

超塑性組織と加工特性に関する研究（第 2 報）

行武 栄太郎*

1. 緒言

超塑性現象とは、高温かつ低速変形で 200%以上の伸び変形をくびれ（ネッキング）なしに発現することで、素材の結晶粒径に大きく依存する。変形機構としては粒界すべりが主で、小さな力で大きな変形を可能にする。特にセラミックスの加工方法として研究が進められてきたが最近では金属材料においても微細結晶粒を有する材料が開発され超塑性現象の発現が確認されている。マグネシウム合金及びアルミニウム合金についての研究報告は多く、アルミニウム合金については商品化されている。

マグネシウム及びその合金の常温でのすべり系は底面しかなく、展伸材は底面集合組織の発達により変形方向に異方性が生じ一般的に常温での成形性（プレス性：絞り加工、曲げ加工、張出加工等）が非常に劣る。しかし、高温域（200℃以上）で伸び 200%以上の超塑性現象の発現がマグネシウム合金で報告されている。

本研究では、マグネシウム合金（AZ31, AZ61）結晶組織を微細化し、それらの超塑性現象発現における系統的なデータの蓄積を行い、超塑性現象を利用したマグネシウム合金成形技術（ブロー試験）を検討した。

2. 実験方法

供試材には、市販されている 2 種類のマグネシウム合金圧延材（スラブ圧延法による日本金属製 AZ31, AZ61）板厚 0.6mm を用いた。結晶粒径は約 $5\mu\text{m}$ （AZ31）、約 $8\mu\text{m}$ （AZ61）であった。図 1 に組織観察写真（AZ61）を示す。

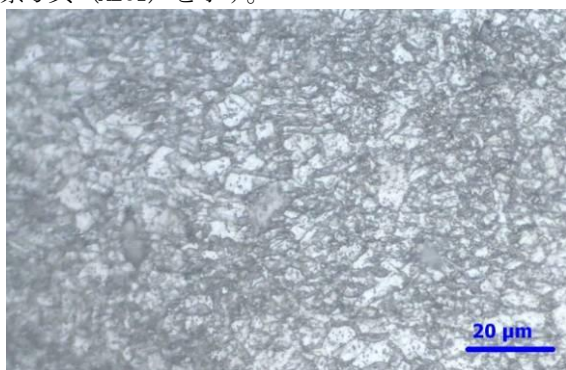


図 1 AZ61 組織観察写真

超塑性試験は、温間引張試験機を用いて行った。引張方向は圧延方向に対して平行に行った。試験速度は、500, 50, 5, 0.5mm/min の 4 条件とした。試験温度は、473K, 523K, 573K の 3 条件とした。各試験速度、温度で 3 回試験を行い、引張強さ、伸び及び試験後の破断部近傍の組織観察を行った。

直径 $\phi 80\text{mm}$ 、高さ 50mm のドーム状の金型を用いて、ブランク形状 $\phi 110$ 、試験温度 573K 以上、ガス圧 40MPa、ガス流量 50ml/min で超塑性現象を利用したブロー成形試験を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 引張試験

図 2, 3 に AZ31, AZ61 マグネシウム合金を温度範囲：室温～673K、引張速度：5mm/min での引張試験強さ及び伸びを示す。各供試材ともに試験温度上昇に伴い最大強度が低下した。室温と 673K を比較すると 70%以上の強度低下が確認された。伸びは、試験温度上昇に伴い増加し、573K では各供試材ともに 80%以上の伸びを示した。AZ31, AZ61 と同様な挙動を示した。

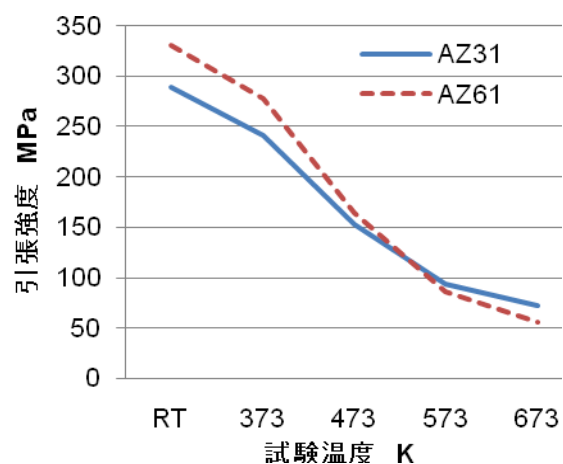


図 2 引張強さの温度依存性

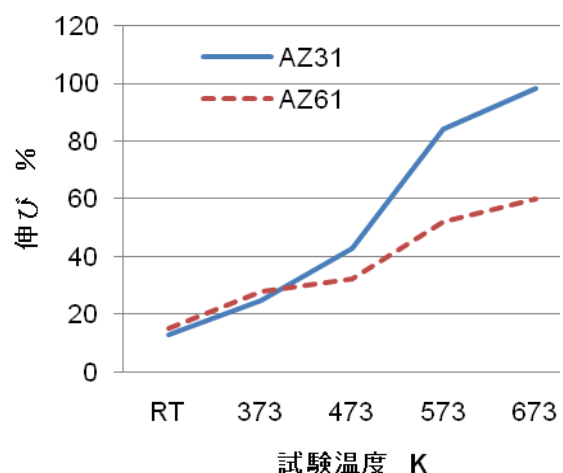


図 3 伸びの温度依存性

図 4 に AZ31, AZ61 を引張速度 500, 50, 5, 0.5mm/min 試験温度 573K で行った引張強さ結果を示す。引張速度が小さくなると、最大強度（変形抵抗）が大きく低下した。引張速度：500mm/min, 0.5mm/min では変形抵抗が 50%以上低下した。高温変形中では動的な再結晶が起きるため変形抵抗が大きく低下すると考えられる。図 5 に AZ31, AZ61 を引張速度 500, 50, 5, 0.5mm/min 試験温度 573K で行った引張強さ結果を示す。

す。伸びに関しては、AZ31 では引張速度 500mm/min で 35mm 程度であるが、0.5mm/min では 90mm 以上の伸びを示し約 3 倍の伸びを示した。試験温度 573K、試験速度 0.5mm/min で AZ31 は 80%以上の伸び変形を示した。AZ61 は AZ31 と比べ全体的に 20~30%伸びが小さい。また、試験後の破断部近傍の組織を観察したところ、等軸で平均粒径 $5\mu\text{m}$ 以下の微細結晶粒が観察された。さらには、破断部近傍において大きくびれ（ネッキング）の発生がなく、試験片全体が均一に伸び変形した。これは、動的再結晶により結晶粒が微細化され、結晶粒変形より粒界すべりが優先的に発現し超塑性現象が現われたと示唆される。

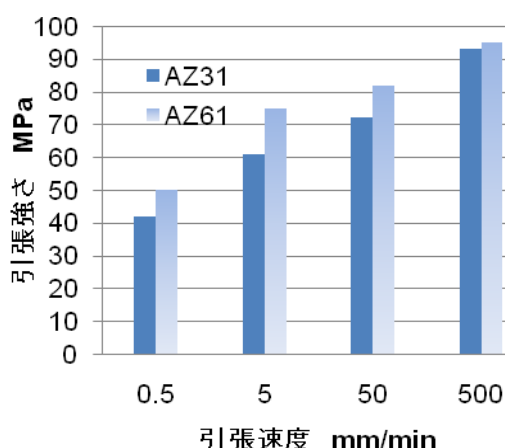


図4 引張強さの速度依存性

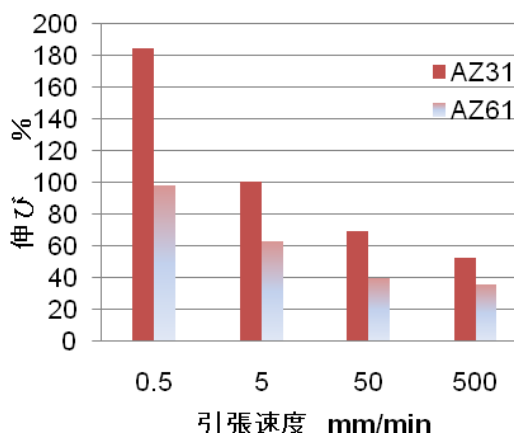


図5 伸びの速度依存性

3.2 ブロー成形

ブロー成形では、プレス成形と比べ金型が一つで成形できるため、金型コストの削減効果が高い。しかし、ガス圧により素材を変形させるため、金型プレス成形より加工荷重が小さく、高強度材料、特に金属材料の成形加工は困難であり、主にプラスチックの成形加工に用いられている（ペットボトル容器等）。マグネシウム合金においては高温域（573K 以上）では変形抵抗が大きく低下し、大きな伸びを示す。また、超塑性現象の発現により大きく変形抵抗が低下し均一伸び変形するため、ブロー成形での製品加工が可能と推察できる。そこで、マグネシウム合金（AZ31、AZ61）

圧延薄板材のブロー成形を試みた。図6にAZ31 マグ



図6 ブロー成形品（成形時間：30s）



図7 段付きブロー成形品（成形時間：30s）

ネシウム合金を 573K でブロー成形試験後の試験片形状を示す。ブランク形状 $\phi 110$ 、成形温度 573K、673K、ガス圧 40MPa でブロー成形を試みた。573K、673K ともに金型形状と同形状のブロー成形品が加工できた。そこで、金型に段差加工を行い同一条件でブロー成形加工を行った。図7に段付きブロー成型品を示す。段差を付けても成形性は良好で金型と同形状のブロー成形製品が得られた。また、通常の金型プレスではスプリングバックにより、成形後の製品にひずみ残り歪みの発生原因となるが、マグネシウム合金薄板材のブロー成形の場合ほとんどスプリングバックが発生せず金型転写性が良好である。これは、超塑性変形の特徴でもあり、マグネシウム合金薄板材の複雑形状プレスを行うには、温間ブロー成形が有効である。

4. 結言

- ・微細な結晶粒（ $5\mu\text{m}$ 以下）を有するマグネシウム合金で超塑性現象が発現する。
- ・試験温度：573K、引張速度：0.5mm/min で 180%以上の伸びを示し、超塑性が発現した（AZ31）。
- ・引張速度の減少に伴い最大応力が低下し、試験速度 500mm/min から 0.5mm/min へなることで変形抵抗が 50%以上低下した。
- ・高温域（473K 以上）、低速（0.5mm/min 以下）での変形では均一変形しスプリングバックがほとんどない。
- ・マグネシウム合金の複雑成形には高温（573K 以上）での温間ブロー成形が有効である。