

マグネシウム合金板材の面内二軸応力場における変形挙動

OGAWA, Ichiro / 小川, 一郎

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00009901>

マグネシウム合金板材の面内二軸応力場における変形挙動

THE DEFORMATION BEHAVIOR IN THE IN-PLANE BIAXIAL STRESS FIELD OF MAGNESIUM ALLOY SHEET

小川一郎

Ichiro OGAWA

指導教員 大澤泰明

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

Attention to non-ferrous light metal material such as Al or Mg alloys are more increasing than before, for manufacturers such as car or plane are aiming to improve fuel efficiency by weight reduction. Mg alloy has excellent mechanical properties, it is expected as a material for the next generation. However, usually Mg alloy is molded at a high temperature, because the structure is HCP, that formability in under temperature is poor.

One of the problem for forming, there is an occurrence of the cavity, because cavity cause premature failure, which effects the properties of the finished product. This paper considered the behavior of the cavity at a high temperature and air blow cooling test in biaxial stress.

1. 諸言

自動車を中心とした輸送機器メーカーは”燃費性能の向上”をひとつの目標として技術の革新を日々行っている。その手段の一つが車体の軽量化であり、使用頻度が高い鉄に代わる工業材料としてアルミニウム合金やマグネシウム合金といった軽金属材料をすることで車体軽量化を計るのもその方法のひとつである。軽金属材料の中でもマグネシウム合金は特に優れた機械的特性を持っているが、HCP材料であるため常温での加工が難しく高温下で加工される。その問題点としてキャビティの発生が挙げられる。なぜならキャビティの増加は早期破壊の原因であり、完成品の品質に大きくかかってくるからだ。キャビティの発生を抑える方法を発見することによって強度や完成品の寿命の向上が期待できる。

本研究は二軸試験器を用い、高温と降温中にて面内二軸試験を行いキャビティの挙動を広範囲なひずみ比の中で検討した。

2. 実験

(1) 面内二軸試験

広範囲なひずみ比の中でキャビティを観察するにあたって二軸試験機を用いた(図1)。この試験機は各軸にモーターとロードセルがついていて、直交する2つの軸の荷重を測定できる。また、軸ごとに速度を変えての試験が可能であり、速度比を変えることにより様々なひずみ比 β での試験が可能である。

試験片の R. D. 方向の軸の速度を C. H. S. 2mm/min に設定し、T. D. 方向を速度比(1.0 0.8 0.6 0.4 0)となるような速度で試験を行った。

高温、降温試験を行うために試験片取り付け位置の下にヒーターと冷却装置を設置した(図2)。空気流量を調節し試験時に一定流量で試験片を降温した、試験中の温度変化を図3~4に示す。

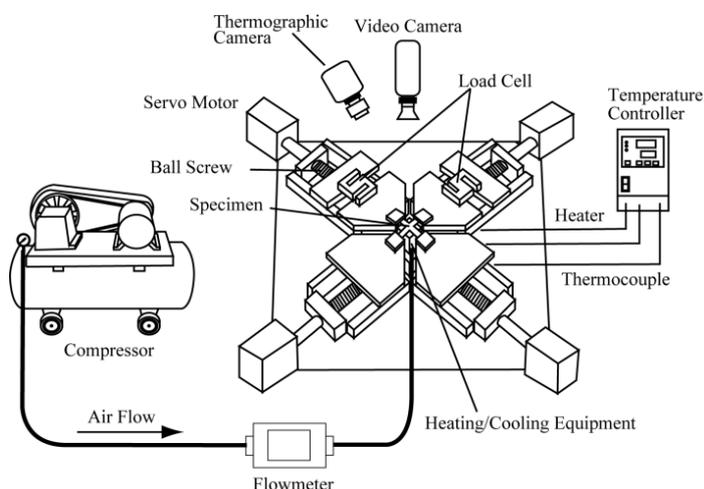


Fig.1 The assembled test apparatus

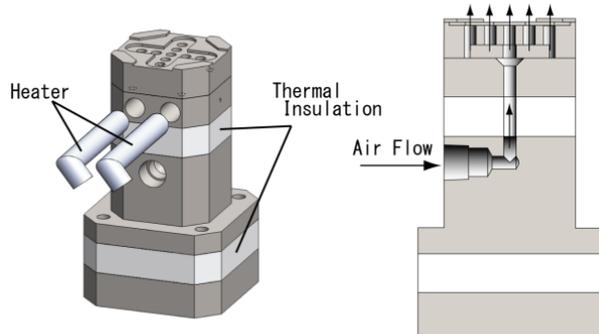


Fig.2 Heating / cooling equipment in detail

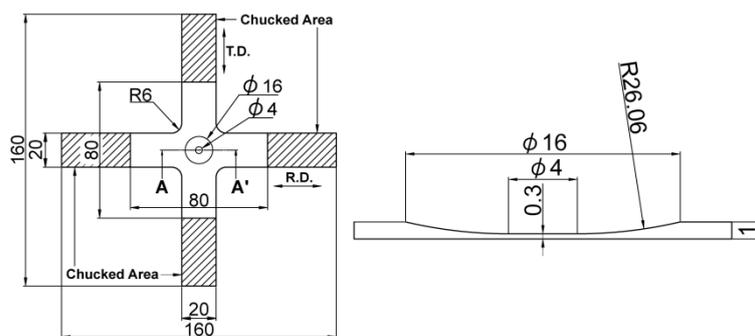


Fig.5 Geometry of cruciform specimen

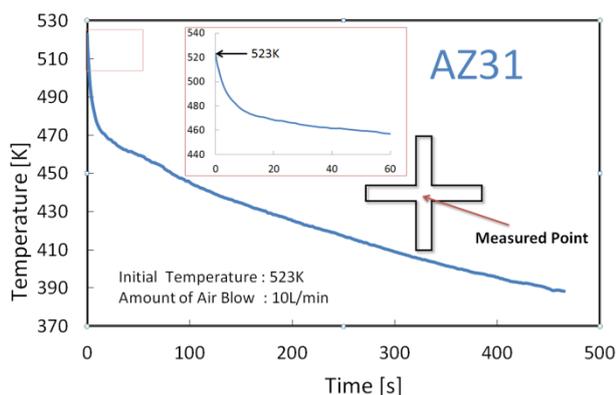


Fig.3 Temperature decent at center of specimen in air blow cooling test (AZ31)

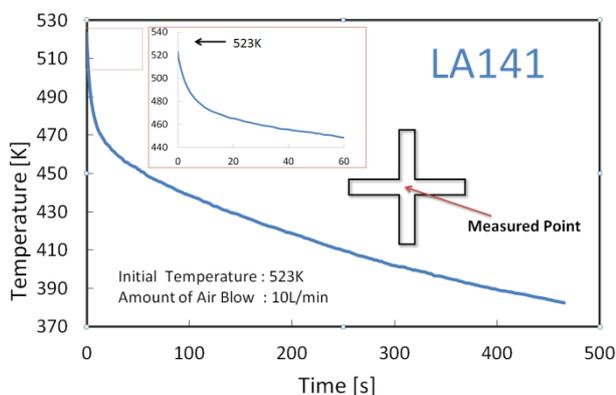


Fig.4 Temperature decent at center of specimen in air blow cooling test (LA141)

(2) 試験片

今回の試験ではマグネシウム合金 AZ31, LA141 を用いて実験する. ワイヤ放電加工機にて十字型に切り出し, CNC 旋盤により中心部を切削した(図 5). 中心部を同じ曲率で勾配をつけることにより中心部で破断が起るよう試験片を設計した.

(3) ひずみ経路図の作成

試験片に 2mm のグリッドの正方格子状のスクライドサークルパターンをプリントし面内二軸試験を行った. 試験の様子をビデオカメラで撮影し, 動画を 10 分割の画像に変換し, その時のグリッドの変化量から以下の式でひずみを算出した. ϵ_1 は最大主ひずみであり, ϵ_2 は最小主ひずみを指す.

$$\epsilon_1 = \ln \frac{l}{l_0} \quad (1)$$

$$\epsilon_2 = \ln \frac{w}{w_0} \quad (2)$$

(4) 降温プロセス

定常温度場(527K)と降温プロセスでキャビティの挙動に差がでるか観察する. 降温プロセスとは温度依存性を含む構成方程式と塑性不安定論を組み合わせ, 加工中に意識的な温度低下を与えることによって一様変形の増加を計るものである (図 6).

一様変形の増大がキャビティに与える影響は未知数であるため, 本実験では二つの温度場で比較することにより, 降温プロセスがキャビティに対しても有効であるかを検討する.

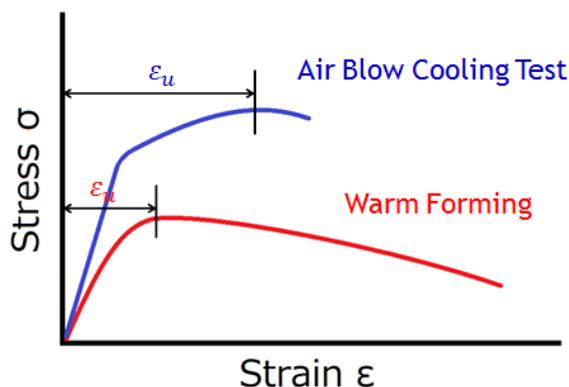
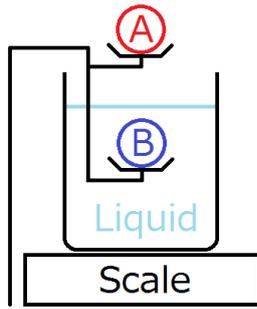


Fig.6 Example of stress strain graph

(5) キャビティの算出



キャビティは液中秤量法を用い算出した(図7).
 大気中の質量 M_a と液中の質量 M_b をそれぞれ量り、大気と液体の比重差から試料の比重を算出する。本来は水を用いることが好ましいが、マグネシウムとの比重差を考慮し今回はエタノール(純度99%)を用いた。比重は次式で算出した

$$\rho' = \left(\frac{M_a}{M_a - M_b} \right) \times (\rho_w - \rho_a) \quad [\text{g/cm}^3] \quad (3)$$

$$C_v = 100 - \left(\frac{\rho'}{\rho} \times 100 \right) \quad [\%] \quad (4)$$

(6) ビッカース硬さ試験

マイクロビッカース硬さ試験機を用い、キャビティの推移と共に硬さを測定した。被測定物に四角すいのダイヤモンドを押し付け、できたくぼみの対角線 $d(\text{mm})$ から求めた接触面積で、その材料の硬さとする。

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (F: \text{試験力}[\text{N}]) \quad (5)$$

3. 実験結果

(1) ひずみ経路

AZ31 と LA141 の面内二軸試験の高温と降温それぞれのFLDを図8~11に示す。ここで、FLCは破断限界曲線(Forming Limit Curve)を意味する。AZ31は高温と降温どちらも $\beta=0.6$ 付近で特徴的な最大主ひずみが確認でき、降温すると絞り領域のひずみの増大がみられた。そしてどちらの材料の絞り領域も降温すると最小主ひずみが増加する傾向が見られた。

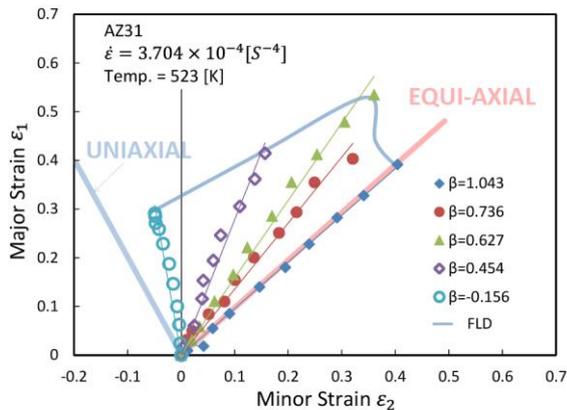


Fig.8 In-plane stretching strain paths diagram of AZ31

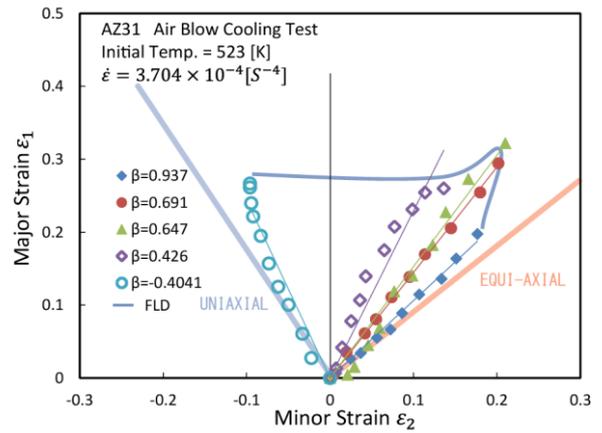


Fig.9 In-plane stretching strain paths diagram of AZ31

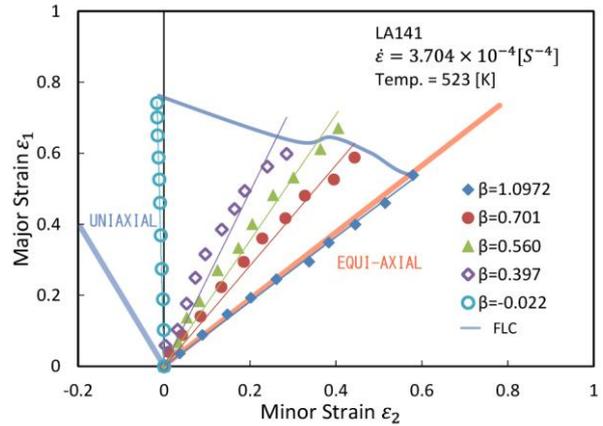


Fig.10 In-plane stretching strain paths diagram of LA141

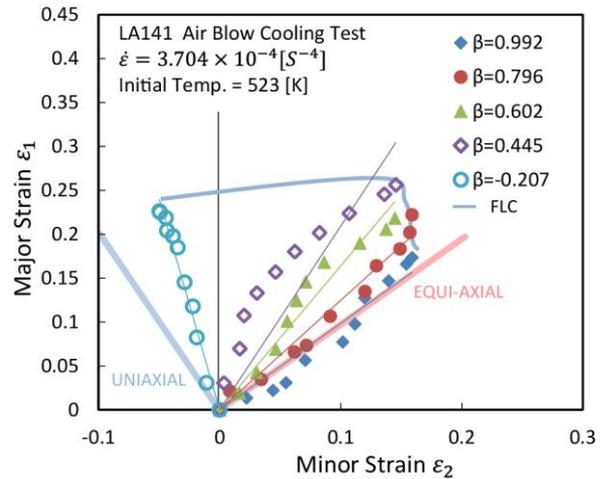


Fig.11 In-plane stretching strain paths diagram of LA141

(2) キャビティの推移

縦軸にキャビティの変化率, 横軸に相当ひずみを取り各ひずみ経路ごとのキャビティの推移を図 12~15 に示す. どちらの材料もひずみが増加すると共に Cv も増加していることがわかる. 絞り領域以外ではほぼ同様に Cv が増加するという傾向がみられた.

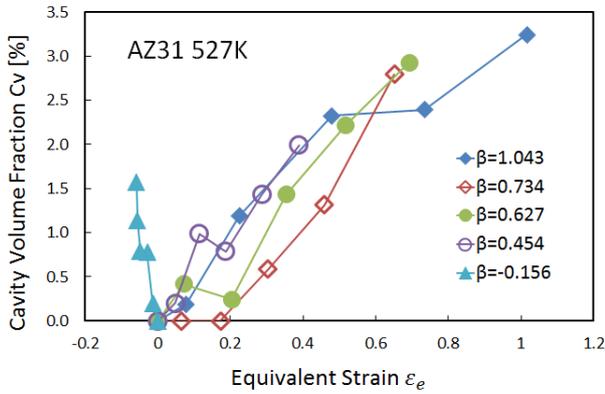


Fig.12 Cavitation of In-plane stretching

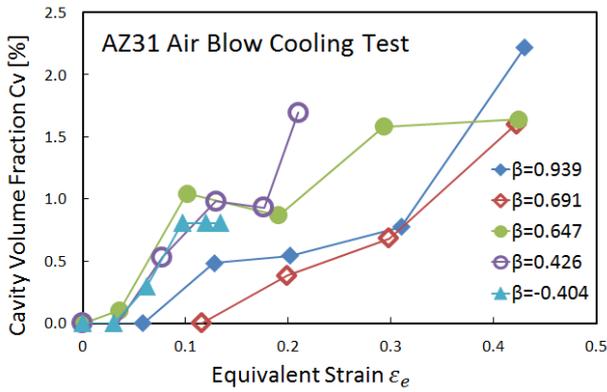


Fig.13 Cavitation of In-plane stretching

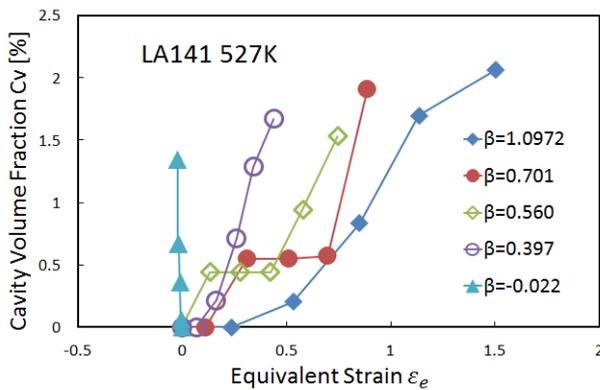


Fig.14 Cavitation of In-plane stretching

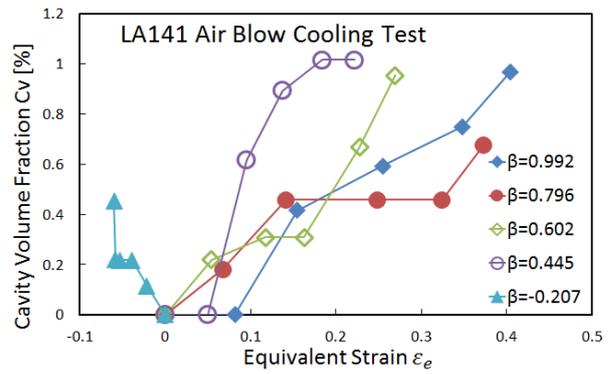


Fig.15 Cavitation of In-plane stretching

(3) ビッカース硬さ

縦軸にビッカース硬さ, 横軸に相当ひずみをとった図 16~20 を以下に示す. 4つのグラフとも絞り領域以外ではほぼ同様の挙動が確認できた.

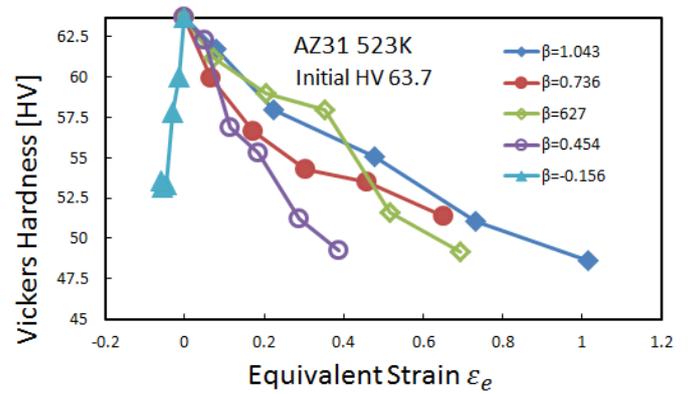


Fig.16 Vickers hardness Graph (AZ31)

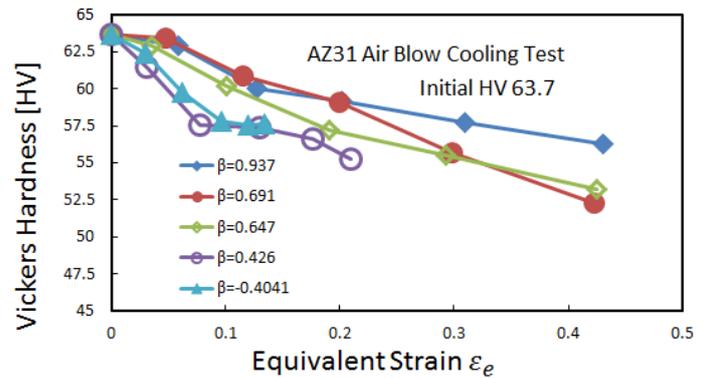


Fig.17 Vickers hardness Graph (AZ31)

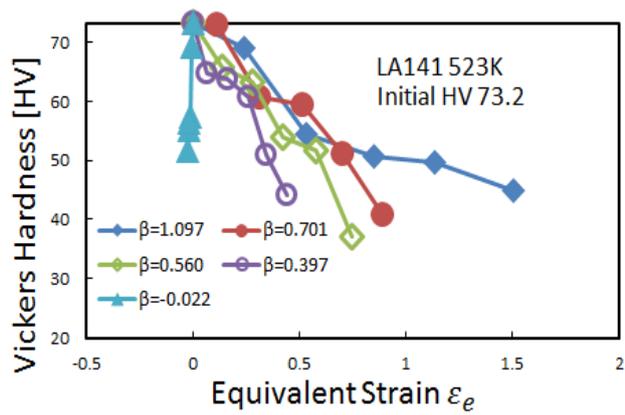


Fig.18 Vickers hardness Graph (LA141)

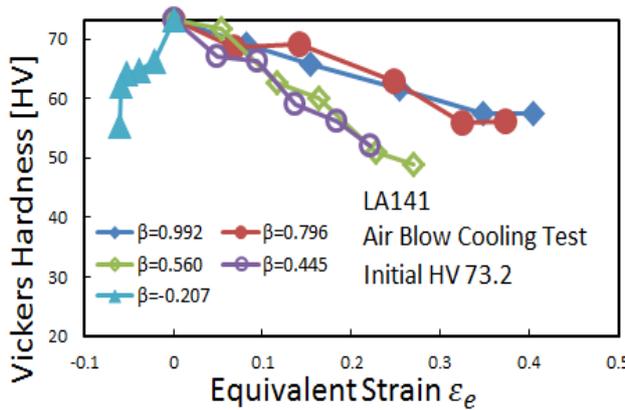


Fig.19 Vickers hardness Graph (LA141)

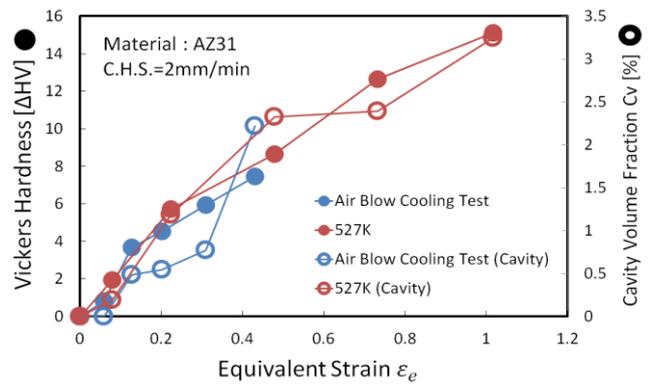


Fig.20 Cavity and Vickers Hardness of AZ31

謝辞

本研究の遂行にあたり終始、ご指導下さいました法政大学大学院工学研究科機械工学専攻 大澤 泰明教授に、深く感謝の意を表すとともに、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 与沢将司 面内二軸変形における FLD に及ぼす降温プロセスの影響 法政大学修士論文 2012
- 2) 山崎涼平 金属板材の面内/面外 2 軸変形挙動に及ぼす試験片形状・寸法の影響 法政大学修士論文 2011
- 3) 掛巢義剛: アルミニウム合金 A5052 の面内変形挙動, 法政大学工学部卒業論文 2013
- 4) 石田堅司: キャビティ率に及ぼすガス圧負荷経路の影響, 法政大学大学院工学研究科修士論文 2000

4. 結言

図 20 に注目すると HV と Cv の値が二つの温度場で値は違うが同じ軌道をたどって増加していることがわかる。すなわち降温プロセスがキャビティに与える影響はほぼないといえる。

LA141 に関してはキャビティ測定時の液体と試料との比重差が非常に小さかったために正確な数値をとることができなかった。またビッカース硬さにおいては AZ31 と比較して大きく変動したが、 $\epsilon = 0$ 時の HV=73.2 は板材の時点よりもだいぶ大きい、中央部を切削するさいに加工硬化が起きてしまったと推測される。2つの問題の解決策として試験片の形状を変えるか別の方法で比重を測定する必要があると感じた。

今回の実験で絞り領域の二軸変形においてキャビティが成長しづらく硬さも落ちない、すなわちモノづくりに適した変形であることがわかった。金型や成形のプロセスに押し固める様な挙動(圧縮)を加えることが品質の向上につながるのではないかと考える。