

8. Mg 合金板のひずみ局所化過程の実験観察

Experimental observation of strain localization process in magnesium alloy sheet

学生氏名 八木 亮介
指導教員 吉田 健吾

In this study, in order to investigate the forming limit curve (FLC) and observe strain localization in AZ31B-O sheets, we perform stretch forming test and uniaxial tensile test. Strain distribution during tensile deformation is obtained using digital image correlation (DIC) method, and the formability is measured by scribed circle (SC) method. Localized necking of the specimens is examined by optical microscopy. It is found that the strain localization occurred in the uniaxial tension test, and little necking is observed with plane strain and biaxial tensile tests.

Key words: Magnesium alloy, Aluminum alloy, DIC, FLD, Strain localization

1. 緒言

マグネシウム合金は比強度、比剛性において優れた特性を有しているため、構造用材料として利用されている。マグネシウム合金は六方晶構造であり、室温での活動すべり系が底面すべりに限定され、さらに圧延材は強い底面集合組織を有する。そのため、室温での塑性加工が難しく、多くの製品は鋳造や 300°C 以上の温間プレス加工により製造されている。このような状況の中、生産コストの低い室温でのプレス加工の実用化を目指し、成形性の改善や、成形限界を求める研究が行われている。

板材の成形限界の評価方法として、局所くびれ発生時のひずみを主ひずみ空間に図示した成形限界線が頻繁に用いられる。張出し試験により、単軸引張、平面ひずみ引張、等 2 軸引張と言った種々のひずみ比で板材を破断するまで変形させ成形限界ひずみを実験的に同定する。鋼板やアルミニウム合金板と比較すると、マグネシウム合金板の成形限界は平面ひずみ引張、等 2 軸引張において著しく低いことが知られている。

本研究では、マグネシウム合金板 AZ31B-O について、単軸引張試験および張出し試験を実施し、成形限界線の測定とひずみ局所化過程の実験観察を行う。デジタル画像相関法を用いて試験片が一樣に変形している状態からひずみの局所化が発生して破断に至るまでの過程を明らかにする。また、試験片の断面を顕微鏡で観察し、局所くびれの形態を調べ、成形限界との関連を検討する。

2. 実験方法

供試材にマグネシウム合金板 AZ31B-O(板厚 0.8 mm)を用いる。試験片は 350°C で 1.5 時間焼鈍した。Table 1 に機械的性質を、Fig. 1 に AZ31B-O の(0002)面の不完全極点図を示す。Fig. 1 より、底面が板面に平行に配列する強い集合組織を呈することが分かる。Fig. 2 に AZ31B-O 材の板面の光学顕微鏡組織を示す。数 μm ~ 100 μm 程度の大きさの異なる結晶粒が観察された。また、比較材にアルミニウム合金板 A6016-T4(板厚 0.9 mm)を用いた。

成形限界線の作成および変形挙動調査のため、オートグラフによる単軸引張試験および直径 100 mm の平頭パンチを用いた張出し試験を行った。クロスヘッドおよびパンチの移動速度を約 1 mm/min とした。試験片形状は、単軸引張り試験で

は JIS13B 号試験片とした。張出し試験では長手方向の寸法を 195 mm で一定とし、幅を 145 mm, 170 mm, 195 mm とし、それぞれ平面ひずみ引張、二軸引張、等二軸引張の試験片とした。各幅の試験片を圧延方向からそれぞれ 0°, 45°, 90° の 3 方向に切出した。パンチ肩部の形状を、AZ31B-O の平面ひずみ引張および二軸引張試験では R25 とし、その他の試験では R10 のパンチを使用した。

成形限界ひずみの測定のために、初期直径 5.00 mm のサークルパターンを試験片裏面に押印した。実験後に破断部近傍のサークル寸法を測定することにより、最大主ひずみ ϵ_1 と最小ひずみ ϵ_2 を求め、これらを成形限界ひずみとした。デジタル画像相関法のためのランダムパターンを試験片表面に白と黒のスプレーにより塗布した。実験中、試験片とカメラの距離を一定に保ちながら、変形開始から破断まで撮影した。実験後、撮影画像を解析してひずみ分布を求めた。張出し試験の解析範囲は画像の中心に位置する 21×21 mm とし、単軸引張試験では、長手方向×幅方向で 30×12 mm とした。

Table 1 Mechanical properties of test material

Material	$\sigma_{0.2}$ /MPa	E /GPa	n^*
AZ31B-O	171	44	0.15
A6016-T4	177	69	0.13

*Approximated using $\sigma = c(\epsilon^p)^n$ at $\epsilon^p = 0.002 \sim 0.052$
 $\sigma_{0.2} = 0.2\%$ proof stress, $E = \text{Young's modulus}$

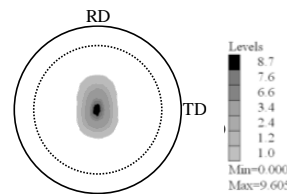


Fig. 1 (0002) pole figure at mid thickness of AZ31B-O

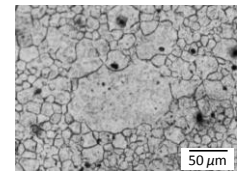


Fig. 2 Microstructure of AZ31B-O after annealing

3. 実験結果

3. 1 成形限界線の作成

Fig. 4 に AZ31B-O と A6016-T4 の成形限界線を示す。各試験片の成形限界ひずみを、主ひずみ面 (ϵ_1, ϵ_2) にプロットした。ここでプロットした記号は、○が圧延方向(0°)の試験片を、△が圧延方向に

対して45°方向、□が90°方向に切り出した試験片の結果を示している。A6016-T4の結果は破線で、AZ31B-Oは実線で結んだ。測定した成形限界線より、単軸引張においてはAZ31B-OとA6016-T4の成形限界ひずみに実験値のばらつき以上の有意な差がないことが分かった。一方、平面ひずみ引張や等二軸引張試験においては、AZ31B-Oの成形限界ひずみはA6016-T4の約30%であり、著しく成形性が低いことが分かった。

A6016-T4について、試験片の切出し方向によって成形限界ひずみに0.01~0.07程度の差があり、45°、0°、90°の順に成形限界が低くなる傾向がある。一方、AZ31B-Oは、単軸引張で圧延方向(0°)の最大主ひずみが45°や90°方向に対し、0.01~0.04程高いものの、その差は微小である。すなわち、AZ31B-Oでは切出し方向が成形性に及ぼす影響は小さい。

実験後、破断部を含む試験片の一部を切り取り、側面を研磨し光学顕微鏡で観察した。Fig. 5とFig. 6にA6016-T4とAZ31B-Oの圧延方向(0°)の試験片側面を示す。Fig. 5(a)に示すように、試験片の長手方向をx軸とした。A6016-T4は全ての試験片において板厚方向に局所くびれが観察され、破断前に板厚方向の局所くびれが形成されたことが分かる。3つのひずみ比の中では、平面ひずみ引張のくびれが一番大きく、等二軸引張が一番小さかった。一方、AZ31B-Oは全てのひずみ比において明瞭な局所くびれを確認できなかった。これは、底面集合組織の発達により板厚方向の変形が難しく、局所くびれが発生する前に、または明瞭な局所くびれが形成される前に破断したと考えられる。このことから、AZ31B-Oにおいては局所くびれ発生による局所的な変形はほとんどなく、成形限界に寄与しないことが分かる。

3. 2画像相関法によるひずみの局所化観察

A6016-T4の圧延方向(0°)の試験片に関する破断直前のひずみ分布をFig. 7に示す。Fig. 7(a)に示すように、試験片の長手方向をx軸、幅方向をy軸とした。A6016-T4は、全てのひずみ比において著しいひずみの集中を確認できた。単軸引張試験では、長手方向(x)に対し56.6°方向に局所的にひずみが集中している。この方向は、Hillが提案した等方性材料における局所くびれの発生方向54.4°と近い値である。等二軸引張および平面ひずみ引張では、ひずみの集中が2カ所で生じた。破断後の試験片の観察より、等二軸引張は白い点線で示すところで、平面ひずみ引張ではひずみがより集中した箇所破断したことを確認した。

Fig. 8にAZ31B-Oの圧延方向(0°)の試験片に関する破断直前のひずみ分布を示す。単軸引張においてひずみの局所化を観察できた。一方、等二軸引張および平面ひずみ引張においては、破断に直接つながるようなひずみの集中は確認できなかった。これはFig. 6において、板厚方向の局所くびれが観察されなかったことと整合する結果である。

4. 結言

A6016-T4とAZ31B-Oの成形限界線と変形挙動を実験的に測定した。破断後の試験片側面の観察結果より、AZ31B-Oにおいては全てのひずみ比において明瞭な局所くびれは観察されなかった。デジタル画像相関法によるひずみ分布の測定結果より、AZ31B-Oの単軸引張は局所的にひずみが発生した。一方、平面ひずみ引張および等二軸引張では、破断の前兆となるようなひずみの集中は観察されなかった。

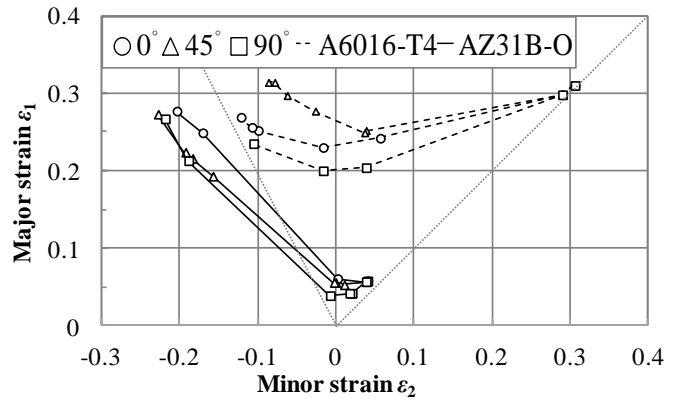


Fig. 4 Forming limit diagrams of AZ31B-O and A6016-T4

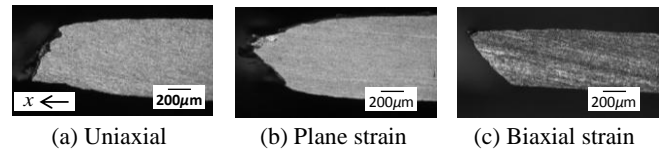


Fig. 5 Cross section of fractured A6016-T4 specimens

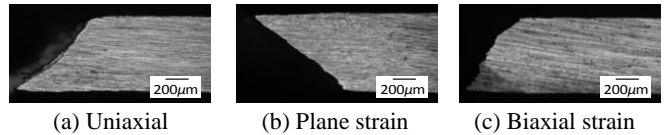


Fig. 6 Cross section of fractured AZ31B specimens

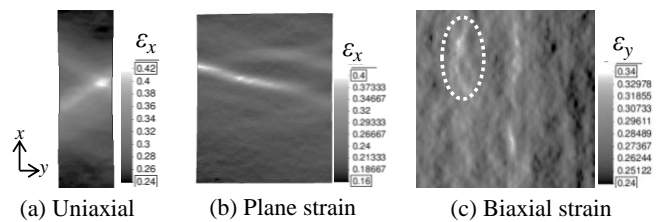


Fig. 7 Strain distribution of A6016-T4 sheet

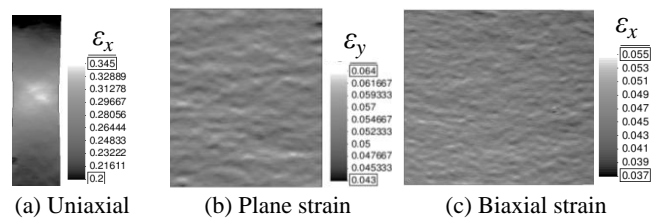


Fig. 8 Strain distribution of AZ31B-O sheet