

# 成形加工性にすぐれたマグネシウム合金板材

日本大学生産工学部機械工学科 教授 金子 純 一  
(平成 13 年度研究開発助成 AF2001019)

キーワード：マグネシウム，塑性異方性，結晶集合組織

## 1. 研究の目的と背景

典型的な六方晶金属であるマグネシウムは、常温付近において活動するすべり系が底面すべりにほとんど限られるため、その圧延板材では六方晶の底面が板面に平行に配列する強い結晶集合組織が形成される。そのため、顕著な塑性異方性を有し、 $r$  値が 2 以上の大きい値となつて、板面積が増加して板厚が減少する変形における成形限界が極度に低下する。したがって、他の汎用金属に比べて、常温付近での曲げ加工性、深絞り性、張出し性、穴広げ限界、などに著しく劣る。マグネシウムは軽量化のための材料として近年最も重要視されている金属であるが、常温でのプレス成形性に劣るため、薄板材としての需要が極端に少ないのが現状である。もし、常温付近での低い成形性を克服することができれば、マグネシウム圧延薄板材の需要を飛躍的に拡大することが可能になる。

本研究では、マグネシウム板材の集合組織が成形性に及ぼす影響を実験的に検討して、すぐれた成形性を示すマグネシウム板材が有する集合組織を明らかにすることが目的である。それにより、マグネシウム板材の成形性向上のための基礎的指針を示して、マグネシウム板材の用途拡大を導くことが最終的な目的である。

## 2. 実験方法

米国 SCI 社製の AZ31-O マグネシウム合金（標準組成：3mass%Al, 1mass%Zn, 0.2mass%Mn）厚板材（1200×3600×20t mm）を供試材に用いた。この厚板の表面 0～3mm の範囲を表面層（S 層）、8.5～11.5mm の範囲を中心層（C 層）、両者の中間の 3.5～6.5mm の範囲を Q 層とし、各層の組織観察と底面集合組織の測定を行った。各層から JIS13B 号の引張試験片を採取し、5mm/min の速度で室温で引張試験を行い、0.2%耐力、引張強さ、伸び、 $r$  値を求めた。試験片はワイヤカットにより切り出した。

また、荷重方向が圧延方向（RD）、幅方向（WD）、板厚方向（TD）となるように直径 10mm、高さ 18mm の円柱形試験片を厚板材から採取し、室温～573K で圧縮試験を行った。圧縮速度は 0.5mm/min で、潤滑剤として試験片上下端面と工具との間にテフロンシートを挟んだ。引張試験及び圧縮試験では一条件 3 本の試験を行い、その平均値を求めた。

各層から採取した厚さ 1.0mm のブランクについてコンカルカップ試験とエリクセン試験を行って、プレス成形性を評価した。両試験とも JIS に準拠した条件により室温で行った。

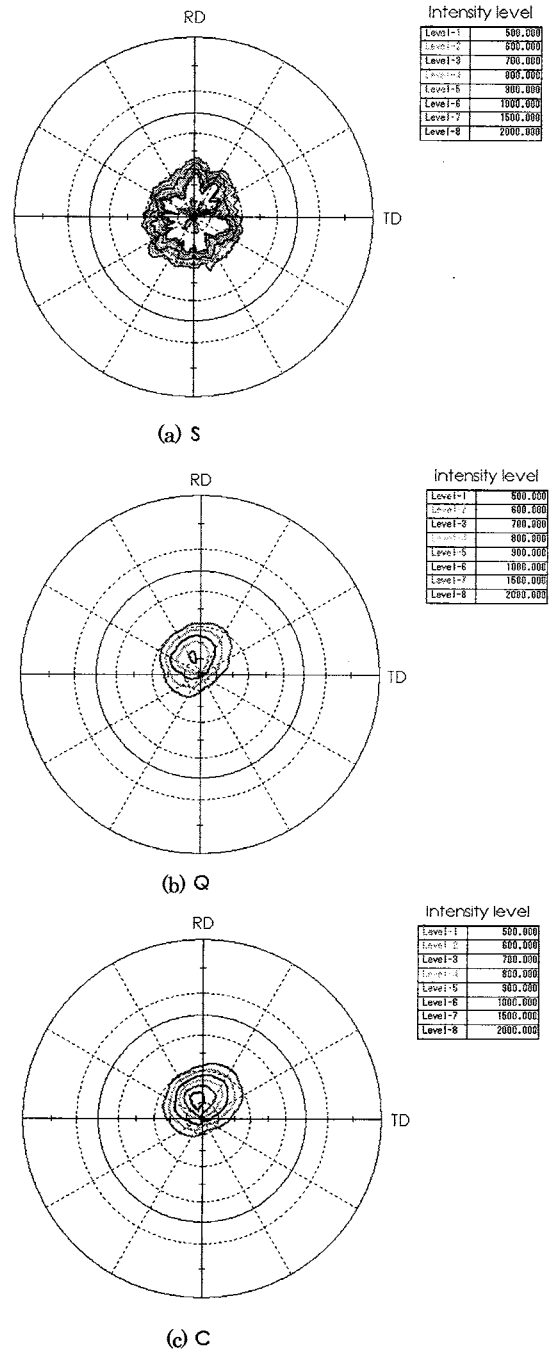


図 1 AZ31 厚板の各層における底面(0001)の正極点図 (a) S 層, (b) Q 層, (c) C 層

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 集合組織

厚板各層から採取した試料の底面(0001)の正極点図を図 1 に示す。これより、各層において底面が板面に平行に配列する強い底面集合組織が形成されているが、表面層の集積度が高く、板厚中心に向かうにつれて集積度が低下する傾向を示している。各層について底面からの回折強度の $\alpha$ 角分布図を図 2 に示す。底面集合組織の集積度は表面層の S 層で高く、Q 層と C 層ではほぼ同等で、S 層より明らかに低い集積度を有している。このことは、板厚が薄くなるにつれて底面集合組織の集積度が増すことを示唆している。

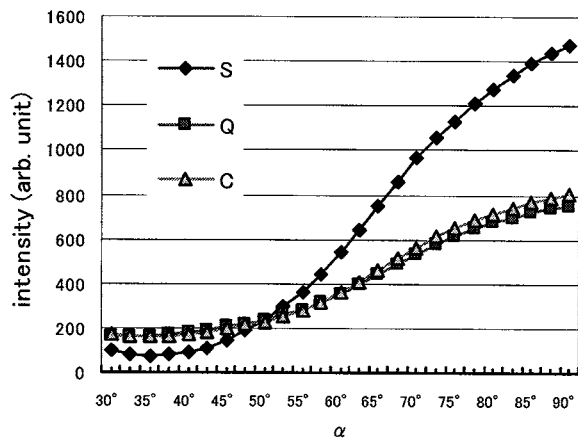


図 2 AZ31 厚板の各層での底面(0001)からの回折強度の $\alpha$ 角分布図

#### 3.2 引張特性

各層から圧延方向に対して 0, 45, 90° 方向に採取した試験片の常温での 0.2%耐力と引張強さを示したのが図 3 である。耐力においては S 層が C 層, Q 層より大きい値を示しているが、引張強さでは各層の差はほとんど認められない。底面集合組織の集積度の大きい S 層で耐力は最大値を示すが、変形の進んだ段階の引張強さにおいては集積度の差の影響が弱まることを示している。また、いずれの層においても、90° 方向の耐力及び引張強さが最大値を示した。

図 4 に各層及び各方向についての伸びを示す。S 層は伸びが最小で、Q 層, C 層の順に伸びは大きくなっており、底面集合組織の集積度が高いと伸びが減少することを示している。また、いずれの層においても、耐力及び引張強さが最大であった 90° 方向で伸びが最小値を示した。

図 5 に常温での各層及び各方向の r 値を示す。S 層が最大の r 値を、C 層が最小の r 値を示した。各方向の r 値の平均値は、S 層: 2.2, Q 層: 1.8, C 層: 1.7 で、表面から板厚の中心に向かうにつれて減少している。これは、表面から板厚の中心に向かうにつれて底面集合組織の集積度が低下して、塑性異方性が弱まることに対応している。

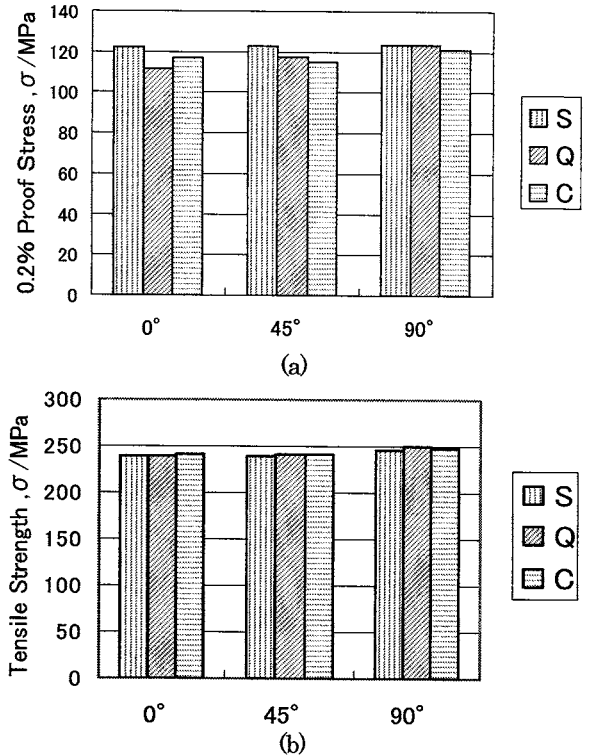


図 3 AZ31 厚板の各層から圧延方向に対して 0°, 45°, 90° 方向に採取した試験片の常温での 0.2%耐力 (a), 引張強さ (b)

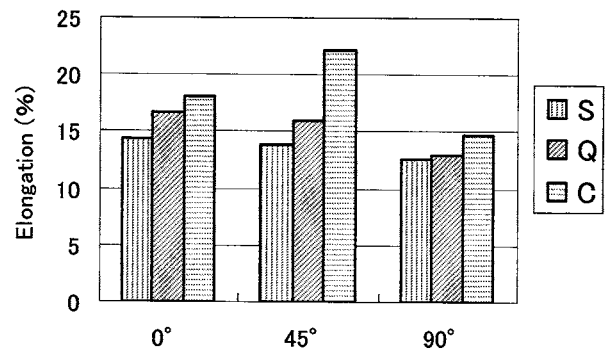


図 4 AZ31 厚板の各層及び各方向の常温での伸び

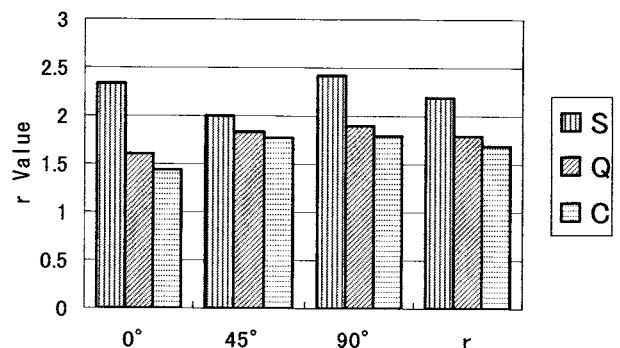


図 5 AZ31 厚板の各層及び各方向の常温での r 値

### 3.3 圧縮特性

常温での圧縮試験による厚板の TD, WD, RD 方向の真応力-真ひずみ線図を図 6 に示す。図中には、単軸引張試験での S 層の 90° 方向の真応力-真ひずみ線図を比較のために書き加えてある。TD 方向は単軸引張試験と同様な応力-ひずみ曲線を描くが、RD 及び WD 方向では明瞭な降伏点を示し、降伏応力は約 60MPa と低い値であった。しかし、降伏後に大きい加工硬化を示し、圧縮破壊強さは TD 方向よりむしろ高い。RD 及び WD 方向の圧縮軸は主すべり面と平行であり、TD 方向ではこれと垂直方向になる。

マグネシウムにおいては、c 軸方向の引張応力、あるいは c 軸と垂直方向の圧縮応力によって {1012} 双晶変形が容易に起こる。したがって、RD 及び WD 方向の圧縮では、まず双晶変形が起こって、結晶が滑りやすい方位に回転してその後のすべり変形を容易にする。そのため、低い応力の降伏点を示し、その後のすべり変形によって圧縮軸と垂直方向にテイメンガ配列する集合組織が形成されていき、それに伴って大きい加工硬化を示す。

573K での圧縮試験における真応力-真ひずみ曲線を図 7 に示す。573K では各方向の応力ひずみ曲線の差異はほとんど無くなって、塑性的に等方に近づいている。また、すべての方位で圧縮真ひずみ 0.1 付近で約 50MPa の最大応力を示し、その後圧縮変形とともに加工軟化が起こって真応力は低下している。

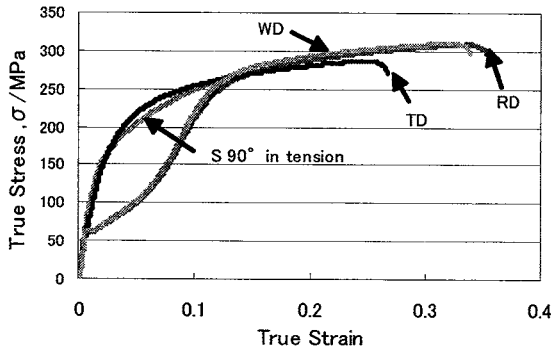


図 6 AZ31 厚板の常温での圧縮試験による TD, WD, RD 方向の真応力-真ひずみ線図

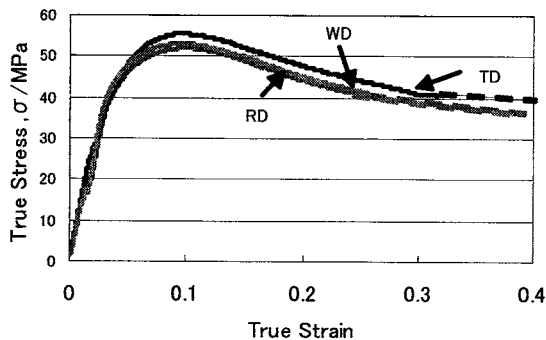
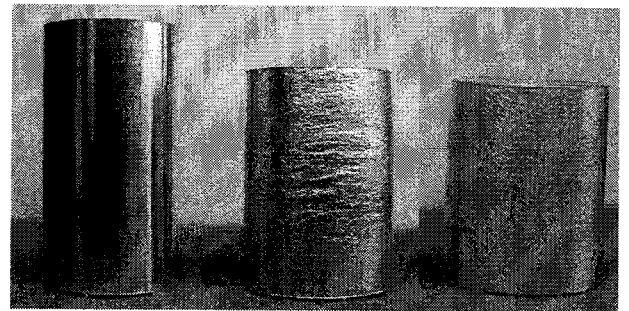
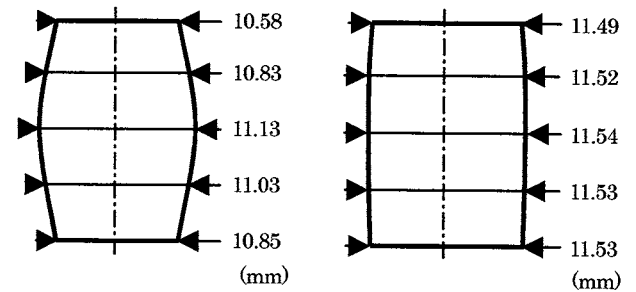


図 7 AZ31 厚板の 573K での圧縮試験による TD, WD, RD 方向の真応力-真ひずみ線図

常温での圧縮試験後の試験片断面は、TD 方向の場合は円形のままであったが、RD 及び WD 方向の場合は板厚方向が短軸となる楕円形に変化した。これは、大きい値の r 値に対応して、板面方向に比べて板厚方向の変形がしにくいからである。一方、TD 方向の圧縮試験片では側面が樽形に変形した。0.8 の圧縮ひずみまで変形後の TD 方向の試験片側面を RD 方向と比較して示したのが図 8 である。TD 方向の試験片では上下端に対して中央部がふくらんでいる。これは、表面層での底面集合組織の集積度が高いことに対応して耐力が高くなっており、中心層が先に降伏して変形が進むためと考えられる。



(a)



(b)

図 8 AZ31 厚板の TD 方向と RD 方向に圧縮変形した後の試験片形状(a)、各層の試験片直径(b)

### 3.4 成形性

各層から採取した薄板ブランクについてコンカルカップ試験によって得られた常温での限界絞り比を図 9 に示す。絞り比は、表面層の S 層で最小で、Q 層で最大であったが、中心層の C 層もほぼそれに近い値を示した。これは、中心層に近づくにつれて塑性異方性が減少して絞り比が向上することを示している。すなわち、底面集合組織の集積度の高い表面層では絞り成形性に劣り、集積度が減少するにつれて絞り性が向上する。

常温での各層のエリクセン値を図 10 に示す。板表面近傍の S 層ではエリクセン値 3.8 と最小値を示し、Q 層及び C 層ではともに約 4.8 であった。同一条件で試験した板厚 0.8 の AZ31B-O 材のエリクセン値は 3.2 であり、厚板材のいずれの層の値よりもさらに低い。薄板材では圧延加工度が増して底

面集合組織の集積度がさらに高まることに対応している。しかし、AZ31 マグネシウム板材のエリクセン値は、軟鋼板や純アルミニウム板に比べると著しく低い値であり、マグネシウム板材は張出成形性に劣る。これは、発達した底面集合組織に起因して、2軸引張りにより板厚を薄くする変形での変形抵抗が高く、変形能が低くなっていることを意味する。

以上で示した絞り成形性と張出成形性の実験結果より、マグネシウムにおいては底面集合組織の集積度が高いほど成形性に劣ることが分かった。集積度を低くすることによって板材の成形性を向上させることができる。底面集合組織の集積度の低いマグネシウム薄板材の製造技術を開発することが今後の課題である。そのためには、合金開発とプロセス開発の両面からのアプローチが必要と考えられる。

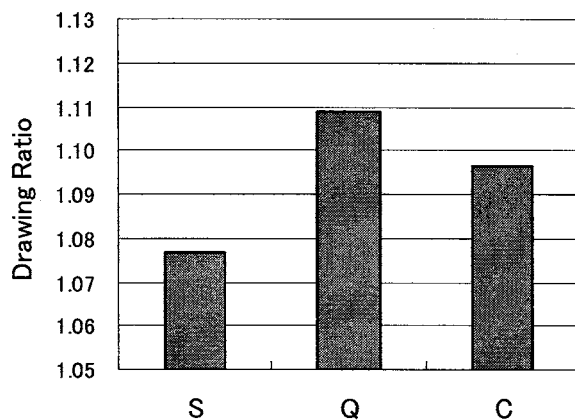


図9 AZ31厚板の各層の常温でのコニカルカップ試験により得られた限界絞り比

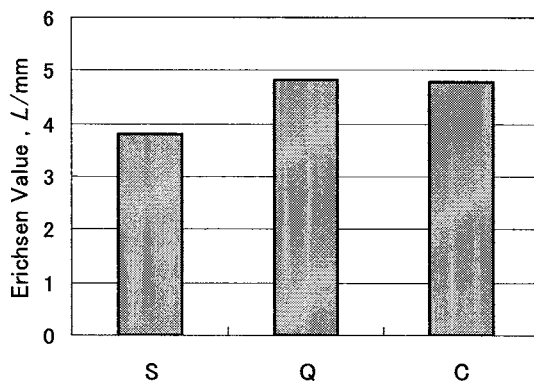


図10 AZ31厚板の各層の常温でのエリクセン値

#### 4. 結論

(1) 厚さ 20mm の AZ31-O マグネシウム合金厚板材において、底面集合組織の集積度は、表面層で最大で、中心に向かうに従い集積度の低下が認められた。

(2) 引張試験において、底面集合組織の集積度の高い表面層では 0.2%耐力が高く、集積度の低い中心層では伸び大きい

傾向を示した。r 値、すなわち塑性異方性は表面層で最大で、中心に向かうにつれて減少した。

(3) 常温では厚板の圧延及び幅方向の圧縮降伏応力が板厚方向に比べて著しく低いが、圧延及び幅方向の引張降伏応力は板厚方向の圧縮降伏応力と同等程度であった。しかし、573K での圧縮試験ではいずれの方向においても同様な変形挙動が観察され、塑性異方性は消失した。

(4) 常温での圧縮試験後の板圧方向の円柱形試験片は樽形に変形した。これは表面層の底面集合組織の集積度が高いため、中心層より圧縮変形しにくいためである。一方、高い r 値を反映して、圧延及び幅方向の圧縮試験片の断面は板厚方向が短軸となる楕円形に変形した。

(5) 底面集合組織の集積度が高く、r 値の高い表面層は、中心層に比べて、コニカルカップ試験における限界絞り比が低く、エリクセン値も低い値を示す。

(6) AZ31 圧延板材において、発達した底面集合組織は塑性異方性をもたらし、成形性を低下させる。したがって、底面集合組織の集積度を低下させることにより成形性の向上が得られる。

#### 文献

- (1) E. Yukutake, J. Kaneko and M. Sugamata : *Materials Transactions*, 44-4 (2003), 452-457.
- (2)金子純一, 菅又 信 : *軽金属*, 54-11 (2004), 484-492.

#### 謝辞

本研究は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成を受けて実施されました。ここに同財団に深謝の意を表します。