高耐衝撃性マグネシウム合金の製造技術の開発

廖 金 孫₁^{*}, 堀 田 真₂^{*}, 閤 師 昭 彦₃^{*} 金子貫太郎⁴, 近 藤 勝 義**

1. はじめに

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として軽量 化技術が挙げられる. 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、 軽量化素材として注目され、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 が大きい⁽¹⁾. しかしながら, Mg 合金を構造用部材として広 範囲に使用するには、①高強度化、②高靭性化または高耐衝 撃性化,③低温における塑性加工性の向上,④製造コストの 低減,などの技術開発が必要不可欠である.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 細化や急冷凝固プロセスによる組織制御,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. 特に, Mg 合金の最密六方構造に起因する低靭性あるいは低耐衝撃 性は、従来の材料・プロセス設計では解決し難い課題である.

上述の諸課題に対して、本研究開発は、まず Mg 合金の耐衝撃性と結晶粒径の相関性を検討し、結晶粒微細化による Mg 合金の耐衝撃性向上の可能性を明らかにした。その後、Mg 合金素材の強塑性加工による結晶粒微細化に着目し、粉体技術と強塑性加工法を基調とした組織制御プロセスを開発し、従来にない高耐衝撃性かつ高強度のマグネシウム合金の製造技術を確立した。さらに、本開発の技術は、Mg 合金の耐衝撃性改善と高強度化のほか、低温における塑性加工性向

* 株式会社栗本鐵工所 技術開発本部 1)材料技術開発部課長 機械システム事業本部 2) Mg グループ主任 3) Mg グループ長 4) Mg プロジェクトマネージャー

** 大阪大学接合科学研究所教授
Development of Manufacturing Process of Wrought Magnesium Alloy with High Impact Toughness; Junsun Liao*, Makoto Hotta*, Akihiko Koshi*, Kantaro Kaneko*, Katsuyoshi Kondoh**(*Kurimoto Ltd. **Osaka University) 2009年10月27日受理

上および低コスト化も実現できるものである.

2. シャルピー吸収エネルギーと結晶粒径の相関性

本開発の製造技術を含む幾つかの工法により得られた AZ31B 合金のシャルピー吸収エネルギーと結晶粒径の相関性を図1に示す。同図から分かるように、平均結晶粒径を3μm以下に制御すると、シャルピー吸収エネルギーが同一組成の従来展伸材の約3倍で著しく向上した。それは、平均結晶粒径が3μm以下の場合、双晶の発生が抑制され、Mg合金の均一変形能力が著しく向上すると共に、初期亀裂発生の最大荷重が大きく上昇したためである⁽²⁾.

3. 高耐衝撃性 Mg 合金の製造プロセスと特徴

(1) 高耐衝撃性 Mg 合金の製造プロセス

高耐衝撃性マグネシウム合金の製造プロセスを**図2**に示す.本プロセスは以下の4つの工程から構成する⁽³⁾.

- (a) 原材料の準備:出発原材料は,一般のマグネシウム合金鋳造材である. 鋳造材を切断し,厚さ4.5 mm 程度の圧延用板材を製作する.
 - (b) 大圧下率圧延および粉砕:室温における圧下率が

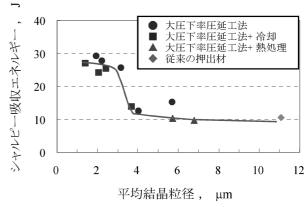


図1 シャルピー吸収エネルギーと結晶粒径の相関性.

80%以上の大圧下率圧延工法の開発は本研究開発の主な内 容の一つである. 原材料に多くの歪を導入するため, 室温に て圧下率が80%以上の大圧下率圧延を開発されたローラー コンパクター装置 $^{(4)}$ により行う、大圧下率圧延後のマグネ シウム合金素材は回転式粉砕機にて直ちに粉砕され、整粒さ れたミリ単位の粗大粉体が得られる.

- (c) 圧粉固化:本研究開発のもう一つ主な内容は長尺粉末 ビレットの作製方法の開発である. 上述の工程で得られた粉 体原料を開発されたビレットの作製方法により図2(c)に示 すような粉体ビレットを製作する.
- (d) 高耐衝撃性 Mg 合金素材または部品の作製:押出加 工或いは鍛造加工にて高耐衝撃性 Mg 合金素材または部品 を作製する.押出加工は、圧粉固化された粉体ビレットを用 いて温間押出加工を行う.

(2) 本技術の特徴

本技術は従来の類似技術と比較して、顕著な相違点として 次の2点が挙げられる.

① 室温における圧下率80%以上の大圧下率圧延

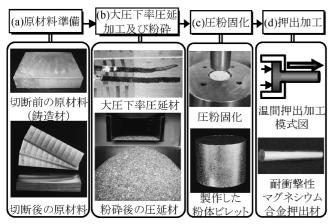
本研究開発では室温における圧下率が80%以上の大圧下 率圧延工法を開発した.この従来にない圧延工法により,圧 延加工後の Mg 原材料に大量の歪が導入され、後続の押出 加工または鍛造時に静的および動的再結晶が生じ、製造され た Mg 合金に均一な微細結晶粒が形成される.

また、本開発の製造プロセスでは、Mg 原材料に対する大 圧下率圧延は1パスであるため、加工コストが大幅に低減 し、Mg 原材料中の酸素を含むコンタミネーションも抑制さ れた. Mg 合金中のコンタミネーション,特に酸素混入の抑 制は Mg 合金の耐衝撃性および溶接性の向上に重要である ことが本研究開発により判明した.

大圧下率圧延加工後に圧延材に耳割れが発生するが、圧延 後の Mg 原材料は後続の粉砕加工によりミリオーダーの粗 粉末に粉砕されるため問題にはならない.

② 粉体技術と強塑性加工の組み合わせ

本研究開発では、Mg 合金の耐衝撃性を著しく向上させる ためには平均結晶粒径を3µm以下に制御する必要があると の知見を見出し, 耐衝撃性の更なる向上には繊維状模様の組 織の形成が重要であることが判明した. 粉体技術を活用した



高耐衝撃性マグネシウム合金の製造プロセス. 図 2

本製造プロセスは繊維状組織が形成されやすく、Mg 合金が 衝撃を受けた時に、破壊亀裂の進展経路が繊維状模様の組織 に沿って変更され、複雑化されるため、亀裂伝播のエネルギ ーが高くなり、衝撃吸収エネルギーがさらに上昇する⁽³⁾. そ のため、シャルピー吸収エネルギーが同一組成の市販材の3 倍まで著しく向上した.

4. 成果および実用化状況

(1) 高耐衝撃性 Mg 合金の機械的特性と経済性

本製造技術で得られた AZ31B 合金と従来 AZ31B 押出材 のミクロ組織および機械的特性の比較をそれぞれ図3と図4 に示す. 従来の AZ31B 押出材の平均結晶粒径が約 11 µm に 対して, 高耐衝撃性 AZ31B 合金の平均結晶粒径は 1.9 μm で非常に微細である. そのため, 高耐衝撃性 AZ31B 合金は 耐力が従来展伸材より30%向上、シャルピー吸収エネルギ ーが30」で従来押出材の3倍までに上昇した。さらに、低 温塑性加工性も良好(例えば、300℃以下での3次元複雑形 状鍛造加工, 100~150℃での曲げ加工が可能)である.

なお、本開発の製造プロセスは簡潔であるため経済性にも 優れている. 本技術で製造された Mg 合金のコストは従来 展伸材とほぼ同程度である.

(2) 生産実績または販売実績・予定

平成21(2009)年度から、①人が携帯または装備するパソ

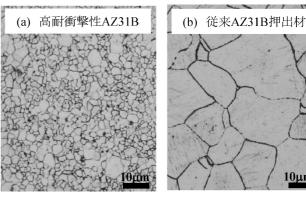


図 3 従来のAZ31B 合金押出材と高耐衝撃性AZ31B 合金のミクロ組織の比較.

10µm

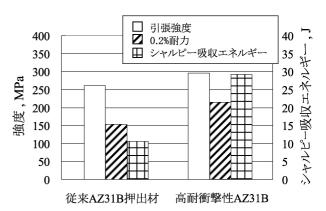


図4 従来のAZ31B 合金押出材と高耐衝撃性AZ31B 合金の機械的特性の比較.

24 新技術·新製品



図 5 片側支柱式長下肢装具.

コン等の電子機器部品・福祉装具,②自動二輪車・自動車等の移動体部品,③エコ設計を目的とする産業機械部品等の市場に対して本格的に用途開発を開始し、マグネシウム合金のサンプル出荷することによってその優れた性能を顧客に宣伝している。例えば、福祉装具ではNEDO「福祉用具実用化助成事業」で開発した片側支柱式長下肢装具(図5)にマグネシウム合金製押出材を適用して既に大手福祉装具メーカーと商品化を進めると共に、自動二輪車部品用マグネシウム合金鍛造品(図6)を試作し、さらに産業機械メーカーには機械加工したマグネシウム合金押出材部品を納入するなど、既に100万円を受注している。本格的な事業化はH25(2013)年度から予定しており、生産実績および計画は表1のとおりである。

(3) 特許出願

本研究開発に関しては以下の3件の特許が権利化済みおよび4件の特許が出願中である.権利化済みの特許は以下のとおりである.

特許3884741 合金粉体原料およびその製造方法

特許3860825 合金粉の結晶粒微細化装置

特許4185549 押出用ビレットの製造方法およびマグネシ

ウム合金素材の製造方法



図6 自動二輪車用部品.

表 1 本開発 Mg 合金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
十尺	1 10	10	0 1000	1
H21				•各種押出材
H22				・押出ビレット・各種押出材
H23				・押出ビレット ・各種押出材 ・鍛造品
H24				·同上
H25				・押出ビレット ・各種押出材 ・鍛造品 ・大圧下率圧延装置

5. ま と め

本研究開発は粉体技術と塑性加工法を基調とした組織制御技術を開発し、マグネシウム合金の耐衝撃性を著しく向上させると同時に、マグネシウム合金の強度と成形加工性も改善した。この従来にない斬新なプロセスにより、従来マグネシウム合金の実用化における技術的・経済的課題が克服され、Mg 合金の構造部材への適用が現実的になった。

文 献

- (1) 時末光:機械技術, 45(1997), 18-22.
- (2) J. Liao, M. Hotta, K. Kaneko and K. Kondoh: Scripta Materialia, 61 (2009), 208–211.
- (3) 堀田 真,廖 金孫,亀谷博仁,金子貫太郎,近藤勝義:アルトピア(2009),9-16.
- (4)金子貫太郎,塩崎修司,護法良憲,秋田 亨,近藤勝義,荻沼秀樹:塑性と加工,47(2006),49-52.
- (5) K. Kondoh: High-Strengthened Magnesium Alloys by Employing Coarse Powder with Refined Grains, 1st Asian Symposium on Magnesium Alloys, Jeju-do, Korea (2005).