温間二軸圧縮における初期等方性 AZ31 マグネシウム合金 鑄造材の塑性変形と成形限界

平野聖記^{*1}, 清水一郎^{*2}, 秋山大輔^{*1}, 多田直哉^{*2}

Plastic Deformation and Forming Limit of Initially Isotropic Cast AZ31 Magnesium Alloy under Biaxial Compressions at Elevated Temperatures

Seiki HIRANO^{*3}, Ichiro SHIMIZU, Daisuke AKIYAMA and Naoya TADA

^{*3}Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University
3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama

Magnesium alloys have special features such as light weight, high specific strength and good reusability. However, information on the flow behavior and formability of magnesium alloys in multi-axial compressive stress conditions is highly limited, nevertheless of their importance for plastic working processes such as forging and extrusion. In the present study, the uniaxial and biaxial compression tests along proportional strain paths were conducted at room and at elevated temperatures, and thus the influence of strain paths and temperature upon mechanical properties and compressive forming limit were discussed. The results revealed that the flow stress scarcely changes with the test temperature in the range from 493 K to 523 K. On the other hand, the compressive forming limit was found to be dependent on the temperature as well as the strain paths.

Key Words : Plastic Behavior, Biaxial Compression, AZ31 Magnesium Alloy, Compressive Formability, Stress-Strain Relation

1. 結 言

マグネシウム合金は延性に乏しく、圧縮応力下でも一定の塑性変形後に破壊が生じる。この圧縮破壊は、鍛造や押出しなどの適用を困難にし、マグネシウム合金の工業的適用範囲を制限する要因となっている。すなわち、マグネシウム合金の圧縮成形限界を明らかにすることは圧縮応力支配型塑性加工における工程の最適制御に必要不可欠である。しかしながら、これまでにマグネシウム合金の圧縮成形限界を調べた研究例は少ない。加えて、これまでの多軸圧縮試験は、実験的容易さから平面ひずみ圧縮が多く、任意のひずみ経路で二軸圧縮を行った例はほとんどない。

このような背景から著者らは、独自に開発した二軸圧縮試験機⁽¹⁾を用いて、これまでに室温におけるマグネシウム合金の圧縮成形限界などについて検討を続けてきている。本研究では、二軸圧縮挙動および圧縮成形性に及ぼす試験温度の影響について検討するため、

523K 以下の温間域において、種々の比例ひずみ経路二軸圧縮試験を試みた結果について報告する。

2. 実験方法

2・1 試験片 試験素材には AZ31 マグネシウム合金鑄造丸棒材を用いた。試験片は、一辺が丸棒材の軸方向と一致するように切り出した $7 \times 7 \times 7 \text{ mm}^3$ の立方体形状とした。表面を機械研磨後、残留応力除去のために 523 K, 2 時間保持の条件で焼鈍を行って試験に供した。なお以下では、丸棒材の軸方向を z 方向、それに垂直な二方向をそれぞれ x および y 方向とする。なお、試験材料がほぼ初期等方性であることを、3 方向に行った単軸圧縮試験の結果および電子線後方散乱回折法による集合組織測定によって確認している。

2・2 圧縮試験 温間における二軸圧縮挙動および成形性について調べるため、室温 (RT) および 373 K ~ 523 K まで 50 K 毎に、単軸圧縮試験、平面ひずみ圧縮試験、等二軸圧縮試験を実施した。なお、今回は試験機等の制約により、真ひずみが -0.3 を超えても破断しなかった試験片は成形限界に達しないとみなした。

^{*1} 岡山大学大学院 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

^{*2} 正員, 岡山大学大学院自然科学研究科

E-mail: en19058@s.okayama-u.ac.jp

Fig. 1 True stress-true strain curves in equi-biaxial compression tests.

Fig. 2 Influences of strain paths and temperature on compressive fracture.

3. 実験結果と考察

3・1 応力-ひずみ関係 最初に、等二軸圧縮試験における各軸の応力-ひずみ関係を図1に示す。室温 (RT) においては、各軸の真ひずみが -0.2 以下で破断が生じたが、 373 K 以上では成形限界に達しなかった。これは、試験温度の上昇に伴って底面すべりや引張り双晶以外の変形機構が活動しやすくなったためと考えられる。

3・2 圧縮成形限界に及ぼす温度の影響 設定した各ひずみ経路において、試験温度の上昇に伴う圧縮破断の有無を図2に示す。なお、横軸は各軸方向の真ひずみの比 ($\beta = \epsilon_y / \epsilon_x$) である。単軸圧縮 ($\beta \approx -0.5$) および等二軸圧縮 ($\beta \approx 1$) では、室温を除く温間領域で破断が生じなかった。一方、平面ひずみ圧縮 ($\beta \approx 0$) においては、 423 K までの温間領域でも圧縮破断に至った。この結果は、温間領域における圧縮成形限界のひずみ経路依存性を示唆している。この現象の解明には今後更なる検討が必要であるが、材料流れ方向に対する変形拘束の影響が想定される。

3・3 塑性変形挙動 各ひずみ経路における変形抵抗に対する試験温度の影響について検討するために、相当ひずみ $\epsilon_{eq} = 0.1$ における応力値を比較した結果を図3に示す。なお、縦軸はいずれかの軸方向における最大真応力である。単軸圧縮では、試験温度の上昇に伴って若干の応力低下が認められた。一方、平面ひずみ圧縮および等二軸圧縮においては、試験温度が上昇

Fig. 3 Flow stress at $\epsilon_{eq} = 0.1$.

しても応力値に大きな変化はなかった。これらの結果は、AZ31 マグネシウム合金についてこれまでに報告 (例えば吉川ら²⁾) されている試験温度上昇に伴う応力の低下傾向と異なる。この相違について検討するために、別途用意した AZ31 マグネシウム合金の押出しまま材を用いて、室温と 523 K で単軸圧縮試験を行った結果を図3に黒丸で示す。押出しまま材においては、温間領域において明確な応力の低下が認められた。したがって、本研究において変形抵抗の試験温度依存性が小さい理由は、熱処理を施すことによって動的再結晶や回復が生じにくくなっていることに起因するものと考えられる。

4. 結 言

AZ31 マグネシウム合金鍛造材に対して $RT \sim 523\text{ K}$ の温度範囲で単軸圧縮試験、平面ひずみ圧縮試験、等二軸圧縮試験を行った。その結果、温間領域における圧縮成形限界には試験温度とひずみ経路の影響が認められた。一方、変形抵抗は試験温度にほとんど依存せず、試験前の熱処理がその原因である可能性が示唆された。

文 献

- (1) Shimizu, I., Proc. 13th Int. Conf. on Exp. Mech., No.215, Springer, (2007).
- (2) Yoshikawa, T. et al., Plastic Deformation of AZ31 Magnesium Alloy under Various Temperature Conditions, *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol. 57, No.7 (2008), pp. 688-695.