AZ31 マグネシウム合金圧延材と押出材の単軸引張および圧縮挙動

吉水 源宏*・河崎 典男**・大澤 泰明***

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 59, No. 3 (2009), pp. 121-127

Uniaxial tension and compression behavior of
AZ31 magnesium alloy rolled and extruded materials

Motohiro YOSHIMIZU*, Norio KAWASAKI** and Hiroaki OHSAWA***

Mg alloy as a practical use metal is superior in specific strength and specific stiffness, and also exhibits eminent performance in heat discharging, electromagnetic wave shielding and vibration and shock absorption. Therefore, it is used for the components of cars, aircrafts, precision machines etc. and its applications are broadened to various fields. Mg alloy AZ31 rolled sheet and extruded sheet were considered in this study. It was the experimental observation and investigation of the deformation behavior about the materials manufactured different methods by uniaxial tensile test and compression test under the temperature range including high temperature range. It was also aimed at revealing and investigating the differences of material properties derived from different manufactured methods. A Siebel-type compression test was performed, which can compensate the deviation from a simple compression condition caused by the friction between interfacial surfaces of tools and materials, in order to perform the test based on ideal simple compression condition. The properties of material received by both tests were compared and important findings were obtained for Mg alloy AZ31 sheet.

(Received August 4, 2008 Accepted October 22, 2008)

Keywords: AZ31, rolled sheet, extruded sheet, slip deformation, twin deformation

1. 緒 言

実用金属としてのマグネシウム合金は比強度、比剛性に優れ、放熱特性、電磁波シールド性、振動・衝撃吸収性などの機能面においても卓越した性能を示す。そのため、自動車、航空機あるいは精密機械などの部品を初めとして、その需要はさまざまな分野に広がっている。しかし、マグネシウム合金の室温における塑性加工では、結晶構造が最密六方晶であり、結晶のすべり系が限定されていることに基づく加工性の悪さが、需要の更なる拡大を阻む大きな要因として問題になっている¹⁾。鍛造を始めとするブロック材の圧縮加工でも、同様な問題が指摘されているが、これらの成形加工の研究では、引張試験から求められる基本的な機械的性質との関連に留意しながら、成形シミュレーションなどの計算力学に基づく結果を実験と対比させ成形性を論議することが多い。その場合には、材料の基本的な材料特性は単純な圧縮と引張状態において少なからず相違を示すことに注意しなければならない²⁾。

本研究では、AZ31 マグネシウム合金圧延板材および押出板材を扱う。製造法の異なるこれらの材種間で高温域を含めた温度範囲において単軸引張、圧縮の変形挙動を実験的に観察、検討する。さらに、製造法が異なることから派生する材料特性値の違いを指摘、比較検討することを目的とする。単

軸圧縮では工具と材料間の界面における摩擦の存在がもたらす単純圧縮状態からの逸脱を補正することのできるジューベル型圧縮試験²⁾を実施し、理想的な単純圧縮を前提とした実験を行った。

2. 実 験

2.1 納入材の機械的性質

圧延板材、押出板材の納入材寸法と納入材の製造プロセスの概要を Fig. 1 に示す。AZ31 の圧延板材、押出板材の納入材寸法は、それぞれ圧延方向 300 mm、幅 300 mm、厚さ 6 mm、押出方向 300 mm、幅 130 mm、厚さ 6 mm である。これらの厚板から、後述する引張試験片と圧縮試験片を製作した。

この引張試験片を用いて測定した引張試験結果の例を Fig. 2 に示す。温度上昇につれて、変形応力の減少がいずれの場合も認められるが、押出板材では伸びの増加は、温度増加に必ずしも比例していない。Fig. 3 には r 値の面内分布を示した。温度増加につれて r 値の値と面内異方性は低下し、 r 値は 523K では圧延板材、押出板材ともほぼ 1 となり、ひずみに現れる板厚異方性と面内の異方性はともに消失している。それに対して、R.T. (室温) においては、圧延板材で 0° 方向、押出板材では 45° 方向に r 値のピークが現れていて、残存する加工集合組織の影響が顕著に認められる。

* 法政大学工学研究科機械工学専攻 (〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2)。Department of Mechanical Engineering, Hosei University (3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo 184-8584). E-mail: yosimizu@din.or.jp

** 菊池プレス工業(株) Kikuchi Co., Ltd.

*** 法政大学工学部機械工学科 (小金井市)。Department of Mechanical Engineering, Hosei University (Koganei-shi, Tokyo).

(a) Rolled Sheet

(b) Extruded Sheet

Fig. 1 Manufacturing processes of AZ31.

Fig. 2 Stress-strain curves at each temperature.

2.2 引張試験

2.2.1 引張試験片

板厚 6mm の板材から圧延あるいは押出方向に対して 0°, 45°, 90° の 3 方向に切削加工により厚さ 2.0mm の引張試験片を切出した。試験片サイズは、全長 120mm, 標点部長さ 50mm, 標点部幅 15mm である。試験片表面には、ひずみ計測用に直径 5mm の円格子群をスタンプして、実験に供した。

2.2.2 試験方法

恒温槽付きのインストロン型万能材料試験機を用いて、R.T., 423K, 523K の温度域において引張試験を行った。

公称応力-ひずみ曲線は、試験片のチャック間距離 (90mm) を用いて整理し、全伸び (δ) は、この公称応力-ひずみ曲線から測定した。このほかに r 値, n 値を算出する伸び

Fig. 3 r values depending on angle to rolling or extruding direction at each temperature. r values measured on initial strain rate $9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ at the strain range 0.04–0.12.

Fig. 4 Geometry of Siebel compression test. Direction of combined force P is corrected to vertical.

を求めるため負荷開始から試験片が破断するまで、試験片中央部をビデオカメラで撮影した。実験後、このビデオ画像をパーソナルコンピュータに取込み、その後 CRT 上で画像解析を行い、試験片にスタンプした直径 5mm の円格子群の変化量を測定した。

2.3 圧縮試験

2.3.1 圧縮試験片

圧縮試験で摩擦の影響を排除した応力-ひずみ曲線をもとめる方法の 1 つにジーベル (Siebel) の圧縮試験²⁾がある。この試験では Fig. 4 (a) のように端部が同一の角度の円錐形をしたパンチと円柱試料を用いる。このようなパンチと円柱試料の組合せにより、工具-円柱試料間の界面の圧縮状態に対する摩擦の影響を補正した圧縮試験が可能である。ジーベル型圧縮試験では、Fig. 4 (b) に示す力のつり合いにおいて、界面の垂直抗力 N と摩擦力 F の垂直方向の合力が荷重 P とつり合うような円錐角 θ が算出できる。界面の摩擦係数を μ とするとクーロンの法則 $F = \mu N$ から $\mu = \tan \theta$ となる。

Fig. 5 に $\tan \theta$ を変化した場合の圧縮試験片の変形状態の模式図を示す。摩擦係数 $\mu > \tan \theta$, $\mu < \tan \theta$ のとき、円柱試料はバレル型 (樽型) やボラディング (くびれ型) の変形を示し、摩擦係数 μ と円錐角 θ による $\tan \theta$ が等しいとき組合せ力は軸方向に補正される。このとき円柱試料はストレートに変形するので、円柱試料内部の変形が均一であると仮定

Fig. 5 Transfiguration of Siebel specimens under the inference of compression on the coefficient of friction μ and angle of circular cone θ .

Fig. 6 Relation of the deformed shape for angle of conical punch and compressive specimens.

し、圧縮試験の応力-ひずみ曲線が求められる。なお、実験では工具-試料間に潤滑剤としてボロンナイトライド (BN)³⁾を塗布した状態で円錐角の選定を行った。

円柱試料がストレートに変形する円錐角を選定するため $\tan\theta=0, 0.10\sim0.35$ において、圧縮試験を行った結果を **Fig. 6** に示す。円柱試料の初期直径を d_0 、変形中の端部、中心部の直径をそれぞれ d_1, d_2 とすると、パラメータ $(d_2-d_1)/d_0$ は圧縮状態への円柱試料-工具間の摩擦の影響を表す。Fig. 5 の模式図は標点間を 50% まで圧縮したときの $(d_2-d_1)/d_0$ の平均値である。この実験では $\theta=\tan^{-1}(0.15)$ において $(d_2-d_1)/d_0$ は、ほぼゼロとなりストレートな変形をする。よって、ジーベル型単軸圧縮試験に用いる θ は $\tan^{-1}(0.15)$ として求めることができる。

圧縮試験には、 $\theta=\tan^{-1}(0.15)$ のジーベル型圧縮試験片²⁾を用いる。この試験片の形状・寸法を **Fig. 7** に示す。試験片形状の円柱は、素材 (板厚 6mm) の圧延あるいは押出方向との角度が $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の 3 方向と板厚方向から、ワイヤ放電加工により採取し、この円柱の両端面に切削加工で円錐角を施して、圧縮試験片を完成させた。

2.3.2 試験方法

引張試験と同じ恒温槽付きのインストロン型万能材料試験機を用いて、423K, 523K の温度域において行う。公称応力-ひずみ曲線は、前述した $\theta=\tan^{-1}(0.15)$ から算出した初期高さ $h_0=4.25\text{mm}$ を用いて整理した。また、本研究では圧縮試験における応力、ひずみなどをすべて正の値として比較に供した。

Fig. 7 Geometrical configuration in compression testing of Siebel type specimens.

Fig. 8 Microstructures of AZ31 rolled and extruded sheet before testing at 523 K.

3. 結果と考察

3.1 顕微鏡組織と機械的性質

Fig. 8 は、圧延あるいは押出方向に対し 0° 方向断面から採取した試料の顕微鏡組織を示す。この試料は温度 523K の組織を、そのままの状態を維持するため、恒温槽で 523K に熱した後、蒸留水で急冷して作製した。試料のサイズは、縦 $10\text{mm}\times$ 横 $10\text{mm}\times$ 板厚 6mm である。押出板材の 0° 方向断面から採取した試料を測定した平均粒径は約 $23\mu\text{m}$ で、 90° 方向では約 $34\mu\text{m}$ であり、圧延板材の $0^\circ, 90^\circ$ 方向断面から採取した試料を測定した平均粒径のそれぞれ約 $14\mu\text{m}$ よりも大きい。

圧延板材と押出板材はともに板面に六方晶の底面が配列する加工集合組織が形成され、再結晶後もそれが保たれる。しかし、押出板材では六方晶の c 軸が押出板材表面法線方向に対して垂直方向に大きく傾いた結晶も存在するのが押出集合組織の特徴である⁴⁾。さらに、押出板材は、完全焼なまし工程がなく、铸造材 (直径 445mm ビレット) を丸棒に押出し、この丸棒から **Fig. 1** に示すプロセスで板材が製造されるので、

Fig. 9 Mechanical properties ($\sigma_{0.2}$, σ_B , δ) depending on angle to rolling or extruding direction at room temperature.

板材の押出方向に対して0°方向は、他の方向に比べて強い集合組織が形成され、かつ、押出工程はわずか数秒で完了するので、鋳造材の集合組織が不変のまま板材に残存するものと考えられる。

Fig. 9にR.T.、初期ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_0=9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ において、圧延あるいは押出方向に対し0°、45°、90°方向から採取した引張試験片を用いて、0.2%耐力($\sigma_{0.2}$)、引張強さ(σ_B)ならびに全伸び(δ)の値と試験片採取方向の関係を示した。Fig. 3に示した r 値のR.T.における面内分布では、圧延板材で0°方向、押出板材で45°方向に r 値のピークが現れ、ひずみに現れる面内異方性が、双方で認められた。しかし、圧延方向に対し0°、45°、90°の3方向の降伏応力($\sigma_{0.2}$, σ_B)の測定値は、それぞれの値の差が小さく、圧延板材のR.T.における降伏応力に現れる面内異方性は強くないと判断できる。これに対し、押出板材では押出方向に対する3方向における測定値が、それぞれ次の通り異なった。

(1) 0°方向から採取した試験片では、降伏応力の値が他の方向に比べて著しく大きく、降伏後の伸びはやや小さい。この挙動は、押出工程で0°方向に形成された強い集合組織と押出後も不変のまま板材に残存している鋳造材の加工集合組織の影響によると思われる。(2) 45°方向から採取した試験片では、底面すべりが容易に生じるため、全伸びが他の方向の値と比較すると著しく大きな値を示したのと考えられる。(3) 90°方向から採取した試験片では、0.2%耐力を(0.2%耐力/引張強さ)の比で評価すると、0°方向の約85%、45°方向の約31%に対し約23%で、他の方向と比べると小さな値となった。

3.2 材料特性

Fig. 10に $\dot{\epsilon}_0=9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 一定、温度423K、523Kでの圧延あるいは押出方向に対し、0°、45°、90°方向から採取した試験片を用いて測定した0.2%耐力、引張強さならびに全伸びの値と試験片採取方向の関係、Fig. 11には温度523K一定で、 $\dot{\epsilon}_0=1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、 $\dot{\epsilon}_0=9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、 $\dot{\epsilon}_0=93 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ での0.2%耐力、引張強さならびに全伸びの値と初期ひずみ速度の関係を示す。

Fig. 12に圧縮試験片を用いて測定した圧縮試験結果の例を示す。Fig. 13には圧延あるいは押出方向に対し0°、45°、90°

Fig. 10 Mechanical properties ($\sigma_{0.2}$, σ_B , δ) depending on angle to rolling or extruding direction at each temperature.

Fig. 11 Relation between mechanical properties ($\sigma_{0.2}$, σ_B , δ) and initial strain rate at 523 K.

方向と板厚方向から採取した圧縮試験片を用いて、 $\dot{\epsilon}_0=20 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 一定、温度423K、523Kにおいて測定した圧縮耐力($\sigma_{0.2}$)の値と試験片採取方向の関係と温度523K一定で、 $\dot{\epsilon}_0=20 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、 $\dot{\epsilon}_0=196 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、 $\dot{\epsilon}_0=1960 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ において測

定した圧縮耐力の値と試験片採取方向の関係を示す。

Fig. 14 に引張試験と圧縮試験の温度 523K 一定で測定した n 値と初期ひずみ速度の関係を示す。引張試験で測定した

n 値は、2.2.2 項で述べた伸びを用いて算出し、ほぼ均一伸びと推測できる公称ひずみ 0.04~0.08 の範囲内で求めた。圧縮試験の n 値は、2.3.2 項に示した公称応力-ひずみ曲線を用いて、公称ひずみ 0.04~0.08 の範囲から算出した。

Fig. 12 Stress-strain curves at each temperature.

Fig. 13 Relation between 0.2% proof stress and angle to rolling or extruding direction at each temperature.

Fig. 14 Relation between n value and initial strain rate at 523K.

Fig. 10, Fig. 11 における引張試験の結果は、温度が高いほど 0.2% 耐力、引張強さが減少し、2.1 節 Fig. 2 の例を除き、全伸びが増加した。また、ひずみ速度が速いほど 0.2% 耐力、引張強さは増加し、全伸びは減少したが、押出板材の 45° 方向でほぼ同じ値、90° 方向では測定値にばらつきがでた。Fig. 13 における圧縮試験の結果は、温度が高いほど圧縮耐力が減少し、ひずみ速度が速いほど圧縮耐力が増加した。

3.2.1 引張特性

Fig. 10, Fig. 11 と Fig. 14 に示す測定値を圧延あるいは押出方向に対し 0°, 45°, 90° の 3 方向で採取した試験片で比較すると、圧延板材の値は $\dot{\epsilon}_0 = 9 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$, 523K での全伸びの値が他の方向の測定値と比べてやや大きくでたが、この値を除くと、それぞれの測定値の差は小さい。これに対し、押出板材では押出方向に対する 3 方向における測定値が、それぞれ次の通り異なった。(1) 0° 方向における降伏応力と $\dot{\epsilon}_0 = 1 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$, 523K で測定した全伸びの値が他の方向に比べて大きいのは、3.1 節で述べた強い集合組織の形成と不変のまま残存している鑄造材の集合組織が影響していると思われる。(2) 45° 方向の全伸びの値が、本項 (1) で述べた 0° 方向の全伸びの値を除いて、他の方向と比べると大きい。この挙動は 45° 方向で底面すべりが容易に生じるものと推測する。Fig. 2 で指摘した 423K における全伸びの値が、523K の値より大きいのは、押出工程で形成された集合組織が 423K では維持されているが、AZ31 の再結晶温度 (478K 程度) に到達する前に底面すべりに加え非底面すべりが生じて、集合組織が双方のすべり系の影響を受けたためと考えられる。(3) 90° 方向において、 $\dot{\epsilon}_0 = 9 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ で測定した 0.2% 耐力を、(0.2% 耐力/引張強さ) の比で評価すると、423K で 0° 方向の約 77%、45° 方向の約 50% に対し、約 36% であり、523K では 0° 方向の約 74%、45° 方向の約 71% に対し、約 72% となった。再結晶温度後の 523K では、温度が上昇し底面すべり、非底面すべりが活動しやすい結晶粒が多くなったので、塑性変形特性は、他の方向と同様のすべり変形であると推測できる。しかし、423K において評価した比が約 36% に対し、523K では約 72% と再結晶温度 (478K 程度) 前後で、他の方向と比較して著しく変化しており、再結晶温度前の温度域では、変形挙動が 90° 方向と他の方向で相違していた。

3.2.2 圧縮特性

Fig. 12 に示した圧延板材の 45° 方向から採取した試験片を用いた圧縮試験の公称応力-ひずみ曲線をみると、再結晶温度前の 423K における変形挙動は、降伏後、双晶変形特有の大きな加工硬化を示している⁵⁾。この変形挙動は、45° 方向試験片の板面に六方晶の底面が平行に存在している加工集合組織に圧縮応力が加わり、この集合組織が六方晶の c 軸方向に伸び、c 軸に垂直な方向に縮んだ結果、c 軸引張双晶変形が生じたものと推測する。温度が 523K に上昇し、底面すべり、非底面すべりが活動しやすい結晶粒が多くなると塑性変形特性が、双晶変形からすべり変形に転換した様子が、この公称応力-ひずみ曲線から読みとれる。

Fig. 12 に示した押出板材の 45° 方向から採取した試験片を用いた圧縮試験も、圧延板材を用いた圧縮試験と同様に、423K では c 軸引張双晶変形が生じ、温度が 523K になると塑性変形特性が、すべり変形に転じていると考察する。押出板材の圧縮試験における変形挙動が、圧延板材と等しくならな

いのは、製造法の異なる材種間での加工集合組織形成によるものと考えられる。

Fig. 13 に示す圧延板材、押出板材の 423K における圧縮耐力の測定値を比較すると、押出板材の 90° 方向を除いて、その差が小さい。これに対し、押出板材の 90° 方向は、他の方向と比べると大きな値となった。この結果から、前者の塑性変形特性は c 軸引張双晶変形が出現し、圧縮耐力の値が低下しているのに対し、後者は他の方向と異なり、すべり変形に似た変形挙動が生じているので、圧縮耐力の値が他の方向と比べると著しく大きくみえる。

0° 方向と板厚方向の試験片では、圧縮応力が加わると前者は前述した六方晶の粒内で c 軸引張双晶変形が容易に生じるのに対し、後者は前者と反対の c 軸圧縮双晶変形が容易に生じる圧縮特性がある。双方の圧縮特性は相異しているが、圧縮応力が加わると双方の変形挙動が同じ傾向になるため 423K, 523K における圧縮耐力と 523K における n 値 (Fig. 14) の双方の測定値の差が小さい。

Fig. 13 に示す押出板材の 45° 方向、523K では、他の方向に比べて粒内で底面すべりが容易に生じ、変形抵抗が小さくなるため圧縮耐力の値が、他の方向の値と比較すると著しく低くなる。なお、圧延板材の 45° 方向、523K でも押出板材と類似した傾向がみられるが、他の方向の値と比較して、押出板材ほど、その差が大きい。

3.3 引張特性と圧縮特性の比較

(1) 圧延あるいは押出方向に対し 0°, 45°, 90° 方向から採取した試験片を用いて測定した再結晶温度 (478K 程度) 前の 423K での塑性変形特性は、押出板材の 90° 方向を除いて、引張試験がすべり変形であるのに対して圧縮試験は双晶変形である実例を示した。温度が 523K に上昇すると底面すべり、非底面すべりが活動しやすい結晶粒が多くなるので、Fig. 2, Fig. 12 に示す引張、圧縮試験の応力-ひずみ曲線と Fig. 13 に示す圧縮耐力の値と試験片採取方向の関係から圧縮試験の塑性変形特性はすべり変形に転じている様子が観察できる。(2) 押出方向に対し 90° 方向から採取した試験片を用いた 423K における実験では、引張試験の変形挙動が 3.1 節 (3) で述べた R.T. と似た挙動を示し、圧縮試験の変形挙動にはすべり変形に似た挙動が現れた。この試験片を用いた再結晶温度前の温度域での測定値は、他の方向と比べると、顕著に相違する材料特性を示した。この単軸引張、圧縮試験に用いた 90° 方向の試験片には、押出プロセスで、六方晶の c 軸が押出板材表面法線方向に対して垂直方向に大きく傾いた結晶⁴⁾が生じている加工集合組織が存在し、この集合組織が再結晶温度前の温度域における変形挙動に深く関連しているものとこの実験結果から推測できる。(3) 既存の AZ31 押出材、圧延材では、押出あるいは圧延方向に対して圧縮応力が加わった場合、c 軸引張双晶変形が低応力で生じ R.T. における引張耐力に対する圧縮耐力の比が 0.5 程度にまで低下することが知られている⁵⁾。試験温度を 423K に上昇させた場合の (圧縮耐力/引張耐力) の比を、本研究における圧延あるいは押出方向に対して 0° 方向から採取した試験片の Fig. 10 と Fig. 13 に示した測定値で評価すると、圧延板材が約 0.8、押出板材が約 0.7 であり、更に 523K に上昇させると双方とも約 1.0 となった。ただし、引張試験と圧縮試験でひずみ速度が異なるので、Fig. 11 に示す引張耐力の測定値を内挿して、圧縮耐力

の測定値とひずみ速度が一致した引張耐力の測定値を求めて、この値を評価の計算に用いた。

3.4 圧延板材と押出板材の比較

温度増加につれて r 値の値と面内異方性は低下し、523K で圧延板材、押出板材はともにほぼ 1であることを Fig. 3 に示したが、523K で試験速度を $\dot{\epsilon}_0=1\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ と $\dot{\epsilon}_0=93\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ に変化させて測定した r 値もほぼ 1 となり、このひずみ速度域における圧延板材と押出板材のひずみに現れる板厚異方性 ($\Delta r \cong 0$) と面内異方性 ($\bar{r} \cong 1$) は消失したものと考えられる。

圧延板材と押出板材の圧延あるいは押出方向に対し 0° , 45° , 90° の 3 方向から採取した試験片を用いた 523K における引張試験の降伏応力と圧縮試験の圧縮耐力を、それぞれ 3 方向について比較すると、圧延板材はその差が小さいが、押出板材には差がみられる。この結果から、前者の降伏応力に対する面内異方性は強くないが、後者には降伏応力に対する面内異方性が強く現れている。

4. 結 言

本研究では、AZ31 マグネシウム合金圧延板材および押出板材を扱い、製造法の異なるこれらの材種間で高温域を含めた温度範囲において単軸引張、圧縮試験を行い、これらの変形挙動を実験的に観察、検討し、さらに、製造法が異なることから派生する材料特性値の違いを指摘、比較検討すること

を目的とした。本研究で得られた結果を以下に示す。

(1) AZ31 マグネシウム合金の圧延板材、押出板材の引張試験と圧縮試験において、再結晶温度前の塑性変形特性は、押出板材の 90° 方向を除いて、前者がすべり変形であるのに対し、後者は双晶変形を示した。この実験結果から、試験温度が変わると引張耐力に対する圧縮耐力の比が変わり、再結晶温度前における材料特性は単純な圧縮と引張状態下において相違を示すことがわかった。

(2) AZ31 マグネシウム合金の圧延板材と押出板材の表面状況を比較すると双方とも良好で区別がしにくい。さらに、523K 下の高温域において圧延板材と押出板材はともにひずみに現れる面内異方性は消失している。しかし、降伏応力に現れる面内異方性は圧延板材では強くないが、押出板材には出現し、押出プロセスで生じる加工集合組織の影響が顕著に認められる。

参 考 文 献

- 1) たとえば, R. F. Brown: 2002 Magnesium Technology, (ed. H. I. Kaplan), TMS, (2002), 155–163.
- 2) 吉澤宗晴, 村上直也, 山内 徹, 大澤泰明: 日本機械学会論文集 A 編, **95** (1996), 827–833.
- 3) 津谷裕子: 固体潤滑ハンドブック, 幸書房, (1978), 110–114.
- 4) 村井 勉: 塑性と加工, **48** (2007), 379–383.
- 5) 鎌土重晴: 塑性と加工, **48** (2007), 358–366.