

マグネシウム合金板の常温成形性に双晶・ポイドが与える影響

田口 誠

指導教員 吉田健吾 准教授

1. 緒言

マグネシウム合金はその低密度と優れた比強度から携帯機器の筐体や輸送機器の材料として用いられている。しかし、冷間プレス成形性が低いことから使用箇所は限定的である。そのため常温で優れた延性を有するマグネシウム合金の開発が望まれている。マグネシウム合金の結晶構造は稠密六方晶であり、常温では底面すべり以外のすべりが起き難く塑性変形に必要なすべり系が不足する。さらにプレス成形に用いられる圧延板は稠密六方晶の底面が板の面に平行に配向し、強い異方性を示す。小池ら¹⁾はマグネシウム合金の変形初期に発生する $\{10\bar{1}2\}$ 引張双晶は塑性異方性を緩和するが、変形後期に発生する $\{10\bar{1}1\}$ 圧縮双晶は材料破断を引き起こすとしている。Barnett²⁾は結晶方位解析により、結晶方位の回転によって底面すべりのシュミット因子が 0.5 となる $\{10\bar{1}1\}$ - $\{10\bar{1}2\}$ 二重双晶がせん断破壊を起こす原因であるとしており、双晶と同程度の大きさを持つポイドの観察を行っている。しかし、これらは単軸引張試験における研究であり、プレス加工で現れるような様々なひずみ状態に関する研究は少ない。

本研究では AZ31 圧延板を単軸引張試験及び張出し試験によって様々なひずみ状態で破断させ、成形限界を求める。その後、双晶・ポイドを中心に破断した試験片の組織観察を行う。成形限界と組織観察からマグネシウム合金の破断原因を究明する。

2. 実験方法

2.1. デジタル画像相関法

ひずみ計測にはデジタル画像相関法を用いる。この方法では試験片の表面に模様を作製し、それを基に試験片上に多くの測定点を設ける。試験中の模様の変化から測定点の変位を観測し、変位の空間勾配を求める。変位の空間勾配から試験片上のひずみの分布を求め、各点のひずみを得る。

2.2. 単軸引張試験

材料は厚さ 0.8[mm]の AZ31 圧延板であり、単軸引張試験片には JIS13B 号を用いる。チャック変位速度は 30[mm/min]であり、ひずみ速度は 7×10^{-3} [1/s]である。

2.3. 張出し試験

張出し試験には直径 100[mm]の平頭パンチを持つ張出し試験機を用いる。パンチ上昇速度は 1.5[mm/s]であり、ひずみ速度は単軸引張試験と同等である。平頭パンチと試験片の間に中央に穴のあいた駆動板を挟む。これにより穴部において試験片が自由変形となり摩擦の影響が無くなる。また、供試材は単軸引張試験と同じである。試験片形状は長方形もしくはドッグボーン型であり、ひずみ比を変化させるために板幅を変更した。ひずみ比 $\epsilon_{TD} / \epsilon_{RD}$ と板幅の関係を Table 1 に示す。ここで、 ϵ_{TD} は圧延直角方向ひずみ、 ϵ_{RD} は圧延方向ひずみである。長手方向は一律 220[mm]であり、この方向と圧延方向を一致させた。単軸引張でのひずみ比は-0.6 である。

Table 1 Width of specimen and strain ratio

Width[mm]	220	175	140	110	uniaxial
Strain ratio[-]	1	0.5	0	-0.2	-0.6

2.4. 組織観察

破断後の試験片から試料を切り出し、組織観察を行う。試料は樹脂埋めして面出しを行った後、粒径 9[μm]と 3[μm]のダイヤモンド砥粒で研磨する。その後、コロイダルシリカ懸濁液で仕上げを行う。研磨後、ピクリン酸溶液を用いて腐食を行い、光学顕微鏡を用いて組織観察を行う。

3. 実験結果

3.1. 成形限界

張出し試験ではくびれを伴うことなく破断したので、破断直前の試験片中央付近のひずみを成形限界とする一方、単軸引張試験ではひずみ速度が試験開始時の 5 倍となる時のひずみを成形限界とした。また、成形限界時の板厚ひずみ絶対値 $|\epsilon_{ND}|$ を体積ひずみ一定則より求めた。Fig. 1 に縦軸を ϵ_{RD} 、横軸を ϵ_{TD} とした成形限界線図と板厚ひずみ絶対値を示す。単軸引張時の破断直前のひずみを破断ひずみとして同図に示す。図の左にある点ほどひずみ比が低く、一番左にある点は単軸引張試験の結果である。単軸引張時の破断ひずみ ϵ_{RD} は試験片によって 0.08[-]程度異なる。成形限界線図より圧延方向ひずみはひずみ比が小さい程高く、成形限界の ϵ_{RD} は単軸引張状態と等二軸引張状態ではそれぞれ 0.26[-]、0.04[-]と 6 倍以上の差が見られる。一方、 $|\epsilon_{ND}|$ は 0.05~0.09[-]とひずみ比による差はそこまで見られない。

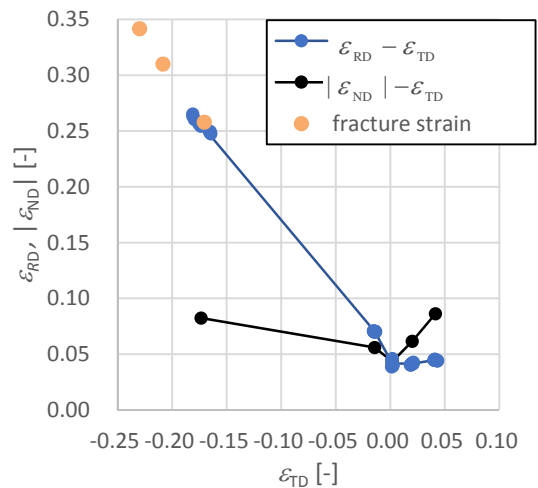


Fig. 1 FLD of AZ31 rolled sheet

3.2. 組織観察

破断面近傍の観察画像を示す。各図には圧延方向(RD)、圧延直角方向(TD)、板厚方向(ND)を示す。Fig. 2 はひずみ比 1 で破断した試験片の側面(RD-ND 平面)である。Fig. 2 には写っていないが破断面は図の中心から RD 右側に約 400[μm]の位置にある。この図ではせん断帯が 2 本観察された。また、せん断帯に沿って楕円状のポイドが観察され、その長軸はせん断帯方向に向いている。試験片全体を見た傾向としてせん断帯は破断面から離れるに従って規模が小さく、またポイドを伴わなくなる。また、結晶を横切る線が観察されており、これは双晶と思われる。板側面観察において双晶はあまり確

認められなかった。そのため発生方向の特徴は得られていない。破断面はせん断帯と平行であった。せん断帯とそれに沿ったポイド、破断面、双晶は全てのひずみ比で確認され、その発生形態はよく似ていた。Fig. 3 はひずみ比 1 で破断した試験片の表面(RD-TD 平面)である。巨視的な割れ方向とポイドが連なっている方向は TD に平行であった。双晶と思われる線は多数確認され、その線の方向は様々な向きを向いていた。

Fig. 4 は単軸引張によりひずみ比-0.6 で破断した試験片の表面である。双晶の線が全体的に TD を向いている。

Fig. 5 は 2 種類の単軸引張試験片の側面である。それぞれ Fig. 1 中に示す破断ひずみ ϵ_{RD} が最も大きいもの(左)と最も小さいもの(右)である。左側は破断面が滑らかで右側はギザギザしている。滑らかな破断面は単軸引張のみで観察されており、滑らかな程破断ひずみが大きい。また、左図では板厚くびれが観察できる。

4. 考察

全てのひずみ比において破断面と平行なせん断帯が観察された。さらに破断面付近のせん断帯にはポイドを伴っているものが多かった。この結果よりマグネシウム圧延板は全てせん断帯に沿って破断すると考えられる。また、全てのひずみ比でギザギザ破断面が観察された。さらに Fig. 2 に示されるようにせん断帯の交差点でポイドが発生していた。このことよりせん断帯の交差点でポイドが出来て破断が開始し、それぞれのせん断帯にそれが伝播していると考えられる。また、双晶は種類を確認出来ておらず、確認出来る数は少ないが、双晶を伴ったせん断帯が観察されている。これは Barnett⁽²⁾が示したように双晶により結晶が回転して底面のせん断力が大きくなり、ポイドが発生して破断の要因となっている可能性を示す。

双晶はその界面に大きなせん断応力が働いた時に発生する。Fig. 4 の RD に単軸応力がかかっているため、せん断力が最大になる方向と同図で観察される双晶の方向は同一であり、線が双晶であることを示している。

Fig. 1 の破断限界時の板厚減少量はあまり変わらない。また、Fig. 5(右)に示す単軸引張試験片は成形限界とほぼ等しい破断限界を示した。その単軸引張試験片と張出し試験片は同様の凹凸のある破断面形状を示した。このことから凹凸のある Fig. 5(右)に示すような破断面形状をもたらす破断過程は板厚の減少量に関連があると考えられる。

5. 結言

AZ31 圧延板の張出し試験及び単軸引張試験、光学顕微鏡による組織観察から次の知見を得た。

1. マグネシウム合金圧延板の単軸引張試験では 2 つの破壊過程が近いひずみで発現し、どちらの過程で破断するかは材料や試験条件の多少のずれで変わる。
2. 破断面形状に凹凸をもたらす破断過程は板厚の減少量に関連している。
3. 破断面形状の凹凸に似た交差したせん断帯及び交点のポイドの存在からせん断帯の交点が破断の起点となる可能性がある。

参考文献

- (1) 小池淳一・宮村剛夫：軽金属, 54-11 (2004), 460-464.
- (2)MR.Barnett : Material Science and Engineering A, 464 (2007), 8-16.

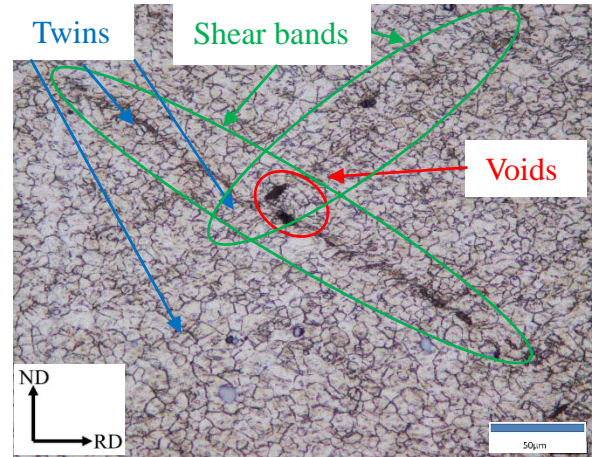


Fig. 2 Side view (strain ratio 1 [-], approx. 400 [µm] away from the fractured surface)

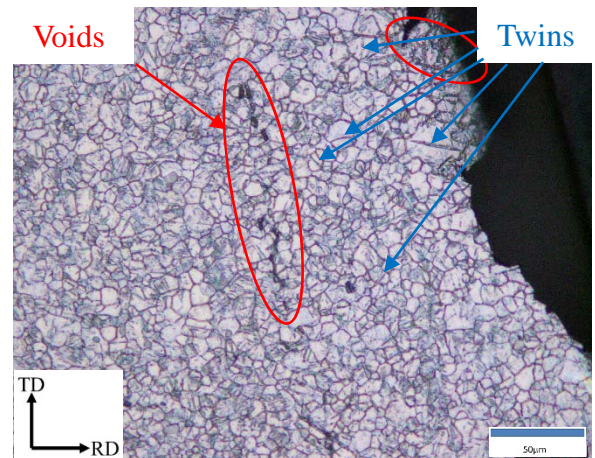


Fig. 3 Surface view (strain ratio 1 [-], near the fractured surface)

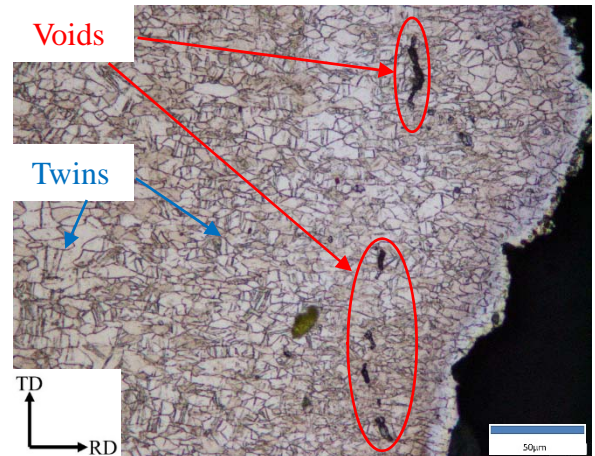


Fig. 4 Surface view (strain ratio -0.6 [-], near the fractured surface)

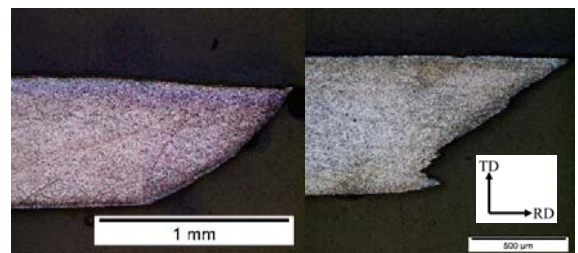


Fig. 5 Side view, RD fracture strain (left) 0.34 (right) 0.26