

マグネシウム合金 AZ31B 板のマスレニコフ法による常温成形とその数値シミュレーション Sheet Drawing of Magnesium Alloy AZ31B by Maslennikov's Technique under Cold Condition and Its Numerical Simulation

学 ○桑原 浩二(岐阜大院)
正 服部 敏雄(岐阜大工)

正 山下 実(岐阜大工)
正 西村 尚哉(岐阜大工)

Koji KUWABARA, Minoru YAMASHITA, Toshio HATTORI, Naoya NISHIMURA, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

Keywords: Sheet drawing, Maslennikov's technique, Numerical simulation, Cold forming

1. 緒言

マグネシウム合金は密度 1.74g/cm^3 と実用金属中最軽量で、資源的にも豊富に存在する。また、比強度、比耐力、振動吸収性、放熱性、リサイクル性等にも優れた材料であるため、同合金の板成形については、温間では可能で実用化されつつある。しかし、コスト的に有利な常温成形については、成形の極めて初期に破断を生じるという問題があり、検討例はほとんどない。

本研究は、マグネシウム合金 AZ31B 板の常温成形法の開発を念頭に入れたもので、成形法には Maslennikov 法¹⁾(パンチなし絞り法)を採用した。この方法は、ゴムなどの弾性工具(以後、ゴムパッドと呼ぶ)と通常の剛体的ダイを組み合わせて成形を行うもので、マグネシウム合金板の常温成形については、破断抑制効果が得られることがわかっている²⁾。同成形法では、板材はリング形状のゴムパッドとダイの間にセットされる。ゴムパッドに圧縮荷重をかけると、ゴムパッドがダイ穴方向に変位する。同時に、ゴムパッドに接している板材は半径内側方向に作用する摩擦力によってダイ穴方向へ駆動されカップが成形される。

本研究では、円筒および角筒の常温成形の実験、および、数値シミュレーションによる検討を行った。数値シミュレーションで本成形法がシミュレート可能なことは、著者の一人によって示されているが³⁾、詳細な検討はまだ行われていない。本成形法ではゴムの変形を含む成形過程の観察は、他の成形法とは異なり不可能で、数値シミュレーションを援用して成形条件の最適化検討を行うことは極めて意義が大きいと言える。

2. 成形実験

2.1 実験方法

被加工材には公称初期板厚 0.5 mm のマグネシウム合金 AZ31B-O を用いた。単軸引張試験での機械的特性を Table 1 に示す。 r 値、 n 値ともプレス成形用材料としては標準的であり、伸びも悪くないものの、剛体工具による成形性は極めて悪い。

円筒成形用の工具を Fig.1 に示す。円筒成形では直径 D : 36, 38, 39, 40 mm(絞り比: 1.24, 1.31, 1.34, 1.38)の円形素板を用いた。ダイ穴直径 D_d は 30 mm, ダイ肩半径 r_d は 2 mm である。また、角筒成形では、直径 D : 40, 42, 50 mm の円形素板を用いた。ダイ穴直辺部長さ L およびダイ穴コーナー半径 r_c は 10 mm, ダイ肩半径 r_d は 2 mm とした。試験片とゴムパッドの間はアセトンで脱脂し、試験片とダイの間には潤滑材として牛脂黒鉛(牛脂:黒鉛=3:1)を塗布した。ゴムパッドにはショア硬さ A90 のウレタンゴムを使用し、内径は 30 mm とした。円筒および角筒成形用のダイとゴムパッドを Fig.2 に示す。

Table 1 Mechanical properties of AZ31-O magnesium alloy.

K(MPa)	n -value	U.T.S.(MPa)	T.E. (%)	r -value
475	0.232	305	21.5	1.66

Work hardening property: $\sigma = Ke^n$,

U.T.S.: Ultimate tensile strength,

T.E.: Total elongation, r -value: Lankford value

2.2 実験結果

円筒成形品および角筒成形品の例を Fig.3 に示す。円筒成形において、試験片直径 38 mm(絞り比: 1.31)以下では、破断を生じることなく絞り成形を完遂できた。試験片直径が 39 mm(絞り比: 1.34)以上になるとフランジ外縁部から 45° 方向の亀裂が生じた。

一方、角筒成形では、試験片直径が 40 mm でもダイ穴コーナ

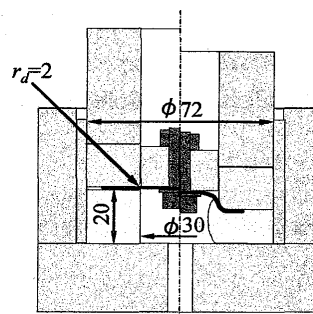


Fig.1 Schematic illustration of forming tools.

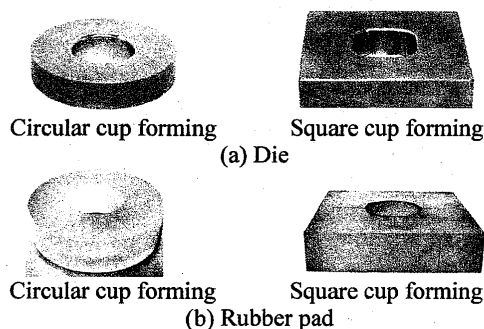


Fig.2 Photos of die and rubber pad.

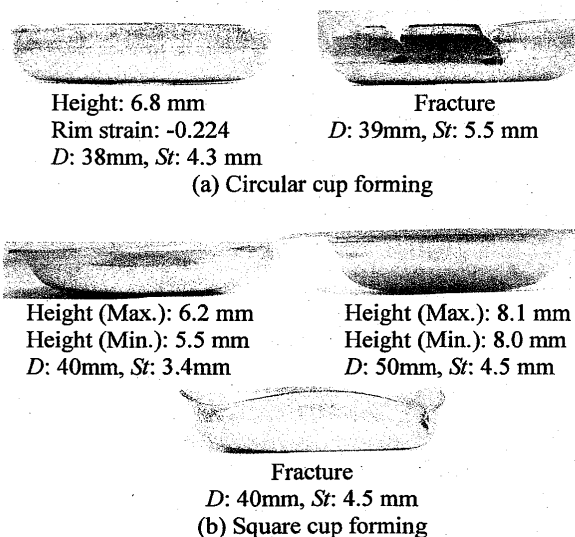


Fig.3 Examples of formed cups (Sr: Compressive stroke).

一近傍で破断を生じた。そのため、角筒成形については、破断直前で成形終了とした。フランジを残したままにする方が、実用的形状が得られると言える。なお、ダイ穴コーナー部で破断を生じる理由については、ゴムパッドの内側方向への流動は直辺部で顕著なため、絞り変形が集中するコーナー部ではダイ肩部通過時の材料にかかるゴムパッドの面圧が小さいことによるものと考えられる。

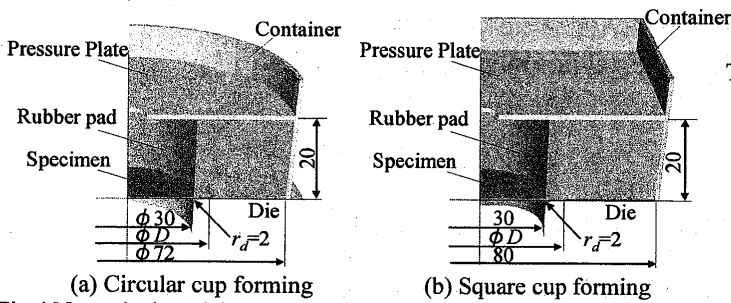


Fig.4 Numerical model of cup forming by Maslennikov's technique.

Table 2 Mechanical properties of specimen and rubber materials.

Specimen (Mg alloy)	Elastic modulus (GPa)	45
	Poisson's ratio ν	0.35
	Plastic property (MPa)	$\sigma = 475e^{0.232}$
Rubber (Polyurethane rubber)	Density ρ (kg/m ³)	1800
	Shear modulus G (MPa)	8
	Density ρ (kg/m ³)	2000

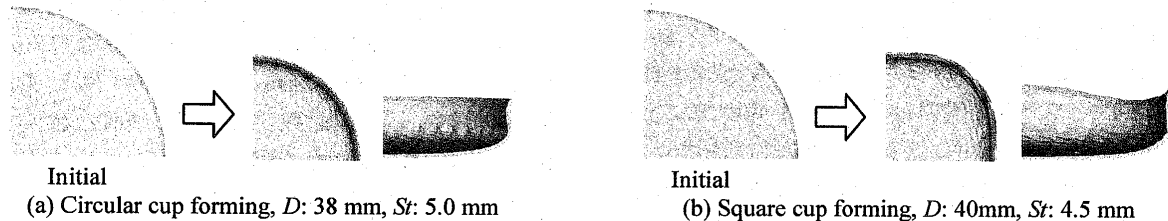


Fig.5 Deformation patterns in computation of cup forming by Maslennikov's technique (Sr: Compressive stroke).

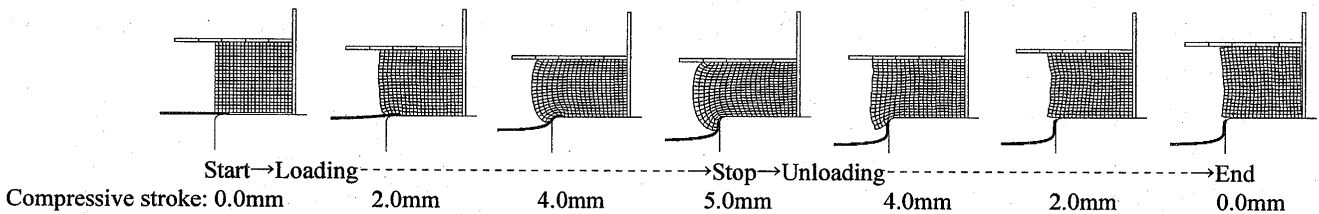


Fig.6 Progressive deformation patterns in computation for circular cup forming by Maslennikov's technique.

3. 数値シミュレーション

3.1 計算条件

ソルバーには動的陽解有限要素コード DYN3D⁴⁾を用いた。Fig.4 に数値モデルを示す。幾何学的対称性を考慮し、1/4 領域のみモデル化した。試験片、ゴムパッド、押圧工具には六面体要素を用い、ダイはシェル要素とした。試験片とゴムパッドの機械的特性値は、Table 2 に示すように実験と同様な値に設定した。なお、ゴムの構成式は、次式に示す Blatz-Ko 超弾性モデルを用いた。

$$S_{ij} = G(V^{-1}C_{ij} - V^{-\frac{1}{1-2\nu}}\delta_{ij})$$

S_{ij} : 2nd Piola-Kirchoff stress, V : Relative volume,

ν : Poisson's ratio (set to 0.463 internally),

C_{ij} : Right Cauchy-Green strain,

G : Shear modulus, δ_{ij} : Kronecker delta

試験片とゴムパッドの接触境界では、静摩擦係数を 0.45、動摩擦係数を 0.30 と仮定し、その他の境界面については、それぞれ 0.10, 0.06 と仮定した。

なお、計算効率を考慮して、ゴムパッドの圧縮速度は 2 m/s と速めに設定した。押圧工具のストロークは、円筒成形が 5.0 mm、角筒成形が 4.5 mm とした。

3.2 計算結果

円筒成形品および角筒成形品を Fig.5 に示す。いずれも、実験で得られた形状とほぼ一致した。負荷、除荷の操作を行った時の試験片とゴムパッドの変形を Fig.6 に示す。圧縮ストロークが 4.0 ~ 5.0 mm の成形完了付近で成形が顕著になっていることがわかる。また、圧縮荷重-ストローク曲線を Fig.7 に示すが、ほぼ一致しており、この成形法の検討にも数値計算は有用であると言える。

また、Fig.8 に示すように、厳しいひずみ域は実験で破断が生じた箇所と一致している。

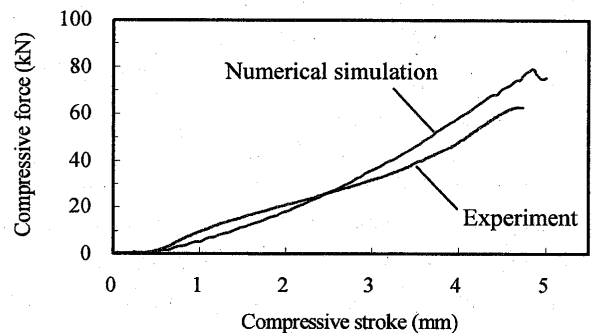


Fig.7 Compressive force curves in the loading operation for the case of Fig.6 and the corresponding experiment.

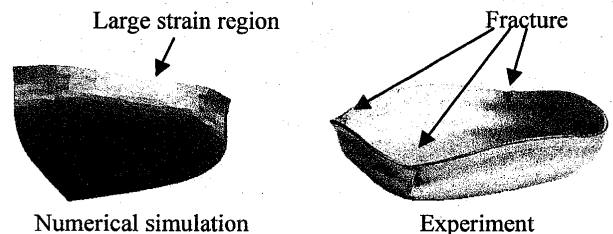


Fig.8 Strain distribution in computation and fracture observed in experiment of square cup forming.

参考文献

- 1) N.A. Maslennikov, Metal working production, 16(1957), 1417.
- 2) M. Yamashita et al., Proc. 8th ICTP(CD-ROM), 2005.
- 3) 山下実他, 機械学会東海支部講演会講演論文集(2004), 7.
- 4) J.O.Hallquist, DYN3D, User's manual Rev.5, 1989.