

## マグネシウム合金板材の塑性変形の向上とプレス成形特性に関する研究(第 3 報)

小松崎 和久\* 行武 栄太郎\* 谷萩 雄一郎\*\* 磯山 亮\* 早乙女 秀丸\* 小石川 勝男\*

### 1. はじめに

当センターでは、平成 17 年度より茨城県をマグネシウム加工の産業拠点とすべく「茨城マグネシウムプロジェクト」を推進してきた。マグネシウム合金は、情報携帯端末部品など軽量化が必要な部材への適用が図られているが、その多くはダイカスト品であり、展伸材を用いたプレス成形品は少ない状況である。これは、マグネシウム合金のプレス成形性が室温において著しく劣り、展伸材の価格も他軽金属と比べて著しく高いためである。また、複雑形状部材への適用も課題となっている。

そこで、本研究では、

- ①市販の AZ31 マグネシウム合金の組織微細化と集合組織制による塑性変形性向上
  - ②展伸材の製造コストの削減と強度、耐食性の向上が図られる AZ61 マグネシウム合金連続鋳造圧延板のプレス成形性の評価を行なったので、報告する。
- なお、超塑性成形に関しては別報で報告する。

### 2. 連続曲げ試験機と塑性変形性の向上

#### 2.1 連続曲げ試験機

マグネシウムは、最密六方格子であり、結晶の c 軸方向に引張および圧縮ひずみを加えると双晶変形が発現する特徴がある。マグネシウムの軸比(c/a)は、1.633 以下であり、c 軸方向に引張ひずみを加えることで双晶変形が発現する。

そこで、板材に曲げ変形を加え、曲げ内側に発生する圧縮変形、外側に発生する引張変形を利用して積極的に板内に双晶変形を発現させ、底面集合組織の集積度を低下(ランダム化)させる「連続曲げ試験機」を作製した。その外観を図 1 に示す。

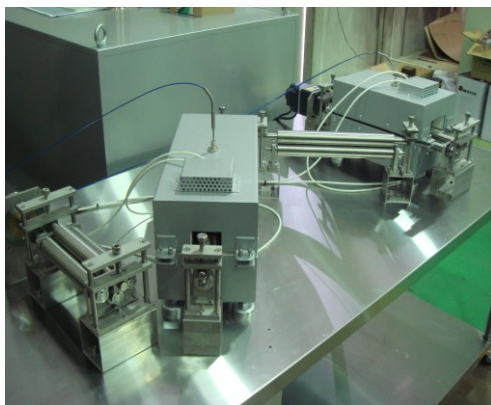


図 1 連続曲げ試験機

連続曲げ試験機は、①3本のステンレスロール(φ38mm)を用い、板厚変化を生じることなく板厚方向へ連続的の曲げひずみを加えることが可能であり、②ロール間隔により、曲げ角度(60°、90°、120°)を

可変とし、ひずみ量の変化に伴う双晶発現量を変えることができ、③ロールを電気炉で囲い、温間で曲げ変形を加えられる構造とした。ロール温度は、室温から 300°C である。

#### 2.2 供試材の特性

供試材には、市販のマグネシウム合金圧延材 AZ31-O(完全焼鈍材・板厚:0.8mm)を用いた。完全再結晶した平均粒径 17 μm の結晶粒であり、圧延方向に若干の傾きを示すものの{0001}面が板面に平行に並んだ強い底面集合組織が確認された。表面のビッカース硬さは平均 55HV であり、引張試験(試験片寸法:幅 12.5mm, 標点間距離 50mm, 試験温度:室温~300°C, 試験速度:5mm/min)の結果、室温での引張強さは 280MPa, 伸びは 18%であった。また、引張試験片の破断部を観察した結果、150°Cでは引張ひずみによる再結晶化の始まりと思われる微細組織が、200°Cでは等軸状約 5 μm の完全再結晶粒が、250°Cでは約 10 μm に成長した再結晶粒が観察された。このことより、連続曲げ試験機による微細等軸結晶粒を有する板材の創製を試みた。

#### 2.3 連続曲げ試験結果

常温で曲げ変形を付与した結果、変形内側面には多くの機械的双晶が確認されたが、変形外側面は少なかった。ロールの送り速度を変化させても大きな組織の変化は確認されなかった。

常温曲げ試験後、熱処理を行った。熱処理温度 150°C では組織の大きな変化はないが、250°Cでは、再結晶組織が部分的に観察され、300°Cでは、完全に再結晶した等軸の結晶粒が観察された。この結果は、200°C以上で行った引張試験片の結晶組織と同様であり、温間で曲げ変形を加えることにおいても引張変形と同様な結晶組織を得ることができた。

図 2 に示す連続曲げ試験前後の底面集合組織{0001}の比較から、底面集合組織の強度低下が確認された。

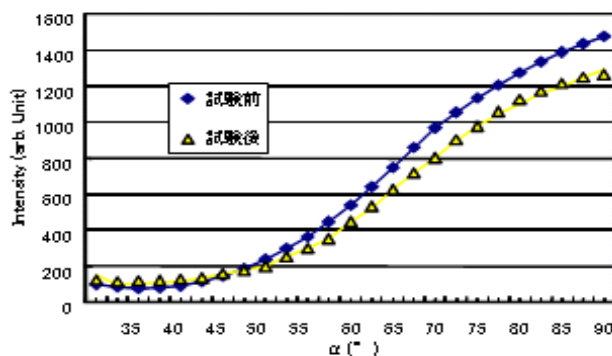


図 2 連続曲げ試験前後の底面集合組織の集積度

また、図 3 に示す 250℃での温間連続曲げ試験後の組織観察からは、曲げ変形付与により双晶のない約 5 μm で微細で等軸な結晶組織が確認された。これは 250℃での引張試験と同様であり、塑性変形性の向上した等軸微細組織であると考えられる。ただし、150℃での曲げ変形では、引張試験と比べ多くの双晶が観察された。

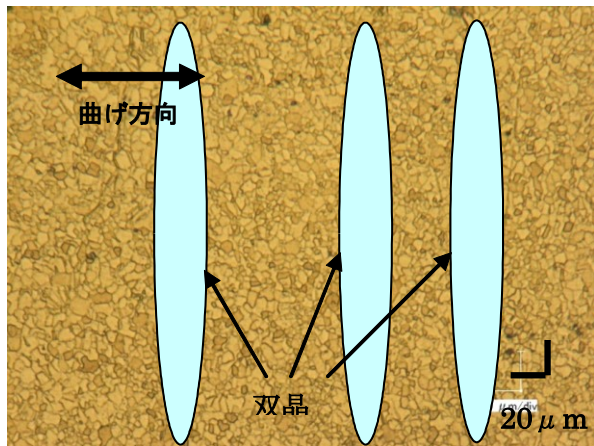


図 3 250℃温間連続曲げ試験後の組織写真

### 3. マグネシウム合金のプレス成形特性

マグネシウム合金の展伸材は、圧延工程が複雑なため、コスト高となっている。連続鋳造圧延は、マグネシウム合金展伸材の低コスト化に有効な製造法として期待されているが、その成形性に関するデータは不足している。また、マグネシウム合金は、アルミニウムの添加量が増すにつれ、強度とともに耐食性が大きくなるため、AZ61 合金の展伸材への適用も図られつつある。

そこで、低コスト化とともに強度、耐食性に優れた連続鋳造圧延法による AZ61 合金板材のプレス成形性をスラブ圧延法による AZ61 合金との比較も加え、評価を行なった。

#### 3.1 実験方法

供試材には、AZ 61 合金連続鋳造圧延材 (板厚 0.6 mm) を用いた。ICP で分析した化学組成を表 1 に示す。図 4 に示す光学顕微鏡による組織写真から組織の平均粒径は約 20 μm であった。

表 1 AZ 61 合金連続鋳造圧延板の化学組成 (wt%)

	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Mg
AZ61	5.44	0.98	0.2	0.03	0.005	Bal

機械的性質として、圧延方向に対して 0°、45°、90° 方向より試験片を採取し、常温、50℃、100℃、150℃、200℃および 250℃において引張試験を行った。試験速度は 3 mm/min とし、3 方向平均の引張強さおよび伸びを求めた。成形性評価には、アマダプレステック社製 110 t 油圧サーボプレス機を用い、深絞り試験を行った。

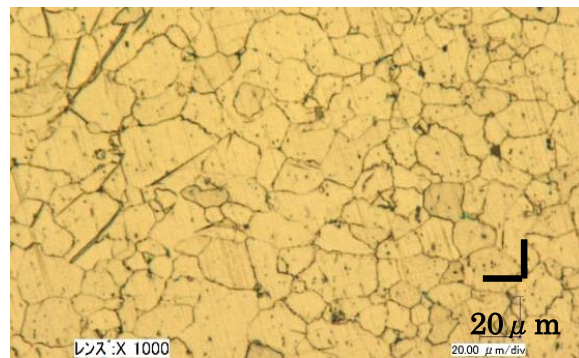


図 4 AZ 61 合金連続鋳造圧延材の結晶組織

深絞り試験は、図 5 に示す上部ダイと下部ホルダーの間にブランク材を挟み、20kN の空気圧で固定した。ダイ穴径は φ 51.6 mm、パンチは φ 50 mm、肩 R 5 の円筒平底パンチである。ブランクは、ヒーターで所定の温度に加熱されたダイおよびホルダーにて 20s 挟み込んだ後に絞り込んだ。測温は熱電対を用い、パンチは約 10℃冷却した。試験条件は、成形温度を引張試験温度に合わせ、スライド速度を 10mm/min とし、ブランク材とパンチおよびダイス間の潤滑にはテフロンシート (厚さ: 0.1 mm) を用いた。以上のような方法で各試験温度での限界絞り比 LDR (Limiting Drawing Ratio) を求めた。なお、各試験温度で 3 回以上カップ部が破断することなく、また、壁部にしわが発生することなく絞り成形が可能な最大ブランク径から LDR を求めた。合わせて、市販のプレスシミュレーションソフトによる解析も行なった。なお、一部比較に用いた AZ61 スラブ圧延板材 (板厚 0.6mm) を蛍光 X 線により簡易分析した結果、Al: 5.12wt%, Zn: 0.60wt%, Mn: 0.21wt%, Si: 2.65wt% であった。

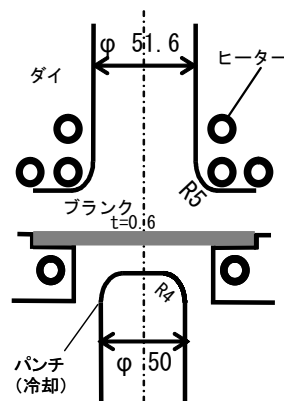


図 5 深絞り成形金型の構造

#### 3.2 供試材の機械的特性

図 6 に温度と引張強さ、図 7 に温度と伸びの関係を示す。連続鋳造法による AZ61 合金の引張強さは、連続鋳造圧延、スラブ圧延ともほぼ同じ値を示し、アルミの添加量が多いため、AZ31 合金よりも値が大きかった。伸びについては、150℃以上で、スラブ圧延 AZ61 合金が大きな値を示した。連続鋳造圧延 AZ61 合金に

みられる 150℃から 200℃にかけての大きな伸びの低下は、150℃付近で始まる回復および再結晶による結晶状態の不安定さによるものと思われる。

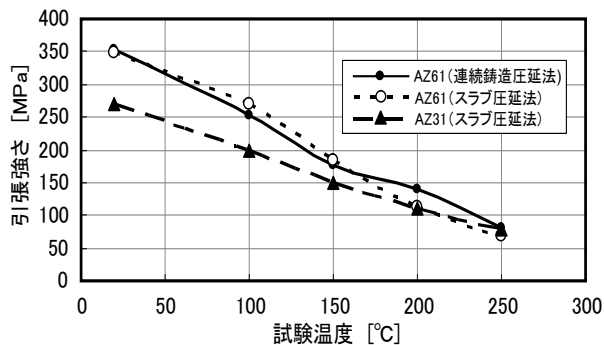


図 6 温度と引張強さの関係

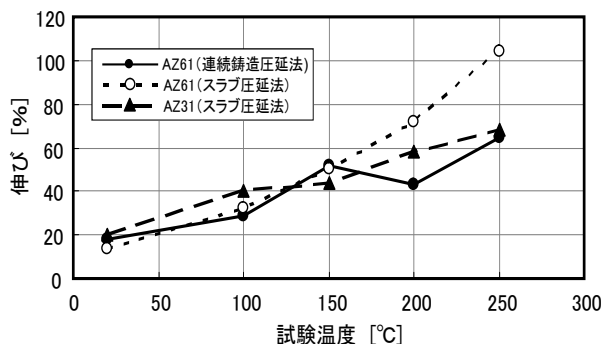


図 7 温度と伸びの関係

### 3.3 プレス成形性

図 8 に連続鋳造圧延 AZ61 合金の温度と LDR の関係を示す。常温では LDR1.3 だが、200℃以上では LDR2.4 以上であった。なお、金型の構造上φ130mm 以上のブランクを絞りきれないため、LDR の最大値は 2.6 となる。100℃では、パンチ肩部からフランジ部へかけて、200℃以上では、パンチ肩部において、いずれの場合も圧延方向に沿った割れが確認された。

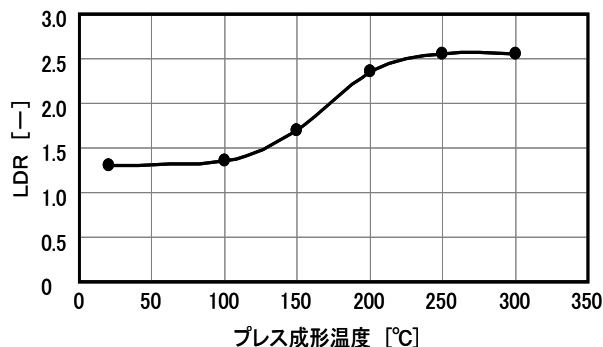


図 8 連続鋳造圧延 AZ61 合金の温度と LDR の関係

図 9 にブランク径φ103mm 一定の場合のプレス成形速度と LDR の関係を示す。プレス機の仕様上、試験の最大成形速度は 20mm/s である。図中のスラブ圧延材の成形速度は最大値で一定となっているが、

180℃の加熱により LDR2.06 (=103mm/50mm) 以上の絞り成形が、曲線の傾きからは 200℃の加熱により 40mm/s 程度の速度で成形可能であると思われる。連続鋳造圧延 AZ61 合金は、成形温度 240℃以上でプレス機の最大仕様速度 20mm/s 以上となるが、大幅な成形速度のアップは見込めない。

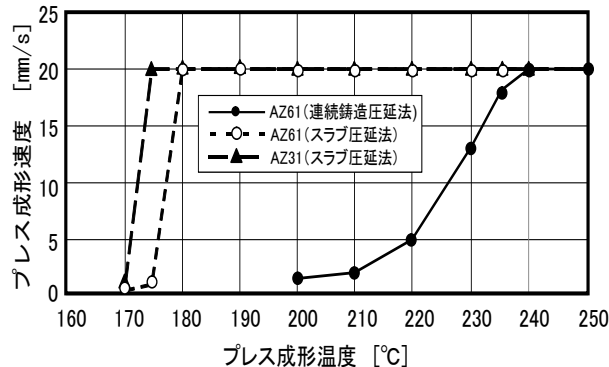


図 9 プレス成形温度と LDR の関係

### 3.4 シミュレーション解析

対象とするマグネシウム合金板材の深絞り成形は、所定温度に加熱されたブランク材と冷却されたパンチ間の伝熱や温度変化に伴う材料物性値の変化など成形因子が複雑に絡み合っている。

そこで、これら成形因子と成形性の関係をプレスシミュレーションソフトウェア eta/DYNAFORM 5.6.1 (サイバネットシステム株式会社)を用いて解析した。

#### 3.4.1 シミュレーション解析条件

対象は、前述の連続鋳造圧延 AZ61 合金板 (板厚 0.6mm) の深絞り成形であり、モデル寸法としてブランク径をφ103mm とし、図 5 に示す金型を中心軸対称の 1/4 モデルにて解析した。設定成形条件を表 2 に示す。温度によって異なる材料物性は、引張試験により得られた結果を用いた。

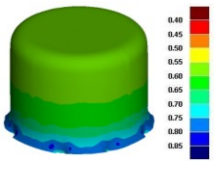
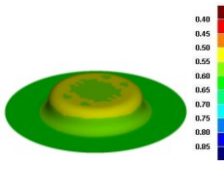
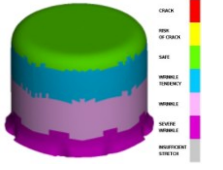
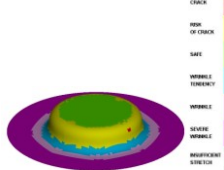
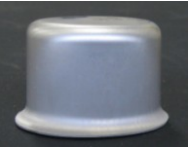
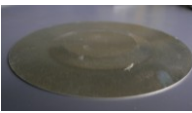
表 2 シミュレーション解析条件

ブランク加熱温度	100, 250[°C]
パンチ温度	10[°C]
バインダー力	20[kN]
摩擦係数	0.1[-]
成形速度	20[mm/s]
絞り深さ	39.5[mm]

#### 3.4.2 シミュレーション解析結果

解析結果を表 3 に示す。解析における割れの有無は成形の最も厳しいと考えられる肩部にて行った。具体的には、肩部の温度を求め、その温度における n 値、r 値 (いずれも引張試験値) を用いて判断した。

表3 シミュレーション解析と実成形の比較

ブランク温度	250℃	100℃
板厚 [mm]		
肩部割れ判断		
実成形結果		

ブランク加熱温度が 250℃のときは割れが生じず、プレス機による実成形結果と一致した。100℃におけるマグネシウム合金は、変形能が乏しく、シミュレーション解析、実成形のいずれにおいても破断したが、実成形の方が絞り高さは小さかった。定量的評価には、摩擦係数、バインダー力、伝熱状態を変化させ、絞り深さに加え、しわの状態、破断位置などを含めた合わせ込みが必要となる。

### 5. まとめ

- 250℃における連続曲げ変形付与により、等軸で約5 μm微細結晶粒組織を有する底面集合組織が弱体化された素材を作製した。
- 室温から250℃における連続鋳造圧延AZ61合金とスラブ圧延AZ61合金の引張強さは同等であるが、150℃以上での伸びはスラブ圧延AZ61合金の方が大きかった。また、240℃以下での深絞り成形性もスラブ圧延AZ61合金の方が優れていた。
- 伝熱、材料物性の温度依存性を考慮したプレスシミュレーション解析による深絞り成形性は、実験結果とほぼ一致した。