粒径 20 μ m) を用いた。歪み取り材にねじりおよびねじり戻し加工を行った。

残留応力は簡便法と x 線応力測定装置を用い、硬さはマイクロビカース硬度計を用いた。

Fig.2 はデシケータを用い、アンモニアガス雰囲気下で行った、応力腐食試験装置概略を示す。

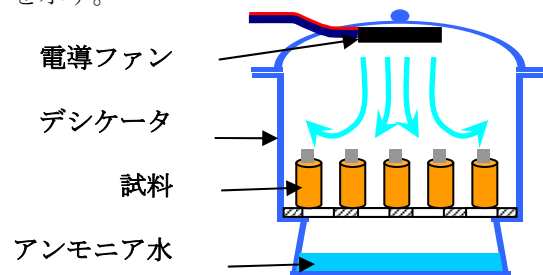


Fig. 2 応力腐食試験装置概略図

腐食用の各試料は 30mm に切断し、その断面にねじ穴を空け、1/4 テーパーねじ 20N・m で締め付けて応力を付加した状態でデシケータ内に挿入した。

試験温度は 25 $^{\circ}$ C、デシケータ内は濃度 15% のアンモニア水 200ml 入れて、ファンで気流をさせいさせすべての試料が均一に腐食するようにした。試料は 2 種類を 5 本ずつ入れて計 10 本を決められた腐食時間毎に取り出した後、直ちに 10% 硫酸で酸化皮膜を除去した。

割れの観察は、試料横断面を湿式研磨シバフで鏡面仕上げとした後、光学顕微鏡観察に供した。断面での割れ深さは、断面を 0.05mm 削りながら上記の方法で割れの数、長さを観察する作業を繰り返した。また試料表面における割れは目視観察とした。

4. 研究成果

第1ステップ(平成19年度)では黄銅に対するねじり戻し加工による強化の有無を検証し、第2ステップ(平成20年度)では60/40黄銅の応力腐食割れに対する有効性を検証した。

4.1 黄銅に対するねじり戻し加工による材料強化について

Fig. 3は60/40黄銅について、+0.5および+1回転ねじり加工材、±0.5回転ねじり戻し加工材、ひき抜き加工材と歪み取り材の5種類の材料について、材料横断面での硬さ分布を比較している。図より、ねじりおよびねじり戻し加工材では、中心から外周部に掛けて傾斜的に材料が強化されることが分かる。また材料外周部では+1回転ねじり加工材、±0.5回転ねじり戻し加工材、そしてひき抜き加工材の硬さがほぼ等しいことを示す。

Fig. 4は60/40黄銅と65/35黄銅のねじり戻しによる原形回復を比較している。両合金とも原形回復現象が発現する。しかし、ベータ相の存在する60/40黄銅が良好な表面粗さを示す。得られて結果は次のようにまとめられる。

- (1) ねじりおよびねじり戻し加工により黄銅棒の横断面硬さは概ね中心から外表面に掛けて徐々に増加する。
- (2) 60/40黄銅の棒状試料に限度内のねじり戻し加工を施すと、加工前の形状と表面状態を回復する。
- (3) 65/35黄銅の加工硬化量は試料の中心から外表面に向けて直線的に増加する。一方β相のある60/40黄銅では外表面近傍で加工硬化量が飽和した。
- (4) 60/40黄銅について結晶粒径が大きい程ねじり加工材、ねじり戻し加工材とも平均表面粗さRyは大きかった。
- (5) 60/40黄銅ではねじり加工材、ねじり戻し加工材とも結晶粒径が大きい程、加工硬化量は大きい。
- (6) β相率が大きい程、外周部にける加工硬化が飽和する傾向がある。

4.2 60/40黄銅の応力腐食割れに対するねじり戻し加工の効果について

Fig. 5は+1回転ねじり加工材、±0.5回転ねじり戻し加工材、ひき抜き加工材ならびに歪み取り材について、応力腐食割れ試験時間と横断面に生じる割れ総数の関係を示す。

これより、ねじり加工材ねじり戻し加工材は同じような傾向を示す。ひき抜き加工材では割れ総数が少ない。また一定時間経過後に断面割れの総数が飽和する傾向を示す。これは試料縦断面割れ(表面割れ)が生じるためであることが分かった。

Fig. 6は腐食試験から判明した割れ形態の模式図を示す。Aはひき抜き材、Bはねじり戻し加工材

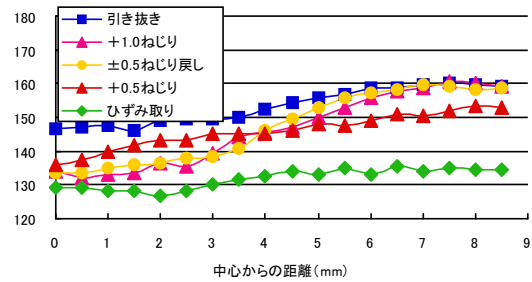


Fig. 3 60/40黄銅各種加工材の横断面硬さ分布

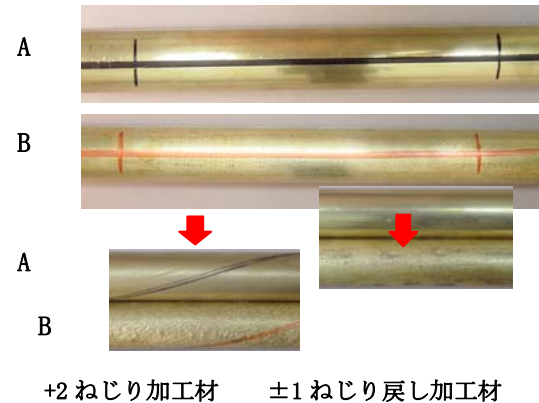


Fig. 4 黄銅のねじり戻し加工による原形回復
A: 60/40黄銅 B: 65/35黄銅

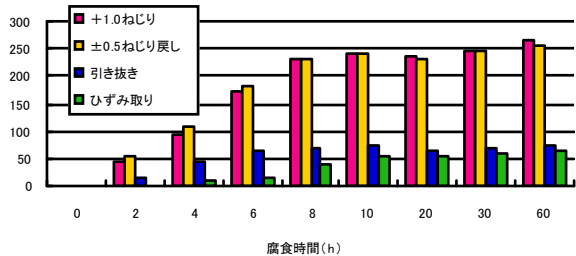


Fig. 5 腐食時間と断面割れ総数の関係

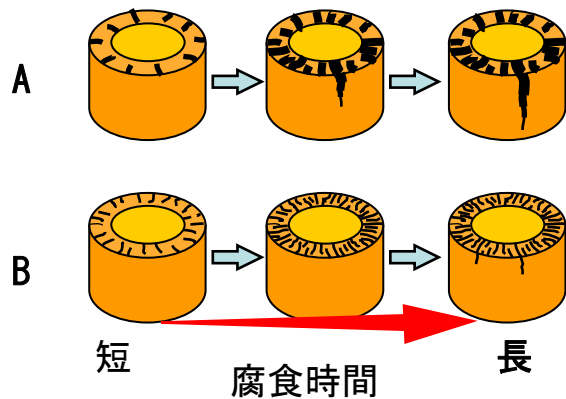


Fig. 6 ひき抜き加工材とねじり戻し加工材の腐食形態の比較

A: ひき抜き加工材 B: ねじり戻し加工材

りおよびねじり戻し加工材の変化を示す。
腐食試験結果は以下のように要約できる。

- (1) き抜き加工材は断面割れの数はいませんが幅が広く、深さ方向への進行が早いため内部までアンモニアが侵入してしまうほどの長くて太い表面割れが発生する。
- (2) ねじり、ねじり戻し加工材は断面割れの数こそ多いが幅が狭く、深さ方向への進行が遅いため細くて短い表面割れしか発生しない。
- (3) 引き抜き加工材の外に広がろうとする引っ張り残留応力は割れの推進力となり、ねじりおよびねじり戻し加工材の内に閉じようとする圧縮残留応力は割れへの抵抗力となる。
- (4) 65/35 黄銅の加工硬化量は試料の中心から外表面に向けて直線的に増加する。一方 β 相のある 60/40 黄銅では外表面近傍で加工硬化量が飽和した。

以上、本研究を総括すると、ねじり戻し加工は **60/40 黄銅** に対し、材料の強化法ならびに応力腐食割れの改善に有効な加工法であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)
投稿準備中

〔学会発表〕 (計 1 件)

発表者：穴田博、高井一生、古井光明

題 目：ねじりおよびねじり戻し加工による 60/40 黄銅の応力腐食割れの改善

学会名称：(社)日本金属学会北陸信越支部・
(社)日本鉄鋼協会北陸信越支部
平成 20 年度連合講演会

発表年月日：平成 20 年 12 月 6 日

発表場所：信州大学工学部

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

氏名：穴田 博

所属：富山大学理工学研究部

職名：教授

(2) 研究分担

なし

(3) 連携研究者

なし