

加工性に優れた超軽量 Mg-Li 合金

報告者 大学院総合理工学研究科東大阪モノづくり専攻 教授 沖 幸男
共同研究者 大阪精工株式会社 取締役技術部長 森川 勉
株式会社ヤマニ 代表取締役 紙田雅一郎
大阪産業振興機構 アドバイザー 平木勲男
大阪府立大学大学院 助教授 辻川正人

1. 背景

地球環境保全の観点から、さまざまな分野で軽量材料が求められており、なかでも高強度で加工性に優れたマグネシウム合金の開発が急がれている。

地球温暖化防止策として二酸化炭素排出量削減が、世界共通の課題として実効ある対策が急がれている。1997 年の第 3 回締結国会議 (COP3) で、法的拘束力を持つ削減目標を数値化した「京都議定書」として採択され、2005 年 2 月に発効した。このなかで、わが国には 1990 年を基準に 2012 年までに 6%の二酸化炭素排出量削減が課されている。

わが国の二酸化炭素排出量は、大きく分けて 1) 産業部門、2) オフィス・家庭部門、3) 輸送部門がほぼ 1/3 ずつを占めている。このうち、産業部門ではすでにエネルギー消費の効率化が進んでおり、これ以上の大幅な削減は望めない。また、オフィス・家庭部門では、現在の快適な環境を犠牲にすることなく二酸化炭素排出量を削減することは難しい。経済産業省は、「京都議定書目標達成計画 (2005)」の中で、輸送部門の二酸化炭素排出量削減が最も実効性の高い方策であるとしている。輸送部門の二酸化炭素排出量のうち、その 80%が自動車等の走行によるものであり、燃費の向上が直ちに二酸化炭素排出量削減につながる。自動車エンジンの燃料効率率は、近年飛躍的に向上してきている。一方、エネルギー消費に直接影響する車両重量は、安全意識の高まり、安全基準の厳格化、ニーズの多様化・高度化に伴う情報機器をはじめとした付加機器の増加などにより、増加の一途をたどっている。そこで、自動車の軽量化のために、従来の鉄鋼材料からアルミニウム合金、プラスチック、マグネシウム合金の積極的使用が図られてきている。

このように、自動車をはじめとする各種機器の軽量化のために Mg 合金の各方面への適用が考えられているが、2 つの問題点がある。1 つは、現在実用化されている Mg 合金を用いても、必ずしも軽量化にはつながらない点である。Mg の比重は 1.74 であり Al の比重 2.81 の 2/3 程度ではあるが、表 1 に示したように、実用マグネシウム合金 AZ31 (Mg-3%Al-1%Zn 比重: 1.78) の引張り強さが 295MPa であるのに対して、高力アルミニウム合金 A7075-T6 の引張り強さは 600MPa に達しており、比強度 (強さ [MPa] / 密度 [Mg/m³]) で比較すると、高力アルミニウム合金の 215 MPa / Mg/m³ に対して実用マグネシウム合金は 165 MPa / Mg/m³

であり、マグネシウム合金を使用したほうが 30%程度も重くなる。2 番目の問題点は、マグネシウム合金の加工性の悪さである。アルミニウム合金とマグネシウム合金の使用形態の比較を表 2 に示した。アルミニウム合金に比べマグネシウム合金の使用量が極端に少ないと同時に、アルミニウム合金展伸材の使用量が鋳造材の 2 倍であるのに対して、マグネシウム合金の場合、展伸材の使用量は鋳造材の 1/20 程度に過ぎない。このことは、マグネシウム合金の加工性を向上させることによって用途が拡大し、その使用量が飛躍的に多くなることを示唆している。

表 1. アルミニウム合金、マグネシウム合金の比較

	密度 Mg/m ³	強度 MPa	比強度 MPa / Mg/m ³
高力アルミニウム合金 (A7075-T6) －更なる高強度化は望めない	2.81	600	215
実用マグネシウム合金 (AZ31; Al: 3%, Zn: 1%) －冷間加工困難	1.78 (Mg: 1.74)	295	165
軽量高強度マグネシウム合金 (LA141; Li: 14%, Al: 1%) －冷間加工可能	1.35	300	222

表 2. アルミニウム合金、マグネシウム合金の使用形態

	ダイカスト・鋳造	展伸材
アルミニウム合金 2003 年 (日本)	1,276,000 t 2,935 億円	2,400,000 t 5,520 億円
マグネシウム合金 2002 年 (1-6 月 世界)	65,000 t 5,200 億円	3,800 t 304 億円

2. 目的

上述の背景から、本事業では加工性に優れ比強度の高いマグネシウム合金の開発を目的とする。このため、合金組成の探索、溶解・鋳造から 1 次製品 (板、棒、線材など) 製造までの過程における熱処理条件、加工条件の最適化により、冷間加工可能な高強度マグネ

シウム合金の製造方法の確立をめざす。東大阪の金属加工事業所が有する冷間加工設備をそのまま使って、これまで行ってきた鉄鋼材料、アルミニウム合金の加工技術をマグネシウム合金の加工に生かせるような素材の提供を目的とする。

3. 研究組織

研究組織を模式的に図 1 に示した。近畿大学が中心となり、大阪府立大学、ヤマニが協力して MgLi 合金を作製する。大阪精工が中心となって線材の開発、用途開発を行う。

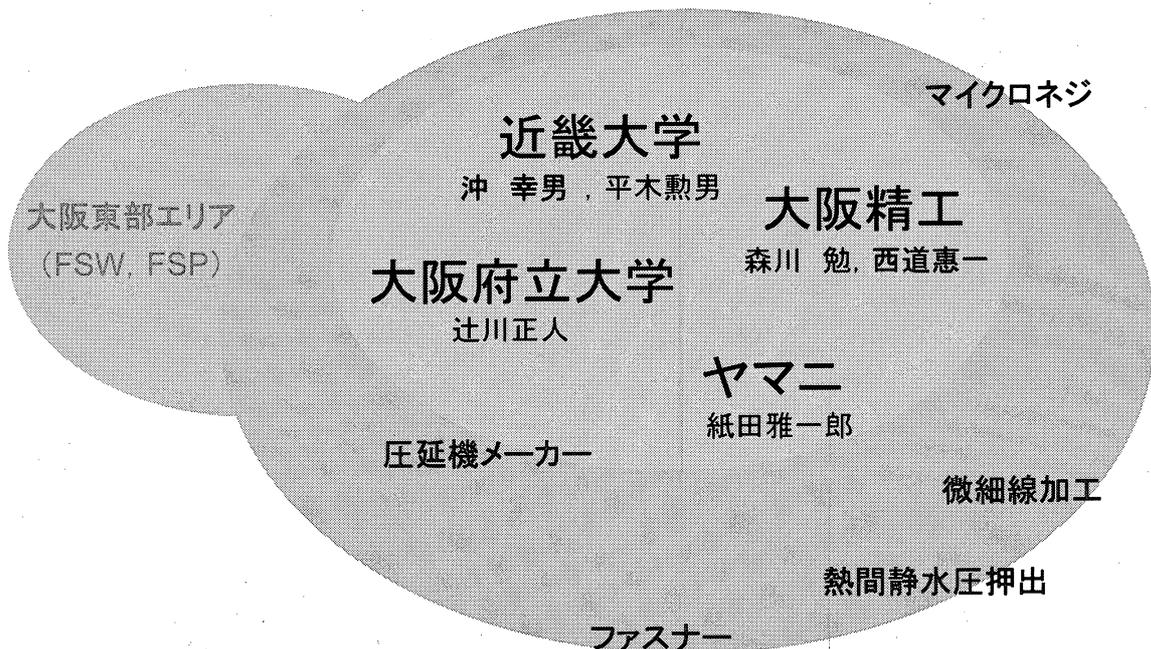


図 1. 研究組織

4. 研究方法

マグネシウムへのリチウムの合金化によって、図 2 に示すような合金を作製することができる。11mass% 以上のリチウムの添加によってマグネシウムはリチウムの固溶体となることがわかる。hcp 構造を持つ Mg 合金は室温付近において底面すべりとそれ以外のすべり系との臨界せん断応力の差が大きく底面すべり以外は活動しにくい。そのためすべり系の臨界せん断応力の差が小さくなる 300℃以上での温間加工がなされている。しかし、5.5wt% 以上の Li 添加によって hcp の α 相と bcc の β 相の二相混合領域を経て、11mass% 以上の Li 添加で bcc の単一相に変化する。

このためこれまでの Mg 合金にはなかった冷間加工による加工硬化が期待できる。これによって室温での深絞りや転造などの二次加工も可能である。Mg-Li 合金は上述したような特性を持ち、特に冷間加工が可能であるという点は他の Mg 合金では不可能な、冷間加工による加工硬化での高強度化が期待できる材料である。

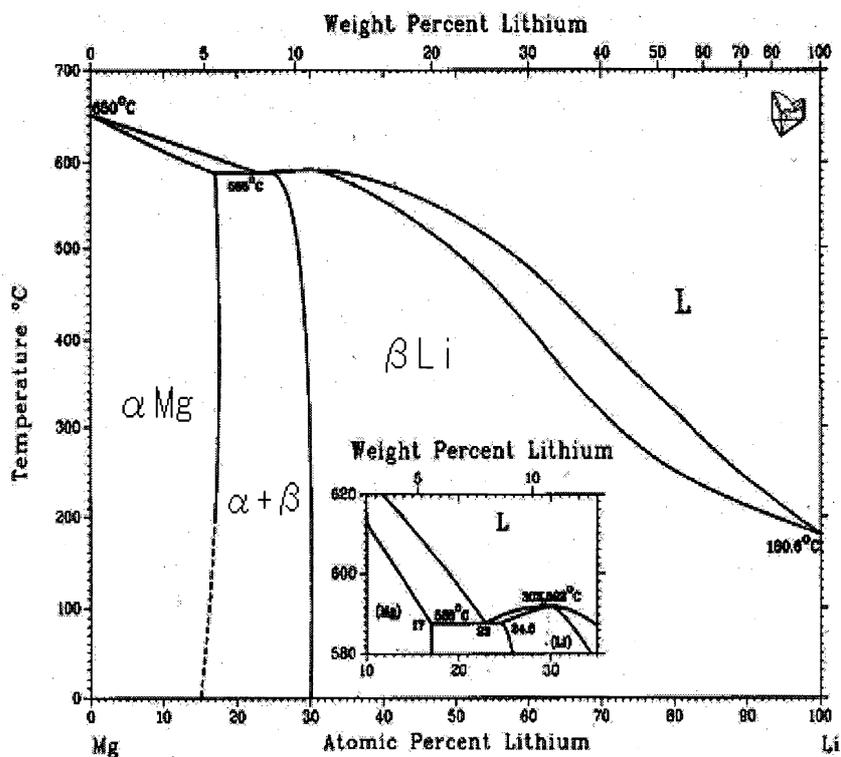


図 2. Mg-Li 2 元系状態図

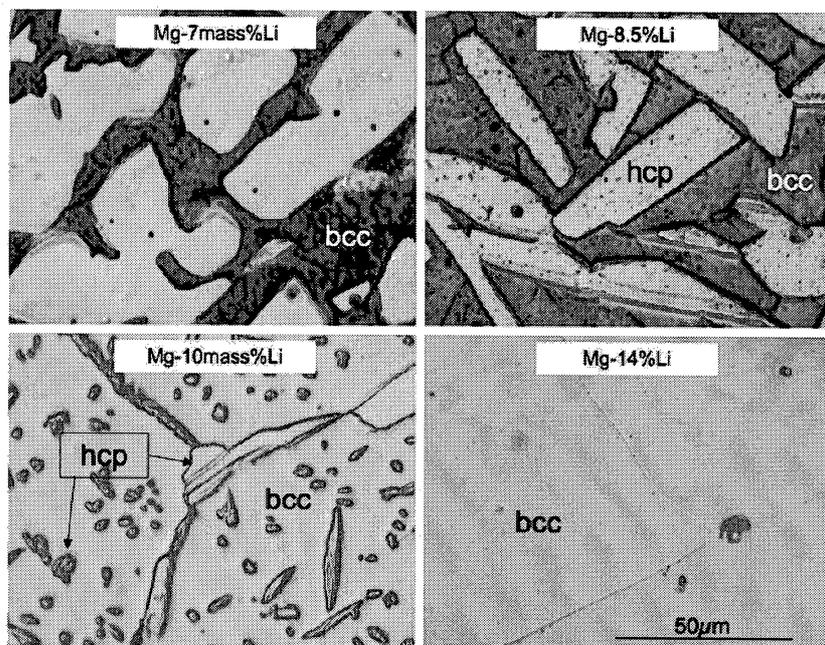


図 3. Mg-Li 合金のマイクロ組織

この合金は高い反応性と高い蒸気圧をもっているため、大気中や真空チャンバー内での溶解が不可能である。密度が 1.326g/cm^3 と非常に低密度であるため、フラックス溶解は酸化物巻き込みの原因となる。そのためこの合金は不活性ガス加圧下での溶解、 casting が必須である。本研究では 1.3atm のアルゴンガス加圧下で溶解し、一時間のアルゴンガスバブリングによる脱ガスをした後、加圧炉中でのインゴット casting を行った。これによって高さ 250mm 幅 250mm 厚さ 50mm 重さ約 7kg のインゴットが得られた。クリエーションコアのサテライト研究室に設置した加圧アルゴン雰囲気溶解 casting 装置を図 4. に示した。また得られたインゴットは 673K , $8.6 \times 10^4 \text{ s}$ で均質化処理をした。

溶湯処理の影響を明らかにするため、種々の処理材の引張り試験を行なった。

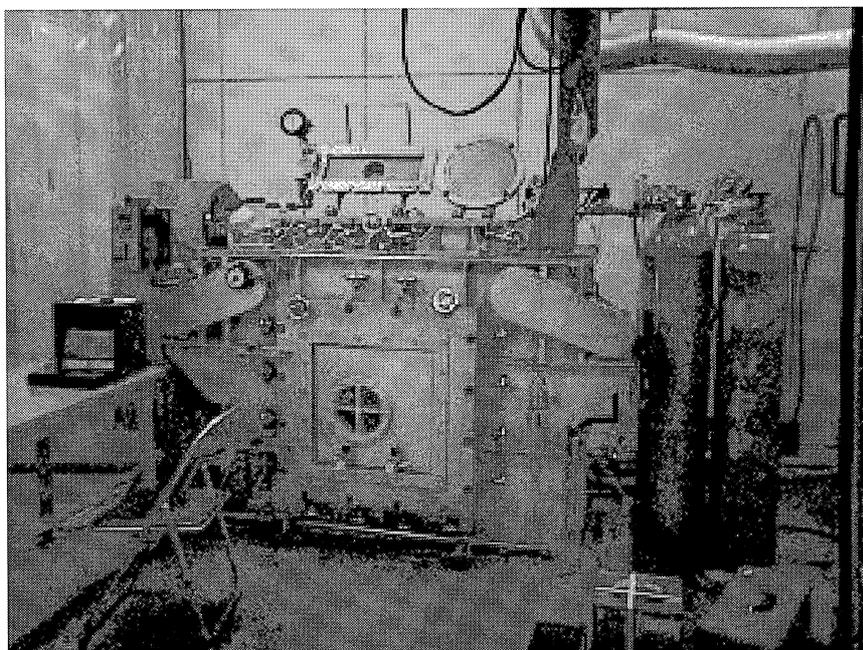


図 4. 加圧アルゴン雰囲気溶解 casting 装置

5. 研究成果

図 5 に示すようにマグネシウム-14mass%リチウム合金の溶解方法が確立された。7 kg の原料を SUS316 製溶解ポットに装填し、溶解 casting チャンバー内をアルゴンガスで置換する。酸素量が 1% 以下になった時点で、ポットの加熱を始め、アルゴンガス加圧下 (0.05 Pa) で、酸素量を減少させつつ加熱する。溶湯温度が $685 \text{ }^\circ\text{C}$ で酸素濃度は 0.001%以下とし、高純度アルゴンガスによる 90 min のバブリングを行なう。

この溶湯を、下部に堰を持つ高さ 500 mm 幅 300 mm 厚さ (下部) 50 mm のキャビティーを持つ Y 字金型に、アルゴンガス雰囲気チャンバー内で casting する。 casting 型はあらかじめ上部

を所定の温度に加熱する。

ポット内の温度が 580 °C になってから大気圧に戻し、チャンバーを開放する。

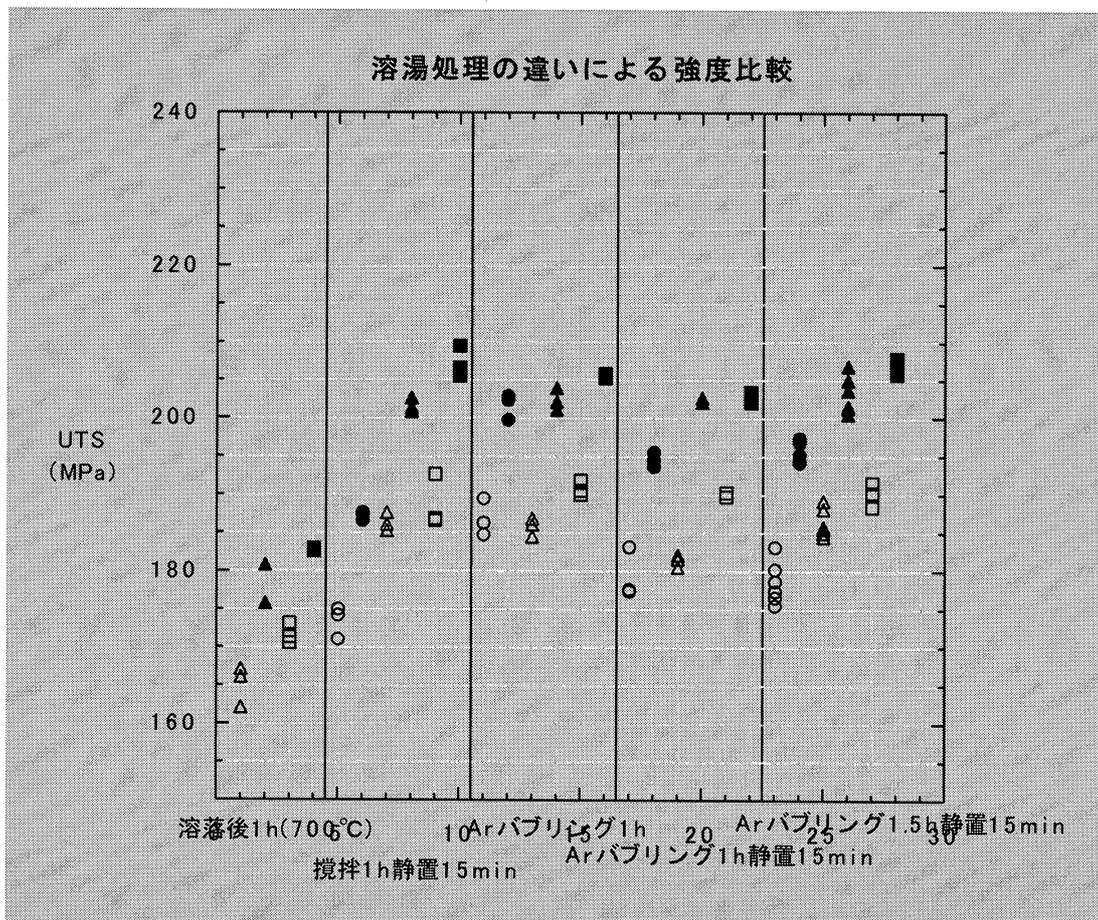


図 5. 溶湯処理が引張り強さに及ぼす影響

6. 本研究費を用いた研究成果の発表

1. 阿部由紀子, 辻川正人, 沖 幸男, 平木勳男, 紙田雅一郎, Mg-Li 合金圧延板の摩擦攪拌接合, 日本鑄造工学会全国講演大会, 2004. 10. 15

7. 今後の展開

板材、線材を多くの製造業者に供給するという事業化のために、H17 年度から H20 年度まで以下のスケジュールで開発を進める。

H17 年度

高強度化を目指した合金組成の探求。加工プロセス、接合プロセスの最適化。

H18 年度

Mg-14%Li 合金へのアルミニウムクラッド法の開発。

H19 年度

アルミニウムクラッド法の確立。高強度最軽量マグネシウム合金の最適加工プロセスの確立。

H20 年度

高強度最軽量材料の加工性の向上に関する研究。