

# マグネシウム合金板の成形性に及ぼす Al 添加量の影響

日大生産工（院） ○高橋 泰裕  
日大生産工 勝田 基嗣

## 1. 緒言

現在、マグネシウムにおける需要は非常に高まっている。その最大の理由は比重の軽さにある。マグネシウムの比重は 1.74 と実用金属中最も軽く Fe の 1/4, Al の 2/3 と工業製品の軽量化、またそれによる CO<sub>2</sub> 削減が期待され、地球温暖化が懸念されている今日において最も適している金属であるといえる。さらに、マグネシウムは資源が豊富、リサイクル性が良いので材料不足にならないといった利点もある。しかし、マグネシウムの結晶構造が稠密六方格子構造であり、常温ではすべり面が底面のみに依存するため、板材では他の金属より成形性が劣るといった欠点がある。そのためマグネシウムの加工はダイカスト技術をはじめとする鋳造加工が主流である。一般的に加工時間が短く、材料のロスが少ないプレス成形が有効であるが前述の理由から向いていない。現時点で展伸材として最も広く用いられているのは AZ31 マグネシウム合金板である。しかし板材として成形性が良い反面、強度不足といった問題を抱えてるが、AZ31 マグネシウム合金板を中心とした幅広い塑性可能な材料の研究、開発は必要不可欠である。

そこで本研究では機械的性質、成形性ととともに良好である Mn 添加量が 0.25(w)% の AZ 系マグネシウム合金板を取り上げ、Al 添加量の違いによって成形性にどのような影響を及ぼすかを比較、検討を行った。

## 2. 供試材および実験方法

本実験の供試材は AZ 系の Al 添加量が

Table 1 Chemical composition (mass%)

| 材質 | Al   | Zn   | Mn   | Si    | Fe    | Cu    | Ni     | Be     | Mg   |
|----|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|------|
| 3材 | 2.93 | 1.04 | 0.28 | 0.01  | 0.003 | 0.001 | 0.0001 | 0.0005 | Bal. |
| 4材 | 4.06 | 1.00 | 0.26 | 0.014 | 0.004 | 0.001 | 0.0001 | 0.0006 | Bal. |
| 5材 | 5.09 | 0.97 | 0.25 | 0.012 | 0.003 | 0.001 | 0.0003 | 0.0004 | Bal. |
| 6材 | 6.29 | 1.02 | 0.26 | 0.009 | 0.003 | 0.001 | 0.0004 | 0.0005 | Bal. |

3%, 4%, 5%, 6% のマグネシウム合金の鋳造材を用いた。以後これらの材料を 3 材, 4 材, 5 材, 6 材とする。この鋳造材に 723K-36h の均質化処理を施したものを圧延素材とした。なお化学組成は Table 1 に示す。

鋳造材に均質化処理後の Al 添加量別の外観写真を Fig. 1 に示す。各材料において偏析が上部中央に存在するため、図に示す通りに材料を板厚 15mm に切出し

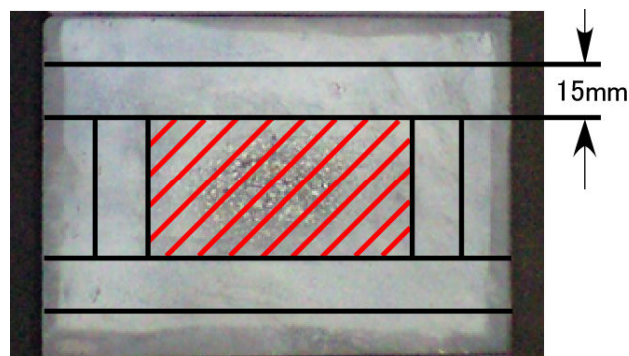
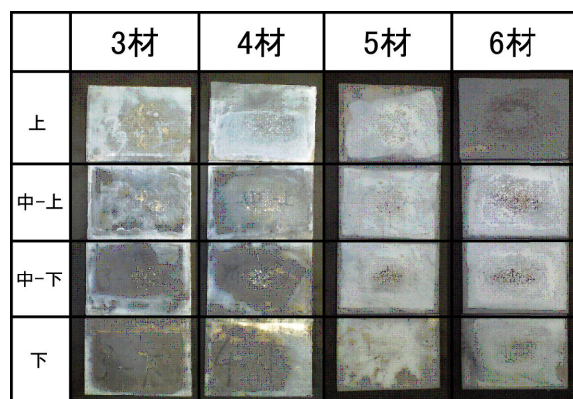


Fig.1 Changes in Externals photograph with Al Addition.

Influence of Formability of Al Addition on Magnesium Alloy Sheets.

Yasuhiro TAKAHASHI and Mototsugu KATSUTA

た．その後、機械加工によって板厚 10mm にし圧延を行った．

圧延はロール直径 150mm の 2 段ロール圧延機を使用した．圧延方法は熱間コールドロールを用い、1 パスごとに圧下率を 30%、180° ずつ方向を変えて圧延を行い、最終板厚を 0.8mm とした．なお圧延の際にはロールの冷却と板材のピックアップを防ぐために絶えず潤滑を行った．また圧延の際に生じる残留ひずみを除去するために 723K-1h の中間焼きなましを施した．この板材を任意の形状に機械加工し、焼きなまし温度による影響を調べるために、各試験片を 548K-2h、573K-2h、623K-1h (3 材のみ 2h)、673K-1h で焼きなましを行い、組織観察、粒径測定、曲げ試験、絞り試験、エリクセン試験、および集合組織の測定を行った．なおすべての熱処理は酸化防止のためにアルゴンガス雰囲気中で行った．

組織観察は試験片を樹脂埋めし、研磨により鏡面仕上げした後、ピクリン酸溶液で腐食し、光学顕微鏡で倍率 400 倍にて観察を行った．観察は最終圧延方向(RD 方向)に対して横断面にて行った．なお粒径測定はチンマー法を用いて測定を行った．

曲げ試験では、JIS3 号試験片を圧延方向に対し 0°、45°、90° の 3 方向から採取し、180° 押し曲げ法にて試験速度 100mm/min で行った．

絞り試験は、φ40 のポンチ、ダイスφ43 を用い、絞り速度 138mm/min で試験を行った．試験片はφ45 からφ70 の範囲でブランクを作成し、潤滑剤はポンチには塗布せず、ダイスとブランクホルダーにカーボングリスを塗布した．評価としてブランクの径をポンチ径で除した値を限界絞り比(LDR)とした．

エリクセン試験は、φ75 に打ち抜いたブランクを SR10 のポンチを用いて試験

速度 6mm/min で試験を行った．

集合組織は、測定を 0° から 70° までの範囲を、シュルツ反射法を用いて底面{0001}および錐面 $\{10\bar{1}1\}$ の極点図を作成した．

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 組織観察および粒径測定

Fig. 3 に Al 添加量における焼きなまし温度別の組織写真を示す．

573K、623K、673K と焼きなまし温度の上昇にともなって、結晶粒が成長する状態が観察された．また 3 材、4 材、5 材と Al の添加量が増加するとともに細かい結晶粒が観察されたが、6 材のみ 673K において二次再結晶による急激な粒成長が観察された．

焼きなまし温度が 573K のときに 3 材、4 材、5 材では再結晶がはじまり、微細な結晶粒が観察された．それに対し、6 材のみ圧延によって形成された双晶が見受けられ、623K において再結晶粒となり、Al 添加量が増加することによって再結晶開始温度が高温側へ移行している．

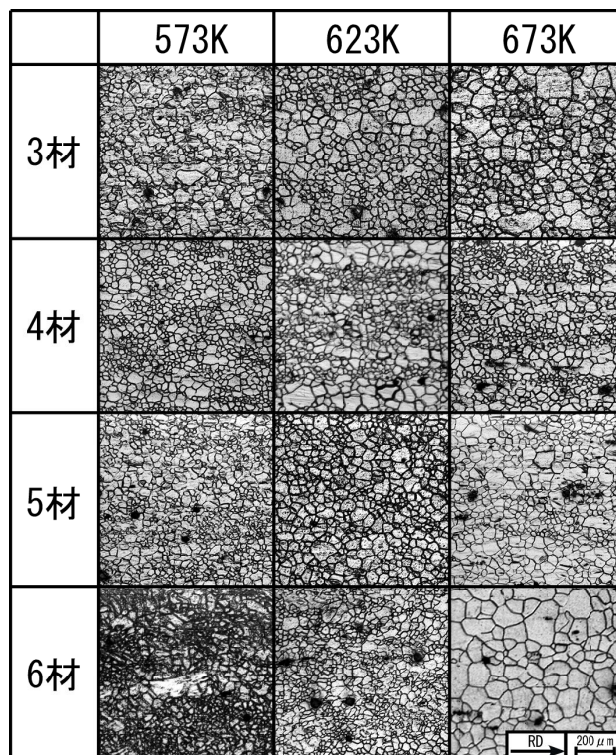


Fig. 3 Changes in microstructures with annealing temperatures.

Fig. 4 に焼きなまし温度による結晶粒径を示す．組織観察で明らかなように温度が上昇するとともに粒径が成長しているのがわかる．また 3 材，4 材，5 材と Al 添加量が多くなるとともに結晶粒が微細化しているのに対し，6 材のみ 673K を境に結晶粒が約 2 倍大きくなっている．

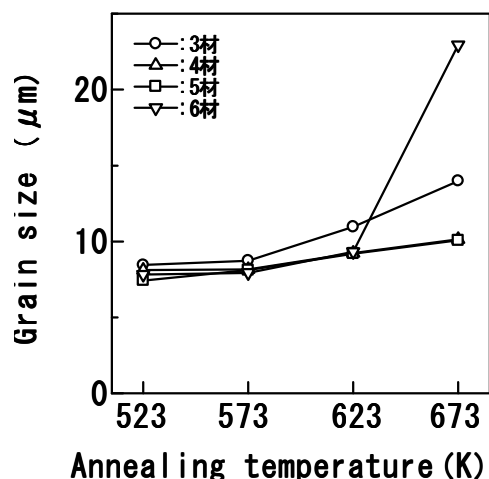


Fig.4 Changes in grain size with annealing temperatures.

### 3. 2 曲げ試験

Table 2 に焼きなまし温度による曲げ性の変化を示す．○が曲げ加工が可能なもの．△は亀裂が入っているもの．×は割れが生じたものである．

焼きなまし温度が上昇するとともに亀裂や割れの発生率が少なくなっている．これは各材料の再結晶温度に依存しているためだと考えられる．

Al 添加量が増加するとともに曲げ成形性が低下することもわかる．特に 6 材においては半数近く割れが発生している．これは Fig. 3 の組織写真からみても明らかなように，573K までは結晶の粒内にまだ双晶が残留し，加工ひずみが除去されていないためだと考えられる．

各材料において 0°，45°，90° 方向になるとともに亀裂・割れの発生率が高くなっており異方性が確認できる．特に 5 材の 573K-R2 において異方性が顕著にあらわれている．

Table 2 Bending evaluations by annealing

| 3材          |     | R4 | R3 | R2        | R1 | 4材   |     | R4              | R3 | R2 | R1 |
|-------------|-----|----|----|-----------|----|------|-----|-----------------|----|----|----|
| 523K        | 0°  | ○  | ○  | ○         | ×  | 548K | 0°  | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 45° | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 90° | ○               | ○  | ×  | ×  |
| 623K        | 0°  | ○  | ○  | ○         | △  | 573K | 0°  | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | ○         | △  |      | 45° | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 90° | ○               | ○  | ×  | ×  |
| 723K        | 0°  | ○  | ○  | ○         | ×  | 623K | 0°  | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 45° | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 90° | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             |     |    |    |           |    | 673K | 0°  | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             |     |    |    |           |    |      | 45° | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             |     |    |    |           |    |      | 90° | ○               | ○  | ○  | ×  |
| 5材          |     | R4 | R3 | R2        | R1 | 6材   |     | R4              | R3 | R2 | R1 |
| 548K        | 0°  | ○  | ○  | ×         | ×  | 548K | 0°  | ○               | ×  | ×  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | ×         | ×  |      | 45° | ○               | ×  | ×  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ×         | ×  |      | 90° | △               | ×  | ×  | ×  |
| 573K        | 0°  | ○  | ○  | ○         | ×  | 573K | 0°  | ○               | ○  | ×  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | △         | ×  |      | 45° | ○               | ○  | ×  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ×         | ×  |      | 90° | ○               | ×  | ×  | ×  |
| 623K        | 0°  | ○  | ○  | ○         | ×  | 623K | 0°  | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 45° | ○               | ○  | ×  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 90° | ○               | ○  | ×  | ×  |
| 673K        | 0°  | ○  | ○  | ○         | ×  | 673K | 0°  | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 45° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 45° | ○               | ○  | ○  | ×  |
|             | 90° | ○  | ○  | ○         | ×  |      | 90° | ○               | ○  | ×  | ×  |
| ○ : Success |     |    |    | △ : Crack |    |      |     | × : Destruction |    |    |    |

○ : Success    △ : Crack    × : Destruction

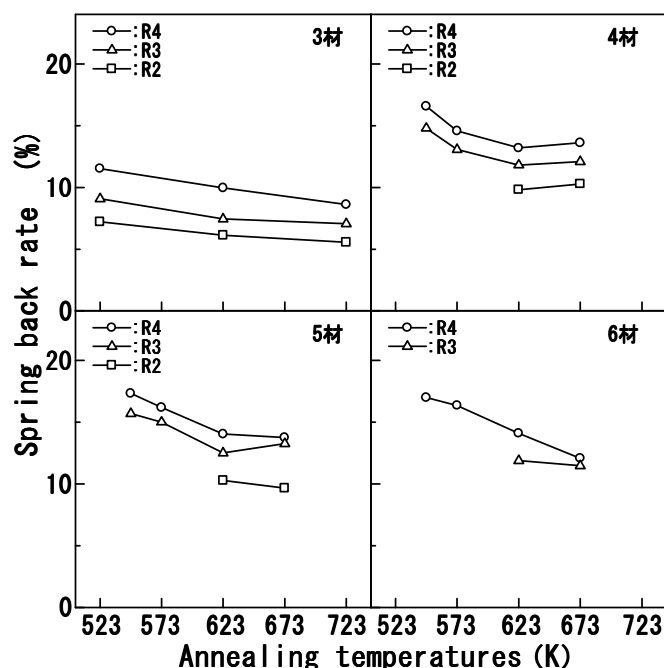


Fig.5 Changes in spring back rate With annealing temperatures.

Fig. 5 に焼きなまし温度によるスプリングバック率の変化を示す．焼きなまし温度が上昇するとともに値は低下する傾

向を示している。Al 添加量が増加するにつれてスプリングバック率が上昇する傾向がある。

またポンチ径が大きくなるとともにスプリングバック率が上昇する傾向を示している。

### 3. 3 絞り試験

Fig. 6 に焼きなまし温度による LDR の変化を示す。焼きなまし温度が上昇するとともに値は上昇する傾向を示している。このことから各材料とも再結晶温度近傍で最大値を示すことがわかる。

Al 添加量が増加すると値は低下する傾向にある。曲げ試験の結果からみても成形性という点では 3 材, 4 材, 5 材, 6 材の順に良好であることがわかる。特に 3 材はすべての温度で LDR が 1.6~1.7 と安定して高い成形性を維持している。

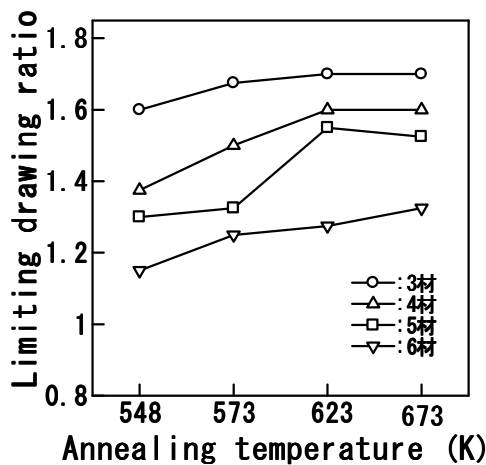


Fig. 6 Changes in limiting drawing ratio with annealing temperatures.

### 3. 4 エリクセン試験

Fig. 7 に焼きなまし温度によるエリクセン値の変化を示す。F 材では残留ひずみが存在するために低い値を示し、焼きなまし温度が上昇するとともに高い値を示す。Al 添加量が増加すると値が低下する傾向が現われ、Fig. 6 の LDR と同様の变化を示している。曲げ・絞り試験と同様に成形性は 3 材が最も良好な値を示している。

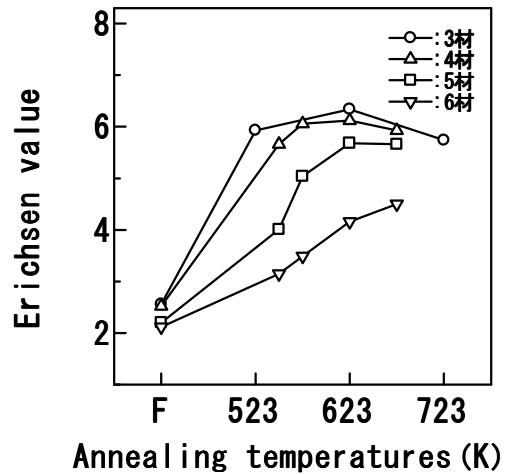


Fig. 7 Changes in erichsen value with annealing temperatures.

## 4. 結言

- ①組織観察において Al 添加量が増加することで再結晶開始温度が高温側へ移行する。また Al 添加量が増加するとともに結晶粒が微細化する傾向があるが、6 材の 673K においては二次再結晶による急激な粒成長が観察された。
- ②曲げ試験において焼きなまし温度が再結晶温度近傍になると良好な曲げ成形性を示し、Al 添加量が増加するとともに曲げ成形性が低下する傾向を示した。またすべての材料において異方性が確認された。
- ③絞り試験において焼きなまし温度が再結晶温度近傍において良好な深絞り性を示す。また Al 添加量が増加するとともに値が低下する傾向がある。特に 3 材はすべての温度で安定して高い成形性を示した。
- ④エリクセン試験において焼きなまし温度が上昇すると良好な張り出し性を示す。また Al 添加量が増加するとともに値は低下する傾向が現われる。
- ⑤曲げ・絞り・エリクセン試験より、成形性が最も良好であるのは 3%Al 添加材であり、次に 4%, 5%, 6%と Al 添加量の増加に伴って値は低下する傾向を示した。