

超軽量マグネシウム展伸用合金Mg - 7 Li -0.8 Al の機械的性質

林 忠夫*・大島 聰範**・宮本 裕嗣***
桑原 克典****

Mechanical Properties of Super Light Weight Mg-7Li-0.8Al Alloy
for Wrought Use

Tadao HAYASHI, Toshinori OSHIMA, Yuhji MIYAMOTO
and Katsunori KUWAHARA

Abstract

The mechanical properties of Mg- 7 mass%Li-0.8mass%Al alloy have been examined by mean of tensile, compression, hardness and fatigue tests. The strength of the solution-aging treated and hot forged alloys are grater than that of the alloy as cast, whereas the ductility shows reverse behavior in the tensile and compression test. Comparing the solution-aging treated alloy with the hot forged alloy, fatigue crack growth rate is small and fatigue limit of S-N diagram is as large as 20MPa in high cycle fatigue test, but it is not found that obvious different in low cycle fatigue properties.

Key words : Mg-Li-Al alloy, As cast, Hot forging, Solution-aging treatment, Tensile, Compression, Fatigue

1. 緒 言

マグネシウム合金は低密度で、アルミニウム合金よりも優れた比強度を有するものもあることから、軽量構造材料として需要が増加している。しかし、それらの多くは最密六方結晶構造であるため常温での延性が乏しく、冷間加工が困難である。また、化学的に活性であり酸化、腐食等が起きやすいという特徴を有する。ところが、密度0.53 g/cm³のリチウムを7%添加したMg-7Li-0.8Al合金は、体心立方結晶構造であるので比較的延性が良く、冷間加工が可能である。また、密度が1.5 g/cm³でマグネシウムの1.74 g/cm³、アルミニウムの2.7 g/cm³と比較しても密度が小さく、実用合金の中では最も軽い合金の一つとして注目されている¹⁾²⁾。

しかし、その機械的性質に関する報告は少ないというのが現状である。そこで、本実験では

Mg-7Li-0.8Al合金のAs Cast材、熱間鍛造材および溶体化・時効処理材の3種類について引張り、圧縮、疲労などの種々の材料強度試験を行い、得られた結果について若干の検討を行ったので報告する。

2. 供試材および実験方法

供試材は、(株)日本製鋼所室蘭製作所において真空プラズマ溶解炉を用いて溶製された15×30×445mmの鋳塊を使用した。それらの化学成分は表1に示す通りである。これらの鋳塊を400℃で熱間鍛造してφ16mmの丸棒に加工した。さらに390℃×1hrの溶体化、50℃×20minの時効処理を行った。このように本実験では供試材の条件をAs Cast、熱間鍛造および溶体化・時効処理

表1 鋳塊の化学成分 (wt %)

Mg	Li	Al
92.04	7.21	0.75

* 技 官 (技術専門職員) 機械実習工場

** 名誉教授 苫小牧高専

*** 北海道大学 大学院

**** 技 官 機械工学科

の3種類とし、それぞれについて引張り、硬さ、圧縮、高・低サイクル疲労および疲労き裂進展試験を行った。試験片は図1に示す形状、寸法のとおり旋削等の機械加工により製作した。(a) 引張り試験片、(b) 回転曲げ疲労試験片、(c) 疲労き裂進展試験片、(d) 低サイクル疲労試験片である。疲労き裂進展試験片にはき裂の測定を行うため、平行部に切欠きとしてドリルでφ0.3×0.5mmの小穴をあけた。硬さおよび圧縮試験片はφ12×18mmの寸法のものを用いた。

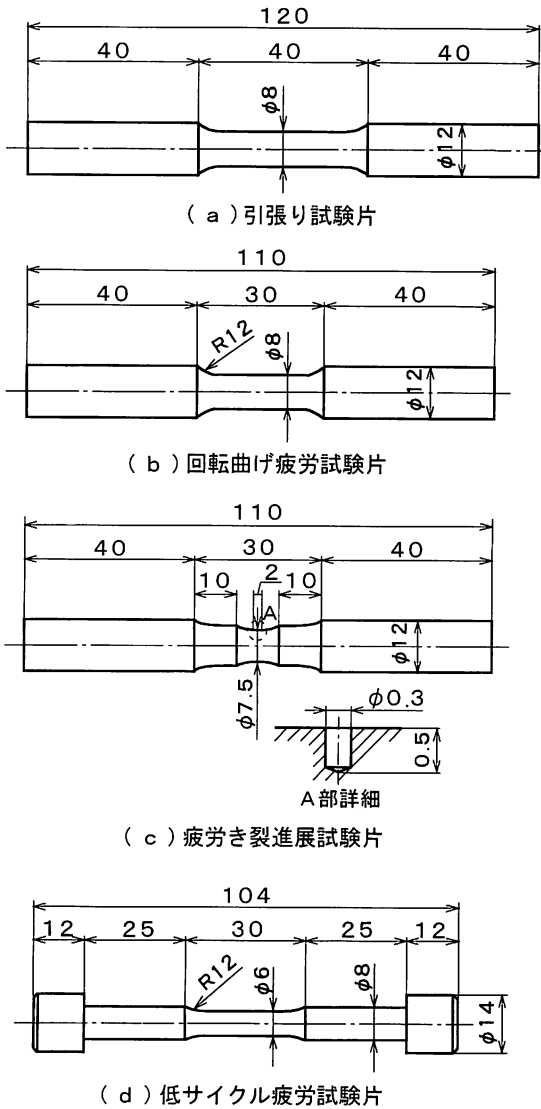


図1 試験片の形状および寸法

引張り試験は電子計測制御式精密万能試験機を使用し引張り速度 3.3×10^{-5} m/sで行い、0.2%耐力は試験片に貼付した歪みゲージで検出した。硬さ試験はビッカース硬度計、圧縮試験は油圧式万能材料試験機に圧縮用サブプレスをセットして行った。高サイクル疲労試験および疲労き裂進展試験は小野式回転曲げ疲労試験機（10kg-m、

1440rpm）で行った。き裂の測定にはレプリカ法を用い、アセチルセルロースフィルムに転写したき裂長さを金属顕微鏡で測定した。低サイクル疲労試験は電気油圧サーボ式疲労試験機を使用し、繰返し速度0.2Hzで平行部に取付けた動的変位検出器ダイナストレインにより、引張り圧縮両振りの歪み制御で行い、応力・歪みヒステリシス曲線をX-Yレコーダに記録させた。

3. 実験結果および考察

3. 1 引張り特性と硬さ

表2に各供試材および比較としてのマグネシウム合金の熱間押出し材AZ-21の引張り特性、硬さの機械的性質を示す。なお、破断延性 ϵ_f は絞り ψ に対応する真歪み $\ln(1-\psi)^{-1}$ である。ここでAs Cast材は強度が小さく、延性が非常に大きいが供試材の条件を熱間鍛造、溶体化・時効処理すると、引張り強さ、耐力、硬さは1.3~1.5倍増加し、延性の伸び、絞り、破断延性は逆に1.6~2.6倍減少する。また、溶体化・時効材をAZ-21と比較すると引張り強さ、耐力および伸びは若干低い、硬さは1.3倍、絞り、破断延性の値は1.7~2.0倍になり、リチウムを約7%加えた合金は、延性が非常に優れている。

表2 供試材及びAZ-21の機械的性質

材 料	引張強さ MPa	耐力 MPa	伸び %	絞り %	破断 延性	硬さ Hv
As cast	143	120	65.7	69.2	1.22	49.9
熱間鍛造	170	147	43.6	68.4	1.16	54.0
溶体化・ 時効	220	179	24.9	42.5	0.64	63.5
AZ-21	251	183	27.5	21.2	0.36	50.2

3. 2 圧縮強度

圧縮試験における真応力 σ_t と真歪み ϵ_t の塑性曲線を図2に示す。すべての真歪みにおいて溶体化・時効材が最も高い真応力の値を示し高強度である。各供試材とも、真歪みが20%以上で真応力がほぼ一定となる。塑性曲線の一般式は $\sigma_t = K \epsilon_t^n$ で表され、ここで n は加工硬化係数、 K は強化係数である。As Cast材： $n = 0.18$ 、 $K = 29.0$ 、熱間鍛造材： $n = 0.19$ 、 $K = 33.4$ 、溶体化・時効材： $n = 0.09$ 、 $K = 33.0$ であり、溶体化・時効材はAs Cast材、熱間鍛造材よりも n の値が小さく均一変形しやすいといえる。

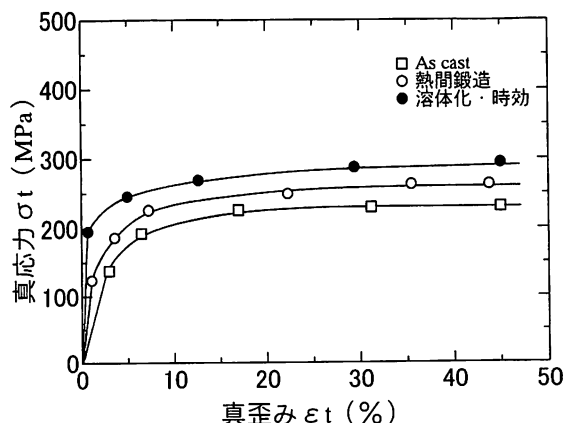


図2 供試材の塑性曲線

3. 3 高サイクル疲労特性

図3に回転曲げ疲労試験により得られた高サイクル疲労のS-N線図を示す。供試材の条件がAs Cast、熱間鍛造、溶体化・時効処理と変化するにつれて疲労限度が上昇する。As Cast材の疲労限度は約30MPaに対して、熱間鍛造材は約60MPa、さらに溶体化・時効材では約80MPaになり2.7倍程度高くなる。このことは表2の引張り強さ、耐力、硬さの場合と同様の傾向にある。また、As Cast材、熱間鍛造材はS-N線図の傾きが大きく、一方、溶体化・時効材は傾きが緩

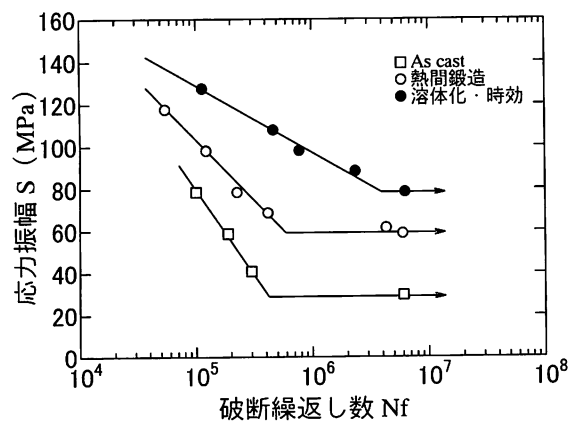


図3 高サイクル疲労のS-N線図

やかになる。

図4に熱間鍛造材および溶体化・時効材について、応力振幅を98MPaで試験を行ったときの、応力繰返し数と疲労き裂長さとの関係を示す。溶体化・時効材は熱間鍛造材に比べて進展速度が小さく、き裂が急速に進展を開始するまでの繰返し数が多くなる。また、き裂長さが4mmに達するまでの繰返し数で比較すると、熱間鍛造材で約700

回に対して、溶体化・時効材では約2150回であり著しく多くなる。

図5に図4の疲労き裂進展曲線から求めた、き裂進展速度 da/dN と応力拡大係数幅 ΔK との関係を示す。この $da/dN - \Delta K$ の関係は、Parisの式 $da/dN = C (\Delta K)^m$ で直線近似できる³⁾。これより、定数Cおよびmを求めると次式が得られる。

$$\text{熱間鍛造材: } da/dN = 2.0 \times 10^{-6} (\Delta K)^{0.9} \quad (1)$$

$$\text{溶体化・時効材: } da/dN = 7.0 \times 10^{-8} (\Delta K)^{1.4} \quad (2)$$

(1)、(2)より、溶体化・時効材はCが小さく、同じ ΔK で比較してもき裂進展速度が熱間鍛造材よりも小さい。き裂進展下限界値 ΔK_{th} は溶体化・時効材で $5 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ であり、熱間鍛造材の $3.2 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ と比べて約 $2 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ 大きい値である。

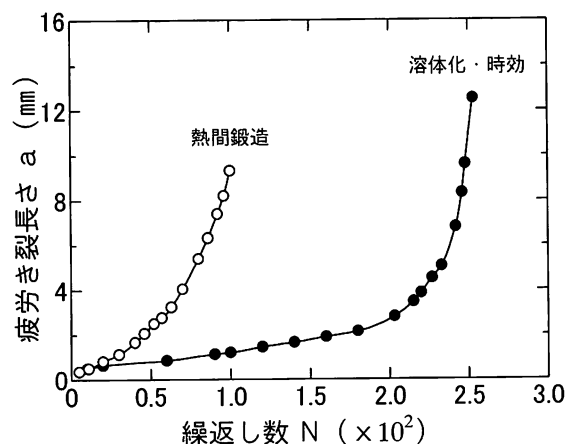


図4 疲労き裂進展曲線

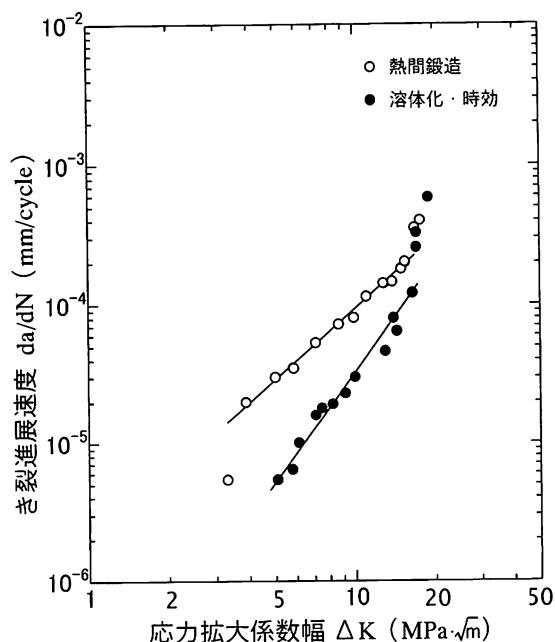


図5 疲労き裂進展特性

3. 4 低サイクル疲労特性

低サイクル疲労試験における応力・歪みヒステリシス曲線から塑性歪み振幅を求めた⁴⁾。図6に溶体化・時効材の全歪み振幅 $\Delta\epsilon_t = 2.32\%$ 、塑性歪み振幅 $\Delta\epsilon_p = 1.48\%$ のヒステリシス曲線の一例を示す。(a) 定常状態、(b) き裂発生、(c) 破断直前の曲線である。図7に熱間鍛造材および溶体化・時効材における、塑性歪み振幅と破断繰返し数との関係を示す。塑性歪み振幅 $\Delta\epsilon_p$ は約0.1~1.0%の範囲でデータの数やや少ないが、熱間鍛造材と溶体化・時効材の間には明確な違いが認められない。このことから、図3に示した高サイクル疲労試験のS-N線図を低サイクル領域に延長させると、熱間鍛造材と溶体化・時効材のS-N線図は低サイクル領域ではほぼ一致するものと考えられる。

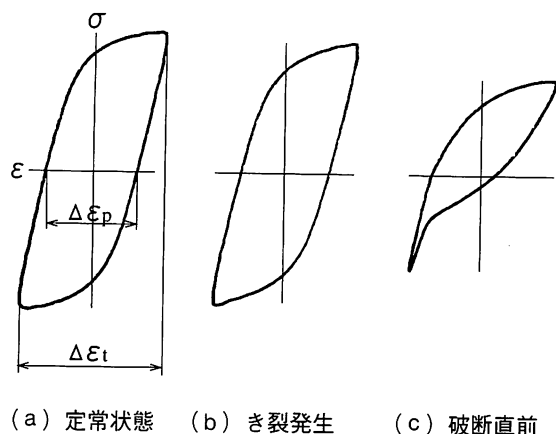


図6 応力・歪みヒステリシス曲線

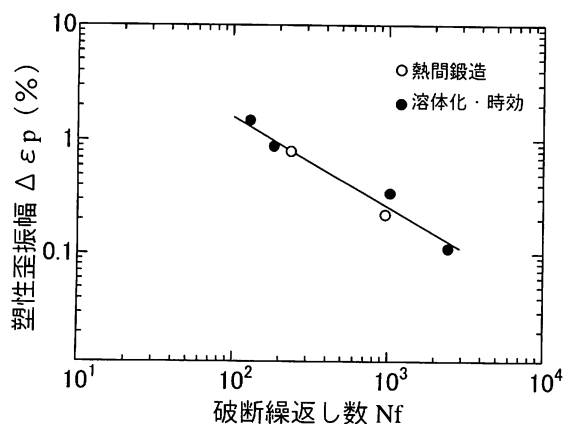


図7 低サイクル疲労の $\Delta\epsilon_p$ -Nf線図

4. 結 言

As Cast、熱間鍛造および溶体化・時効処理を行った展伸用マグネシウム合金Mg-7Li-0.8Alについて、種々の材料強度試験を行い次のような結果が得られた。

- (1) 引張り、硬さおよび圧縮試験においては、As Cast材の強度が小さく延性が著しく大きい、熱間鍛造材、溶体化・時効材では強度が増加し延性が減少する。
- (2) 高サイクル疲労試験においては、熱間鍛造材と比べて溶体化・時効材のS-N線図の疲労限度が約20MPa大きくなる。また、疲労き裂進展速度も小さくなる。
- (3) 低サイクル疲労試験においては、熱間鍛造材、溶体化・時効材とに明確な差は認められない。

謝 辞

本実験に使用した材料は、(株)日本製鋼所室蘭製作所の御厚意により提供されたものであり、お世話いただいた材料研究部の手代木氏に深く感謝します。また、本報をまとめるにあたり機械工学科高澤幸治助手にご指導、ご助言いただいたことを記し感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 諸住正太郎：マグネシウム工業の現状と将来, 金属, アグネ, vol.69, (1999) p.788
- 2) 小島 陽：マグネシウム-リチウム合金, 金属, アグネ, vol.57, (1987) p.14
- 3) P.C Paris and F.Erdogan:Trans. A S M E, Ser. D, 85, (1963) 529
- 4) 大島聰範, 林 忠男, 野坂哲司, 高橋康弘：マグネシウム合金押出し材の低サイクル及び高サイクル疲労特性, 苫小牧高専紀要, 第28号, (1993) p.21

(平成12年11月28日受理)