459 異なる断面形状を有する Al 合金型材の回転引き曲げ加工における 変形挙動に及ぼす加工条件の影響

Effect of processing conditions on the deformation behavior on draw bending of aluminum alloy section with various cross sections

正 吉原 正一郎 (山梨大) 学 奥出 裕亮 (山梨大)

○ 学 于 朋鑫 (山梨大)

Shoichiro YOSHIHARA, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Yusuke OKUDE, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Pengxin YU, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Key Words : Draw bending, Aluminum alloy, Effect of processing conditions

1. 緒言

Al 合金押し出し型材は、軽量、高比強度という特徴を有しており、輸送機器や建築材料などの様々な分野で適用されている。そのため、曲げ加工などの二次加工が必要となる。しかし、薄肉の型材に曲げ加工を施すと不整形変形として、容易にへん平変形やしわが発生するという問題がある¹⁾。そこで本研究では、回転引き曲げ加工におけるジグの位置および心材の挿入量を変化させた際の、曲げ加工後の供試材の横断面形状に及ぼす影響を明らかにする。

これらの不整形変形を抑制し、回転引き曲げ加工の加工性を向上させるためには、アルミ合金型材の各断面形状における変形挙動に及ぼす曲げ負荷ローラの影響、心材挿入量の影響を明らかにする必要がある。本研究では、変形挙動に及ぼす曲げ負荷ローラの影響および心材挿入量の影響を、有限要素法 FEM を用いて検討した。

2. 回転引き曲げ加工解析

2. 1 供試材

解析は動的陽解法解析コード LS-DYNA3D を用いた。Table 1 に供試材の材料特性値を、Table 2 に心材を示す。

Table 3 に供試材の断面形状を示す。解析において、横断面形状は角管、チャンネル材、L 型字の 3 種類、肉厚は 1.0mm、2.0mm の 2 種類、供試材の長さは $L_0=1260\text{mm}$ を用いた。供試材の材料構成式は以下の n 乗硬化則に従った²⁾。

$$\sigma=C(\varepsilon_e+\bar{\varepsilon}_p)^n \quad (1)$$

ここで、 C は塑性係数、 n は加工硬化指数、 ε_e は弾性ひずみ、および $\bar{\varepsilon}_p$ は相当塑性ひずみである。

また、心材として積層弾性心材を使用した。積層弾性心材の材料は、板厚 3.2mm の 6/6 ナイロン板を 10 枚と、その間に 1.0mm のポリ塩化ビニル(PVC)板 2 枚を層状に配置し、最外層に板厚 0.5mm のリン銅板に 1 枚ずつ配置した。

Table1 Material properties of workpiece

Density: ρ [kg/mm ³]	2.7×10^{-6}
Modulus of elasticity: E [GPa]	68.9
Poisson's ratio: ν	0.3
C value* [MPa]	204
n value*	0.22

$$* \sigma=C(\varepsilon_e+\bar{\varepsilon}_p)^n$$

Table2 Material properties of laminated elastic mandrel

Material	Density: ρ [kg/mm ³]	Modulus of elasticity: E [GPa]
Phosphor bronze	8.8×10^{-6}	102
PVC	1.17×10^{-6}	3.2
6/6nylon	1.14×10^{-6}	0.8

Table3 Schematic of workpiece

Type	A	B	C
Cross section
Thickness t_0 [mm]	1.0,2.0	1.0,2.0	1.0,2.0
W_0	40	40	40
H_0	40	40	40

2. 2 回転引き曲げ加工のモデル

Fig.1 に回転引き曲げ加工の解析モデルを示す。解析モデルは①チャック、②回転ダイ、③曲げ負荷ローラ、④ガイドローラ、⑤ブレーキパッド、⑥供試材で構成される。回転引き曲げ加工装置を構成する部分はすべて剛体シェル要素を適用した。また、供試材の要素はソリッド要素を用いて、回転引き曲げ加工に適用した。供試材とジグとの摩擦係数は 0.05 とした。

本研究における解析は、Fig.1 に示すように、チャック位置 L_c 、曲げ負荷ローラ位置 L_b 、検討する項目に応じて各拘束ジグの位置を変化させて、この加工法における加工条件の影響を検討した。本研究では回転角度を 90° として、FEM 解析を行った。

Fig.1 FEA model of bending process

3. 解析結果

3.1 不整形の評価方法

供試材の変形特性を明らかにするため、供試材の最大変形深さを評価項目として測定した。Fig.2に TypeA および TypeB の不整形の測定方法を Fig.3に TypeC の不整形の測定方法を示す。変化量は供試材の内側への凹みを負の値とし、外側への膨らみを正の値とした。圧縮フランジの変形量および引張フランジの変形量を測定した。供試材の圧縮フランジ側の最大不整形変形量を d_{max} とし、引張フランジ側の最大不整形変形量を d_{max} とした。

Fig.2 Method for measurement of cross-sectional shape

3.2 曲げ負荷ローラの影響

Fig.3に供試材の横断面形状の変形量を示す。曲げ負荷ローラの影響について検討するために、心材を挿入しない条件における加工後の最大不正変形量 χ_{max} を測定した結果を示す。TypeA の場合は L_b を増加させたことによって、圧縮フランジ側の不整形変形を抑制することができたが、 L_b を変化させても、引張フランジ側の形状はほとんど変化がなかった。TypeB の場合は L_b を増加させたことによって、圧縮フランジの不整形変形を軽減することが出来たが、引張フランジの不整形変形を抑制することができなかった。 $L_b = 0$ の場合、加工部に応力集中し、しわの発生が加工部で生じる。

また、TypeC の場合、引張フランジの変わりに web 側の変形量について検討した。TypeC の場合は曲げ負荷ローラ的位置を変化させたことによって変形量の差はほとんど無い。TypeC の供試材を他の横断面形状をもつ供試材と同じ加工条件で解析を行う場合は、 L_b を変化させても圧縮フランジ側でも引張フランジ側でも変形量の変化はほとんど無か

った。Type3 の場合、加工開始後、供試材の加工部が著しい変形が発生することによって、供試材と曲げ負荷ローラに間隔ができ、曲げ負荷ローラの影響による変形の発生がなくなった。

3.3 心材挿入量および供試材の肉厚の影響

心材挿入量の影響について検討するために、チャック位置および曲げ負荷ローラ的位置を一定にして、拘束ジグとして心材を適用して解析を行った。Fig.4に心材を使用した解析結果を示す。

心材挿入量 160mm の場合、心材を加工部まで挿入したことによって、供試材の内部方向への変形を抑え、回転ダイと曲げ負荷ローラの間で供試材が挟みこまれ、しわを押し潰し、管内部の拘束ができ、不整形変形を顕著に抑制できた。引張りフランジ側のへん平変形を抑制された理由は矩形心材が引張りフランジ側に押されることにより引張りフランジのへん平変形と反対向きに力が生じた効果によるへん平変形の抑制だと考えられる。

Fig.3 Effect of roller position (1.0mm)

Fig.4 Effect of insert amount of mandrel (1.0mm, 2.0mm)

4. 結言

- 1). 拘束ジグの単体の使用では全ての不整形の抑制は困難であるが、不整形を軽減することが確認できた。
- 2). 心材挿入量を増加させることによって、引張りおよび圧縮フランジのしわやへん平変形等を効果的に抑制し、角管横断面形状の維持に有効であることが確認できた。

参考文献

- 1) 坂木 修次・藤院 琢磨・原島 寿和：塑性と加工，36-414(1995),719-724.
- 2) 奥出 裕亮，坂木 修次，吉原 正一郎 Journal of The Japan Institute of Light Metals, Vol.61.No.9(2011),435-439.