

# Al-Zn-Mg-Cu-La 系押出合金の引張強度特性と 耐応力腐食割れ性に及ぼす Cr, Mn

## および Mg 添加の影響<sup>†</sup>

岸 陽 一\* 広 瀬 幸 雄\*\* 佃 市 三\*\*\*  
永 井 滋 一\*\*\* 東 健 司\*\*\*\*

## The Effect of Cr, Mn and Mg Content on the Tensile Properties and SCC Resistance of Extruded Al-Zn-Mg-Cu-La System Alloys

by

Yoichi KISHI\*, Yukio HIROSE\*\*, Ichizoh TSUKUDA\*\*\*  
Shigekazu NAGAI\*\*\* and Kenji HIGASHI\*\*\*\*

Two groups of the extruded high strength Al-Zn-Mg-Cu-La system alloys, including Al-10 wt.%Zn-1 wt.%Mg-1.5 wt.%Cu-3 wt.%La with various Cr and Mn contents and Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La with various Mg contents, were developed as the mechanical materials with a good stress corrosion cracking (SCC) resistance. In these alloys, the effects of the additional elements were investigated on the mechanical properties and SCC life. The main results are as follows;

(1) The second phase particles which contained Zn and La were observed in the matrix, and dispersed homogeneously. The size of the particles was 5 to 10  $\mu\text{m}$ . For the alloys with Cr, dispersoids including Cr were also observed in the matrix. Their size was over 10  $\mu\text{m}$ .

(2) The maximum value of 568 MPa in tensile strength was observed in Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La with 2.5 wt.%Mg, which was nearly equal to the commercial aluminum alloys-7075-T73 and 7475-T6.

(3) The excellent resistance of SCC was obtained in these alloys. Their SCC lives were over 15 times as long as that of Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg master alloy. In conclusion, we developed extruded Al-high Zn-low Mg system alloys with high strength and good SCC resistance.

**Key words:** SCC, Transitional elements, Al-Zn-Mg-La system alloys, Extrusion, Hydrogen embrittlement

### 1 緒 言

著者らは前報<sup>1)</sup>において、Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 合金をベース材料とし、これに Cu および La の添加量とその組合せを変えた押出合金の引張特性と耐 SCC 特性について報告した。ベース材料に La を添加したことによって、その結晶粒は等軸かつ微細となり、しかも、基地中には水素吸蔵能力を有する La 系の第二相粒子が均一に分散していた。また強度試験の結果、Cu を 0.6 wt.% 以上、La を 4.0 wt.% 添加した材料は、高強度（引張強さ：470~480 MPa）、高延

性（破断伸び値：14~17%）を有していた。しかもその耐 SCC 特性は、Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 押出合金のそれに比べ、非常に優れていた。

本研究では、耐 SCC 特性が前報の押出合金で得られたものと同程度のもので、かつ、実用材料、例えば、7075T73 よりも高強度な Al-Zn-Mg-Cu-La 系押出合金の開発を目的にした。これまでの一連の研究において、ベースとしている Al-Zn-Mg 三元合金の高強度化の方法として、以下の二手法が挙げられる。一つは、Cr, Mn, Zr 等の遷移元素を微量添加し、組織制

<sup>†</sup> 本報を「応力腐食割れ特性に優れた高力 Al-Zn-Mg-La 系合金の開発とその評価（第2報）」(Development and Estimate of Extruded High Strength Al-Zn-Mg-La System Alloys with High Stress Corrosion Cracking Resistance, II) とする。また、前報は材料 42巻479号 990頁（1993年）に掲載済である。

原稿受理 平成5年4月26日 Received Apr. 26, 1993

\* 学生会員 金沢大学自然科学研究科 〒920-11 金沢市角間町, Graduate Student, Kanazawa Univ., Kakuma-machi, Kanazawa, 920-11

\*\* 正 会 員 金沢大学自然科学研究科 〒920-11 金沢市角間町, Dept. of Mat. Sci., Kanazawa Univ., Kakuma-machi, Kanazawa, 920-11

\*\*\* 正 会 員 昭和アルミニウム(株) 〒590 堺市海山町, Showa Aluminum Co., Kaisan-cho, Sakai, 590

\*\*\*\* 正 会 員 大阪府立大学工学部機械システム工学科 〒593 堺市学園町, Dept. Mech. Systems Eng., Univ. of Osaka Prefecture, Gakuen-cho, Sakai, 593

Table I. Alloy code and chemical composition of Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn alloys.

| Code | Zn    | Mg   | Cu   | Cr   | Mn   | Fe   | Si   | La   | Al   |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 09Cr | 10.22 | 1.61 | 0.59 | 0.09 | 0.01 | 0.11 | 0.06 | 2.86 | Bal. |
| 22Cr | 9.98  | 1.56 | 0.59 | 0.22 | 0.01 | 0.13 | 0.06 | 2.84 | Bal. |
| 20Mn | 10.11 | 1.58 | 0.58 | Tr.  | 0.20 | 0.11 | 0.05 | 2.91 | Bal. |
| 38Mn | 10.14 | 1.54 | 0.57 | Tr.  | 0.38 | 0.12 | 0.06 | 2.85 | Bal. |

御を行う手法である。遷移元素の微量添加は、再結晶の阻止あるいは、再結晶粒の微細化に対して非常に有効である。また、押出等の熱間加工を施した場合には、その組織は、加工方向に伸長した非再結晶繊維組織が得られる。この組織を持つ材料の強度には異方性があり、加工方向への負荷に対して最も高い強度を示す。これは、材料の組織と加工の相互作用に起因したもので、押出効果といわれている。もう一つは、Zn, Mg, Cu の添加量を多くし、時効硬化を利用した強化法である。この強化法については、すでにいくつかの報告がなされているが、それらの添加量あるいはその組合せが不適切であった場合は、耐 SCC 特性が著しく劣化する。また、Mg と Cu は、材料の押出加工性に影響を与え、その添加量の増加にともなって、押出圧力の増加、すなわち、押出加工性が低下する。この時効硬化を利用した強化法においては、強度、耐 SCC 特性、そして押出加工性の三者が最もバランスしている Zn, Mg, Cu の最適な添加量を求めることが、材料設計の重要な課題となっている。

本報では、Al-Zn-Mg-Cu-La 系押出合金に対して、上述の二手法、すなわち、遷移元素の添加および時効硬化を利用した強化法を適用し、その押出合金の引張強度と耐 SCC 特性について検討した。遷移元素を添加し組織制御する強化法については、Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La に遷移元素である Cr および Mn を添加した押出合金で検討した。時効硬化を利用した強化法の適用は、前報で良好な結果が得られた押出合金とほぼ等しい組成の Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La に対して、Mg を 1.0~2.5 wt.% 添加した押出合金について検討した。また、実用アルミニウム合金である 7075T73 押出合金の強度特性についても調査し、上述の二種の

方法により強化した Al-Zn-Mg-Cu-La 系押出合金の強度特性とその実用性について比較検討した。

## 2 実験方法

### 2・1 供試材

**2・1・1 Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn 押出合金** 実験には Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La 組成を基本として、Cr を 0~0.2 wt.%, Mn を 0~0.4 wt.% 添加し、その添加量と組合せを変えた 4 種の押出合金を用いた。各合金元素の添加量は次のように決定した。まず、前報の結果よりも高強度化するために、強度向上に対して有効な Zn 量を 10 wt.%, Mg 添加量を 1.5 wt.% まで増した。Cu および La については、前報の結果を参考に決定し、Cu 添加量を 0.6 wt.%, La 添加量を 3.0 wt.% とした。La 添加量は、前報の最高強度が得られた添加量 (4.0 wt.%) より少なくしたが、これは経済性を考慮したためである。加えて、組織の微細化に有効な Cr あるいは Mn を微量添加することにより、強度の低下を補うことができると考えた。Table I に供試材のコード名と化学成分を示す。供試材は、前報と同様の製造および熱処理 (T6) により得た。押出形状は、5 mm (板厚)×30 mm (板幅) の角柱とした。

**2・1・2 Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La-x wt.%Mg 押出合金と 7075T73 押出合金** 実験には Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La に対して、Mg を 1.0, 1.5, 2.5 wt.% 添加した押出合金を用いた。供試材のコード名と化学成分を Table II に示す。各押出合金の製造および熱処理条件 (T6) は前報と同じである。押出形状は、5 mm (板厚)×45 mm (板幅) の角柱とした。また比較材として、断面形状が 5 mm (板厚)×45 mm (板幅) の 7075T73 押出合

Table II. Alloy code and chemical composition of Al-8 wt.%Zn-x wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys and 7075T73 alloy.

| Code    | Zu   | Mg   | Cu   | Cr   | Mn   | Fe   | Si   | La   | Al   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10Mg    | 7.80 | 1.00 | 1.20 | —    | —    | 0.11 | 0.06 | 3.80 | Bal. |
| 15Mg    | 7.40 | 1.50 | 1.20 | —    | —    | 0.11 | 0.06 | 3.80 | Bal. |
| 25Mg    | 8.00 | 2.50 | 1.20 | —    | —    | 0.11 | 0.06 | 3.70 | Bal. |
| 7075T73 | 5.14 | 2.52 | 1.50 | 0.18 | 0.05 | 0.15 | 0.07 | —    | Bal. |

金を用いた。

## 2・2 強度評価試験

各供試材の強度評価は、前報と同様の引張試験と応力腐食割れ (SCC) 試験で行った。ただし耐 SCC 特性については、前報<sup>1)</sup>での平滑試験片と切欠き先端半径  $\rho=0.15$  mm, 切欠き長さ 1.0 mm の切欠きを有する試験片 (板幅 6.0 mm, 平行部長さ 22 mm) を併用して評価した。各試験片の板厚は 5 mm である。

SCC 試験は、前報<sup>1)</sup>と同様に定変位型負荷ジグを用い、 $358 \pm 2$  K に調整したクロム酸混液 ( $\text{CrO}_3$ : 3.37 wt.%,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ : 2.81 wt.%,  $\text{NaCl}$ : 0.281 wt.%) 中で行った。平滑試験片への初期負荷応力量は、各供試材の 0.2% 耐力の 80% である。切欠き付試験片については、試験片のリガメント部への負荷量を、各供試材の 0.2% 耐力の 60% に調整した。耐 SCC 特性の評価には試験片の破断寿命を採用した。

## 3 実験結果および考察

### 3・1 組織観察結果

3・1・1 Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn 押出合金 T6 処理後の供試材の第二相粒子の分布 (左) と結晶粒組織 (右) を Fig. 1 に示す。前報の押出合金と同様に、基地中には Zn と La を主成分とする微細な第二相粒子が認められる。また Cr 添加材においては、10  $\mu\text{m}$  以上の粗大な Cr 系晶出物 ( $\text{AlFeCr}$ ) が観察されたが、それ以外の供試材では、前報の押出合金とほぼ同程度の第二相粒子の分布が得られた。結晶粒組織は、前報<sup>1)</sup>の押出合金で得られた等軸微細粒とは異なり、やや押出

方向に伸長した組織が得られた。この結晶粒組織の異方性は、Cr および Mn 添加の影響である。これら遷移元素の添加は、本合金の再結晶温度を上昇させ、製造プロセスの押出加工により、押出加工方向に伸長した繊維状組織を生成する。

3・1・2 Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La-x wt.%Mg 押出合金と 7075T73 Fig. 2 に本供試材の第二相粒子の分布 (左) と結晶粒組織 (右) の観察例を示す。Fig. 2 (a)~(c) に示す La 添加材の結晶粒は、

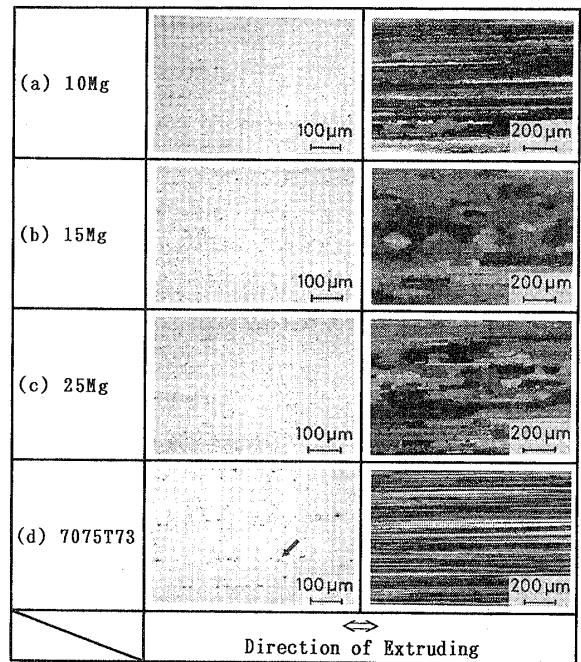


Fig. 2. Typical microstructures of Al-8 wt.%Zn-x wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys and 7075T73 alloy.

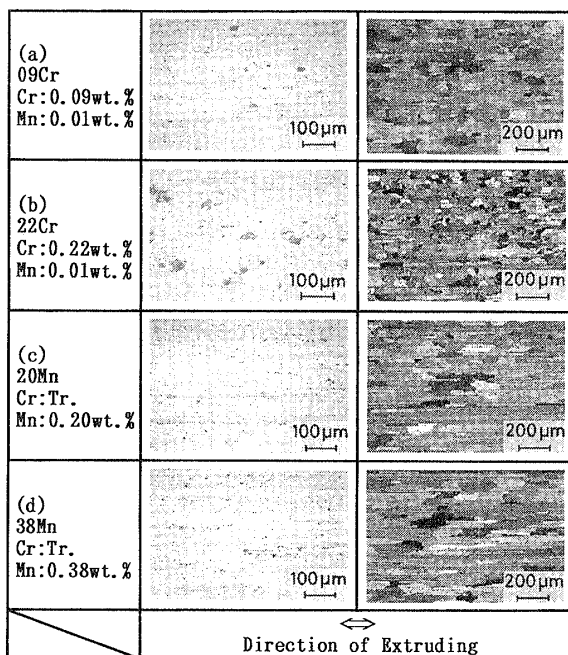


Fig. 1. Typical microstructures of Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn alloys.

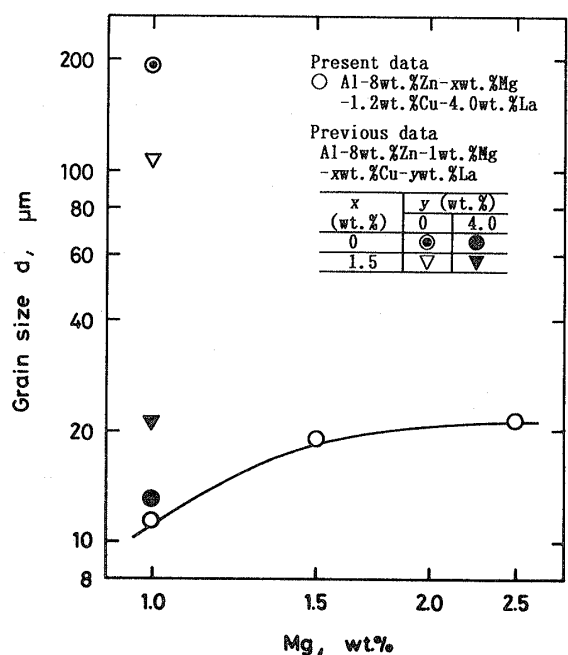


Fig. 3. The change in grain size of Al-8 wt.%Zn-x wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys with Mg contents.

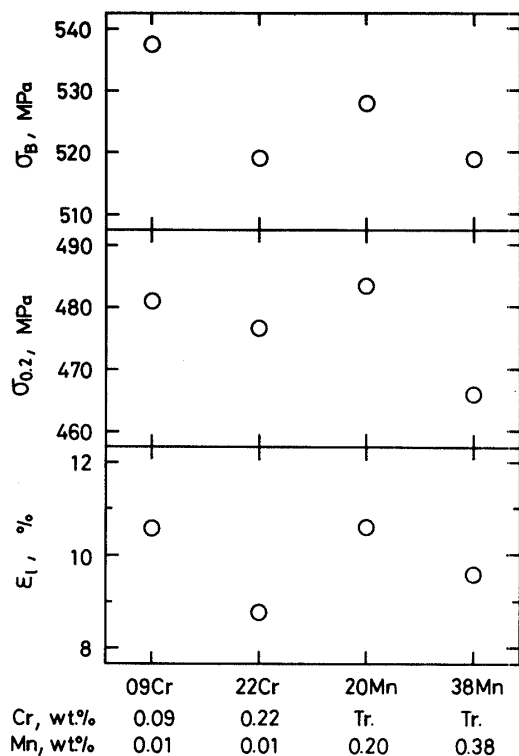


Fig. 4. Results of the tensile properties of Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn alloys.

等軸かつ微細になっている。結晶粒径  $d$  と Mg 添加量との関係を Fig. 3 に示す。Fig. 3 中には、前報で示した結果の一部も同時に記した。Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 系押出合金の結晶粒の微細化には、La の添加が非常に有効である。La 添加材の結晶粒径は、Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 押出合金（母合金）の約 1/10 である。また結晶粒径は、Mg 添加量が増加するにしたがい大きくなる傾向にあるが、1.5 および 2.5 wt.%Mg 添加材ではほぼ同程度である。前報にて詳細に示したが、La が添加してある本供試材の基地中には、主に Zn と La から構成される第二相粒子が均一に分散していた。一方、比較材の 7075T73 の結晶粒は、押出方向に伸長した繊維状組織が得られた。その粒径は  $15 \times 50 \times 200 \mu\text{m}$  程度で、パンケーキ状の形態をしている。また基地中には、Fig. 2 に矢印で示すような Cr 系晶出物 (AlFeCr) の存在も認められる。

### 3・2 引張強度特性

#### 3・2・1 Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn 押出合金

Fig. 4 は引張特性と添加元素量との関係を調査した結果である。引張強さ  $\sigma_B$  と 0.2% 耐力  $\sigma_{0.2}$  の値は前報で扱った押出合金で得られた最大値に対して 10% 程度向上している。本供試材で得られた引張強さの最大値は、 $\sigma_B = 538 \text{ MPa}$  で 0.09 wt.%Cr, 0.01 wt.%Mn 添加材で得られた。一方、破断伸び値  $\epsilon_1$  は、絶対値

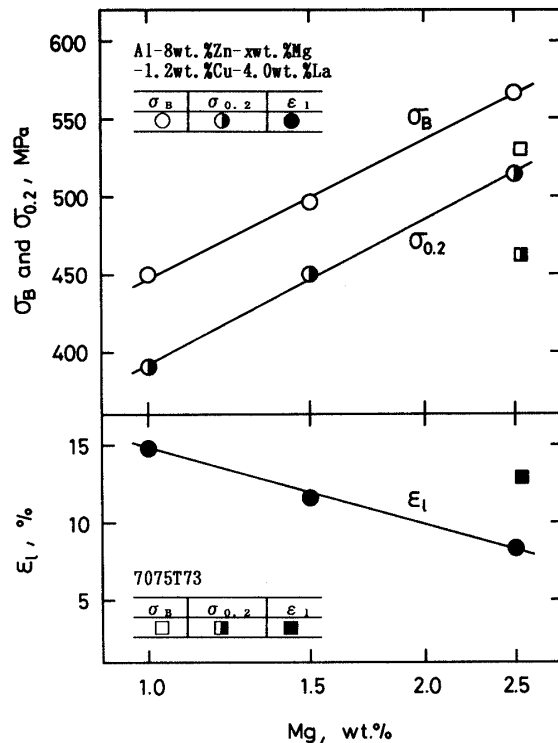


Fig. 5. Results of the tensile properties of Al-8 wt.%Zn-x wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys and 7075T73 alloy.

こそ前報で得られた値 ( $\epsilon_1 = 14 \sim 17\%$ ) より劣るものの、9~11% 程度の実用的に充分な値が得られている。本材料で得られた引張特性は、本研究のベース材料となった Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 押出合金で得られる  $\sigma_B$  および  $\sigma_{0.2}$  に対して約 1.4 倍、 $\epsilon_1$  に対して約 5 倍の値が得られた。

3・2・2 Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La-x wt.%Mg 押出合金と 7075T73 Fig. 5 に Mg 添加量と引張特性との関係を示す。図中には、比較材の 7075T73 の引張特性も同時に示した。引張強さ  $\sigma_B$  および 0.2% 耐力  $\sigma_{0.2}$  の値は、Mg 添加量の増加とともに向上した。 $\sigma_B$  および  $\sigma_{0.2}$  の最大値は 2.5 wt.%Mg 添加材で得られ、それぞれ、 $\sigma_B = 568 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_{0.2} = 516 \text{ MPa}$  となった。これらの値は、7075T73 で得られた値よりも 10% 程度高い値となった。ところで、Al-Zn-Mg-Cu 系合金は、過飽和固溶体 → GP ゾーンの形成 → 中間相 ( $\eta'$ -MgZn<sub>2</sub> 相、 $T'$ -Al<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Zn<sub>3</sub> 相) → 安定相 ( $\eta$ -MgZn<sub>2</sub> 相、 $T$ -Al<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Zn<sub>3</sub> 相) の析出過程を経て強化される熱処理型の合金であり、Mg および Zn 添加量の増加にともない強度は向上する<sup>5),6)</sup>。本供試材においても、一般的傾向と同様な傾向が認められ、Mg 添加による強化機構も上述の析出過程によるものと考えられる。

### 3・3 耐 SCC 特性

#### 3・3・1 Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn 押出合金 各

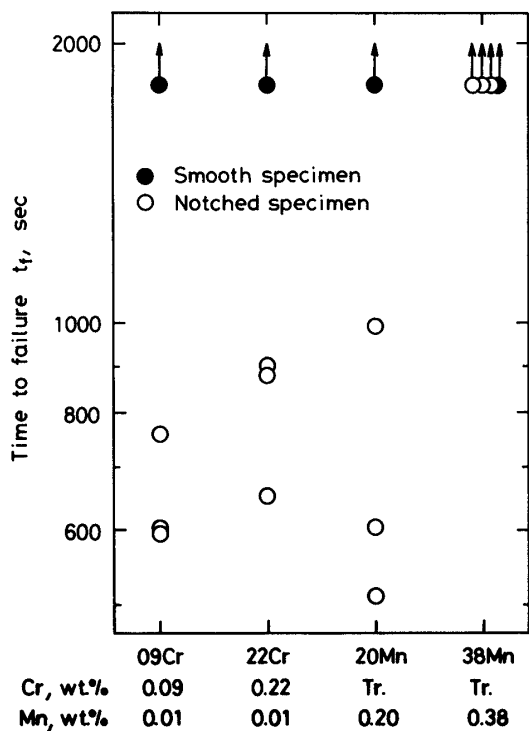


Fig. 6. The change in behavior of SCC for Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La-x wt.%Cr-y wt.%Mn alloys.

供試材とも、平滑試験片を用いた SCC 試験の結果では 1.8 ksec 以内に破断することはなかった。試験片表面を観察したところ、定性的ではあるが、エッチピットの発生頻度は非常に少なく、また、各材料の発生頻度に大きな差はなかった。すなわち、SCC の起点となる応力集中部の形成が少なく、かつ材料間にその差が認められなかったため、各材料の耐 SCC 特性の違いが現出しなかった。

切欠き付試験片を用いた SCC 試験を行った結果を Fig. 6 に示す。Fig. 6 には、平滑試験片での SCC 寿命も同時に示した。図中には、耐 SCC 特性におよぼす Cr および Mn の添加の影響が明確に現れている。すなわち、Cr よりもむしろ Mn のほうが SCC の抑制に効果的に働くことがわかる。耐 SCC 特性が最も優れていた供試材は、Cr-Free, 0.38 wt.%Mn 添加材であった。この原因について考察する。前報でも示したが、き裂や切欠き等の応力集中部近傍には、水素の集積によるぜい化領域が形成され、この領域より発生したき裂と主き裂とが合体することによって SCC き裂は進展している。当然、ぜい化領域の周辺に起点となり得る欠陥が存在する場合は、前述の SCC き裂の進展サイクルは加速されるものと考えられる。したがって、Cr 添加材には破壊起点となり得る粗大晶出物が存在する (Fig. 1 参照) ため、破断寿命が短くなったと推測される。一方 Cr 無添加材 (Mn 添加材) では、破壊起点となり得る粗大晶出物が少ないた

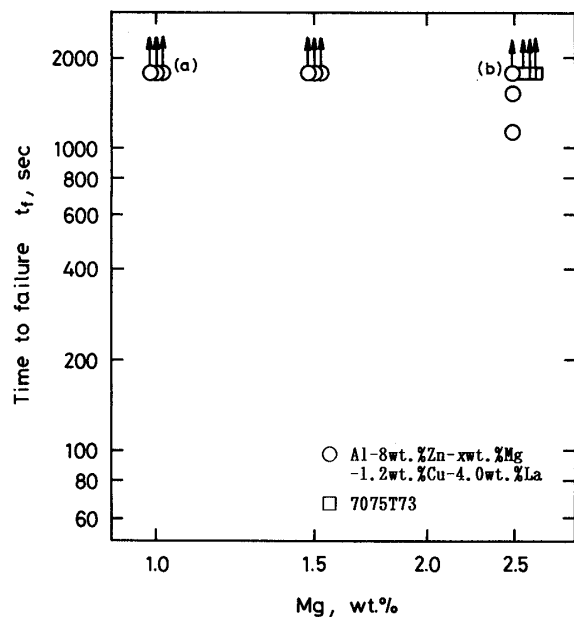
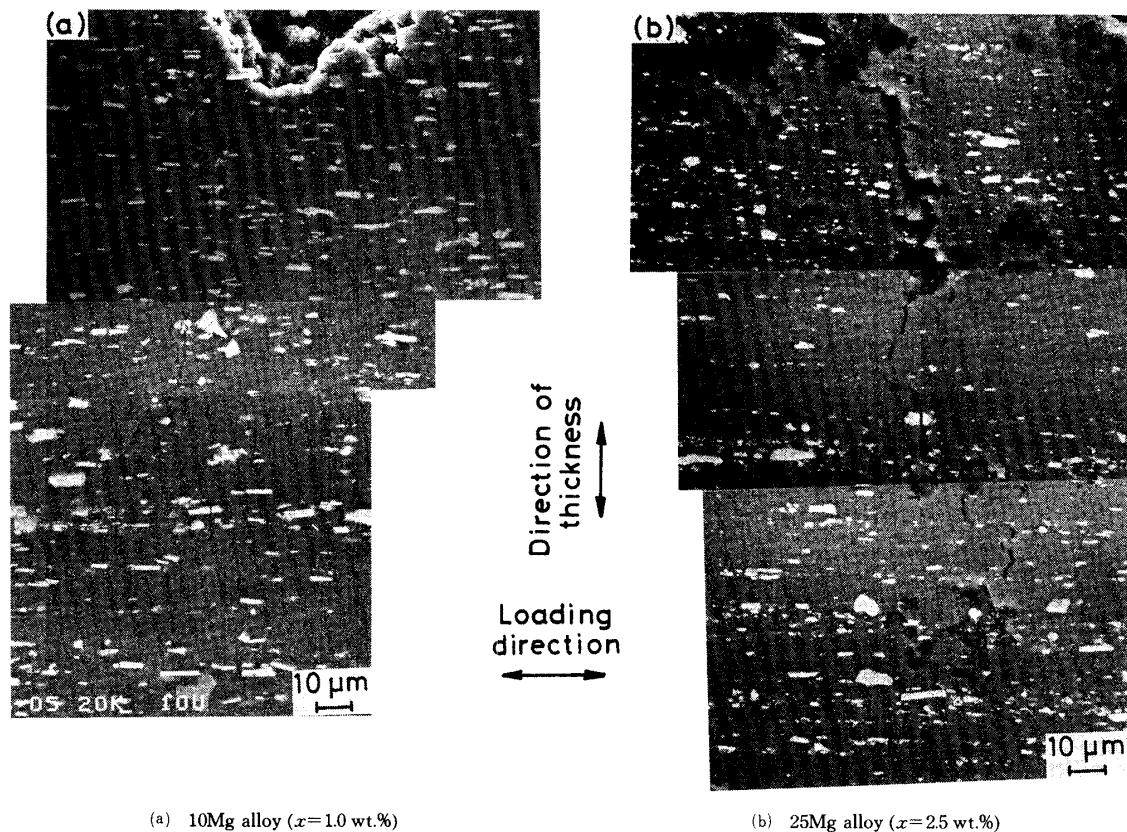


Fig. 7. Results of SCC test for Al-8 wt.%Zn-x wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys and 7075T73 alloy.

め、切欠き付試験片における SCC 寿命に著しい低下が認められなかったものと考えられる。しかしながら、0.20, 0.38 wt.%Mn 添加材の SCC 寿命の差については、両合金の組織学的差異からの説明は現時点ではできなかった。

**3・3・2 Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La-x wt.%Mg 押出合金と 7075T3** Fig. 7 に Mg 添加量と破断寿命  $t_f$  との関係を示す。比較材の 7075T73, 1.0 および 1.5 wt.%Mg 添加材は破断することはなかった。すなわち、本研究で開発した押出合金は、優れた耐 SCC 特性を有していることが証明された。一方 2.5 wt.%Mg 添加材の場合、その耐 SCC 特性は 1.0 および 1.5 wt.%Mg 添加材のそれよりも若干劣っていた。この点に関して考察すると以下ようになる。Fig. 7 中 (a), (b) で示した 1.0 および 2.5 wt.%Mg 添加材の試験片に関して SEM 観察した。その結果を Fig. 8(a), (b) に示す。試験時間内に破断までいかなかった試験片においても、エッチピットより SCC き裂が発生し、成長していることがわかる。定性的ではあるが、各供試材のエッチピットの発生状況 (個数, 大きさ等) はほぼ同程度であるが、2.5 wt.%Mg 添加材の SCC き裂の発生数とその成長量は、他の供試材より多かった。一般に、応力の集中度合いが大きいほど SCC き裂の発生とその成長は容易になることが知られている。各供試材の製造工程で、材料の表面に残留応力が導入され、しかもその大きさが、Mg 添加量によって異なっているなら、実際に試験片表面に負荷されていた応力のレベルは各供試材で異なる。そこで、SCC 試験前の試験片表面長手方向の残留応力を、X

(a) 10Mg alloy ( $x=1.0$  wt.%)(b) 25Mg alloy ( $x=2.5$  wt.%)Fig. 8. Scanning electron micrographs of SCC crack for Al-8 wt.% Zn- $x$  wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys.

線を用いて測定した。測定条件を Table III に示す。X 線の入射は、 $\sin^2\psi$  の値が 0~0.5 までの 0.1 刻みの 6 点入射を基本とした。Cr-K $\alpha$  線による Al(222) 面の応力定数を  $-92.18$  MPa/deg<sup>9)</sup> とし、 $2\theta$ - $\sin^2\psi$  法

Table III. Conditions for X-ray stress measurement.

| Method                | Parallel beam method |
|-----------------------|----------------------|
| Characteristic X-ray  | Cr-K $\alpha$        |
| Filter                | V foil               |
| Diffraction plane     | Al (222)             |
| Tube voltage          | 30 kV                |
| Tube current          | 10 mA                |
| Detector              | PSPC                 |
| Irradiated area       | $\phi 2$ mm          |
| X-ray stress constant | $-92.18$ MPa/deg     |
| Oscillation angle     | 7 deg                |
| Oscillation times     | 4                    |
| Oscillation speed     | 1 deg/sec            |

Table IV. Residual stress along the extruding direction on the surface for Al-8 wt.%Zn- $x$  wt.%Mg-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La alloys.

| Code | Residual stress $\sigma_R$ (MPa) |
|------|----------------------------------|
| 10Mg | $-9.12 \pm 2.89$                 |
| 15Mg | $18.5 \pm 3.04$                  |
| 25Mg | $29.0 \pm 2.84$                  |

で残留応力を測定した。X 線による残留応力値と 68.3% 信頼限界を Table IV に示す。残留応力の値は、Mg 添加量によって異なり、その添加量が多いほど引張残留応力の値が大きかった。すなわち、実際に試験片に負荷されていた応力値は、2.5 wt.%Mg 添加材が最も大きく、他の供試材に比べ、SCC き裂が発生しやすい状況であったと考えられる。その結果、2.5 wt.%Mg 添加材の SCC 寿命が、他の材料に比べ若干劣ったと考察できる。そこで、残留応力を考慮し、実負荷応力を 1.0 wt.%Mg に対する実負荷応力 (300 MPa) と同程度にするため、0.2% 耐力の約 60% を負荷した SCC 試験を 2.5 wt.%Mg 添加材で行った。その結果、1.8 ksec の試験時間内では破断することにはなかった。それ故、2.5 wt.%Mg 添加材の SCC 寿命が他の合金に比べ劣っていた理由としては、残留応力を考慮した実負荷応力が大きかったためと推測される。

### 3・4 引張強度と耐 SCC 特性に及ぼす添加元素の影響

本実験で得られた各材料の引張強さ  $\sigma_B$  と SCC 試験で得られた破断寿命  $t_f$  との関係を整理すると Fig. 9 のようになる。図中には、これまでに報告している結果も同時に示した。本供試材で得られた引張強さは、ベース材料 (図中 ⊙) で得られた値の約 1.5 倍となり、かつ、比較材とした 7075T73 よりも高い値が得られた。また破断寿命に関してはベース材料の 15 倍以上

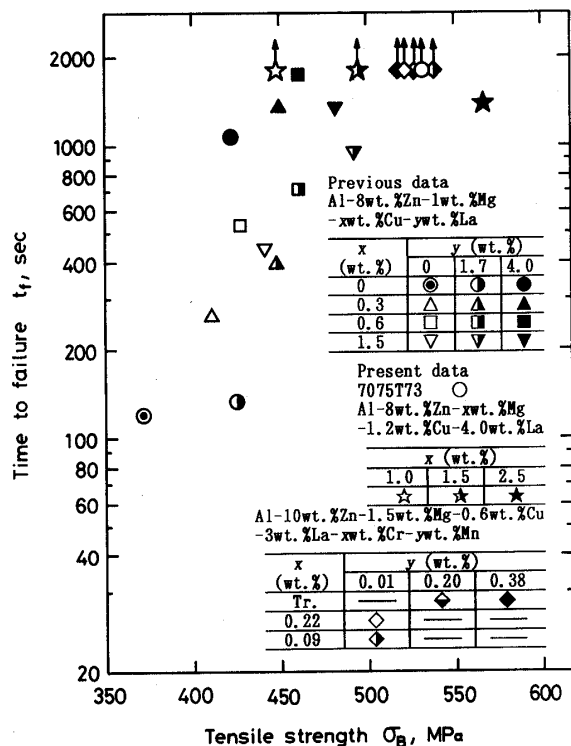


Fig. 9. Relation between SCC life and tensile strength.

も向上しており、しかも 7075T73 と同等の特性が得られた。すなわち、実用材料と同等あるいはそれ以上の耐 SCC 特性と引張強度を有した押出合金を開発することができた。今後の課題として、破壊じん性値等による破壊力学的強度評価および溶接性等の機械加工性の評価を行い、本合金を実用材として用いる場合の問題点を明確にする必要がある。

#### 4 結 言

本研究においては、実用系アルミニウム合金と同等の引張強度を有し、かつ、耐 SCC 特性の優れた押出合金の開発を目的に行った。すなわち前報<sup>1)</sup>において得られた結論を基に、Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La に Cr および Mn を添加した種々の押出合金と Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La に対して Mg を 1.0, 1.5, 2.5 wt.% 添加した押出合金を新たに作製し、これらの引張特性と耐 SCC 特性について評価した。得られた結論をまとめると以下ようになる。

(1) Cr および Mn を種々添加した Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La 押出合金の結晶粒組織は、押出方向に伸長した繊維状組織となった。また本材料の基地中には、水素吸蔵能力を有する第二相粒子がほぼ均一に分散していた。Cr 添加材においては、この第二相粒子以外に、10 μm 以上の

粗大な Cr 系晶出物が認められた。

(2) Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La に対して Mg を種々添加した押出合金の結晶粒は、微細かつ等軸のものが得られた。また基地中には、Zn と La を主成分とする第二相粒子が、均一に分散していた。

(3) Al-8 wt.%Zn-1.2 wt.%Cu-4.0 wt.%La に対して Mg を種々添加した押出合金の引張強さおよび 0.2% 耐力の値は、Mg 添加量の増加とともに向上した。本供試材で得られたそれらの最大値は、ベース材料である Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 押出合金で得られた値の約 1.5 倍となり、しかも、比較材の 7075T73 よりも大きな値となった。

(4) 切欠き付き試験片を用いた SCC 試験結果より、Al-10 wt.%Zn-1.5 wt.%Mg-0.6 wt.%Cu-3 wt.%La 押出合金においては、Cr よりも Mn のほうが耐 SCC 特性の向上に有効であった。この原因については、Cr 添加材の基地中に含まれている粗大晶出物が破壊起点として作用するためと考察された。

(5) 本供試材の引張強度は、Al-8 wt.%Zn-1 wt.%Mg 押出合金（母合金）で得られる値の約 1.4 倍となった。また、平滑試験片で得られた SCC 寿命は、母合金の 15 倍以上となり、実用材である 7075T73 と同等であることが証明された。すなわち、高い強度と優れた耐 SCC 特性を有する押出材を開発することができた。

#### 参 考 文 献

- 1) 岸 陽一, 広瀬幸雄, 永井滋一, 佃 市三, 東 健司, 材料, **42**, 990 (1993).
- 2) A. Sendorek and A. W. Pearson, J. Inst. Met., **99**, 33 (1971).
- 3) M. K. B. Day, A. J. Cornish and T. P. Dent, Met. Sci. J., **3**, 175 (1969).
- 4) 宮木美光, “アルミニウム材料の基礎と工業技術”, p. 292 (1985) 軽金属協会
- 5) “アルミニウムの組織と性質”, p. 296 (1991) 軽金属学会
- 6) H. Hug, “Aluminium und Aluminiumlegierungen”, p. 770 (1965) Springer-Verlag, Berlin
- 7) 海部昌治, “アルミニウム材料の基礎と工業技術”, p. 196 (1985) 軽金属協会
- 8) A. F. Castle and G. Lang, Aluminium, **53**, 535 (1977).
- 9) “X 線回折の手引 改訂第 4 版”, p. 171 (1989) 理学電機機(株)