

高張力鋼板に対応した小型張出し試験機の開発

藪崎起也

指導教員 吉田健吾 准教授

1. 緒言

近年、高張力鋼板の利用が拡大している。特に自動車分野では、高張力鋼板を使用すると一般鋼材を使用するより部材を薄肉化ができ、車両の軽量化が実現できる。しかし、高張力鋼板は一般鋼材と比べると延性が低く、成形加工が容易ではない。そのような背景の中、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構では、革新的新構造材料等研究開発が行なわれている。鉄鋼の分野では、自動車を対象にした強度 1.5GPa、伸び 20%の高張力鋼板の開発が目標である⁽¹⁾。開発段階に試作された高張力鋼板は、小型になることが多い。小型試験片では引張試験によって強度や延性は評価できるが、自動車の部材などの複雑な形状をもつ成形品の評価としては不足している。板材の成形性を表す指標として成形限界線図がある。これは、様々なひずみ比における破断ひずみを最大主ひずみ、最小主ひずみからなる二次元座標にプロットし結んだ図である。国際標準機構(ISO)で規格化されている張出し試験によって様々なひずみ比における破断ひずみが測定されている。しかし前述したように開発段階で試作される高張力鋼板は小型になることが多く、ISO 規格の張出し試験機では試験を行なうことが困難である。そのため小型の張出し試験機が開発が求められている。

本研究では、高張力鋼板に対応した小型張出し試験機を設計・製作する。パンチの大きさは試験片内部のひずみ分布および成形限界に影響を与える。そこで ISO 規格の張出し試験の成形限界線図を基準として、小型張出し試験の成形限界線図と比較して、開発した小型張出し試験機の成形性評価の妥当性を検証する。

2. 小型張出し試験機の開発

厚さ 2.0mm、引張強さ 2.0GPa の高張力鋼板を試験することができる小型張出し試験機を設計する。小型張出し試験機のパンチ直径は ISO 規格の張出し試験機のパンチ直径 100mm の 4 分の 1 である 25mm とする。パンチの種類は平頭パンチと球頭パンチの 2 種類とする。小型張出し試験機の全体図と試験部を Fig. 1 に示す。油圧シリンダの可動部が上昇し、パンチを押し上げることによって、上ダイスと下ダイスで固定されている試験片を変形させる。

小型張出し試験機の最大負荷荷重を 422kN とした。その他の部品の寸法はパンチ径 25[mm]を基にして決定した。ISO 規格の張出し試験機と本研究で開発した小型張出し試験機の仕様を Table 1 に示す。パンチ径、パンチ速度、球頭パンチの半径、ダイス肩半径、ダイス穴直径は ISO 規格の張出し試験機の 4 分の 1 とする。平頭パンチ肩半径は ISO 規格の張出し試験機の 4 分の 1 の大きさにすると、試験片の曲げ変形が大きくなり、試験片が肩部で破断する可能性が高い。そこで、パンチ肩半径は 5.0mm とした。

3. 実験方法

3.1 試験片

本研究では ISO 規格の張出し試験機で平頭パンチ試験を行なうことを“大型平頭”，開発した小型張出し試験機で平頭パンチ試験を行なうことを“小型平頭”，球頭パンチ試験を行なうことを“小型球頭”と省略して記載する。小型試験機の妥当性を評価するために板厚 0.4mm の S50C を使用する。大型平頭に使用する試験片は圧延方向の長さを 220mm とし、

圧延直角方向は 220mm, 180mm, 150mm, 134mm とする。小型に使用する試験片の圧延方向の長さを 65mm とする。小型平頭の圧延直角方向の長さは 65mm, 55mm, 41mm, 30mm とし、小型球頭では 65mm, 41mm, 30mm, 25mm とする。

3.2 実験手順

本研究では、デジタル画像関連法を使用して変位を求める。試験片にランダムパターンを塗布し、変形過程のデジタル画像を撮影する。変形前後の画像を比較することによって変位を求める。画像の測定、分析に gom 社の ARAMIS 5M を使用する。ひずみの計算、ひずみ分布の視覚化を行なうために、正方形または長方形の領域の変形を測定する。ランダムパターンを認識させる領域は 19×19pixels, その領域の間隔は 15pixels とする。画像は 0.1 秒ごとに撮影する。

4. 実験結果

大型平頭、小型平頭、小型球頭の 3 種類の試験機で供試材の成形限界を測定する。破断ひずみは、試験片が破断する直前の画像から、最も最大主ひずみが大きい領域を選び、その領域の圧延方向ひずみ ϵ_{RD} と圧延直角方向ひずみ ϵ_{TD} を求めることによって得る。Fig. 2 に成形限界線図を示す。全てのひずみ比において、小型では大型より ϵ_{RD} が大きくなる。小型平頭と大型平頭の ϵ_{RD} の差は最大で 0.137 である。小型球頭と大型平頭の ϵ_{RD} の差は最大で 0.102 である。また小型試験機では同一試験条件でも限界ひずみのばらつきが大きい。

破断後の試験片を測定したところ、小型試験片には破断部以外の領域でもくびれが観測できた。一方、大型試験片にはそのようなくびれは観測できなかった。Fig. 3 にひずみ速度と時間の関係を示す。小型試験片の場合、破断直前にひずみ速度が急に増加している。これは破断前に発生したくびれを測定した結果である。小型平頭、小型球頭では全てのひずみ

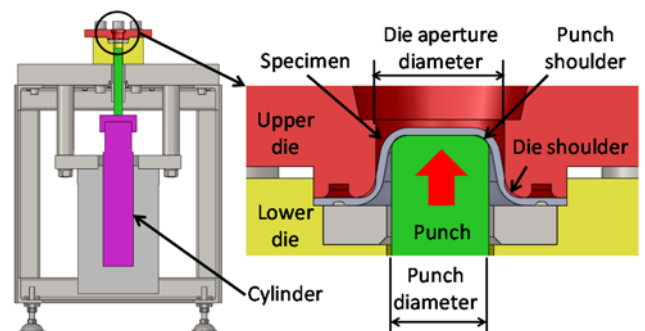


Fig. 1 Small-punch stretch forming testing instrument

Table 1 Testing condition⁽²⁾

	Big-punch stretch forming test	Small-punch stretch forming test
Punch diameter	φ100[mm]	φ25[mm]
Punch radius (Ball punch)	50[mm]	12.5[mm]
Punch shoulder (Flat punch)	10[mm]	5.0[mm]
Punch speed	1.5[mm/s]	0.4[mm/s]
Die shoulder	15[mm]	4.0[mm]
Die aperture diameter	120[mm]	33[mm]

比で破断直前にひずみ速度が増加した。大型では $w=134\text{mm}$, $w=150\text{mm}$ のとき破断直前のひずみ速度は増加するが、小型平頭と比較するとその量は小さい。つまり、くびれの影響が小さい。一方 $w=180\text{mm}$, $w=220\text{mm}$ のときは破断直前のひずみ速度の増加は現れなかった。よってくびれの影響がない。

次にくびれ発生時を成形限界とみなす。ひずみ速度と時間線の関係において、5.1秒から10.0秒までの範囲を直線で近似する。近似値の3倍の値より、実際のひずみ速度が大きくなった時をくびれ発生時とした。Fig. 4にくびれ発生時の成形限界線図を示す。Fig. 2とFig.4を比較すると、大型と小型の ϵ_{RD} の差が小さくなっている。しかし全てのひずみ比において、小型では大型より ϵ_{RD} が大きい。小型平頭と大型平頭の ϵ_{RD} の差は最大で0.058である。小型球頭と大型平頭の ϵ_{RD} の差は最大で0.062である。

5. 考察

小型試験片では破断部以外にもくびれが発生し、大型試験片では発生しなかった原因は、試験片の拘束条件と関連していると考えられる。試験片はビード部で拘束されているため、試験片の自由変形部は大型試験片の方が大きい。自由変形部にくびれが発生し、くびれが長く繋がることによって破断する。小型試験片の場合、大型試験片より自由変形部が狭いため、周囲の拘束によってくびれが長く繋がらず破断しにくい。そのため大型試験片より自由部全体のひずみが大きくなり、破断部以外の領域でもくびれが発生したと考えられる。

6. 結言

本研究では、引張強さ 2.0GPa、板厚 2.0mm の高張力鋼板の試験片に対応した小型張出し試験機を設計・製作した。ISO規格の張出し試験の成形限界線図を基準として、小型張出し試験の成形限界線図と比較して、開発した小型張出し試験機の成形性評価の妥当性を検証した。以下に本研究で得られた知見を示す。

- ・ 試験片が破断した時のひずみを基に作図した成形限界線図では、小型は大型より ϵ_{RD} が明らかに大きい。
- ・ くびれ発生時のひずみを基にすると、小型と大型の ϵ_{RD} の差は小さくなった。しかし小型平頭では圧延方向ひずみの差が最大で0.058、小型球頭では最大0.062存在する。
- ・ 小型では破断部以外の領域でもくびれが観測できた。これは試験片の自由部が狭いためであり、小型の成形限界が大型の成形限界より大きい原因である。

7. 参考文献

- 1) 岸輝雄：ふえらむ，20-6 (2015)，227-231.
- 2) ISO12004-2, Metallic material-sheet and strip-determination of forming-limit curve, (2008).

この成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです。

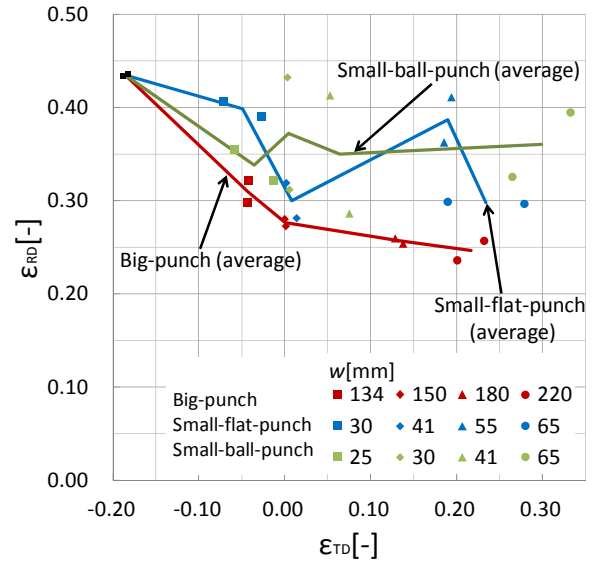


Fig. 2 FLD of the big-punch stretch forming test and small-flat-punch stretch forming test and small-ball-punch stretch forming test

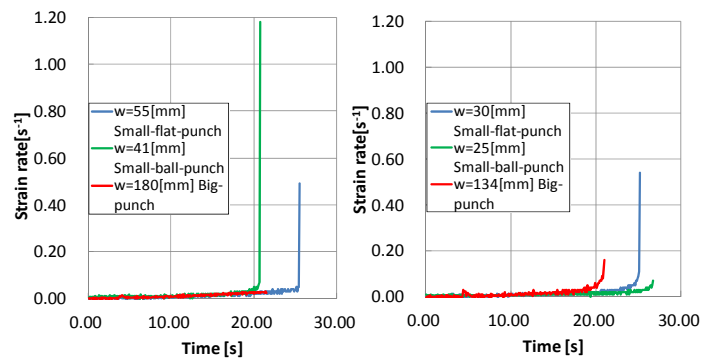


Fig. 3 Strain rate

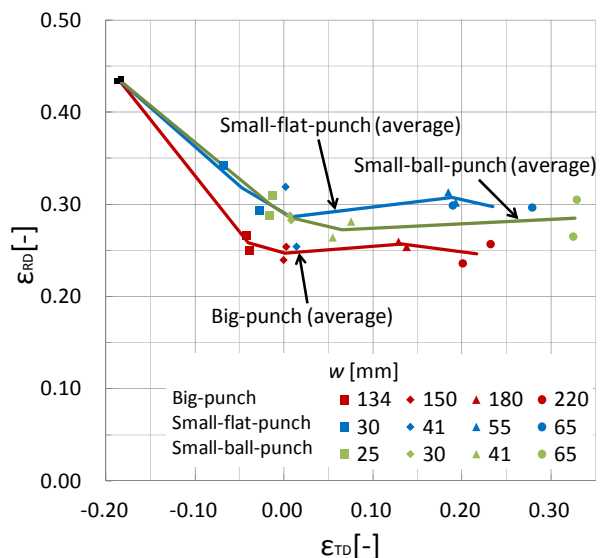


Fig. 4 FLD of the big-punch stretch forming test and small-flat-punch stretch forming test and small-ball-punch stretch forming test before necking