

引張試験とせん断試験を用いた A5052-O 板の交差効果の測定

NGUYEN SON CANH
指導教員 吉田健吾 准教授

1. 緒言

材料を変形させた後、異なる方向に負荷すると、降伏応力や流動応力などが変化する現象を交差効果という。自動車ドアや家電部品などは多段階でプレス加工されることが多く、その加工過程で材料のひずみ経路が変化するため、交差効果が発生する。したがって、多段階の負荷で発現する交差効果を把握することは、部品設計において重要である。

近年、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報告されている。米村ら⁽¹⁾は、IF 鋼板と複合組織鋼板の試験片に対して、単軸引張試験で予ひずみを付与した後、単純せん断試験を行った。その結果、IF 鋼板のみ 2 次変形の降伏応力が変化をした。また、Barlat ら⁽²⁾は、AA1050-O に対して、同様の実験を行った。結果として、予ひずみを付与すると、単純せん断の場合より低い応力で降伏し、その後単調曲線と比較してより速く硬化した。

以上の研究より、交差効果は材料によって異なる。そのため、本研究では A5052-O 材における交差効果の測定を目的とする。初めに、材料の圧延方向に対して単軸引張試験を行い、予ひずみを付与する。次に、試験片を圧延方向からさまざまな方向に沿って切り出し、単純せん断試験を行う。その実験結果から、応力-ひずみ曲線と応力-塑性仕事曲線を計算して、単調せん断試験の結果と予ひずみを付与した試験片の単純せん断試験の結果を比較することで交差効果を検討する。

2. 実験方法

2.1 予ひずみの付与

Fig. 1 に大型試験片の寸法を示す。チャック部の幅が 70 mm、平行部の幅が 50 mm、長さが 140 mm である。破線で囲まれる測定領域は試験片中央部の 130 mm×48 mm である。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、0.1 mm/sec として、チャック変位が 20 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 0.10 であった。

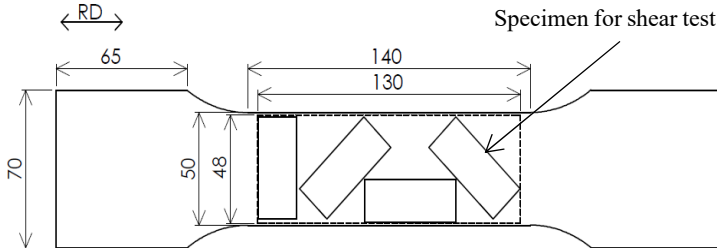


Fig. 1 Large-scale uniaxial tensile test specimen

2.2 単純せん断試験

予ひずみを付与した大型試験片から小型のせん断試験片を切り出した。チャック変位速度は、0.037 mm/sec である。Fig. 1 に示すように、変形前の大型試験片において、大型試験片から、 $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の 4 つ方向でせん断試験片を切出す。ここで、 α は 1 次変形の引張方向と 2 次変形のせん断方向のなす角度である。切り出した領域のひずみ分布は Fig. 2 に示す。ここで、 ϵ_{11} は圧延方向の対数ひずみである。Fig. 2 より、試験片を切出す領域のひずみ分布は $\epsilon_{11} = 0.1 \pm$

0.01 である。

ひずみ経路の変化が加工硬化に及ぼす影響は、Schmitt ら⁽³⁾が提案したパラメータ θ に基づき、推定できる。

$$\theta = -\frac{(2r+1)\sin 2\alpha}{2\sqrt{1+r+r^2}} \quad (1)$$

ここで、 r は r 値である。 $\theta = 1, 0, -1$ はそれぞれ単調負荷経路、直交負荷経路 (交差効果)、逆負荷経路 (バウシinger 効果) と意味する。式 (1) より各 α に対する θ を計算した。その結果は、 $\alpha = 0^\circ, 90^\circ$ のとき $\theta = 0$ 、 $\alpha = 135^\circ$ のとき $\theta \cong 0.8$ 、 $\alpha = 45^\circ$ のとき $\theta \cong -0.8$ である。

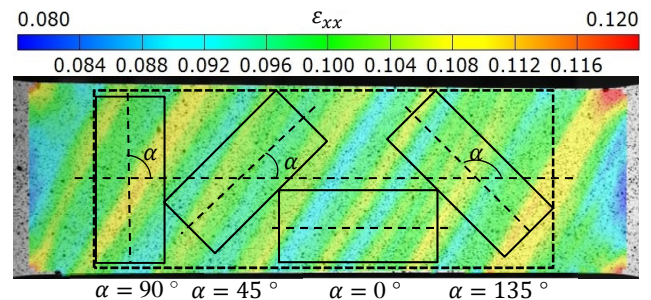


Fig. 2 Logarithmic strain ϵ_{11}

3. 実験結果

3.1 真応力-対数塑性ひずみ曲線

予ひずみを付与していない試験片について、単純せん断試験から得られたせん断応力-対数ひずみ曲線を Fig. 3 に示す。異方性の影響により、流動応力は異なり、 $\alpha = 45^\circ, 135^\circ, 90^\circ, 0^\circ$ の順で高くなり、 $\epsilon_{12} = 0.4$ で一致した。また、 $\alpha = 0^\circ$ と 90° の場合の流動応力がほぼ同じである。

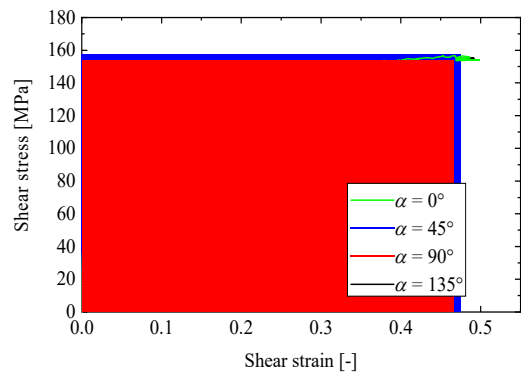


Fig. 3 Shear stress-logarithmic strain curves of as-received specimen

予ひずみを付与した試験片について、単純せん断試験から得られたせん断応力-対数ひずみ曲線を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より、4 つの場合の降伏応力が異なり、 $\alpha = 0^\circ, 90^\circ$ (交差効果) のとき降伏応力が一番大きく、 $\alpha = 45^\circ$ (バウシinger 効果) のとき降伏応力が一番小さい。また、降伏した後、 $\alpha = 0^\circ, 90^\circ$ は $\alpha = 135^\circ$ (単調) と比較し、より低い速度で硬化することを示している。

$\alpha = 135^\circ$ のせん断応力を σ_0 とし、 α における流動応力を σ_0 で除し、せん断ひずみ ϵ_{12} が 0.05 進むごとに結果をまとめた。

Fig. 5 は流動応力の比と角度の関係を示す Fig. 5 に、 $\epsilon_{12} = 0.2$ 程度で $\alpha = 90^\circ$ の流動応力が $\alpha = 135^\circ$ の場合と一致してから、下回った。 $\alpha = 0^\circ$ の場合も同じく、 $\epsilon_{12} = 0.3$ 程度で $\alpha = 135^\circ$ の場合と一致してから、下回った。 $\alpha = 45^\circ$ は $\alpha = 135^\circ$ 場合に対して応力の比の変化が少なく、流動応力が低下した。

次に、予ひずみを付与しない単純せん断試験と引張試験で予ひずみを付与した単純せん断試験の結果を比較する。2つの場合を比較できるように塑性仕事を計算した。Fig. 6 に単調負荷の単純せん断試験と、引張試験で予ひずみを付与した単純せん断試験から得られたせん断応力-塑性仕事曲線を示す。Fig. 6 より、 $\alpha = 135^\circ$ (単調) のとき、予ひずみを付与した場合はより低い応力で再降伏直後に、予ひずみ付与しない場合の流動応力にほぼ一致した。 $\alpha = 0^\circ, 90^\circ$ (交差効果) のとき、予ひずみを付与した場合は単調せん断のそれより低い応力で降伏した。その後、流動応力は高い速度で硬化することを示している。 $\alpha = 45^\circ$ (パウシンガー効果) のとき、予ひずみを付与した場合は予ひずみ付与しない場合より低く降伏応力した後、ほぼ同じ速度で硬化することを示している。

4. 結言

引張試験とせん断試験を用いた A5052-O 材の交差効果の測定より、以下の知見を得た。

- (1) 予ひずみの付与により、せん断方向によって、再降伏応力が変化する。その中で、 $\alpha = 0^\circ, 90^\circ$ (交差効果) の場合の降伏応力が一番大きい。
- (2) 予ひずみを付与しない場合と比較すると、交差効果により、単調せん断より降伏応力が小さくなる。その後、高い速度で硬化する。

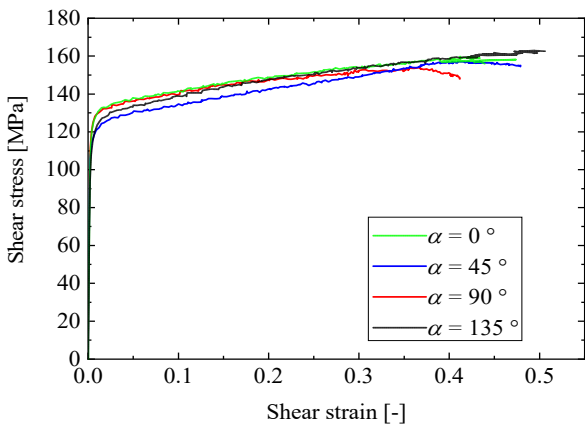


Fig. 4 Shear stress-logarithmic strain curves of $\epsilon_0 = 0.1$

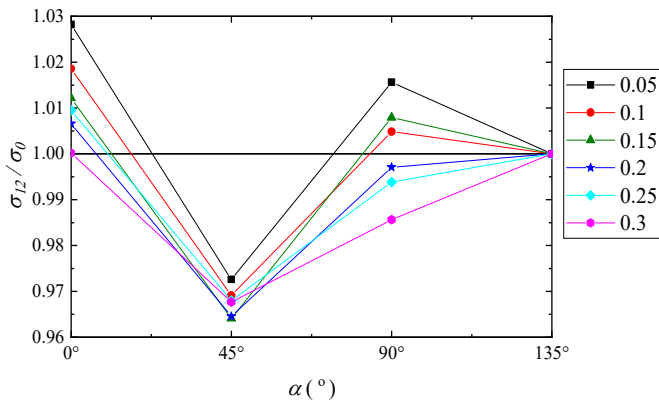


Fig. 5 Normalized shear stress by $\alpha = 135^\circ$

5. 参考文献

- 1) 米村 繁ら, 上西 朗弘, 樋渡 俊二, 鉄と鋼 93 (2007) 317-323
- 2) F. Barlata, J. M. Ferreira Duarte, J. J. Graciob, A. B. Lopese, International Journal of Plasticity, 19 (2003) 1215-1244
- 3) S. Bouvier, B. Gardey, H. Haddadi, C. Teodosiu, 174 (2006) 115-126

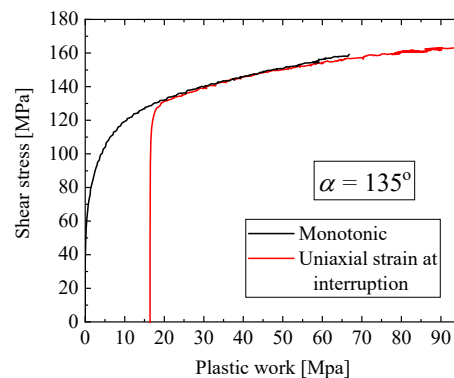
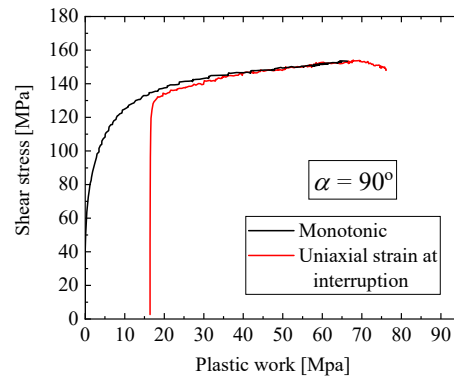
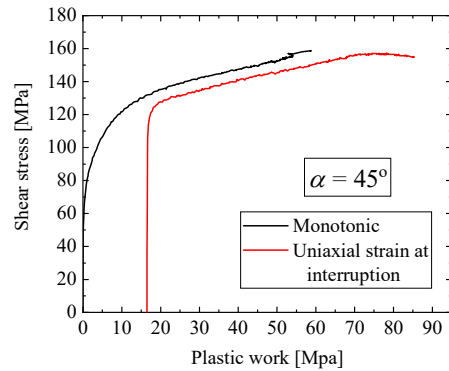
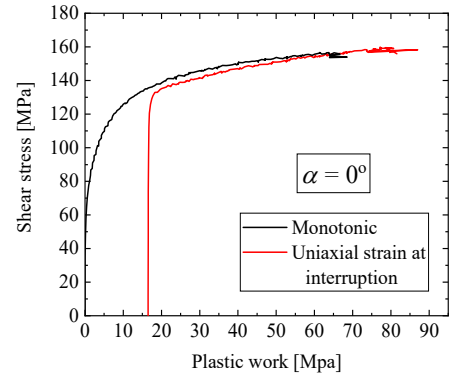


Fig. 6 Shear stress – plastic work curve of compare monotonic with tensile-shear