高強靱性マグネシウム合金の環境軽負荷型製造技術の開発

金子貫太郎^{1)*} 塩崎修司^{2)*} 近藤勝義^{1)*}
荻沼秀樹^{2)*} 秋田 亨^{***}

1. 緒 言

従来の Mg 合金においては、①アルミニウム合金レベルの高強度化が困難であり、②高強度化に伴う靱性(伸び)の低下や、③最密六方構造に起因する低温での塑性加工性の問題、さらには④急冷凝固法などによる高価な微粉末の利用によるトータルコストの上昇と安全性の低下など、実用化を妨げる様々な要因がある。なかでも、①と②は一般の多結晶材料で見られる、強度-靱性のトレードオフ・バランスゆえ、従来の材料・プロセス設計では解決し難い課題である。また③に関しては、特に押出加工や圧延加工を施した展伸材において、強い底面配向性を示すために加工方法そのものに起因する課題である。そして、これらの課題は、結果として Mg 合金部材のトータルコストを上昇させる。これまでに個々の課題に対して、例えば、塑性加工法を利用した結晶粒の微細化⁽¹⁾や急冷凝固プロセスによる組織制御⁽²⁾、直接溶湯圧延法などが検討されてきたが、全ての課題を同時に解決できるような材料・プロセス技術の確立には未だ至っていない。本研究は、低温域での成形加工性に優れた高強靱性マグネシウム(Mg)合金の環境軽負荷型製造プロセスの構築とその装置開発を目的とする。軽量化技術は、CO₂排出量の削減などの地球環境問題や原油価格の高騰に起因する省エネ問題などへの有効な方策の一つである。なかでも、鉄鋼材料の約 1/4、アルミニウム合金の約 2/3 の低比重を有する Mg 合金は、近年、軽量化素材として着目され、特に自動車用あるいは航

空機用部品をはじめとする移動体用構造部材としての実用化ニーズも大きい。このような背景のもと、本研究開発は、まさに大気汚染物質の排出抑制、有限石化エネルギーの有効利用など地球環境への負荷軽減技術を具現化する従来にないマグネシウム展伸材の革新的製造プロセス技術の構築と実用化を目指すものである。

2. 開発した製造プロセス・装置およびその特徴・優位性

上記の課題を鑑み、市場が求める実用化ニーズに対応できるマグネシウム合金を、粉体技術と塑性加工法を基調とした従来にない組織制御プロセスを開発することで、低温での成形加工性に優れた高強靱性・安価マグネシウム合金部材製造プロセスおよび装置(ロールコンパクタ, Roll Compaction/RCP; 図 1)の開発に成功した⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。ここで、具体的な特徴・優位性は次の通りである。

① RCP 加工で数ミリの粗大 Mg 原料粉体に対して双ロール圧延(剪断・圧縮加工)と粉碎加工の繰り返しにより、1 μm 以下の超微細結晶粒を有するミリオーダーの粗粉末の創製(安全性の確保)、粉体の不連続性を利用した圧延加工による集合組織の無秩序化の促進(底面配向性の抑制)、微細な金属間化合物の動的析出を促進させ、結晶粒の粗大化抑制と耐熱性の向上、原料粉体への熱処理(T4/T6)による繰り返し加工回数の削減(プロセスコストの低減)。

② 上記の RCP 加工 Mg 粉体から押出・鍛造・圧延加工によって得られたマグネシウム展伸材は、サブミクロン~数 μm の微細結晶粒を有することで、同一組成の展伸材に対して引張強さ・耐力が 50~80% 増加し、同時に双晶の発生を抑制することで破断伸びは同等レベル(15~25%)を有する。したがって、従来の金属材料の課題である強度-靱性のトレードオフ・バランスを大幅に改善できることを示唆した。展伸材においても集合組織のランダム化を発現し、その結果、200℃以下の 3 次元複雑鍛造加工を実現。さらに、100~150℃付近での低温塑性加工により板状展伸材から健

* 株式会社栗本鐵工所機械事業部：1) 技師長

2) 粉碎システム技術部部長

** 東京大学先端科学技術センター：1) 特任助教授

2) リサーチフェロー

*** 株式会社ゴーシュ成形技術グループ

Environmentally Benign Process of Wrought Magnesium Alloy with High Strength and High Ductility; Kantaro Kaneko*, Shuji Shiozaki*, Katsuyoshi Kondou**, Hideki Oginuma**, Toru Akita*** (*Kurimoto Ltd. **RCAST, The University of Tokyo. ***Gohsyu Corp.)

2005年10月26日受理

図1 超微細結晶粒粉体の製造プロセス。

図3 引張強さ-破断伸びの関係(従来材料との比較)。

図2 Mg合金粉体量産用RCP加工装置。

図4 AZ31合金押出材での結晶粒比較。
(a; 本開発製法, b; 従来製法)。

全な部材創製が可能。

③ 今回開発したRCP加工装置(図2)においては、溶解工程を一切経由しない粉体技術を基調とすることで、本開発装置による製造過程でのエネルギー消費量は動力原単位で約0.6~0.7 kWh/kgと従来の溶解・铸造法の1/20~1/30と小さく、顕著な省エネ効果を実証。粉碎加工条件とその後の排出口のスクリーン径の管理によって、排出される粉体の寸法・形状を適正範囲内とすることで、双ロール間での粉体の圧下率を制御し、均質な加工歪の導入・蓄積を可能とした。さらに全工程でミリ単位の粗粒Mg粉体を扱うことで安全性に優れた製造プロセス・装置である。

3. 成果と実用化状況

粉体技術と塑性加工法を基調とした本開発プロセスおよびその製造装置により、従来のマグネシウム合金の実用化における技術的・経済的課題を克服した。具体的には、次の通り

図5 低温鍛造加工サンプルの一例。

表1 本開発 Mg 関連製品の売上実績および計画。

年度	売上(百万円)						Mg 合金製品
	0.1	1	10	100	1000	10000	
H16							• RCP 加工粉体
H17							• 押出ビレット • 各種押出製品
H18							• 同上
H19							• 同上 • 鍛造製品 • 結晶粒微細化装置
H20							• 同上
H21							• 同上
H22							• 同上

である。

- ① 既存の Mg 合金に適用した場合でも、微細組織を有する強度・靱性に優れた大型展伸材を創製。
例. AZ31 合金板材；引張強さ 385～400 MPa 以上，耐力 350 MPa 以上，伸び 15～20%：図 3，4.
- ② 安全性に優れ，かつ低コスト・環境低負荷を実現した Mg 合金粉体加工プロセス・装置である。
- ③ 優れた低温塑性加工性(例. 200℃での 3 次元複雑形状鍛造(図 5)，150℃以下での板加工成形)。
- ④ 粉体，固化ビレット，展伸材および製造装置の販売実績および売上計画(表 1)。

4. 結 言

これまでの板やパイプなどのマグネシウム合金展伸材は，低温での加工性に劣るために低生産性による 2 次加工コストの増加が，マグネシウム合金の広範囲での実用化・部材化を抑制しているのも事実である。これに対して，本技術成果によれば，高強度・高靱性を維持しながら，低温での成形加工や鍛造加工を可能とする。これによりマグネシウム合金部

材としての普及を図ることを側面的に支援するものと期待できる。また，今回開発した RCP 加工プロセスは，アルミニウム合金や銅合金などの非鉄金属素材にも適用でき，これにより各素材においても同様の高付加価値化効果(高強度・高靱性化)が実現できる。これにより海外の安価な素形材に比べて，性能上の差別化が可能となる。

5. 特 許

本研究開発に関しては以下の 4 件の特許を出願済みである。

- ① 特許の名称 合金粉体原料およびその製造方法(国内および PCT 国際出願)
- ② 特許の名称 合金粉の結晶粒微細化装置(国内出願)
- ③ 特許の名称 粉体の結晶粒微細化方法(国内出願)
- ④ 特許の名称 マグネシウム合金粉体原料，高耐力マグネシウム合金，マグネシウム合金粉体原料の製造方法および高耐力マグネシウム合金の製造方法(国内出願)

文 献

- (1) Y. Yoshida, L. Cisar, S. Kamado and Y. Kojima: Mater. Trans., **44**(2003), 468-475.
- (2) 井上明久，河村能人，松下光英，林 健太郎：高強度ナノ結晶マグネシウム基合金，Mater. Sci. Forum, **386-388**(2002), 509-518.
- (3) 近藤勝義，荻沼秀樹，川端健詞，住田雅樹，秋田 亨，金子貫太郎：“RCP プロセスによる微細結晶粒を有する粗大マグネシウム合金粉体の特性”，軽金属学会第109回秋季大会，千葉工業大学，(2005)。
- (4) K. Kondoh, H. Oginuma, M. Sumida, S. Shiozaki and Y. Goho: *High-Strengthened Magnesium Alloys by Employing Coarse Powder with Refined Grains*, 1st Asian Symposium on Magnesium Alloys, Jeju-do, Korea, (2005).
- (5) K. Kondoh, H. Oginuma, K. Kawabata, K. Kaneko, T. Akita and S. Kamado: Wrought Magnesium Alloys in Employing Grain-refined Coarse Magnesium Alloy Powder via RCP Process, Mater. Trans. (Submitted).