

# サーボプレスを用いた押出加工・圧延加工による 超高純度マグネシウム板材の作製

富山高等専門学校 機械システム工学科

教授 井上 誠

(平成 29 年度 一般研究開発助成 AF-2017013)

キーワード：押出加工，サーボプレス，圧延加工，超高純度マグネシウム

## 1. 研究の目的と背景

近年、マグネシウム合金は軽量、比強度、リサイクル性等の優れた特性により、携帯用電子機器をはじめ、自動車用途への展開も始まり、構造用材料の需要は増加傾向であり、純マグネシウムおよび高純度マグネシウムは医療材料、音響材料等への適用の検討が行われている<sup>1)~3)</sup>。

研究室では、25 年以上、各元素間の蒸気圧差を利用した真空蒸留法により純度 99.999%以上のマグネシウムの超高純度化の検討を行ってきた<sup>4),5)</sup>。

押出加工法は、通常、溶解・鋳造法で作製された円柱状ビレットを原料に行われるが、マグネシウムの押出加工においては、切削切粉のリサイクル等で溶解鋳造していない原料をビレットによる押出加工の検討が盛んに行われており、本研究室でも真空蒸留法で得られた多孔質な高純度マグネシウム凝縮物のまま押出加工を行い、清浄な押出材を作製し、特性の検討を行っている<sup>6),7)</sup>。

マグネシウムは結晶構造が最密六方晶であり、塑性加工を行うと集合組織が形成され、引張特性の異方性が予想される。本研究室では、天田財団平成 25 年度研究開発助成「マグネシウム合金の気相-固相法による高純度広幅リサイクル材の作製」において、真空蒸留法で得られた多孔質なマグネシウム凝縮物のまま押出加工を行い、得られた押出材を 90° 方向に圧延加工を行い、幅 80mm の高純度マグネシウム板材を作製し、特性を調査し、引張特性の異方性等を確認した<sup>9)</sup>。

また、サーボプレスによる押出加工の研究例はなく、さらに押出加工後の圧延加工および超高純度マグネシウム幅広板材の作製の検討は行われていない。そこで本研究では、サーボプレスを用いた押出加工・圧延加工による超高純度マグネシウム板材の作製について検討した。

## 2. 実験方法

本実験では、真空蒸留法により押出加工用の超高純度マグネシウムビレットを作製し、得られたビレットを押出加工・圧延加工を行い、板材を作製した。

図 1 に真空蒸留装置の概略を示す真空蒸留は原料 AM60 マグネシウム合金 (Mg-5.6%Al-0.24%Mn) 300 g を用い、SUS410 ステンレス鋼製のるつぼに挿入し、コンデンサ (回

収部) およびフタをるつぼ上のにせ、密閉後、油回転真空ポンプで 1 Pa 未満まで真空排気し、原料温度 600°C、回収温度 380°C に昇温し、8h 温度保持した。

コンデンサは  $\phi 45\text{mm}$ 、深さ 40mm の穴が 4 個ある構造で、本実験条件では、1 回の真空蒸留試験で  $\phi 45\text{mm}$ 、高さ 20mm 程のマグネシウム凝縮物が 4 個回収できた。押出加工には 3 個 1 セットを押出ビレットとした。

図 2 に押出加工機の外観を示す。最大荷重 800kN のサーボ駆動プレスの縦型の押出加工機を使用した。図 3 に押出加工機の押出部の概略を示す。真空蒸留で得られた  $\phi 45\text{mm}$  の押出ビレットをコンテナ内に入れ、ビレット上にダミーブロックを置き、375°C まで加熱後、1h 保持し、パンチを通じて上部から荷重をかけ、ビレット下部のダイスを通じて押出材を作製した。モーションは振り子モーションを用いた。ダイスは幅 30mm で、厚さ 4mm (押出比 R13)、厚さ 5mm (押出比 R11) および厚さ 6mm (押出比 R9) の 3 種類を用いた。

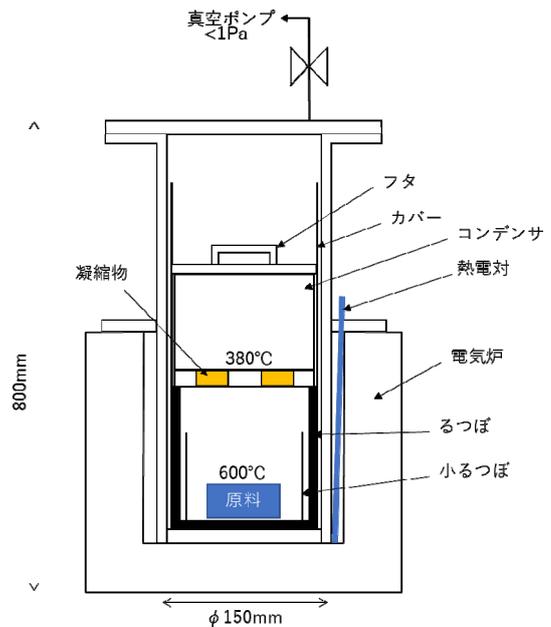


図 1 真空蒸留装置の概略



図2 押出加工機の外観

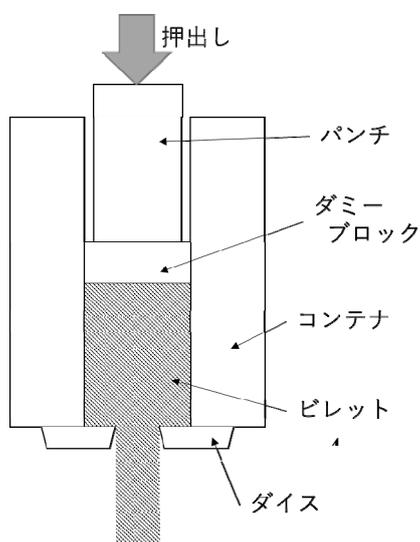


図3 押出加工機の押出部の概略

図4に押出材(押出比 R13)および押出(押出比 R13)・圧延材の外観を示す。圧延加工はロール径 75mm, 幅 100mm の2段圧延機を使用し, 得られた押出材を幅 30mm, 長さ 70mm に機械加工し, 所定の温度に加熱後, ロール速度 0.17m/s, 圧下率 10%/パスで, 押出方向の90°方向に厚さ 1mm まで圧延加工した。圧延温度は75°Cから400°Cで行った。

得られた押出・圧延材の組成分析は, 試料 1g を採取し, ICP 発光分光分析で混入の恐れのある元素を分析した。

表面粗さ測定は, 実体顕微鏡を用い, 算術平均粗さ Ra を測定した。評価長さは710 μm で5回の平均値で求めた。

硬さ測定は 15mm×15mm に機械加工した試験片をエメリー紙#800 まで研磨し, ビッカース硬さ試験機を用い, 荷重 9.8N, 試験保持時間 15s とし, 10 箇所測定し, 最大, 最少を除く 8 点の平均値を硬さとした。

引張試験は平行部長さ 20mm, 幅 5mm, 標点距離 15mm の試験片を用い, ひずみ速度  $5.5 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$  で行った。

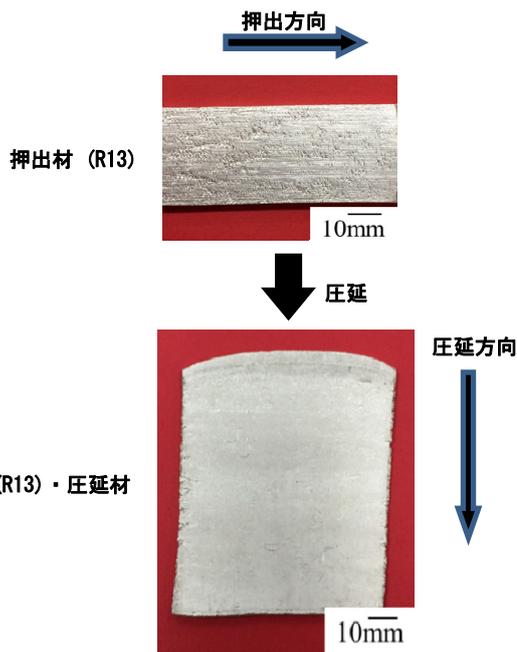


図4 押出材(押出比 R13)および押出(押出比 R13)・圧延材の外観

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 化学組成

表1に原料および押出材の化学組成を示す。押出材は押出比 R9, R11 および R13 の結果を示す。得られた押出材の純度はいずれも 99.996%以上となった。マグネシウムと蒸気圧の近い亜鉛(Zn)はいずれも混入した。原料に多く含有するアルミニウム(Al)およびマンガン(Mn)は検出限界以下となった。これは, 各元素間の蒸気圧差を利用した真空蒸留法により, マグネシウムと蒸気圧差のある元素は分離でき, 溶解・鋳造を行わず押出加工したことにより, 真空蒸留のままの化学組成にすることができたと思われる。

表1 原料および押出材の化学組成 (mass%)

元素	原料	R9	R11	R13
Al	5.6	<0.0008	<0.0008	<0.0008
Mn	0.24	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Zn	0.0041	0.0029	0.0022	0.0035
Si	0.0029	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Fe	0.0007	<0.0003	<0.0003	0.0005
Cu	0.0006	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Be	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Ni	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Mg	残	99.9971	99.9978	99.9960

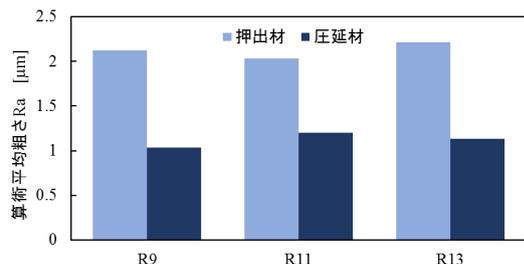


図5 押出材および押出・圧延材の算術平均粗さ

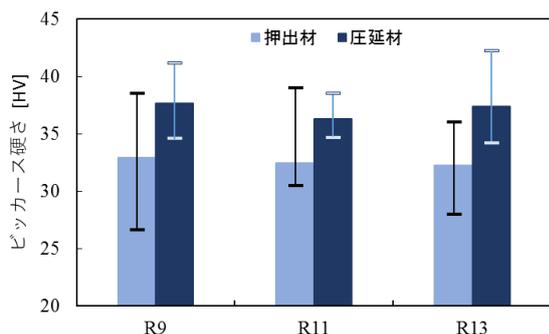


図6 押出材および押出・圧延材のビッカース硬さ

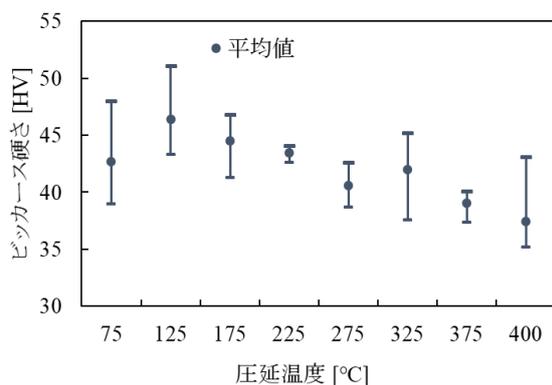


図7 押出・圧延材のビッカース硬さ

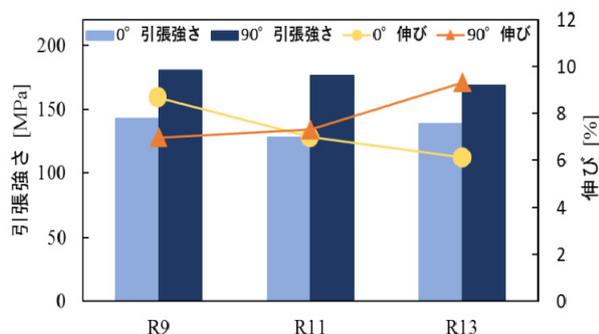


図8 押出・圧延材の引張特性

### 3.2 表面粗さ

図5に押出材および押出・圧延材の算術平均粗さを示す。圧延温度375°Cの結果を示す。油圧プレスを用いて行った同条件での押出材の表面粗さは、算術平均粗さ  $Ra20\mu m$  程であったが、本研究でサーボプレスを用いたことにより押出材の表面粗さは、算術平均粗さ  $Ra2\mu m$  程と大幅に改善した。図4に示したように、押出・圧延材は押出材の表面にあったくぼみはなくなった。押出・圧延材の表面粗さは算術平均粗さ  $Ra1\mu m$  程と、押出材の算術平均粗さ  $Ra2\mu m$  程と比べ、圧延を行ったことによりさらに改善した。これは、厚さ4mm(押出比R13)～厚さ6mm(押出比R9)の押出材を、厚さ2mmまで圧延を行うと圧下率50%～67%となり、圧延による表面の圧縮の影響で表面粗さが改善されたのではないかとと思われる。

また、押出比による算術平均粗さの影響は認められなかった。本実験の押出比は9～13で、この押出比の範囲では、表面粗さに大きな影響を及ぼさないのではないかとと思われる。

### 3.4 ビッカース硬さ

図6に押出材および押出・圧延材のビッカース硬さを示す。圧延温度375°Cの結果を示す。押出材のビッカース硬さは、押出比の大小に関わらず、平均値が33HV程でほぼ一定となった。押出・圧延材のビッカース硬さも圧延前の押出比に影響はないが、平均値37HV程と、押出材に比べ硬くなった。これは、真空蒸留・押出後、圧延を行ったことで、結晶粒が微細になり硬くなったと思われる。

図7に押出・圧延材のビッカース硬さを示す。押出比R13で押出加工後の圧延温度75°C～400°Cの結果を示す。ビッカース硬さは圧延温度125°Cの46HVから圧延温度400°Cの37HVに減少した。これは、圧延温度が上がると再結晶する割合が増えたためと思われる。逆に低い圧延温度で加工することで、加工硬化が起こりやすくなり、硬くなったのではないかとと思われる。また、圧延温度75°Cの押出・圧延材は他の試験片と比べ、著しく表面性状が悪く、材料内部にも欠陥が多く存在すると予想され、硬さに何らかの影響を与えていると思われる。

### 3.5 引張特性

図8に押出・圧延材の引張特性を示す。圧延温度375°Cの結果を示す。圧延方向に対して0°方向および90°方向の結果を示す。押出比Rの違いも示す。引張強さは押出比による違いはなかったが、0°方向は130MPa程、90°方向は175MPa程と異方性が認められた。マグネシウムは圧延等の塑性加工を行うと最密六方構造の結晶の底面主体のすべり変形が起こり、底面主体の集合組織になることが知られている<sup>1)</sup>。底面主体の集合組織で、すべり方向が圧延方向に平行になっていることが予測される。したがって、圧延方向に対し90°の方向は、すべり方向に対して90°の方向となり、引張強さが大きくなったのではないかとと思

われる。伸びは押出比が大きくなると、0° 方向は若干減少傾向、90° 方向は若干増加傾向であったが、明確な差ではなかった。

#### 4. 結論

本研究では、サーボプレスを用いた押出加工・圧延加工による超高純度マグネシウム板材の作製について検討した。得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) サーボプレスを用いた押出温度 375°C、押出比 R9~13 の押出加工、圧延温度 75°C~400°C の圧延加工により超高純度マグネシウム板材を作製できる。
- (2) サーボプレスを用いて押出加工したことにより、表面粗さは大幅に改善され、押出材を圧延することで表面粗さがさらに改善する。
- (3) 押出・圧延材のビッカース硬さは、圧延前の押出比に影響はないが、押出材に比べ硬くなる。また、ビッカース硬さは、圧延温度 125°C から圧延温度 400°C まで圧延温度が上昇すると硬さは減少する。
- (4) 真空蒸留・押出材を圧延することで引張強さは、圧延方向に対して 0° 方向よりも 90° 方向の方が大きくなる。

#### 謝辞

本研究は、公益財団法人天田財団 一般研究開発助成により実施した研究に基づいていることを付記するとともに、同財団に深く謝意を表します。また、本研究の実験に従事した佐伯蘭氏ならびに本研究の押出加工にご協力いただいた本校技術室 橋本安弘氏に感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 日本塑性加工学会：マグネシウム加工技術, (2004), コロナ社.
- 2) 日本マグネシウム協会：現場で生かす金属材料シリーズ マグネシウム, (2009), 工業調査会.
- 3) 鎌土重晴, 小原 久：マグネシウムの先端的基盤技術とその応用展開 普及版, (2018), シーエムシー出版.
- 4) 井上 誠, 鎌土重晴, 小島 陽：軽金属, **45**(1995), 697-701.
- 5) 井上 誠, 岩井正雄, 鎌土重晴, 小島 陽：軽金属, **51**(2001), 285-289.
- 6) 井上 誠, 島 政司, 会田哲夫, 松澤和夫：軽金属, **59**(2009), 637-641.
- 7) 井上 誠, 松澤和夫, 会田哲夫, 高廣政彦：軽金属, **66**(2016), 119-123.
- 8) 井上 誠：天田財団 助成研究成果報告書, **29**(2016), 43-46.