

大型単軸引張試験治具を用いた交差効果の測定

静岡大学工学部機械工学科 Mi3 50610158 宮崎 俊弥
指導教員 吉田健吾 准教授

1. 緒言

金属に引張負荷を与えた後、様々な方向に引張試験を行うと、応力-ひずみ曲線が引張方向によって異なる交差効果が現れる。プレス加工を多段階で行う場合、成形中にひずみ経路が変化するため、交差効果が発生する。交差効果を考慮した成形シミュレーションによる変形挙動の予測は、部品の設計において重要である。

近年の研究により、低炭素鋼や、1000系アルミニウム合金において、ひずみ経路を変更した後の応力-ひずみ曲線の挙動を精度良く予測したことが報告された¹⁾。しかし、5000系アルミニウム合金では、精度良く予測されていない²⁾。5000系アルミニウム合金において、ひずみ経路変化後の応力-ひずみ曲線を高精度に予測するために、ひずみ経路が変化する場合で実験することが必要である。

本研究では、A5052-O材の交差効果の測定を目的とする。単軸引張により予ひずみを付与した板材から様々な方向に試験片を切り出し、単軸引張試験を行った。実験結果より、真応力-対数塑性ひずみ曲線、 r 値を算出し、単調引張の実験結果と予ひずみを付与した後の実験結果を比較することで交差効果を評価した。

2. 実験方法

2.1 予ひずみの付与

島津製 AUTOGRAPH AG-100kND に取付け可能な大型単軸引張試験治具を設計、製作した。製作した治具を用いて、Fig. 1 に示すチャック部の幅が 150 mm、平行部の幅が 110 mm、長さが 200 mm の大型試験片にひずみが ϵ_0 に達するまで負荷した。引張方向は、圧延方向であり、供試材は厚さ 1.0 mm の A5052-O 材である。チャック変位速度は、12.0 mm/min として、チャック変位が 14 mm, 28 mm, 41 mm の時に負荷を停止させた。このとき、負荷されたひずみ ϵ_0 は約 0.05, 0.10, 0.14 であった。

2.2 単軸引張試験

予ひずみを付与した大型試験片から小型の引張試験片を切り出した。試験片形状は JIS13 号 B の相似形状とし、縮尺は 60% とした。チャック変位速度は、2.16 mm/min である。Fig. 1 に示すように、変形前の大型試験片において、圧延方向と小型試験片のなす角 α が $\alpha = 0^\circ, 55^\circ, 90^\circ$ となるように大型試験片の中央部の $100 \times 140 \text{ mm}^2$ の領域から切り出した。切り出した領域のひずみ分布は Table 1 に示す範囲内であった。ここで、 ϵ_{xx} は圧延方向の対数ひずみ、 ϵ_{yy} は圧延直角方向の対数ひずみである。

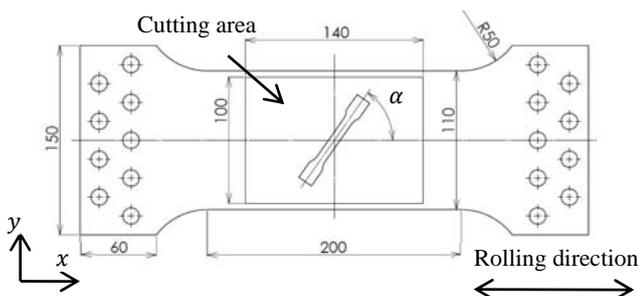


Fig. 1 Large-scale uniaxial tensile test specimen

Table 1 Range of strain in cutting area

		ϵ_{xx} [-]	ϵ_{yy} [-]
Pre-strain[-]	0.05	0.047 ± 0.005	-0.019 ± 0.003
	0.10	0.10 ± 0.02	-0.039 ± 0.005
	0.14	0.14 ± 0.03	-0.058 ± 0.009

3. 実験結果

3.1 真応力-対数塑性ひずみ曲線

実験より得られた真応力-対数塑性ひずみ曲線を Fig. 3 に示す。それぞれ、 $\alpha = 0^\circ, 55^\circ, 90^\circ$ の実験結果を示す。図中に、予ひずみを付与していない実験結果および 3 種類の予ひずみ ϵ_0 を付与した実験結果を示す。また、破線は、再負荷開始時の対数塑性ひずみであり、応力-ひずみ曲線が破線から逸脱したとき降伏している。 $\alpha = 0^\circ$ の場合は、全ての予ひずみにおいて、再降伏直後の流動応力は、単調引張の流動応力より減少した。その後、単調引張と同程度となった。 $\alpha = 55^\circ$ の場合は、全ての予ひずみにおいて、再降伏直後の流動応力は、単調引張のそれより減少し、応力-ひずみ曲線は緩やかに遷移した。その後、流動応力は、単調引張より大きくなった。つまり、交差効果が発現した。 $\alpha = 90^\circ$ の場合は、全ての予ひずみにおいて、再降伏直後の流動応力は、単調引張より減少し、応力-ひずみ曲線は、緩やかに遷移した。その後の流動応力は、予ひずみが $\epsilon_0 = 0.05$ の場合は、単調引張よりも大きくなり、 $\epsilon_0 = 0.10, 0.14$ の場合は、同程度となった。

次に、除荷後の対数塑性ひずみを 0 として、対数塑性ひずみ ϵ^P が、 $\epsilon^P = 0.002, 0.005, 0.010, 0.020, 0.025, 0.030$ となる時の流動応力 σ_a および、そのときの単調引張の流動応力 σ_b を求め、 σ_b に対する σ_a の変化率 R を以下の式(1)より算出した。

$$R = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\sigma_b} \times 100 \quad (1)$$

予ひずみ $\epsilon_0 = 0.14$ に対して R を算出した結果を Fig. 4 に示す。すべての切り出し角度 α において、 $\epsilon^P = 0.002 \sim 0.020$ のとき、 ϵ^P が増加するにつれ、 R は増加し、 $\epsilon^P = 0.025, 0.030$ のとき、飽和する傾向が見られた。ここで、飽和するとは、応力-ひずみ曲線において、緩やかな遷移が終わったことを意味する。この傾向は、 $\epsilon_0 = 0.05, 0.10$ の結果でも同様に見られた。

そこで、飽和していない $\epsilon^P = 0.002$ のときと、飽和した $\epsilon^P = 0.030$ のときの応力変化率 R を用いて交差効果を評価した。 $\epsilon^P = 0.002, 0.030$ のときの R を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、 $\alpha = 55^\circ$ において、 $\epsilon^P = 0.002, 0.030$ とともに、予ひずみが小さい方が R が大きくなった。つまり、予ひずみが小さい方がより顕著に交差効果の影響が現れた。 $\alpha = 90^\circ$ において、 $\epsilon^P = 0.030$ のときの R は、全ての予ひずみで正であり、 $\alpha = 90^\circ$ の場合も、交差効果により予ひずみを付与した後の流動応力が単調引張より大きくなった。角度 α による R の差に着目すると、 $\alpha = 55^\circ$ のとき、 R が最大であり、交差効果の影響が顕著に現れていた。

3.2 r 値

r 値を以下の式(2)より算出した。

$$r = \frac{\epsilon_w^P}{-\epsilon_l^P - \epsilon_w^P} \quad (2)$$

ここで、 ϵ_l^P は、長手方向の対数塑性ひずみ、 ϵ_w^P は、幅方向の対数塑性ひずみである。算出した結果を Fig. 6 に示す。Fig.

6は、それぞれ $\alpha = 0^\circ, 55^\circ, 90^\circ$ の実験結果である。同図に、予ひずみを付与していない実験結果および、3種類の予ひずみ ε_0 を付与した実験結果を示す。 $\alpha = 0^\circ, 55^\circ$ の場合は、予ひずみを付与した後の r 値は、単調引張と同程度であり、対数塑性ひずみの大きさによらず、一定値となる傾向が見られた。このことから、 $\alpha = 55^\circ$ において、交差効果による r 値の変化は見られなかった。 $\alpha = 90^\circ$ の場合は、全ての予ひずみにおいて、予ひずみを付与した後の r 値は、単調引張よりも増加し、対数塑性ひずみが増加するにつれ、減少する傾向が見られた。

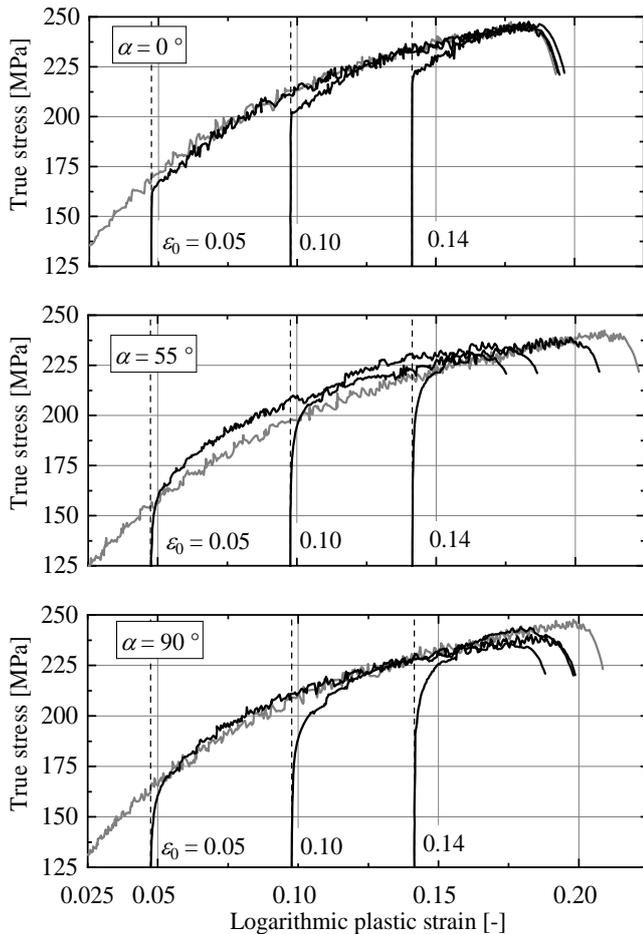


Fig. 3 True stress-logarithmic strain curves for each ε_0

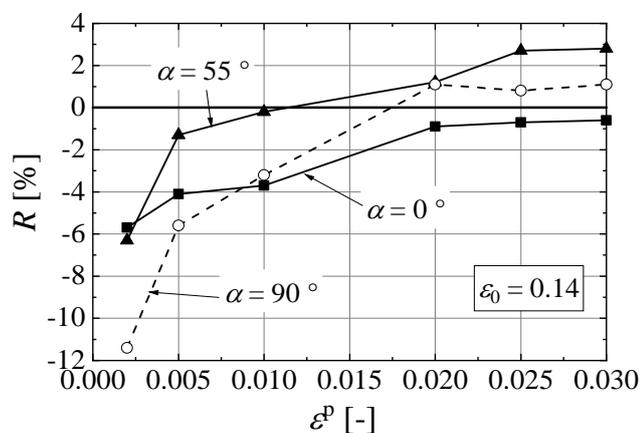


Fig. 4 $R-\varepsilon^p$ curves

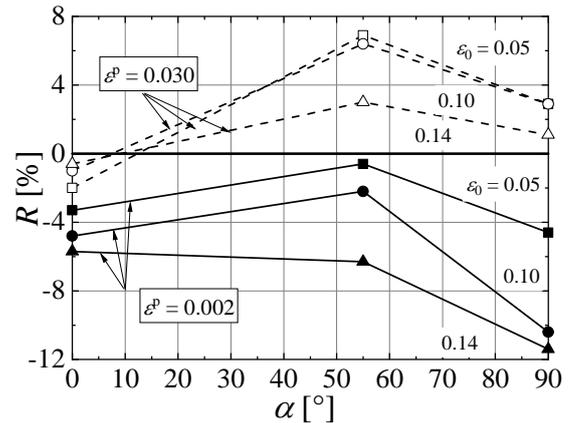


Fig. 5 $R-\alpha$ curves

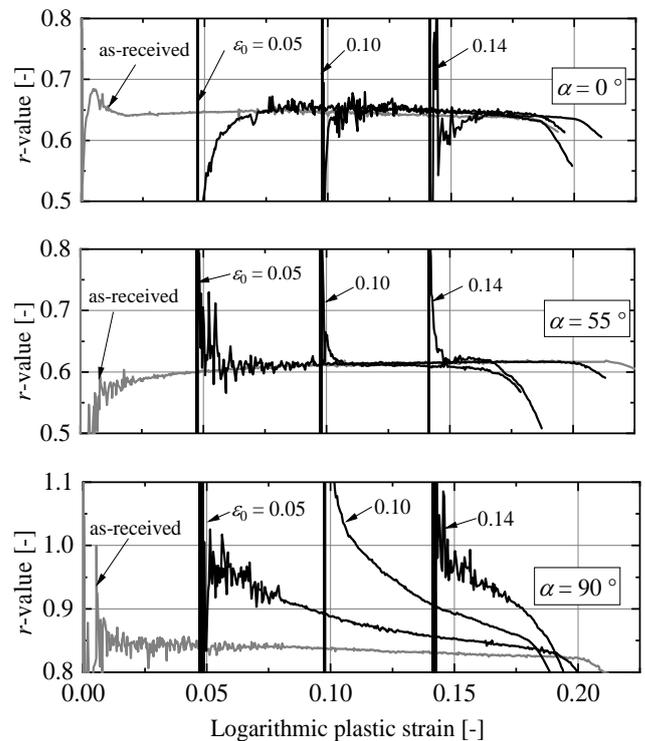


Fig. 6 r -value curves

4. 結言

A5052-O 材の交差効果の測定より、以下の知見を得た。

- (1) ひずみ経路の変化により、再降伏直後の流動応力は低下した。
- (2) $\alpha = 55^\circ, 90^\circ$ のとき、交差効果により、流動応力は単調引張よりも大きくなり、 $\alpha = 55^\circ$ のとき、応力の増加率が最も大きくなった。
- (3) 真応力-対数塑性ひずみ曲線において、交差効果の影響は、予ひずみが小さいとき、より顕著に現れた。
- (4) $\alpha = 55^\circ$ のとき、交差効果による r 値の変化は観察されなかった。

5. 参考文献

- 1) Qin, Holmedal, Hopperstad, International Journal of Plasticity, 101, (2018), 156-169
- 2) Wang, Yan, Wan, Wu, International Journal of Solid and Structures, 49, (2012), 3693-3710