

アルミニウム合金板の塑性異方性がしわ発生に及ぼす影響

石川裕紀

指導教員 吉田健吾 准教授

1. 緒言

深絞り加工は、板材を容器形状に成形する加工方法として広く用いられている。深絞り加工では、板材を円筒に絞る際に円筒の側壁部やフランジ部にしわが発生する。このしわは圧縮力による板の座屈現象であり、金属加工における成形不良の一種である。しわの発生を抑制するためには、材料を加工する前にしわの発生形状を予測する必要がある。

過去の研究として、吉田ら⁽¹⁾は正方形に切り出した軟鋼板の試験片を対角線方向に引張試験し、しわの発生と荷重条件や材料特性との関係を調査した。また Kim ら⁽²⁾は、チャックつかみ部にグリッパを付けた試験片を引張試験し、試験片の縦横比を変化させた際のしわの大きさや、発生する時期の差異について調査した。これらの研究では、試験片の縦横比や試験条件を変更した際のしわの大きさや発生時期について調査しているが、異方性との関係については明らかになっていない。

本研究では、アルミニウム合金板 A5052 と A6016 を用いて、試験片のチャックつかみ部における滑りを小さくし、かつしわ発生前で破断の生じない試験片を製作する。その試験片を用い、試験片中央部に発生するしわの評価を行う。幅方向の長さを変えた試験片の引張試験を行い、試験片の縦横比としわの関係を明らかにする。さらに、圧延方向からの角度を変えた試験片の引張試験を行い、塑性異方性がしわ発生に及ぼす影響について明らかにする。

2. 実験方法

2.1 デジタル画像相関法 (DIC 法)

本実験では DIC 法を用いて変位及びひずみ測定を行った。試験片の表面に作製したランダムパターンを CCD カメラで撮影し、変形前後のランダムパターンの相関から変位を求めた。さらに、その変位分布からひずみ分布を求めた。撮影範囲を 100×80 mm、フレームレートを 1.0/s とした。

2.2 引張試験

供試材は厚さ 1.0 mm の A6016 及び A5052 の圧延板である。試験片形状を Fig. 1 に示す。Fig. 1 より、応力集中による破断を防ぐため、試験片のチャックつかみ部先端から試験片中央部までを $R = 40$ mm とした。試験片の縦横比としわの関係を調査するため、幅方向の長さ $W = 80, 70, 60, 50$ mm の 4 種類の試験片を用いた。

Fig. 2 に A6016 及び A5052 の R 値分布を示す。ここで、引張方向と圧延方向のなす角度を θ とする。Fig. 2 より、A6016 では $\theta = 0^\circ$ の R 値に対して $\theta = 45^\circ$ の R 値と差が最も大きい。また A5052 では、 $\theta = 0^\circ$ の R 値に対して $\theta = 90^\circ$ の R 値との差が最も大きい。そのため、A6016 では $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ 、A5052 では $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ の試験片を製作した。製作した試験片をそれぞれ引張試験することで、異方性がしわ発生に及ぼす影響を調査する。各試験条件に対して 3 回ずつ引張試験を行った。チャック変位速度は 4 mm/min である。

2.2 しわの評価方法

試験片中央部に発生したしわの大きさを評価するため、しわの高さ及び引張方向ひずみを測定した。Fig. 1 より、試験片の中心を点 D とし、その座標を $D(x_D, y_D, z_D)$ とする。次に D 点から引張方向に前後 25 mm とり、2 点を標点とする。この標点間 $l = 50$ mm の伸び λ より、引張方向のひずみを λ/l と定義

した。続いて Fig. 1 より、 D 点から幅方向に前後 20 mm とり、それぞれ点 A, B とした。この点 A, B の座標を $A(x_A, y_A, z_A)$ 、 $B(x_B, y_B, z_B)$ とすると、2 点間の中点は $(\frac{x_A+x_B}{2}, \frac{y_A+y_B}{2}, \frac{z_A+z_B}{2})$ で表される。この中点を点 C とする。点 C と点 D は試験前では座標が一致しているが、引張試験によって試験片中央部にしわが発生すると、互いの座標に差が生じる。Fig. 3 に、しわが発生した後の Fig. 1 の M-M 断面図を示す。Fig. 3 より、点 C と点 D の 2 点間距離をしわ高さ h と定義し、以下の式(1)で表す。

$$h = \sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2 + (z_D - z_C)^2} \tag{1}$$

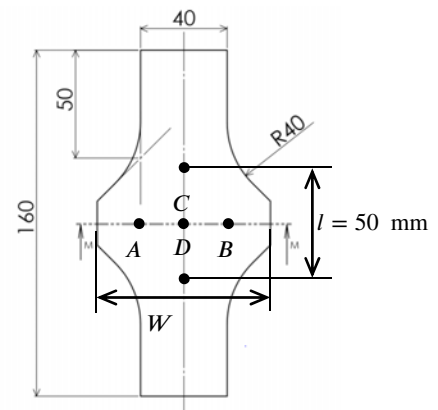


Fig. 1 The specimen shape

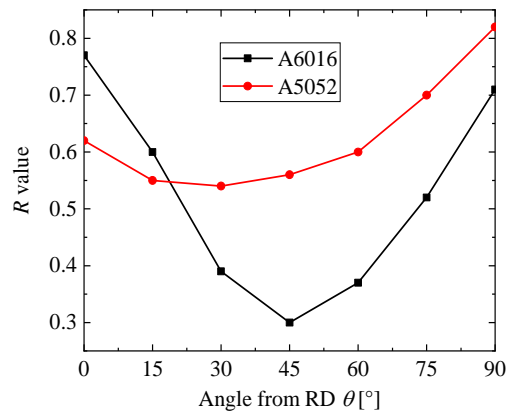


Fig. 2 R value for θ

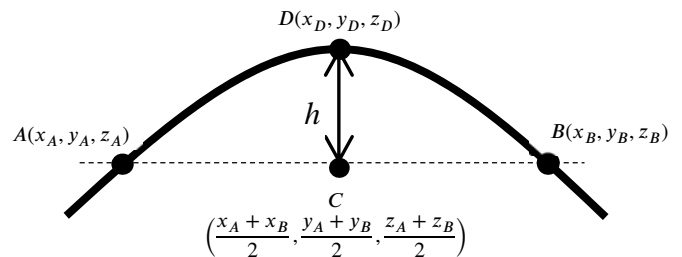


Fig. 3 The wrinkle shape

3. 実験結果

Fig. 4 に A6016, 幅 $W = 70$ mm, $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ のしわ高さ-ひずみ曲線を示す。Fig. 4 より, $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ 共にひずみの増加に伴い, しわ高さが上昇している。このグラフから異方性の影響を調査ため, $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ の試験片に対し, 点線で示した $\lambda/l = 0.03$ 時のしわ高さを比較する。Fig. 5 に A6016, $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ のしわ高さを示す。ここで, Fig. 5 は 3 回の実験によって得られたしわ高さ, その平均値を各幅 W ごとに記載している。Fig. 5 より, $\theta = 0^\circ$ と 45° 共にしわ高さのばらつきが大きく実験の再現性が低いことが分かる。プロット点の傾向を見ると, 幅 W の値が大きくなるにつれしわ高さが上昇する傾向があり, $W = 50$ mm の試験片ではしわが発生していないことが分かる。また $\theta = 0^\circ$ と 45° のしわ高さの平均値を比較すると, $\theta = 45^\circ$ の方が値が大きい。つまり, R 値の小さい方がしわが大きくなる結果となった。そこで A6016 において, $\theta = 0^\circ$ と 45° の引張試験中の幅方向ひずみを比較した。 $\theta = 45^\circ$ は $\theta = 0^\circ$ に比べ, 試験片中央部に発生する圧縮ひずみ分布領域が広がった。

次に Fig. 6 に A5052, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ のしわ高さを示す。Fig. 6 より, A5052 も A6016 同様にしわ高さのばらつきが大きく, 実験の再現性が低いことが分かる。また A6016 とは異なり, A5052 は幅 W が広くなるにつれ, しわ高さが上昇する傾向が見られなかった。 $\theta = 0^\circ$ と 90° のしわ高さの平均値を比較すると, $W = 70$ mm では $\theta = 90^\circ$ の方がしわ高さが大きかったが, 他の幅 W ではしわ高さにあまり違いがなかった。つまり, A5052 で発生するしわは R 値の影響を受けにくいことが分かる。Fig. 5 と Fig. 6 を比較すると, A5052 は A6016 に比べてしわ高さが小さく, しわの発生しにくい材料であることが分かる。

4. 考察

A6016 と A5052 共に, 引張試験によって発生するしわの再現性は低かった。Kim⁽²⁾ らはしわの発生と成長は材料の機械的性質や試験機との接触状態など多くの因子に影響されると述べている。また, しわの挙動はこれら因子のわずかなずれによって大きな誤差が生じるとも述べている。本実験では, 試験片を手動で取り付けているため, 引張方向に対し試験片が完全な平行方向に取り付けられていない実験の不完全さがある。そのため, 引張試験によって発生したしわはこのような不完全さの影響を受け, 再現性が低くなったと推測した。

また A6016 では $\theta = 0^\circ$ よりも $\theta = 45^\circ$ の方が試験片中央部に発生する圧縮ひずみ分布領域が広がった。つまり, R 値の小さい方が試験片中央部に発生する圧縮応力分布が広いため, 結果としてしわ高さの値が大きくなると推測した。

Kim⁽²⁾ らは SPCC の試験片において, 幅が広くなるにつれしわ高さの値が大きくなると述べていた。同様の結果が A6016 で得られたが, A5052 はその傾向が見られなかった。つまり, A5052 が引張試験によってしわを発生させるためには, $W = 80$ mm 以上の幅の広い試験片で引張試験を行う必要があると推測される。

5. 結言

- (1) A6016 は試験片幅方向の長さ W が小さいほど, しわ高さが小さくなる。また, $W = 50$ mm の試験片ではしわが発生しない。
- (2) しわは異方性の影響を受け, R 値が小さい方がしわ高さが大きくなる。
- (3) A6016 と A5052 では, A6016 の方がしわ高さは大きい。
- (4) しわ高さは実験による再現性が低く, ばらつきが大きい。

参考文献

- 1) 吉田清太, 塑性と加工, vol.24, no272(1983-9)
- 2) J.B. Kim and D.Y. Yang, International Journal of Mechanical Sciences 42 (2000) 1683-1714

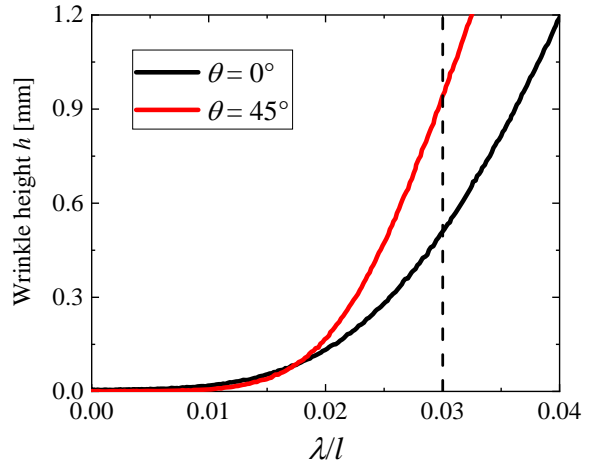


Fig. 4 Wrinkle height-Engineering strain curve for $\theta = 0^\circ$ and $\theta = 45^\circ$ (A6016, $W = 70$ mm)

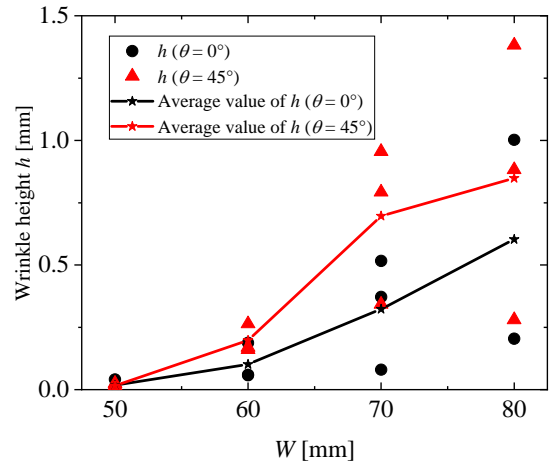


Fig. 5 Wrinkle height for $\theta = 0^\circ$ and $\theta = 45^\circ$ (A6016)

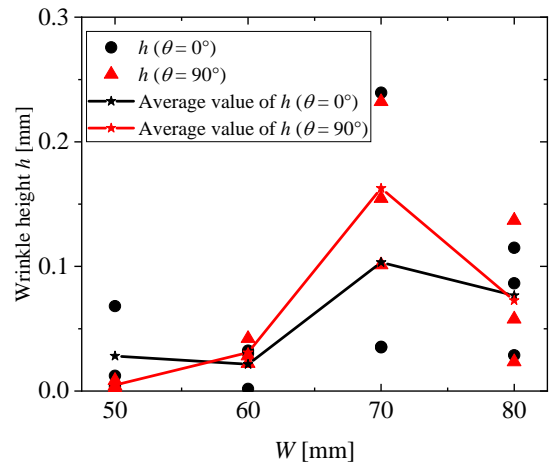


Fig. 6 Wrinkle height for $\theta = 0^\circ$ and $\theta = 90^\circ$ (A5052)