

# マグネシウム合金パイプの ねじり・ねじり戻し変形による塑性加工性改善

## Improvement of plastic workability in magnesium alloy pipes through processing by torsion and back-torsion

岡崎 颯太

指導教員 加藤 太朗, 古井 光明

東京工科大学大学院工学研究科サステイナブル工学専攻 材料グリーンプロセス研究室

キーワード：マグネシウム合金, ねじり変形, ねじり戻し変形, 曲げ塑性加工性

### 1. はじめに

2015年に採択された国際的枠組みであるパリ協定では、気温上昇を産業革命以前の $2^{\circ}\text{C}$ に抑えることを目標としている。この温暖化対策を達成するため、輸送機器から排出される二酸化炭素の削減は、地球温暖化の進行を抑える上で効果的である。

マグネシウムは実用金属の中で最軽量であり、その比重は鉄の $1/4$ 、アルミニウムの $2/3$ である。この軽量性に加えて、高比強度、高リサイクル性などの特徴を持ち合わせているため、アルミニウムや樹脂に代わるサステイナブルな軽量材料として、輸送機器などへの広い利用が期待されている。しかし、マグネシウムは最密六方格子の結晶構造に由来して、難塑性加工性という特徴を持つ。パイプ材においては引張と圧縮の降伏応力の差から、曲げ加工時に圧縮側でしわやクラックが発生する。

ねじり・ねじり戻し変形は、材料に多量のせん断ひずみを導入することができ、特性改善に貢献する<sup>(1)</sup>。先行研究により、AZ31 マグネシウム合金パイプにねじり変形を与えたとき、曲げ塑性加工性が改善された<sup>(2)</sup>。しかし、その要因やねじり戻し変形による効果については明らかになっていない。

本研究ではAZ31 マグネシウム合金パイプにねじり変形、ねじり戻し変形を与えたときの、曲げ塑性加工性の変化について調査した。また、それらの変化の要因を調査するために、ねじり角度に伴う組

織変化を調査した。さらに、X線回折による結晶方位観察方法について検討した。

### 2. 実験方法

全長230.5 mm、外径20 mm、肉厚2 mmのAZ31 マグネシウム合金パイプに、複数のねじり角度でねじり変形、ねじり戻し変形を与えた。ねじり回転速度は0.18 rpm一定である。

ねじり・ねじり戻し変形を与えたパイプを試験片状に加工し、クロスヘッド速度 $2.1 \times 10^{-3}$  mm/sで引張試験を行った。また、クロスヘッド速度 $3.0 \times 10^{-3}$  mm/sで圧縮試験を行った。応力歪み曲線からそれぞれのねじり角度での引張・圧縮時の降伏応力を調査した。

ミクロ組織観察のため、ねじり・ねじり戻し変形を与えたパイプを切り出した。その後、ねじり角度に伴うミクロ組織変化を調査した。

結晶配向を調査するために、X線回折を行った。特性X線はCu-K $\alpha$ 線、回折角度は $30^{\circ}$  ~  $80^{\circ}$ 、回折速度は $5^{\circ}/\text{min}$ である。

### 3. 実験結果

各引張・圧縮試験の応力ひずみ曲線から降伏応力を読み取り、それをねじり角度に対してプロットしたグラフを図1、図2に示す。ねじり変形において引張と圧縮の降伏応力差が0 MPaになるね

ねじり角度は  $8.07^\circ$  である。ねじり戻し変形においては  $8.01^\circ$  である。また、そのときの降伏応力はねじり変形の場合  $131.2 \text{ MPa}$ 、ねじり戻し変形は  $140.1 \text{ MPa}$  である。

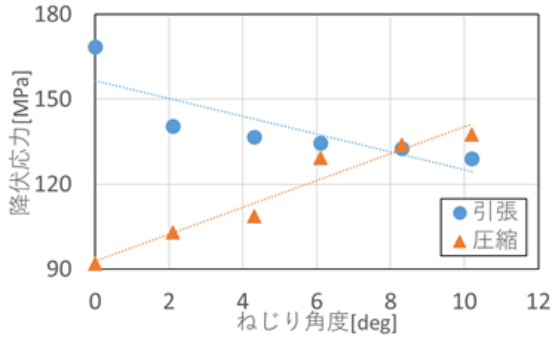


図 1 ねじり変形による降伏応力の変化

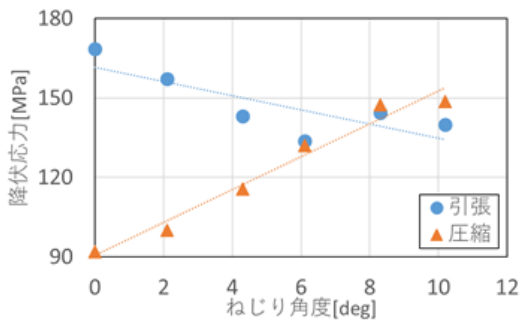


図 2 ねじり戻し変形による降伏応力の変化

図 3 のマイクロ組織より、ねじり・ねじり戻し角度の増加に伴って、結晶が微細化することが分かった。また、変形双晶の発現も確認した。

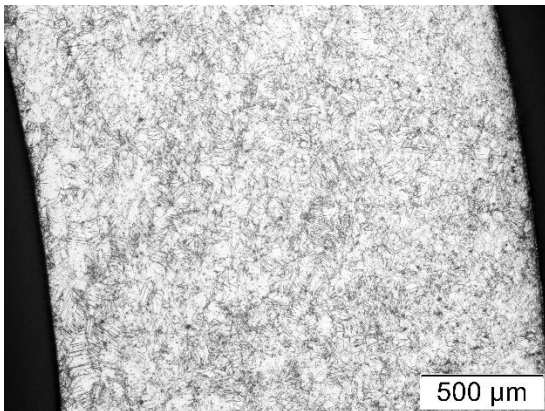


図 3 ねじり戻し角度  $10.2^\circ$  ミクロ組織

X 線回折は、パイプ表面に X 線を平行法で照射して行った。図 4 の左に示すねじり角度  $0^\circ$  のパイプ表面は、底面が集合した組織呈していると考

えられる。図 4 の右に示すねじり角度  $2.1^\circ$  では、底面の回折強度が  $1500 \text{ cps}$  となり、より底面の集合度が高い組織になっている。

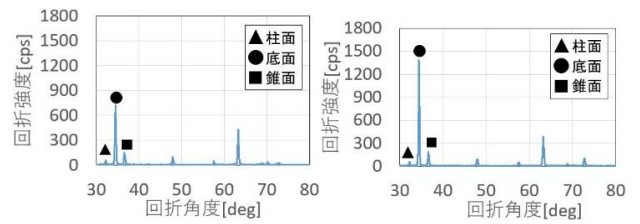


図 4 X線回折図形(左:ねじり角度  $0^\circ$  右:  $2.1^\circ$ )

#### 4. 考察

マグネシウムは結晶粒径依存性の高い金属である。また、変形双晶によって底面集合組織が分散する、という報告がある<sup>(3)</sup>。よって、ねじり・ねじり戻し変形による結晶粒微細化と変形双晶は、結晶方位をランダム化し曲げ塑性加工性を向上させたと考えられる。

X 線回折では、パイプ成形の押し出し加工による組織変化によって、X 線回折結果に影響したと考えられる。そのため新たな X 線回折方法を検討する必要がある。

#### 5. おわりに

本研究により以下のことが明らかになった。

- (1) ねじり・ねじり戻し変形によって引張・圧縮の降伏応力差は減少し、塑性加工性は改善される。
- (2) ねじり。ねじり戻し変形により結晶粒は微細化する。また、変形双晶も発生する。それらが塑性加工性改善に影響している。

#### 参考文献

- (1) 穴田博ら：軽金属，53(2003)，169～175
- (2) 佐野大輝：ねじり加工によるマグネシウム合金パイプの引張・圧縮降伏応力差の改善，東京工科大学卒業論文，2021
- (3) 須長好古ら：軽金属，59(2009)，655～658