

高張力鋼板に対応した引張圧縮試験のための座屈防止治具の開発

静岡大学工学部機械工学科 Mi3 千田 美穂
指導教員 吉田健吾准教授

1. 緒言

金属材料の塑性変形を利用した加工法に、プレス成形がある。プレス成形は、自動車や電気製品などの日常生活の基盤となる製品の製造に活用されている技術の一つである。板材のプレス成形では、われやしわ、スプリングバックなどの成形不良が発生することがある。特に製品の形状決定に影響するスプリングバック量は、正確に予測し制御する必要がある。スプリングバック量を制御するためには、バウシinger効果を精度よく予測することが必須である¹⁾。

近年、自動車に対して、燃費と衝突時の安全性向上が求められる。燃費を向上させるために車体を軽量化することは有効であり、軽量かつ安全性を確保するための強度を有する材料が求められた結果、高張力鋼板の採用が増加している。特に、車体の最も強度を求められる骨格部品には、引張強さ 980 MPa~1180 MPa 級鋼板が適用されている²⁾。高張力鋼板には、高強度であるためにプレス成形時にスプリングバックを起こしやすいという課題がある。したがって、今後ますます汎用化が進むと考えられる高強度鋼板のバウシinger効果を調査することは重要である。

本研究では引張強さ 980 MPa 級の高張力鋼板の引張試験および圧縮試験を行い、引張時と圧縮時の材料特性を調査することを目的とした。圧縮試験時の座屈を防止する治具を設計した。この治具を用いて引張試験と圧縮試験を行い、治具を用いない引張試験の材料特性の整合性を確認した。

2. 座屈防止治具の開発

2.1 座屈防止治具

圧縮試験時の座屈を防止することを目的として、座屈防止治具を開発した。治具の模式図を Fig. 1 に示す。試験片を外板と内板ではさみ、油圧ジャッキにより抑え力を負荷する。これより、板厚方向に面圧を負荷して、圧縮時の座屈を防止する。100 kN まで出力できる油圧ジャッキを使用した。試験機には、島津製作所製のサーボパルサを使用した。同所製の 100 kN 平板つかみ具により、試験片をチャッキングした。平板つかみ具に座屈防止治具を装着し、試験を行った。試験時には、試験片と治具の摩擦力を低減させるためにテフロンシートを外板と内板に貼付けた。

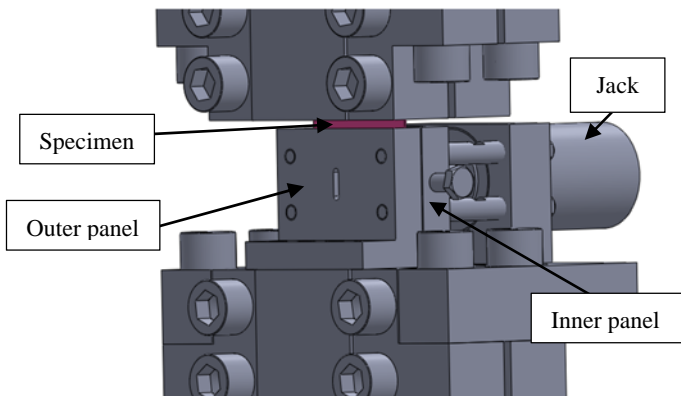


Fig. 1 General drawing of device

座屈防止治具を用いた試験で使用した H 形試験片の形状を Fig. 2 に示す。試験片形状は過去の論文を参考に決定した³⁾⁻⁵⁾。平行部幅は 15 mm、平行部長さは 25 mm、つかみ部幅は 70 mm とした。圧縮時の座屈を防止するために、つかみ幅を広く、平行部長さを短く設計した。試験片長手方向を圧延直角方向とした。供試材は引張強さ 980 MPa 級の高張力鋼板とした。板厚は 1 mm である。

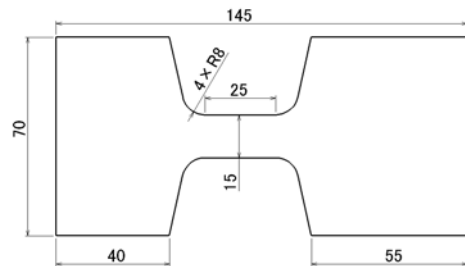


Fig. 2 Geometry of H specimen

2.2 座屈防止治具と試験片の摺動抵抗

治具を使用することで、試験片と治具の間に摩擦力が生じる。摩擦係数を決定するために摺動試験を行った。試験片上部はつかみ具でチャッキングし、下部は自由に動けるようにチャッキングしなかった。試験片の板厚方向に 3 通りの面圧 3.5, 5.5, 7.6 MPa を負荷し、0.1 mm/sec でチャックを移動させた。面圧 7.6 MPa は降伏応力の約 1% である。引張荷重はサーボパルサのロードセルによって測定した。その結果、摩擦係数は 0.06 であった。

3. 実験方法

3.1 ひずみと応力の測定

試験片のひずみは、ARAMIS を用いたデジタル画像相関法により測定した。応力はサーボパルサのロードセルで測定した荷重から求めた。

3.2 JIS13 号試験片の単軸引張試験

H 形試験片の妥当性を検証するために、JIS13 号試験片を用いて応力-ひずみ曲線を測定した。試験片の平行部幅は 12.5 mm、平行部長さは 60 mm とした。チャック変位速度を 0.1 mm/sec とし、単軸引張試験を行った。

3.3 H 形試験片による試験

まず、H 形試験片に面圧を負荷せずに単軸引張試験を行った。チャック変位速度を 0.1 mm/sec とした。

次に、座屈防止治具により 3 種類の面圧 3.5, 5.5, 7.6 MPa を負荷し、引張試験および圧縮試験を行った。

4. 試験結果の補正方法

試験片に面圧をかけることで、摩擦力と板厚方向の応力が発生する。これらの影響を取り除くために、試験結果を 3 種類の方法で補正した。

- (1) 板厚方向に発生する応力を考慮し、真応力-対数ひずみを相当応力-相当塑性ひずみに換算する。

- (2) 摺動抵抗の影響を取り除くために、ロードセルが検出した試験力から摩擦力を差し引く。摩擦力は、2.2 節で同定した摩擦係数をもとに算出する。
- (3) 面圧をかけた引張試験と面圧を負荷していない引張試験の結果が一致するように、試験力の補正式を求める。両試験結果において、塑性ひずみが 0.020, 0.035, 0.050 の時の試験力の差を求め、塑性ひずみと試験力の差の関係を線形近似して補正式を求める。

5. 実験結果

5.1 単軸引張試験結果の比較

JIS13 号試験片と H 形試験片の面圧を負荷しない引張試験により、真応力-対数ひずみの関係を得た。両試験結果の差は、5 MPa 以下であり、流動応力の差は 0.4 % 以下であった。

5.2 座屈防止治具を使用した引張試験/圧縮試験の結果

面圧を負荷した引張試験の結果を Fig. 3 に示す。面圧を負荷すると、JIS13 号試験片の結果より真応力は大きくなった。面圧が高い程、応力は上昇する傾向があった。JIS13 号試験片の結果と比較すると、面圧 3.5, 5.5, 7.6 MPa の時、真応力は 25, 40, 50 MPa 程度大きくなった。

まず、真応力と対数塑性ひずみを、相当応力と相当塑性ひずみに換算した。補正の結果、真応力は 2 MPa 程度大きくなった。この変化は、面圧を負荷することによる応力上昇量の 1/10 以下であり、多軸応力状態であることの影響は小さい。

次に、摺動抵抗をもとに補正を行った。Fig. 4 に補正結果を示す。面圧を 3.5, 5.5, 7.6 MPa の時、補正後の真応力は単軸試験時より 60, 100, 120 MPa 程度下回った。つまり、補正前よりも応力変化量が拡大する結果となった。

最後に、補正式による試験力の補正を行った。補正結果を Fig. 5 に示す。JIS13 号試験片の結果と比較すると、面圧 3.5, 5.5, 7.6 MPa の時、真応力は 10, 12, 5 MPa 程度大きかった。試験結果の差は 1 % 以下であった。

面圧を負荷した圧縮試験結果を、試験力の補正式を用いて補正した。Fig. 6 に補正結果を示す。すべての面圧において、JIS13 号試験片の単軸引張結果より流動応力は大きくなった。面圧ごとの応力差は、40 MPa 以下であった。

6. 結言

油圧ジャッキにより試験片に抑え力を加えて、引張試験および圧縮試験を行うための治具を開発した。治具を使用し、980 MPa 級高張力鋼板を供試材として引張試験および圧縮試験を行った。本研究により得られた知見を以下に記す。

- (1) 相当応力-相当塑性ひずみに換算した場合、応力-ひずみ線図はほとんど変化しない。
- (2) 摺動抵抗をもとに補正すると、JIS13 号試験片の結果との差が拡大する。
- (3) 試験力の補正式により JIS13 号試験片の試験結果との差を 1 % 以下まで補正することができる。
- (4) 圧縮試験結果は、JIS13 号試験片の単軸引張結果より応力が大きくなる。

7. 参考文献

- 1) 飯塚栄治, 塑性と加工, vol.58, No.673 (2017-2), pp.110-114
- 2) 高橋学, 鉄と鋼, vol.100, No.1(2014), pp.82-93
- 3) A. M. Beese, Dirk Mohr, Acta Mater., 59(2011), pp.2589-2600
- 4) M.R. Stoudt, *et al.*, Exp. Mech., 57(2017), pp.155-163
- 5) R.K. Boger, *et al.*, Int. J. Plasticity, 21 (2005), pp. 2319-2343

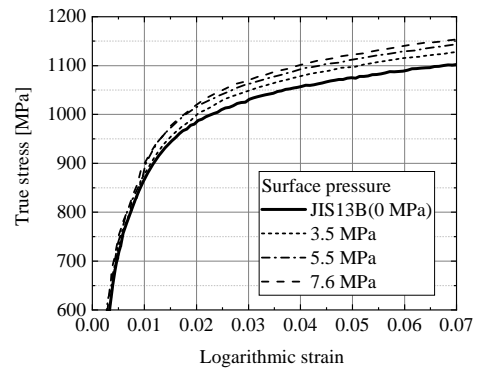


Fig. 3 True stress - logarithmic strain curve in tension test

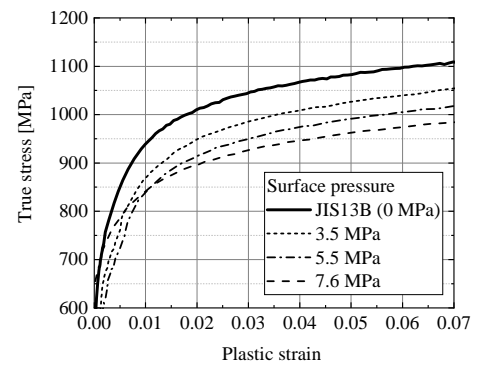


Fig. 4 True stress - plastic strain curve corrected by friction in tension test

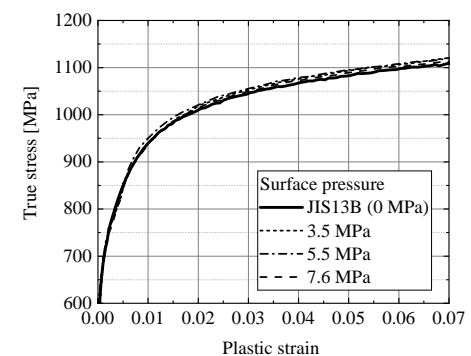


Fig. 5 True stress - plastic strain curve corrected by correction formula in tension test

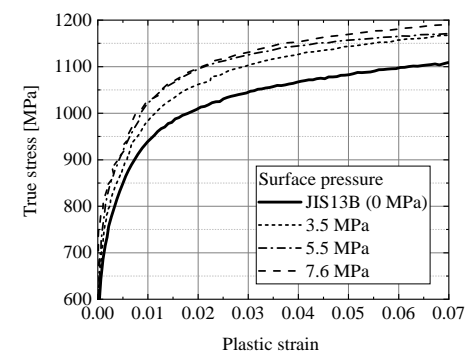


Fig. 6 True stress - plastic strain curve corrected by correction formula in compression test