

# ねじり・ねじり戻し変形によるマグネシウム合金パイプの 曲げ加工性改善効果

## Improvement in bending workability of 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・ねじり戻し変形, 曲げ加工性, 扁平率

### 1. はじめに

マグネシウムは実用金属の中で最軽量であり、さらに比強度が大きい、リサイクル性が高いなど、優れた特徴をもつ金属材料である。このような特徴から、燃費改善等を目的とした輸送機器への幅広い利用が期待されている。しかし、マグネシウムはその最密六方格子という結晶構造に由来して塑性加工性が悪いという欠点がある<sup>(1), (2)</sup>。塑性加工とは、材料に大きな力を加えて、目的の形状を得る加工法のことである。特にパイプ材の曲げ加工において、引張と圧縮の降伏応力の差が大きいため、圧縮側でしわや割れが発生しやすい。

そこで本研究ではマグネシウム合金の塑性加工性改善の方法として、ねじり・ねじり戻し変形に着目している。ねじり・ねじり戻し変形は、棒状材料に多量のせん断ひずみを導入することのできる加工法である。先行研究より、AZ31 マグネシウム合金パイプにねじり・ねじり戻し変形を与えたところ、引張と圧縮の降伏応力差が減少し曲げ加工性が改善される見込みがあると明らかになっている。また、約 8° のねじり・ねじり戻し変形によって降伏応力差は 0 MPa になることも明らかになっている<sup>(3)</sup>。そこで本報告ではねじり・ねじり戻し変形を与えたパイプに曲げ加工を施し、加工欠陥や扁平率を検証し、ねじり・ねじり戻し変形による曲げ加工性改善効果について調査した。

### 2. 実験方法

#### 2-1. ねじり・ねじり戻し変形

全長 340 mm, チャック間距離 250 mm, 外径 20 mm, 肉厚 2 mm の AZ31 マグネシウム合金パイプにねじり・ねじり戻し変形を与えた。ねじり角度は 8° , 回転速度は 0.18 rpm とした。

本報告では変形を与えていないパイプを未ねじりパイプ, ねじり変形を与えたパイプをねじりパイプ, ねじり戻し変形を与えたパイプをねじり戻しパイプとする。

#### 2-2. 曲げ加工

用意したパイプへパイプベンダーによる曲げ加工を施した。なお曲げ半径は 67 mm とした。

まず未ねじりパイプが割れるまで曲げ加工を施した。次に未ねじりパイプが割れたときの加工条件と同様の条件でねじりパイプ, ねじり戻しパイプに曲げ加工を施した。

#### 2-3. 曲げ加工性検証

曲げたパイプの外観を観察し、割れ, しわなどの加工欠陥の発生について確認した。

また、曲げた部分の最大直径, 最小直径を測定し、以下の式<sup>(4)</sup>を用いて扁平率  $f$  を求めた。なお、 $D_{max}$  は最大直径,  $D_{min}$  は最小直径,  $D_0$  は初期直径である。

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_0}$$

### 3. 実験結果

未ねじりパイプに曲げ加工を施したところ、72° 曲げたところ圧縮側で割れが発生した (図 1)。同条件で曲げ加工を施した各パイプを図 2 に、各曲げパイプの扁平率を表 1 に示す。

ねじりパイプは割れが発生することなく曲げ加工を施すことができた。対してねじり戻しパイプは未ねじりパイプと同様に圧縮側で割れが発生した。各パイプの扁平率を比較すると、未ねじりパイプとねじり戻しパイプは、ねじりパイプと比べて割れの影響で大きく扁平した。未ねじりパイプとねじり戻しパイプを比較すると、ねじり戻しパイプの扁平率の方が小さくなった。



図 1 曲げ加工によるパイプの割れ



図 2 曲げ加工を施したパイプ  
上：未ねじり，中：ねじり，下：ねじり戻し

表 1 各パイプの扁平率

	扁平率[%]
未ねじり	44.4
ねじり	16.9
ねじり戻し	32.2

### 4. 考察

先行研究よりねじり・ねじり戻し変形の効果として引張・圧縮の降伏応力差の減少によって曲げ加工性改善の見込みがあることが明らかになっているが、本実験の曲げ加工において、実際に加工不良なく曲げ加工性を行うことができたのはねじり変形を施したパイプのみであった。

ねじり戻し変形したパイプは降伏応力差の減少は見られているものの、ビッカース硬さ試験によってねじり変形パイプよりも硬化していることが明らかになっている。このことから加工硬化によって延性が悪化していると考えられる。ねじり変形パイプにおいても加工硬化は発生していると考えられるが、ねじり変形による降伏応力差減少と加工硬化による影響がバランスし、曲げ加工性改善につながったと考えられる。

### 5. おわりに

本研究では、AZ31 マグネシウム合金パイプへのねじり・ねじり戻し変形による曲げ加工性改善効果について、パイプへの曲げ加工を実施して調査した。その結果以下のようなことがわかった。

- (1) マグネシウム合金パイプに曲げ半径 67 mm の曲げ加工を施すと、圧縮側で割れが発生する。
- (2) パイプにねじり変形を与えて曲げ加工を施すと、割れは発生せずに曲げることができる。
- (3) パイプにねじり戻し変形を与えて曲げ加工を施すと、圧縮側で割れが発生する。しかし、扁平率はねじっていないパイプよりも小さい。

### 参考文献

- (1) S. V. Satya Prasad, et al.: Journal of Magnesium and alloys, 10(2022), pp.1-61
- (2) Jialin Wu, et al.: Journal of Materials Science & Technology, 42(2020), pp.175-189
- (3) Hayata Okazaki, et al.: THERMEC' 2023 Abstract Book, (2023), pp.443
- (4) 菱田博俊, 他: 圧力技術, 56, 2 (2018), pp. 80-88