

AZ31Mg 合金板の機械的性質に及ぼす アスペクト比の影響

中 哲夫*・村上 英正*・細谷 拓**

Effect of Aspect Ratio on Mechanical Property for AZ31 Magnesium Alloy Sheet

Tetsuo Naka*, Hidemasa Murakami*, Taku Hosoya**

Abstract

Numerical simulations have been taken to the press forming of the sheet material. The material property is used for the simulation. The material property uses the mechanical property obtained by the tensile test based on JIS specimens. However, in actual factories, the press forming was performed in various figures. It is unusual that performed in the aspect ratio of JIS specimens. It is possible that the effect of mechanical properties the results of the simulation. Therefore, mechanical properties were investigated. In this research, it aimed to know the effect of aspect ratio on mechanical properties for magnesium alloy (AZ31) sheet. Uniaxial tension tests were performed using type JIS-13B specimens (60×12.5 mm in the parallel portion) at various forming speeds (3, 30 and 300 mm · min⁻¹) in an Instron-type testing machine (250 kN in capacity). The testing temperatures were 150, 200 and 250 °C. The tensile direction were rolling direction, 45 degrees and transverse. We used various kinds of test pieces. The flow stress decreased with the temperature rise, therefore the effect of warm forming of the AZ31 magnesium alloy sheet was shown. The fracture elongation increases with aspect ratio rise and temperatures rise and with decreasing forming speed. The effect of the aspect ratio was not occurred in the uniform elongation. Therefore, increasing the fracture elongation was effected by the local elongation. And the effect of aspect ratio was not remarkably occurred in other mechanical properties.

Key word: Mg alloy sheet, Aspect ratio, Simulation, Mechanical property, Uniaxial tensile test

1. 緒言

近年、板材プレス成形においてシミュレーションが多く用いられている^[1]。これは成形する材料によって材料特性値が異なる事や、板材の成形性を評価することが挙げられる。シミュレーションに使用されている材料特性値の殆どは JIS 規格に基づいた試験片で単軸引張試験を行う事によって得られる機械的性質を主に使用している。しかし実際のプレス成形では様々なニーズに対応するため、板材のアスペクト比(縦横比)が異なる種々の形状で行われている。

よってシミュレーションで用いられる JIS 規格のアスペクト比で成形が行われることは稀である。以上のことから、シミュレーションに JIS 規格のアスペクト比を一律に用いていることは精度に問題があるといえる。

近年では地球環境問題に対する配慮およびエネルギー消費削減などの要求に対応するために自動車を中心に各種輸送機分野において軽量化が強く求められつつある。この対応策として軽量材料の中で特にマグネシウム合金が注目されている^{[2][3]}。マグネシウム合金は密度が 1.74g/cm³ とアルミニウム合金の

*商船学科

**専攻科 生産システム工学専攻

約2/3, 鉄の2/9と実用金属材料の中では最も軽い。また比強度, 放熱性, 切削性及びリサイクル性など優れた特性を有している^[4]。具体的には自動車業界においてホイールやシートフレーム, そのほかにも携帯電話及びノートパソコンなどの電子機器の筐体に多く用いられ需要が増加しつつある。

本研究ではAZ31マグネシウム合金板を用い, 試験片のアスペクト比を種々に変化させた単軸引張試験を行った。試験片形状を変化させて行う引張試験は, 林ら^[5]や沢田^[6]が行っているが, 本実験では板材の引張試験で用いられるJIS-13B引張試験片(平行部長さ:60mm, 幅:12.5mm)よりアスペクト比を変化させた。ただしアスペクト比はひずみ速度を一定にするため, 平行部長さを一定とし, 幅のみを変化させた。これまでの研究において^{[7][8]}JIS-13B形状による単軸引張試験により変形抵抗及び延性の温度及び速度の依存性は判明している。よって種々の圧延方向(Rolling direction:以下RD, 45°, Transverce direction:以下TDと記す), 試験温度(150, 200, 250)及び試験速度(3, 30, 300mm・min⁻¹)で実験を行い, 温度及び速度依存性を確認しつつ, 得られた実験結果をもとにAZ31マグネシウムの機械的性質(変形抵抗, 0.2%耐力, 引張強さ, 延性, 加工硬化指数*n*値, ひずみ速度感受性指数*m*値, 絞り)に及ぼすアスペクト比の影響について比較, 検討した。

2. 材料および試験方法

2.1 試験材料

本実験で使用した供試材は, 展伸用Mg-Al-Zn系合金で成形性及び溶接性に優れ, Alを3%, Znを1%含有するAZ31B(ASTM, JIS:MP1)を試験材料として使用した。この材料は板厚0.8mm, 平均結晶粒径15μmにしたもので, この供試材の化学組成表をTable1に示す。Fig.1には本研究で用いたマグネシウム合金板の{0001}極点図を示す。極点図は集積点が分離したダブルピークと呼ばれる集合組織を示しており, 変形しやすい材料であることが分かる。

2.2 試験片形状

試験片は, Fig.2に示すように圧延材料からRD, 45°及びTDの3方向から切出して使用した。試験片形状は, Fig.3に示すようにJIS-13B単軸引張試験片を基準とし, アスペクト比を変化させた試験片を5種類作成した。なおFig.4に示すようにアスペクト比はひずみ速度を一定にするため, 平行部長さを一定とし幅のみを変化させアスペクト比を変化させた。具体的にはJIS-13Bの幅から0.5, 2, 3及び

4倍と変化させ, 平行部のアスペクト比(幅/平行部長さ)を6.25/60, 12.5/60, 25/60, 37.5/60及び50/60mmとした。以下アスペクト比を0.5, 1, 2, 3及び4倍と記す。また試験片はワイヤーカット放電加工機にて作製した後, 試験前に400℃にて30秒間の熱処理を行った。

2.3 試験条件

引張試験はインストロン型万能試験機に恒温槽を装着して行った。試験条件はアスペクト比が5条件, 引張方向はRD, 45°及びTDの3条件, 試験温度は150, 200及び250℃の3条件, ひずみ速度は 8×10^{-4} , 10^{-3} 及び 10^{-2} s^{-1} (引張り速度3, 30及び300mm・min⁻¹)の3条件の計135条件で各条件において2本ずつ引張試験を行った。

Table.1 AZ31Mgの化学組成表

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca	Mg
2.90	1.00	0.41	0.0023	0.01	<0.01	<0.001	-	Bal.

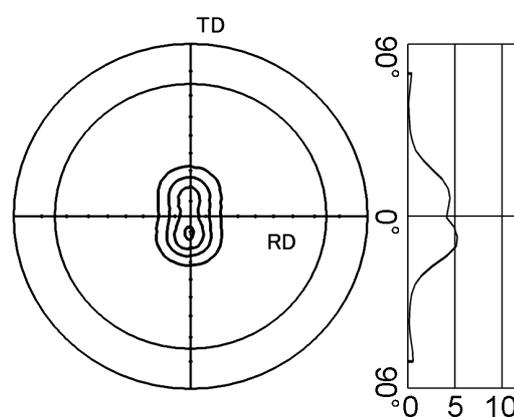


Fig.1 マグネシウム合金の極点図

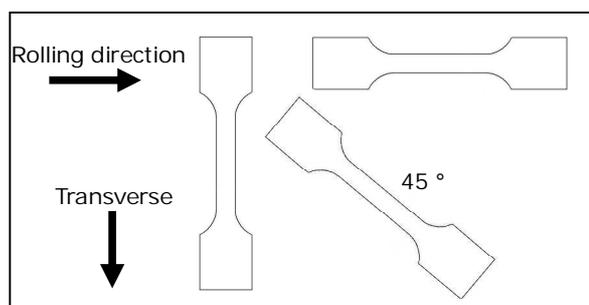


Fig.2 試験片の切出し方向

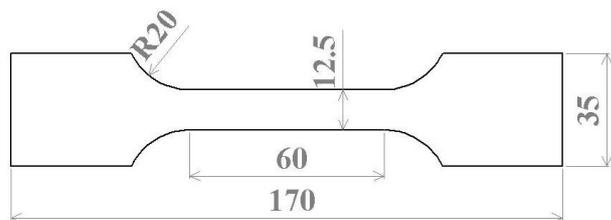


Fig. 3 JIS -13B 試験片

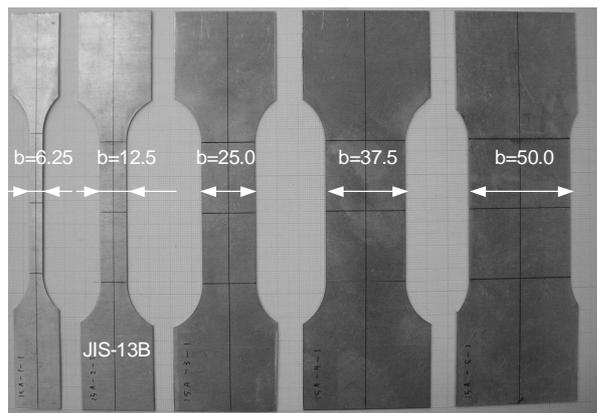


Fig. 4 アスペクト比を変化させた試験片

3. 実験結果と考察

3.1 変形抵抗

試験結果の一例として Fig. 5 に引張方向を TD、試験温度 200°C における各速度の 0.2% 耐力及び引張強さを示す。実験結果より 0.2% 耐力及び引張強さは、どの温度及び速度においてもアスペクト比の影響をほとんど示さず、引張方向が RD 及び 45° においても同様な結果が示された。速度及び温度における影響については、どの引張方向においても 0.2% 耐力及び引張強さは、速度上昇に伴い増加し、温度上昇に伴い低下することが示された。

引張方向の影響について Fig. 6 に試験温度 200°C、試験速度 30mm・min⁻¹ における各引張方向の 0.2% 耐力及び引張強さを示す。試験片の方向による差ほどの条件においても顕著に示されなかった。

また真応力—真ひずみにおける変形抵抗についても考察した。Fig. 7 に引張方向を TD、試験温度 200°C、試験速度 30mm・min⁻¹ における真応力—真ひずみ曲線を示す。本実験における真応力—真ひずみに及ぼすアスペクト比の影響においては、若干のズレはあるものの、どの条件も影響をほとんど示さなかったが、速度及び温度依存性はどの条件においても確認できた。

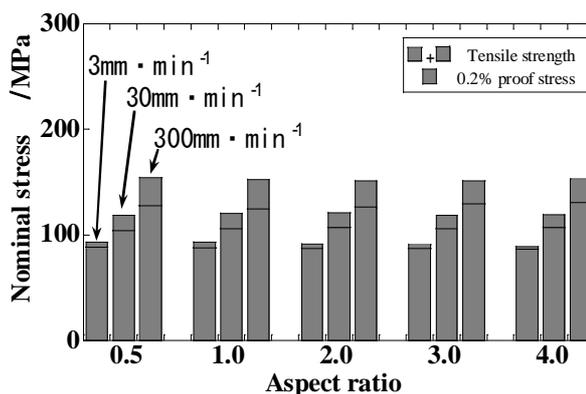


Fig. 5 0.2%耐力及び引張強さとアスペクト比における試験速度の影響 (引張方向 TD, 試験温度 200°C)

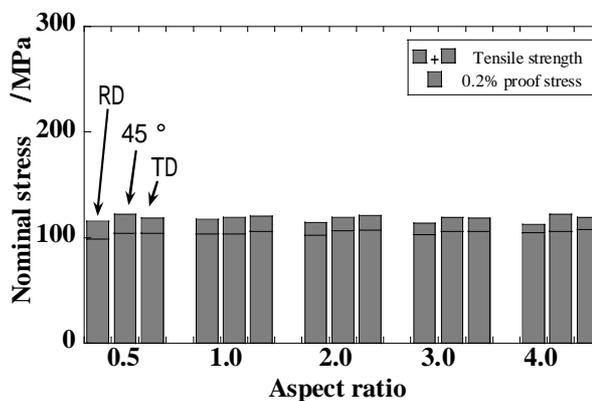


Fig. 6 0.2%耐力及び引張強さとアスペクト比における圧延方向の影響 (試験温度 200°C, 試験速度 30mm・min⁻¹)

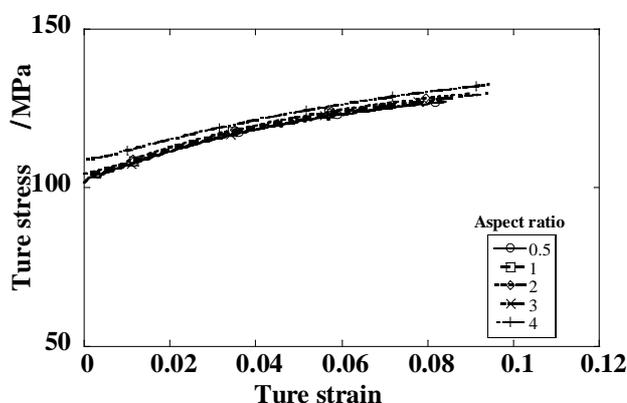


Fig. 7 真応力—真ひずみ曲線におけるアスペクト比の影響 (引張方向 TD, 試験温度 200°C, 試験速度 30mm・min⁻¹)

ところで本供試料には明らかなひずみ速度依存性が確認できる。そこで変形抵抗のひずみ速度依存性を定量的に考察するために次式で与えられる構成式にもとづいて検討してみた。

$$\sigma = C \varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m \quad (1)$$

この式は、Backofen 型の構成式で、 σ は真応力、 C は硬さ係数、 ε および $\dot{\varepsilon}$ は真ひずみおよび真ひずみ速度、 n は加工硬化指数 (n 値)、 m はひずみ速度感受性指数 (m 値) と呼ばれている。 m 値は変形抵抗のひずみ速度依存性を定量的に考慮するための指数として知られている。この式をもとに Fig.8 に引張方向 RD のグラフを、Fig.9 に引張方向 TD の m 値のグラフを示す。 m 値は若干のズレはあるもののほとんどアスペクト比の影響を示さなかった。また m 値は 200℃までは増加するが、それ以上は増加せずほぼ一定の値を示した。

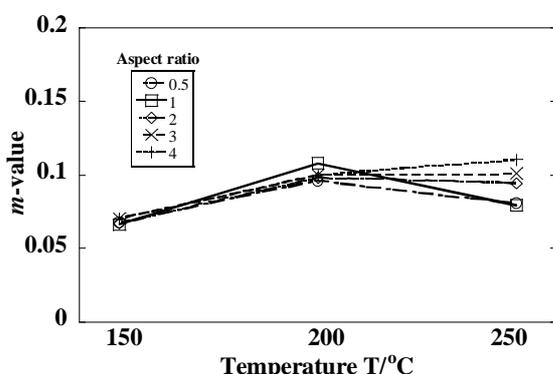


Fig. 8 m 値と試験温度におけるアスペクト比の影響 (引張方向 RD)

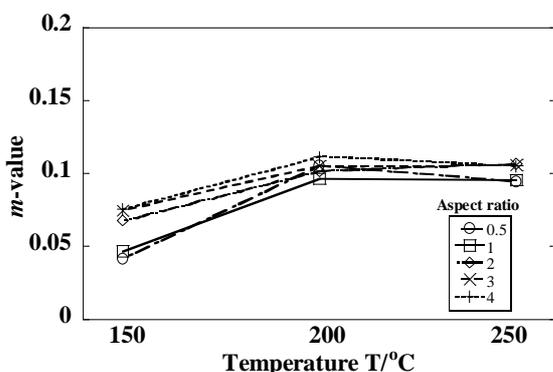


Fig. 9 m 値と試験温度におけるアスペクト比の影響 (引張方向 TD)

3.2 延性

Fig.10 に引張方向を TD, 試験温度 200℃における各速度の破断伸びを示す。なお破断伸びは、くびれ発生までの均一伸びとそれ以降の局所伸びの双方を含んだものである。実験結果より破断伸びは、アスペクト比が増加するとともに増加した。ただし均一伸びは変化せず、主に局所伸びが増加した。このことから破断伸びはアスペクト比の変化によって局所伸びに影響を受けることが分かった。速度及び温度における影響については、どの引張方向においても破断伸びは速度上昇に伴い低下し、温度上昇に伴い増加した。しかし均一伸びは試験温度が高温ほど速度上昇に伴い増加し、試験速度が低速ほど温度上昇に伴い低下した。

また引張方向の影響について Fig.11 に試験温度 200℃, 試験速度 30mm・min⁻¹における各引張方向の破断伸びを示す。引張方向における影響は、どの試験条件においても若干ではあるが TD の破断伸びが最も高く、RD のものが最も低かったことが、示された。

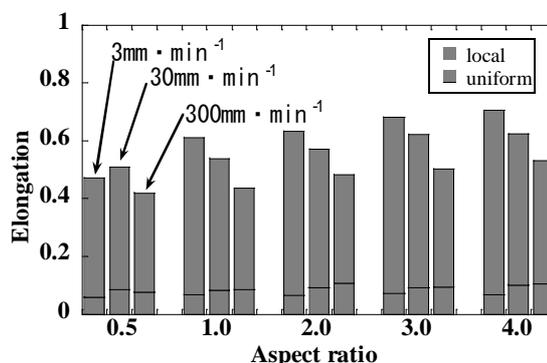


Fig. 10 破断伸びとアスペクト比における試験速度の影響 (引張方向 TD, 試験温度 200℃)

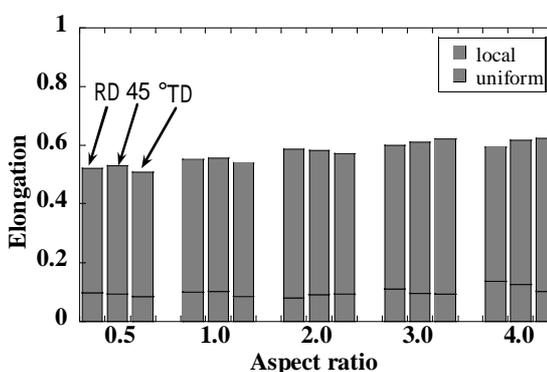


Fig. 11 破断伸びとアスペクト比における圧延方向の影響 (試験温度 200℃, 試験速度 30mm・min⁻¹)

さらに均一伸びひずみについて詳しく検討してみるために、 n 値について考察した。 n 値は 3.1 節で述べた式 (1) の n を指し、この構成式を用いて n 値を算出する。これによって得られる n 値は板材成形シミュレーションでよく使われる値である。Fig. 12 に引張方向を TD、150°C における各速度におけるグラフを、Fig. 13 に引張方向を TD、200°C における各速度の n 値を示す。

実験結果より n 値は、どの引張方向においても 150°C ではアスペクト比の影響を受け、アスペクト比が増加するとともに n 値は減少した。しかし 200 以上になるとアスペクト比の変化による影響が減少することが示された。速度及び温度の影響については、どの引張方向において速度及び温度が変化しても一律には変化しなかった。

また引張方向の影響について Fig. 14 に試験温度 150、試験速度 $30\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ における各引張方向の n 値を示す。引張方向の影響は、若干のズレはあるものの、ほとんどの条件において RD が最も高く、45° が最も低かったことが示された。

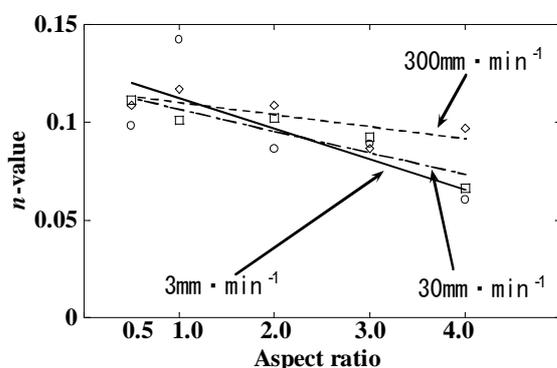


Fig. 12 n 値とアスペクト比における試験速度の影響 (引張方向 TD, 試験温度 150°C)

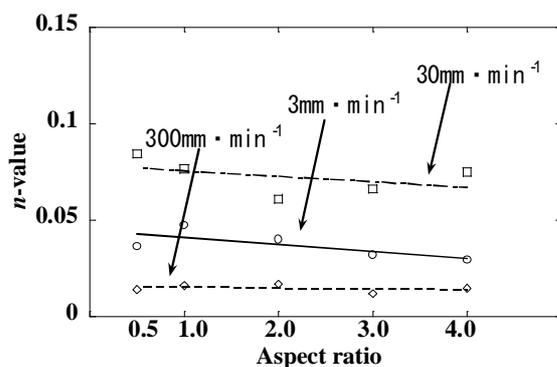


Fig. 13 n 値とアスペクト比における試験速度の影響 (引張方向 TD, 試験温度 250°C)

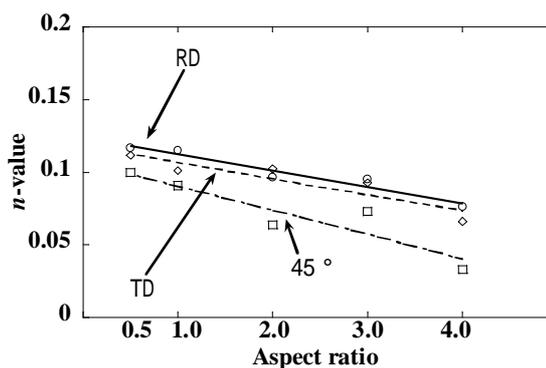


Fig. 14 n 値とアスペクト比における圧延方向の影響 (試験温度 150°C, 試験速度 $30\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)

次に絞りりに及ぼすアスペクト比の影響について示す。Fig. 15 に引張方向を TD、試験温度 200°C における各速度における各速度の絞りを示す。実験結果より絞りは、若干ではあるがアスペクト比が増加するとともに低下した。温度及び速度における影響については、どの引張方向においても温度上昇に伴い増加したが、速度の変化においては顕著に影響が現れなかった。

また引張方向の影響について Fig. 16 に試験温度 200、試験速度 $300\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ における各引張方向の絞りを示す。引張方向における影響は、誤差はあるがどの試験条件においても RD の絞りが最も高く、TD のものが最も低かった。

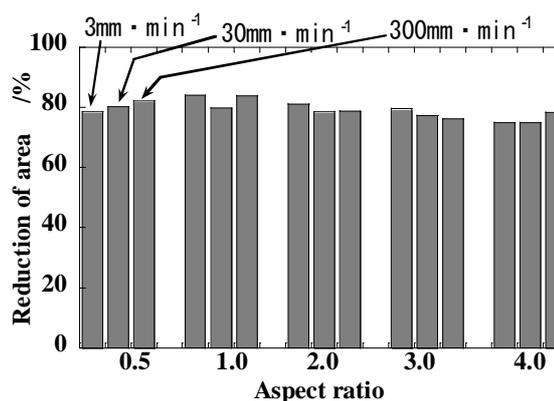


Fig. 15 絞りりとアスペクト比における試験速度の影響 (引張方向 TD, 試験温度 200)

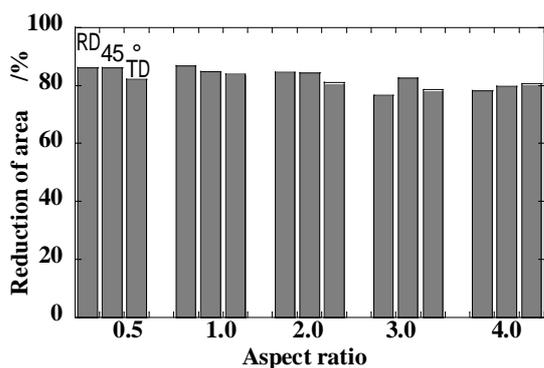


Fig. 16 絞りとアスペクト比における圧延方向の影響 (試験温度 200°C, 試験速度 300mm・min⁻¹)

4. 結 言

本研究では AZ31 マグネシウム合金板を用い、試験片のアスペクト比を種々に変化させた単軸引張試験を行った。試験片形状は、板材の引張試験で用いられる JIS 43B 形状よりアスペクト比を変化させ、5種類作成した。ただしアスペクト比はひずみ速度を一定にするため、平行部長さを一定とし、幅のみを変化させた。具体的には平行部のアスペクト比(幅/平行部長さ)を 6.25/60, 12.5/60, 25/60, 37.5/60 及び 50mm/60mm とした。

実験条件として、試験片の圧延方向を RD, 45° 及び TD とし、温度を 150, 200 及び 250°C の温度域にて、ひずみ速度を 10⁻⁴, 10⁻³ 及び 10⁻²s⁻¹ の3種類、計 27 種類を選択し、引張試験を行った。得られた実験結果をもとに AZ31 マグネシウムの機械的性質(変形抵抗, 0.2%耐力, 引張強さ, 延性, 加工硬化指数 *n* 値, ひずみ速度感受性指数 *m* 値, 絞り)に及ぼすアスペクト比の影響について比較, 検討しつつ温度及び速度依存性も確認した。以下に本研究で得られた知見を記す。

- 1) 0.2%耐力及び引張強さはアスペクト比の影響を顕著に示さなかった。また真応力-真ひずみにおける変形抵抗もアスペクト比の影響を顕著に示さなかったため、応力を示す機械的性質はアスペクト比の影響を受けないことが示された。
- 2) 破断伸びにおいては平行部幅が増加するにつれ破断伸びが増加することが示された。ただしこの延性の増加は局所伸びであり、均一伸びは変化しなかった。また速度及び温度変化において均一伸びは温度が高温になるにつれ速度上昇に伴い増加し、速度が低速になるにつれ温度上昇に伴い低下した。

- 3) Backofen 型構成式($\sigma = C\varepsilon^n$)における *n* 値は、温度が低下すると共にアスペクト比の変化による影響が顕著に示された。また引張方向における影響は RD が最も高く、45° が最も低くなった。
m 値は、アスペクト比の変化による影響を顕著に示さなかった。また 200°C 以上では増加せず、ほぼ一定の値となることが示された。
- 4) 絞りは若干ではあるがアスペクト比が増加するとともに低下した。以上の結果より延性を示す機械的性質はアスペクト比による影響を受けることが示されたため、シミュレーションに用いる場合は延性に注意すべきである。
- 5) 変形抵抗, 破断伸び, *n* 値においては温度及び速度依存性を確認することが出来た。
- 6) 引張方向の影響については、*n* 値 には見られるが、他の機械的性質には顕著に現れなかった。

参考文献

[1] 上森 武ほか: 塑性と加工 50-579 (2009-4), 29
 [2] 板倉 浩二: 塑性と加工 48-556 (2007-5), 47
 [3] 佐藤 千明: 塑性と加工 46-533 (2005-6), 6
 [4] 鎌土 重晴ほか: 塑性と加工 44-504 (2003-1), 3
 [5] 林 央ほか: 塑性と加工 25-280 (1984-5), 425
 [6] 沢田 孚夫: 塑性と加工 14-144 (1973-1), 26
 [7] 宅田 裕彦ほか: 塑性と加工 43-503 (2002-12), 55
 [8] 高津 正秀ほか: 塑性と加工 49-566 (2008-3), 49