

ねじり圧延法を利用した易成形性マグネシウム合金板材の創製

産業技術総合研究所 サステナブルマテリアル研究部門
主任研究員 千野靖正
(平成 19 年度奨励研究助成 AF-2007036)

キーワード：マグネシウム合金、圧延、成形性

1. 研究の目的と背景

マグネシウム合金の非底面すべり（柱面〈a〉すべり・錘面〈c+a〉すべり）の臨界せん断応力は常温において他のすべり系（底面〈a〉すべり）と比較して大きく、底面〈a〉すべり以外の緩和機構は限られている¹⁾。そのため、マグネシウム合金の常温成形性は必然的に低い。また、マグネシウム合金圧延材には(0002)面が板面に対して平行に配向する集合組織が形成される特徴があり²⁾、塑性変形に際して板厚方向歪みが期待できず、顕著な変形異方性が発現する。

近年、片ロール駆動圧延法³⁾、異周速圧延法^{4,5)}、クロスロール圧延法^{6,7)}等のせん断付与圧延法によりマグネシウム合金を圧延すると、(0002)面の配向が抑制され、常温成形性が向上することが報告されている。本研究では、新たなせん断付与圧延法としてねじり圧延法を提案する。

ねじり圧延法の概要を図 1 に示す。ねじり圧延法とは、左右のロール直径が線形的に変化する圧延ロールを利用するものであり、見かけ上、異周速比が線形的に変化する圧延法と定義することができる。ねじり圧延法により試料に印加される RD 方向歪みは、TD 方向に対して線形的に変化するため、ねじり変形に近い剪断変形が試料に付与することが期待できる。本研究では、商用マグネシウム合金 (AZ31 合金) を対象としてねじり圧延を実施し、ねじり圧延法が AZ31 合金圧延材の集合組織形成に及ぼす影響を調査するとともに、圧延材の成形性を評価したので報告する。

2. 実験方法

本実験で利用したロール形状を図 1 に示す。本実験では、最小直径 70 mm、最大直径 130 mm、幅 75 mm のねじりロールを利用した。本ロールを利用すると、ロール左右端部では、それぞれ異周速比 0.76、1.31 の異周速圧延を行うことになる。

図 2 に供試材の初期形状を示す。本実験では、60 mm × 50 mm × 3.5 mm の AZ31 マグネシウム合金板材 (Mg-3.0 wt%Al-1.0 wt%Zn) を供試材とした。623 K に保持したマッフル炉に供試材を 20 分間保持した後、1 パス当たりの圧下率 15 %、圧延速度 5 m/min の条件でねじり圧延を実施した。圧延経路はリバース圧延とし、圧延毎に RD 軸に対して試料を 180° 回転させ、試料に同方向のせん断歪

みを印加するようにした。同様の圧延を繰り返すことにより、厚み 1 mm の圧延材を作製した。最後に圧延材を 623 K に保持したマッフル炉に 90 分間保持し、焼鈍を行った。

また、直径 150 mm、幅 150 mm の平ロールを用い、ねじり圧延と同様の条件で供試材を圧延し、比較材を作製した。

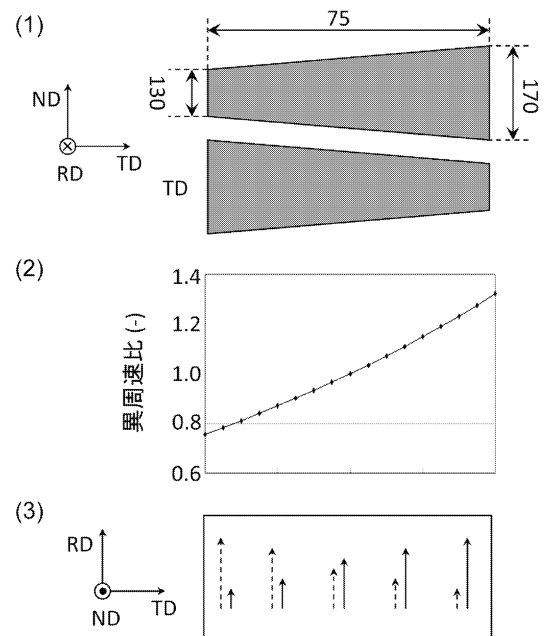


図 1 (1)ねじり圧延法のロール形状、(2)ロール各位置の異周速比 (3) 試料表面に導入されるひずみ量の模式図（実線：表面、点線：裏面）

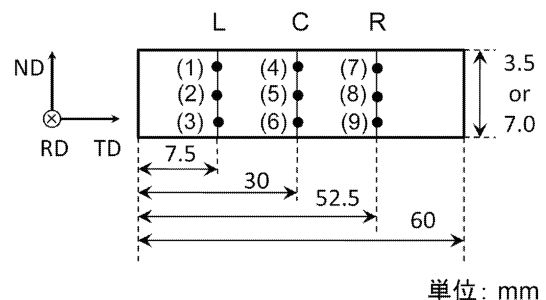


図 2 圧延用試料の初期形状（試料長さ：50 mm）

圧延材 (RD-ND 面) の焼鈍後の組織を光学顕微鏡により測定し、切片法⁸⁾により結晶粒径を測定した。また、

Shultzの反射法により圧延材(RD-TD面)の(0002)面集合組織を測定した。測定に際しては、試料表面をSiC研磨紙(#4000)により研磨した試料を利用した。また、一部の測定では、試料を0.5mm面削した上で測定を行い、試料中心部の集合組織を測定した。

圧延材の張出し成形性を評価するために常温エリクセン試験を実施した。ブランク直径は60mm、パンチ直径は20mm、ストローク速度は5mm/min、しわ押さえ力は10kNとした。潤滑材としてグラファイトグリスを利用した。また、常温引張り試験により圧延材のLankford値(r値)を測定した。圧延方向と引張り方向の角度が0度、45度、90度となるように、3種類の引張り試験片を作製した。引張り試験片の平行部長さ、幅、厚みはそれぞれ10mm、5mm、1mmである。試験片に10%の引張り歪みを加えた際の板幅方向歪み(ϵ_w)および板厚歪み(ϵ_t)を測定し、r値($r = \epsilon_w / \epsilon_t$)を算出した。また、各角度のr値(r_0, r_{45}, r_{90})より平均r値($\bar{r} = (r_0 + r_{90} + 2r_{45}) / 4$)を算出した。初期歪み速度は $1.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とした。

3. 実験結果及び考察

厚み0.5mmのスリットを供試材のTD-ND面に導入し、ねじり圧延後の試料断面(RD-ND面)を観察することにより、試料に付与されるせん断変形量を測定した。その結果を図3に示す。L面は試料左端部の測定結果を、C面は試料中央部の測定結果を、R面は試料右端部の測定結果を示す(図2参照)。C面ではスリットの傾きは殆ど確認できなかった。一方、L面とR面ではそれぞれ逆方向のせん断変形が試料に作用し、L面ではスリットが73°傾き、R面では63°傾いた。本結果より、ねじり圧延法を利用すると、左右端部に極性の異なるせん断変形が付与できることが確認された。

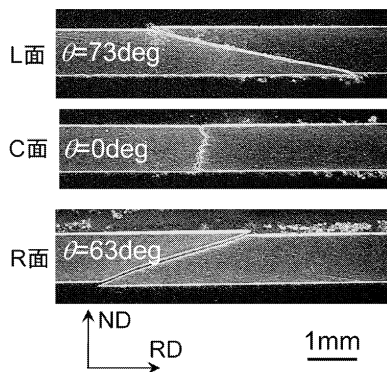


図3 ねじり圧延後のAZ31合金の断面(予めTD-ND面にスリットを導入し、圧延後のスリットの傾きよりせん断変形量を推定)

ここで、圧延中に圧縮歪み増分とせん断歪み増分の比が一定に保たれたまま変形が進行するという比例変形の

仮定をおくと、圧延材に生じる相当歪みは(1)式で与えられる⁹⁾。

$$\epsilon_{eq} \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1 + \left\{ \frac{(1-r)^2}{r(2-r)} \tan \theta \right\}^2} \cdot \ln \frac{1}{1-r} \quad (1)$$

(1)式において、 $r = 1 - h_1/h_0$ であり、 h_0, h_1 はそれぞれ圧延前後の板厚を示す。図3に示したスリットの傾きを元に(1)式により求めた相当歪みは、L面では2.36、C面では2.05、R面では2.14であり、左右端部において、相対的に大きな相当歪みが印加されたことが確認された。

ねじり圧延材および比較材の光学顕微鏡組織を図4に示す。番号は測定位置(図2参照)を指し、測定面はRD-ND面である。供試材の圧延前の平均結晶粒径は174μmであり、圧延中の動的再結晶¹⁰⁾により、組織はいずれの測定場所においても約60μmまで微細化した。ねじり圧延材と比較材の結晶粒径の大小に大きな差は観察されなかった。

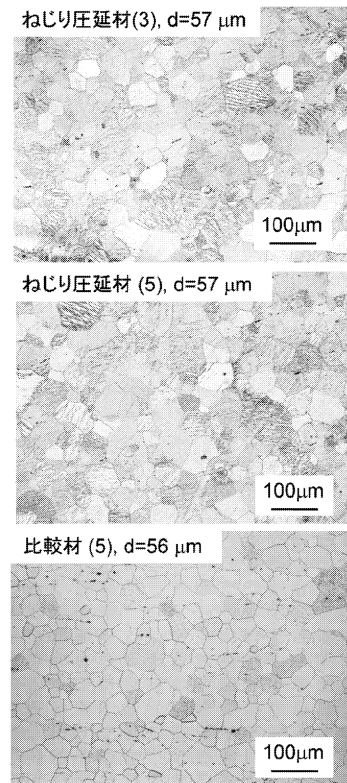


図4 焼鈍後のAZ31合金圧延材の光学顕微鏡組織(番号は図2に記載の測定位置を示す)

次に、ねじり圧延材の試料左端部の(0002)面集合組織を図5に、試料右端部の(0002)面集合組織を図6にそれぞれ示す。図内の番号は測定位置(図2参照)を示す。いずれの測定位置においても、マグネシウム圧延材特有の底面配向集合組織が観察された。試料左端部に注目すると、集合組織強度は上表層部(18.5)→中心部(15.8)→下表層部(9.4)の順に小さくなった。一方、試料右端部に

注目すると、左端部とは逆に、下表層部(12.6)→中心部(11.3)→上表層部(7.9)の順に集合組織強度は小さくなった。すなわち、大きなせん断変形を受けた場所において、(0002)面集合組織強度の低下が確認された。この実験結果は、異周速圧延の結果と定性的に一致する⁵⁾。

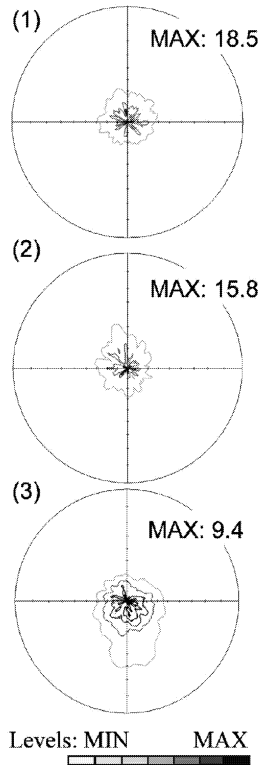


図5 各測定位置における AZ31合金ねじり圧延材の(0002)面集合組織(1)左上表層部、(2)左中心部、(3)左下表層部

比較材の(0002)面集合組織測定結果を図7に示す。図内の番号は測定位置(図2参照)を示す。ねじり圧延材とは対比的に、比較材の集合組織強度は、試料中央部で最小値(9.8)を取った。ねじり圧延材の集合組織強度の最小値は試料左端部では9.4(測定場所(3))であり、試料右端部では7.9(測定場所(7))であった。ゆえに、ねじり圧延により大きなせん断変形を受けた箇所では、比較材よりも(0002)面集合組織の形成が抑制されることが確認された。

ねじり圧延材および比較材の常温エリクセン試験の結果を図8に示す。ねじり圧延材のエリクセン値は5.2であり、比較材(エリクセン値: 4.8)よりも優れた常温張出し成形性を示した。次に、ねじり圧延材と比較材のr値を図9にまとめて示す。図9によると、ねじり圧延材の平均r値は比較材よりも低い値を示し、ねじり圧延材の方が相対的に大きな厚み方向歪み(ϵ_r)を示した。

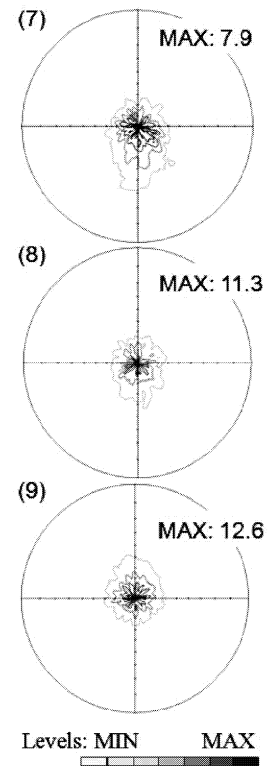


図6 各測定位置における AZ31合金ねじり圧延材の(0002)面集合組織。(7)右上表層部、(8)右中心部、(9)右下表層部

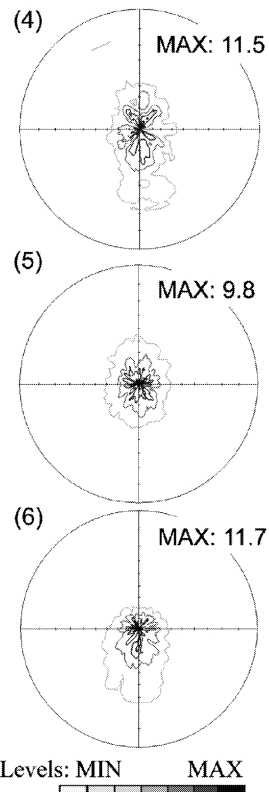
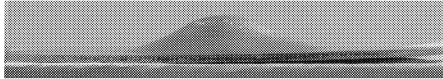


図7 各測定位置における AZ31合金圧延材(比較材)の(0002)面集合組織。(4)中央上表層部、(5)中央中心部、(6)中央下表層部

マグネシウム合金圧延材の r 値はアルミニウム合金と比較して高く、常温において 2~3 であることが知られている¹¹⁾。マグネシウム合金圧延材の高い r 値は、強い底面配向の形成により、底面<a>すべりが厚み方向に作用しなくなる事に起因する¹¹⁾。ゆえに、ねじり圧延材の優れた張出し成形性は、ねじり圧延により集合組織形成が抑制され、底面<a>すべりが厚み方向歪みに寄与し易くなったことにより発現したと考えることができる。

(1) ねじり圧延材 (エリクセン値: 5.2)



(2) 比較材 (エリクセン値: 4.8)

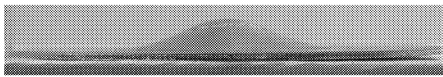


図8 AZ31合金圧延材の常温エリクセン試験結果

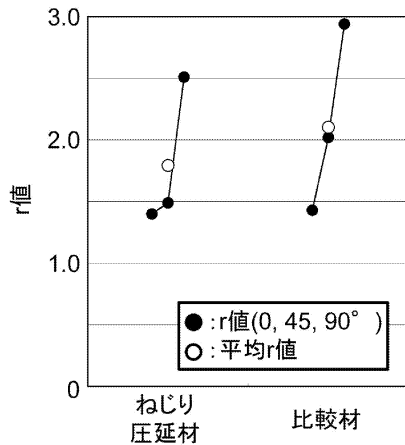


図9 AZ31合金圧延材の r 値および平均 r 値

4. 結言

AZ31 マグネシウム合金を対象としてねじり圧延を実施し、ねじり圧延法が AZ31 合金圧延材の集合組織形成に及ぼす影響を調査するとともに、圧延材の常温成形性を評価し、以下の知見を得た。

- (1) ねじり圧延法により作製された圧延材には、試料左端部・右端部において、異なる極性のせん断変形が印加された。また、相対的に大きなせん断変形が印加される箇所において(0002)面集合組織の形成が抑制された。
- (2) ねじり圧延法により作製された圧延材は比較材よりも優れた常温張出し成形性を示した。また、ねじり圧延法により作製された圧延材は比較材よりも低い平均 r 値を示した。(0002)面集合組織形成の抑制に伴う厚み方向歪みの促進が、成形性の改善に寄与したことが示唆された。

謝辞

本研究の実施にあたり財団法人天田金属加工機械技術振興財団の奨励研究助成を賜りましたことを付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) H. Yoshinaga, R. Horiuchi: Trans. JIM, **4** (1963) 1.
- 2) Y. Chino, H. Iwasaki, M. Mabuchi: Mater. Sci. Eng. A, **466** (2007) 90.
- 3) Y. Chino, M. Mabuchi, R. Kishihara, H. Hosokawa, Y. Yamada, C.E. Wen, K. Shimojima, H. Iwasaki: Mater. Trans., **43** (2002) 2554.
- 4) H. Watanabe, T. Mukai, K. Ishikawa: J. Mater. Sci., **39** (2004) 1477.
- 5) S.H. Kim, B.S. You, C.D. Yim, Y.M. Seo: Mater. Lett., **59** (2005) 3876.
- 6) Y. Chino, K. Sassa, A. Kamiya, M. Mabuchi: Mater. Sci. Eng., A **441** (2006) 349.
- 7) Y. Chino, K. Sassa, A. Kamiya, M. Mabuchi: Mater. Lett., **61** (2007) 1504.
- 8) A.W. Thompson: Metallography, **28** (1972) 366.
- 9) 左海 哲夫: 金属, **78** (2008) 333.
- 10) T. Mohri, M. Mabuchi, M. Nakamura, T. Asahina, H. Iwasaki, T. Aizawa and K. Higashi: Mater. Sci. Eng., **A290** (2000) 139.
- 11) J. Koike: Metall. Mater. Trans. A, **36** (2005) 1689.