

大阪府立大学
大阪府立大学
三井金属
大阪府立大学
大阪府立大学

正 東 健司
学 ○青木晴雄
正 久保田耕平
正 海津浩一
正 谷村眞治

1. 緒言

金属系構造材料の中で、最も密度が低い金属はマグネシウムである。マグネシウムはhcp構造を有し、bccやfcc構造の金属よりすべり系が少ないので、常温加工性に乏しいが、その反面高温強度に優れる。最近ではマグネシウムより軽量な元素であるリチウムを添加し、さらに密度を低下させることで、大きな比弾性、比強度を有する新しいMg-Li合金が注目されている。

Mg-Li合金に関する研究は最近始められたばかりで、不明な点が多い。Mg-Li合金の結晶構造は図1に示す状態図⁽¹⁾より、Liの添加量5.5wt%以下ではhcp構造の α 単相、約10.5wt%以上ではbcc構造の β 単相になり、Liの添加量がこの間にある場合にはhcp構造とbcc構造の $\alpha + \beta$ 二相組織となる。

α 相はhcp構造を有するため一般に冷間加工性に幾分劣っているが、 β 相はbcc構造であるため、その晶出により塑性加工性の向上が期待できる。また $\alpha + \beta$ 共晶組織であるMg-8~9Li合金は573K付近での超塑性発現の可能性があることが知られており、その超塑性変形についての報告もなされている⁽²⁾。

そこで本研究では α 単相、 $\alpha + \beta$ 共晶組織、 β 単相の3種類のMg-Li合金の引張試験を行い、それぞれの機械的特性に及ぼす温度、ひずみ速度の影響を比較検討した。

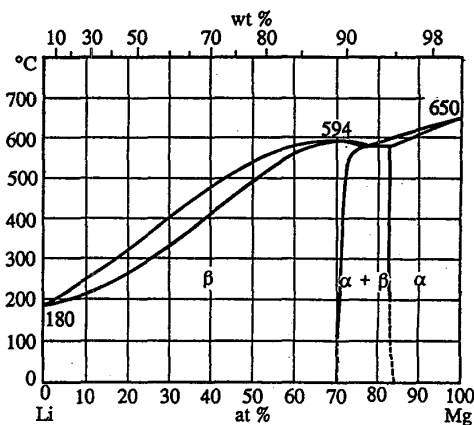


図1 Li-Mgの状態図

2. 供試材および実験方法

2-1 供試材

この実験に使用した合金は、三井金属鉱業(株)で鑄造されたMg-5%Li合金($\alpha : \beta = 100 : 0$)、Mg-9%Li合金($\alpha : \beta = 40 : 60$)、Mg-10%Li合金($\alpha : \beta = 10 : 90$)の3種類のMg-Li二元合金である。その化学分析結果を表1に示す。

表1 化学成分分析結果 (wt %)

試料名	Mg	Li
Mg-5wt%Li	94.2	5.1
Mg-9wt%Li	93.2	8.6
Mg-10wt%Li	89.9	10.2

各鑄塊より厚さ5mmの板材に切り出し、加工熱処理を施した後、最終的に板厚0.8mmにしたものを用いた。

試験片形状を図2に示す。なお試験片の平行部は長さ5mm、幅4mmである。

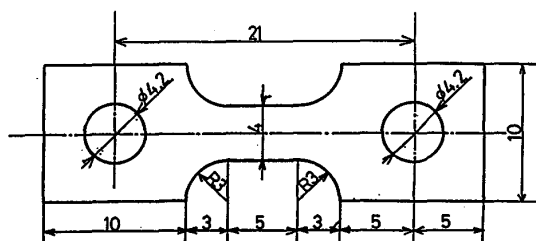


図2 試験片形状

2-2 実験方法

引張試験条件は雰囲気温度 523~623K、ひずみ速度 $4 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ であり、真ひずみ速度一定にて変形させた。なお、試験片温度が所定の温度に安定するように試験片装着から引張試験開始まで $9 \times 10^2 \text{ s}$ の温度保持時間をもった。

3. 実験結果と考察

3-1 温度の影響

ひずみ速度を $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 一定とし、試験温度を523K, 573K, 623Kと変化させて引張試験したときの真応力-真ひずみ曲線を図3～5に示す。図3はMg-5%Li合金、図4はMg-9%Li合金、図5はMg-10%Li合金の結果である。3種類の合金とも、試験温度が高くなるにつれて流動応力が低くなっている。また各合金とも、各試験温度で、流動応力は変形と共にゆるやかに増加し、最大値を示した後すみやかに破断する。しかし、Mg-5%Li合金、Mg-10%Li合金はこうした加工硬化後、軟化現象が顕著に観察される。また、Mg-9%Li合金では523Kにおいて、加工硬化後の軟化現象が観察される。

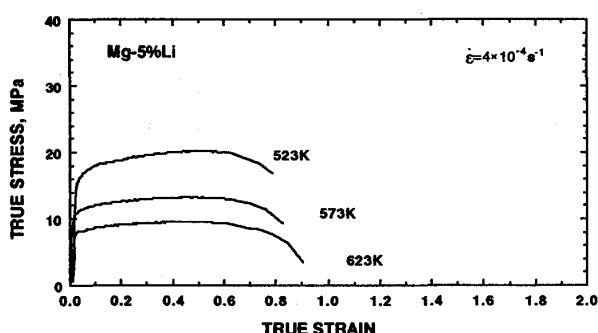


図3 Mg-5%Li合金の試験温度523K, 573K, 623Kの真応力-真ひずみ曲線

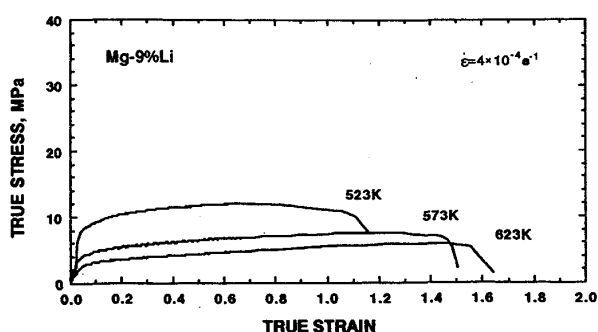


図4 Mg-9%Li合金の試験温度523K, 573K, 623Kの真応力-真ひずみ曲線

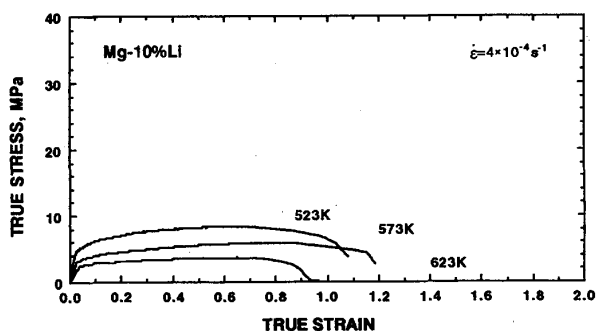


図5 Mg-10%Li合金の試験温度523K, 573K, 623Kの真応力-真ひずみ曲線

そこで、流動応力の温度依存性を検討するために、3種類の合金をひずみ速度 $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ で引張試験したときの、真ひずみ0.1における流動応力と試験温度の関係を図6に示す。各合金とも試験温度が高くなるにつれて流動応力は低くなっている、またMg-5%Li合金の流動応力が全試験温度範囲にわたって最も大きな値を示した。Mg-9%Li合金、Mg-10%Li合金とLiの添加量が多くなるにつれて、流動応力は全試験温度範囲で低くなっている。特にMg-5%Li合金の流動応力は、Mg-9%Li合金、Mg-10%Li合金の流動応力の2倍ほど大きくなっている。これはMg-5%Li合金がhcp構造の α 单相を有しbcc構造の β 相を有するMg-9%Li合金、Mg-10%Li合金よりもすべり系が少ないことに起因すると考えられる。

同様に、各合金をひずみ速度 $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ で引張試験した際の、破断伸び値と試験温度の関係を図7に示す。Mg-5%Li合金の破断伸び値は、試験温度に無関係で約150%程度の一定値を示す。またMg-10%Li合金の破断伸び値は200%程度であるが、623Kではわずかに破断伸び値の低下がみられる。一方、Mg-9%Li合金の破断伸び値は試験温度が高くなるにつれて大きくなっており、実験範囲内では最大破断伸び値は確認できなかった。Mg-9%Li合金は3種類の合金の中で、とくに大きな破断伸び値を示し、試験温度623Kでは450%の破断伸び値が得られた。

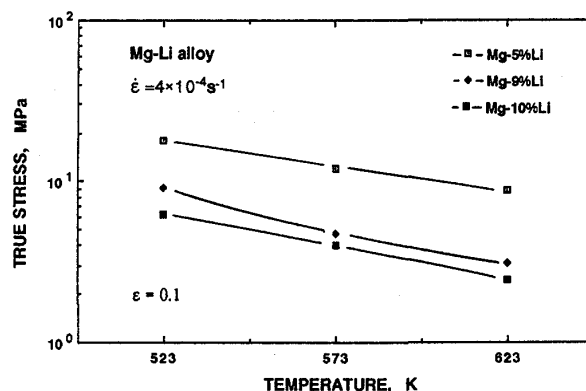


図6 各合金の流動応力と温度の関係

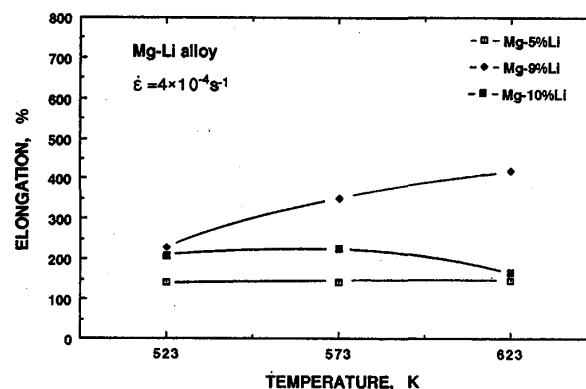


図7 各合金の破断伸び値と温度の関係

3-2 ひずみ速度の影響

試験温度573K一定とし、ひずみ速度 4×10^{-5} 、 4×10^{-4} 、 $4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ と変化させて引張試験したときの真応力-真ひずみ曲線を図8～10に示す。図8は、Mg-5%Li合金、図9はMg-9%Li合金、図10はMg-10%Li合金の結果である。各合金とも、ひずみ速度が高くなるにつれて、流動応力が高くなっていることがわかる。また変形にともなう流動応力の変化は基本的には図3～5と同様であった。

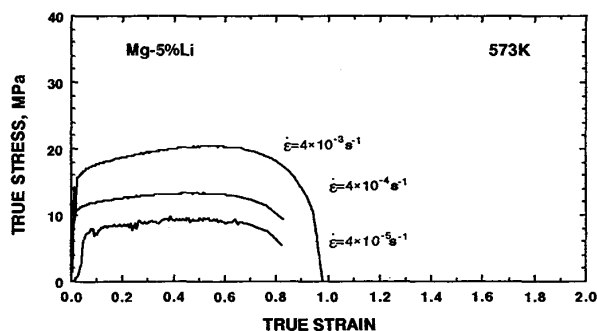


図8 Mg-5%Li合金の試験温度573K
各ひずみ速度における真応力-真ひずみ曲線

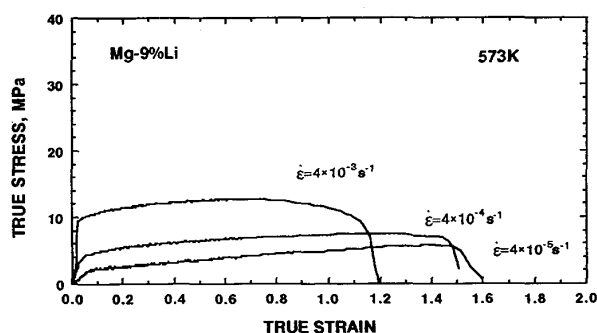


図9 Mg-9%Li合金の試験温度573K
各ひずみ速度における真応力-真ひずみ曲線

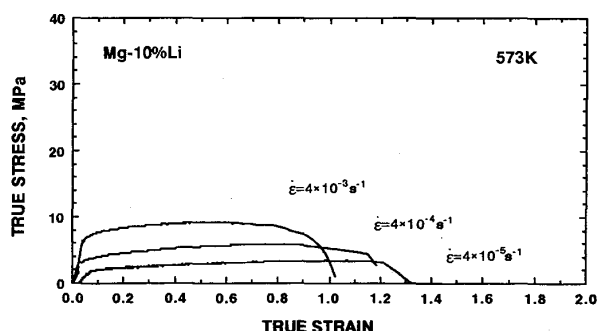


図10 Mg-10%Li合金の試験温度573K
各ひずみ速度における真応力-真ひずみ曲線

次に、各合金を試験温度573Kで引張試験したときの真ひずみ0.1の流動応力をひずみ速度に対して示した結果が図11である。Mg-5%Li合金は、各合金のなかで最も大きな流動応力を示し、Mg-9%Li合金、Mg-10%Li合金の順で流動応力が低くなっている。この流動応力の低下は、 β 相の相比の大小によって決定されている。すなわち β 相の相比が大きくなるにつれて、流動応力

の低下が著しくなる。この相関性は、先に述べた温度の影響と類似している。また、この曲線の勾配は応力のひずみ速度依存性、 m 値を表す。Mg-5%Li合金の m 値は0.25～0.30と小さい値であった。一方、Mg-9%Li合金、Mg-10%Li合金の流動応力のひずみ速度依存性は、どちらも超塑性材料の典型例であるS字型曲線が得られた。その曲線の勾配 m 値は、Mg-9%Liは0.40～0.50、Mg-10%Liは0.35～0.45と比較的大きな値が、 10^{-4} s^{-1} オーダーのひずみ速度域で得られた。

次に、試験温度573Kにおける、各合金の破断伸び値のひずみ速度依存性を図12に示す。Mg-9%Li合金の破断伸び値は、Mg-5%Li合金、Mg-10%Li合金の破断伸び値より大きな値を示した。これは、Mg-9%Li合金が典型的な超塑性組織である $\alpha + \beta$ 二相組織を有するためと考えられる。Mg-5%Li合金の破断伸び値は、ひずみ速度に無関係で約150%程度の低い一定値を示す。Mg-9%Li合金、Mg-10%Li合金の破断伸び値は、低いひずみ速度域 $4 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ で、比較的大きな値が得られており、破断伸び値のひずみ速度依存性が顕著にみられた。

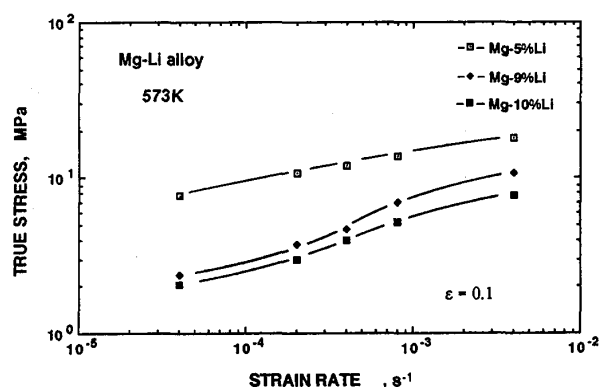


図11 各合金の流動応力のひずみ速度依存性

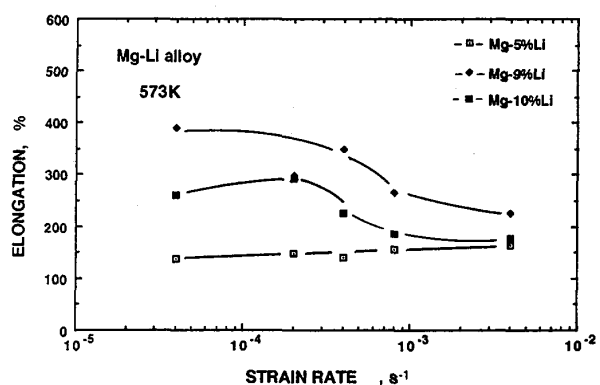


図12 各合金の破断伸び値のひずみ速度依存性

参考文献

- 1) 金属データブック, 軽金属学会
- 2) 小島 陽, 藤谷 渉, 軽金属, 40, 354(1990)