

## Mg-Al-Zn 混合粉の焼結とその焼結体強度

岩岡 拓\*<sup>1)</sup> 青沼 昌幸\*<sup>1)</sup>

## Sintering of Mg-Al-Zn powder mixtures and their sintered strengths

Taku Iwaoka\*<sup>1)</sup>, Masayuki Aonuma\*<sup>1)</sup>

キーワード: マグネシウム, 粉末冶金, 混合粉, 強度

Keywords: Magnesium, Powder metallurgy, Powder mixture, Strength

## 1. まえがき

マグネシウム (Mg) 合金の用途としては, その軽量性を活かした電子機器の筐体や自動車等の輸送機器等が挙げられる。最近では, 急冷凝固粉やメカニカルアロイ粉を原料粉として熱間塑性加工などを用いた粉末冶金法による高強度・耐熱マグネシウム合金が研究されている<sup>(1)~(3)</sup>。本研究では, 一般的な合金元素粉末の混合による Mg-Al-Zn 混合粉の成形及び焼結に及ぼす各種粉末混合の影響について調べ, マグネシウム焼結合金の作製について検討を行った。

## 2. 実験方法

各種粉末混合の影響について調べるために, 以下の二つの項目において, それぞれ作製した混合粉の成形及び焼結を行い, 焼結後の強度を評価した。①純 Al 粉末混合の影響として, 純 Al 粉末を 12 mass% 混合した場合の混合効果を検討するために, 純 Mg 粉末 (150  $\mu\text{m}$  以下) に純 Al 粉末 (150  $\mu\text{m}$  以下) を混合し, 温間成形法 (423 K) により圧粉体を作製し, 673~773 K の温度範囲で常圧焼結を行った。その後, 得られた焼結体の抗折力を求めた。②混合の影響について検討するために, 純 Mg 粉末 (150  $\mu\text{m}$  以下), 純 Al 粉末 (150  $\mu\text{m}$  以下) 及び純 Zn 粉末 (75  $\mu\text{m}$  以下) を AZ91 合金相当の組成となるように秤量し, それをアルゴンガスとともに容器に封入した。遊星ボールミルを用いて 250 rpm で 18, 36, 108 ks の混合を行い, その後, ホットプレスを用いて焼結した。焼結体の強度は, 圧縮強さにより評価した。

## 3. 実験結果及び考察

3.1 純 Al 粉末混合の影響 図 1 に示す通り, 純 Mg 及び Mg-12%Al のどちらも, 温間成形の方が冷間成形に比べて抗折力が大きく, 焼結温度の増加に伴い抗折力は増加した。また, 873 K で焼結した純 Mg と同程度の抗折力を Mg-12%Al が得るために要する焼結温度は, 純 Mg の焼結温

度より 150 K 程度低いことがわかった。温間成形<sup>(4)(5)</sup>による粉末粒子の十分な接触と, Mg と Al の共晶反応による液相焼結によって, 純 Mg より低温度でも焼結が進行したためと考えられる<sup>(6)</sup>。

図 2 は, Mg-12%Al 焼結体の抗折試験後の破面の SEM 像を示す。この結果から, 抗折試験後の破壊は共晶組織の破壊をともなって起こることが確認された。この破壊に至るまでに得られた抗折力の値は, 純 Al 粉を混合しない純 Mg

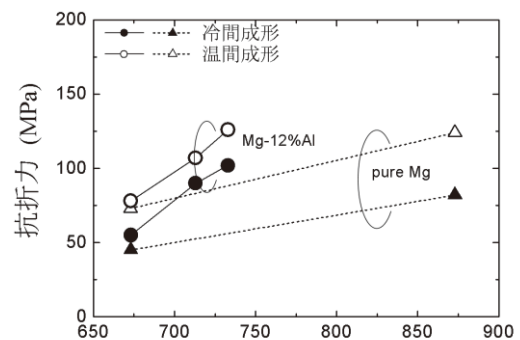


図 1. 焼結温度と抗折力の関係

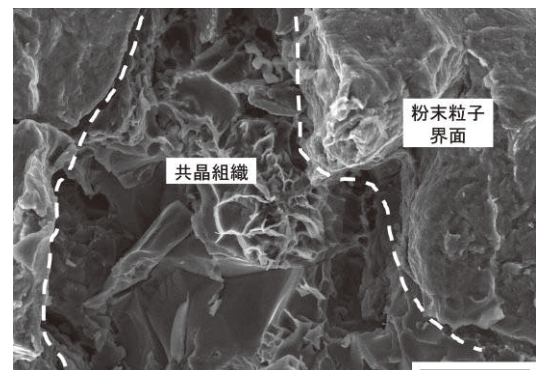


図 2. Mg-12%Al 焼結体の抗折破面の SEM 像

粉をさらに 150 K 程度の高温で焼結した場合の値とほぼ同等であることが図 1 からわかる。したがって、純 Al 粉を混合した場合、低温での焼結にも関わらず強度が増加した理由として共晶組織の生成が考えられる<sup>(6)</sup>。しかし、共晶組織は全面に生成されているわけではなく、特定の形態と分布が見られ、共晶組織が生成されていない部分の残存した酸化皮膜を分解あるいは除去することができれば、更なる高強度化が期待できる。

**3.2 混合の影響** 図 3 は、焼結時間 3.6 ks の焼結体の断面組織の SEM 像を示す。元素分析結果から、帯状の酸化物と  $Mg_{17}Al_{12}$  が確認された。図 4 は、各焼結時間における焼結体の XRD パターンの結果を示す。ミリングによる合金化で生成した  $Mg_{17}Al_{12}$  相のピークは 3.6 及び 18 ks のホットプレス焼結を行うことでどちらもブロードな回折パターンとなった。このことから、室温において固溶限以下の Zn は Mg へ固溶し、固溶限以上の Al は過飽和に固溶したと考えられる<sup>(7)</sup>。

図 5 は圧縮強さと歪みの関係を示す。混合時間が 108 ks で混合粉の平均粒子径が 5.6  $\mu m$  の時、保持時間が 18 ks の

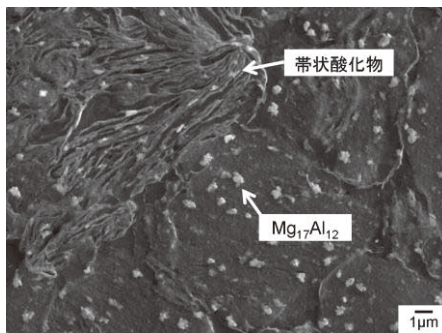


図 3. Mg-Al-Zn 焼結体の断面組織の SEM 像

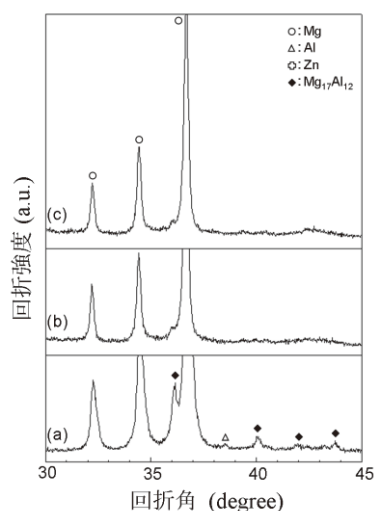


図 4. Mg-Al-Zn 焼結体の XRD パターン

(a) 未焼結, (b) 3.6 ks 保持, (c) 18.0 ks 保持

ホットプレス焼結を行うことで、0.2%圧縮耐力は 546 MPa を示し、AZ91 合金のおよそ 3.6 倍まで向上することがわかった。XRD 及びマイクロ組織観察の結果から、混合により Al が Mg 中に過飽和に固溶し、その後、焼結することで微細な  $Mg_{17}Al_{12}$  相が析出したためと考えられる<sup>(7)</sup>。一方、AZ91 合金と比較して、延性が乏しく、塑性変形領域は減少した。この理由として、混合の加工ひずみの蓄積による硬化や、焼結体に内在する酸化物の影響が考えられる<sup>(7)</sup>。

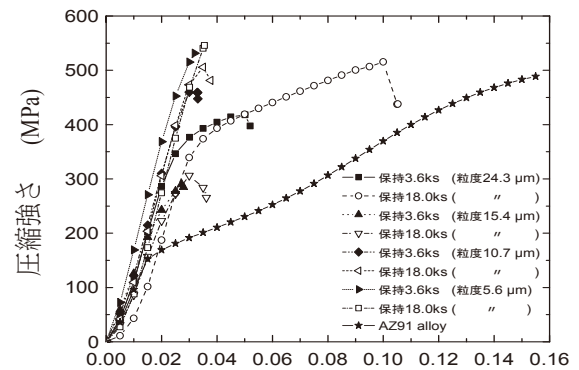


図 5. Mg-Al-Zn 焼結体の圧縮強さと歪みの関係

#### 4. まとめ

Mg 焼結体の抗折力や圧縮強さは、一般的な合金元素粉末の混合による合金化や、ボールミル混合による焼結組織の制御を行うことで、向上させることができた。また、焼結体に残存した酸化皮膜の分解あるいは除去により、更に強度特性を改善できることが示唆された。

(平成 24 年 5 月 18 日受付, 平成 24 年 7 月 27 日再受付)

#### 文 献

- (1)金子純一：“粉末冶金法によるアルミニウムおよびマグネシウム材料”，軽金属，Vol.53, No.12 pp.601-614 (2003)
- (2)吉田雄，山田英明，鎌土重晴，小島陽：“ECAE 加工した Mg-Al-Zn 合金のマイクロ組織と引張特性”，軽金属，Vol.51, No.10 pp.556-562 (2001)
- (3)鎌倉光利，柴田英明，西山勝廣，戸梶恵郎：“粉末押出成形による Mg-Zr 合金の創製と機械的特性”，粉体および粉末冶金，Vol.52, No.6 pp.404-410 (2005)
- (4)H. G. Rutz and F. G. Hanejko：“High density processing of high performance ferrous materials”，Int. J. powder metallurgy, Vol.31 No.1 pp.9-17 (1995).
- (5)岩岡拓，中村満：“純マグネシウム粉末の圧縮性と焼結性に及ぼす温間成形の影響”，粉体および粉末冶金，Vol.58, No.6 pp.327-333 (2011)
- (6)Taku Iwaoka and Mitsuru Nakamura：“Effect of Compaction Temperature on Sinterability of Magnesium and Aluminum Powder Mixtures by Warm Compaction Method” Mater. Trans. JIM, Vol.52, No.5 pp.943-947 (2011).
- (7)岩岡拓，中村満：“メカニカルアロイング法による Mg-Al-Zn 系焼結合金の作製と機械的性質”，粉体および粉末冶金，Vol.55, No.6 pp.452-458 (2008)