

Application News

No. i262A

材料試験機

面内反転試験による 薄板鋼板のバウシinger特性評価

はじめに

環境負荷低減の観点からの燃費向上や、電気自動車における実用性向上のための航続距離延長は、自動車開発の重要な要素となっており、車体の軽量化は一つの有効な解決手段として期待されています。CFRP など軽量高強度の新素材が注目される一方、加工性のよい金属材料も、ハイテン材の採用など高強度化への動きが加速しています。プレス加工の金型製作において、スプリングバック現象（図1）による成形後の形状不良の修正は、従来トライアンドエラーによって行われ、多大な時間とコストを要するという課題がありました。他方、コンピューター上で製品設計シミュレーションを行うことで試作品製作の回数やコストを大幅に圧縮できる CAE（Computer Aided Engineering）解析技術が近年、様々な分野で広く利用されています。プレス加工用の金型製作においてもシミュレーションが活用されはじめており、スプリングバック現象を予測し、これを金型設計に活かすことで大幅なコスト低減を実現する手段として注目されています。

本稿では、バウシinger効果測定治具を用いて、板厚1mmの冷間圧延鋼板（SPCC）を座屈させることなく、バウシinger効果を評価しました。

T. Murakami

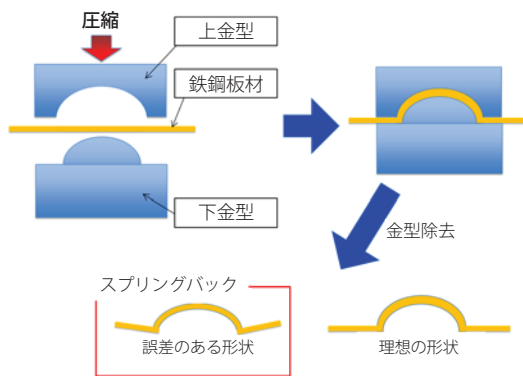


図1 鉄鋼板材成型加工におけるスプリングバックイメージ図

■ バウシinger効果とは

バウシinger効果とは、一度、予変形によって塑性変形が生じた金属材料に逆方向の応力を負荷すると、圧縮降伏応力 σ_{YB} の絶対値が予変形時の降伏応力 σ_{YA} に比べて大きく低下するという特性です（図2）[1-3]。この特性を考慮した材料モデルを構築することで、鋼板のスプリングバック現象を精度高く予測することが可能になると言われています。しかしながら、これまでバウシinger効果の評価については、鋼板が圧縮負荷時に座屈しやすく、実試験においては確立された評価手段がありませんでした。

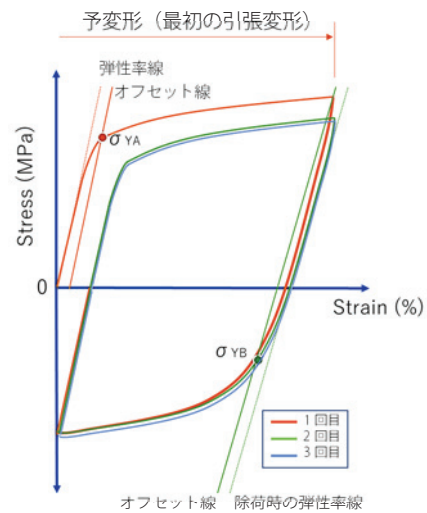


図2 バウシinger効果評価試験結果イメージ図

■ バウシinger効果評価条件および装置

図3にバウシinger効果測定治具の外観を示します。バウシinger効果測定治具には圧縮時に平板形状の鉄鋼試験片の座屈を防ぐ機構が設けられており、試験片の変形量を接触式伸び計をもって直接的に測定することが可能です。図4に試験片形状、表1に試験条件を示します。

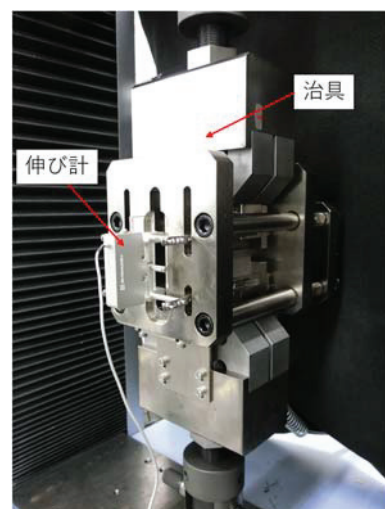


図3 バウシinger効果測定治具

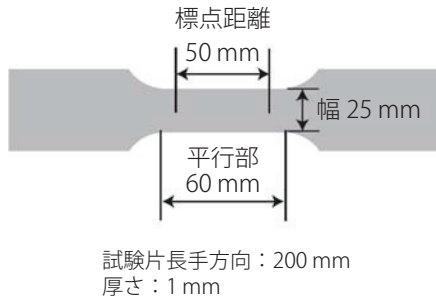


図4 試験片形状 (JIS Z2241 規定 5号試験片)

表1 試験条件

試験装置	: 島津精密万能試験機オートグラフ AG-50kNXplus
治具	: バウシinger効果測定治具
くし歯圧力	: 5 MPa
伸び計	: SG-50-50 (バウシinger効果測定治具専用)
試験速度	: 1 mm/min
ソフトウェア	: TRAPEZIUMX (コントロール)
応力反転ひずみ	: ① 0% ⇄ 1% ② 0% ⇄ 2% ③ 0% ⇄ 5%
繰り返し数	: 3回

■ 応力反転時の応力-ひずみ線図

図5に試験片に3種の異なるひずみを与えた際の応力-ひずみ線図を示します。本試験で用いたSPCCについては予変形時に上降伏点が生じることがわかりました。したがって、バウシinger効果を評価する際には、予変形時の降伏点強度である σ_{YA} と除荷時の弾性率線を-0.2%オフセットすることによって求めた圧縮時降伏応力 σ_{YB} の絶対値との差を求めてバウシinger応力 σ_B を算出しました(詳細は図2を参照)。本試験で得られた各種特性値を表2に示します。

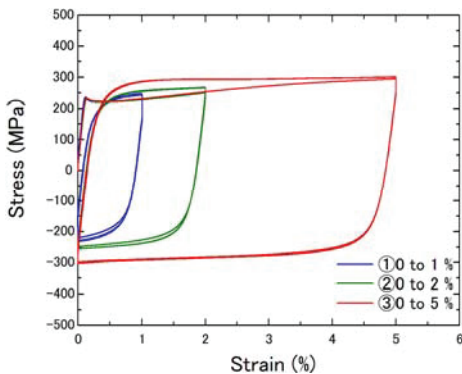


図5 繰り返し応力-ひずみ線図

参考文献

- 1) 吉田総仁,高精度材料モデルを用いたスプリングバックシミュレーション,SOKEIZAI Vol.54(2013)No.4
- 2) 濱崎洋,金属板材成形シミュレーションのための材料モデル, TEST Vol.44(2017)
- 3) 堀内良・斎藤敏・岸輝夫,アルミニウム合金の低サイクル疲労における疲労硬化と疲労組織の電顕観察,航空安全特集号(1970)
- 4) 吉田総仁,異方性金属板材の冷間・温間における大ひずみ塑性構成モデルとその成形シミュレーションへの応用, 天田金属加工機械技術振興財団研究概要報告書・国際交流報告書 Vol.18(2006)

図5において、試験片が繰り返し引張-圧縮変形する過程における応力振幅は1回目よりも2回目の方が高くなること、2回目と3回目は応力振幅幅が同等となることがわかりました。また、応力振幅は試験片に与えた繰り返し引張-圧縮変形と正の相関を示しており、応力振幅の繰り返しひずみ幅依存性が現れていることがわかりました。表2より、除荷時の弾性率は試験片に付与するひずみが大きいほど小さな値を示すことがわかりました(除荷時の弾性率の値:③ < ② < ①)。これは応力反転直後にみられている線形領域が実際には非線形な応答を示しているため、除荷時の弾性率が小さな値を示していると考えられます[4]。この値は付与したひずみの程度に大きな依存性を示すことがわかりました。圧縮時降伏応力 σ_{YB} については付与するひずみが大きいほど大きな値を示すことがわかり、本試験で使用した試験片についてはバウシinger応力 σ_B が付与するひずみに負の相関を示すことがわかりました(図6)。

表2 特性値

特性値	条件①	条件②	条件③
予変形時弾性率 (GPa)	214.7	201.3	216.7
除荷時の弾性率 (GPa)	180.6	164.0	154.0
上降伏応力 σ_{YA} (MPa)	235.3	230.3	233.2
圧縮時降伏応力 σ_{YB} (MPa)	-175.1	-185.7	-204.3
バウシinger応力 $\sigma_B = \sigma_{YA} - \sigma_{YB} $	60.2	44.6	28.9

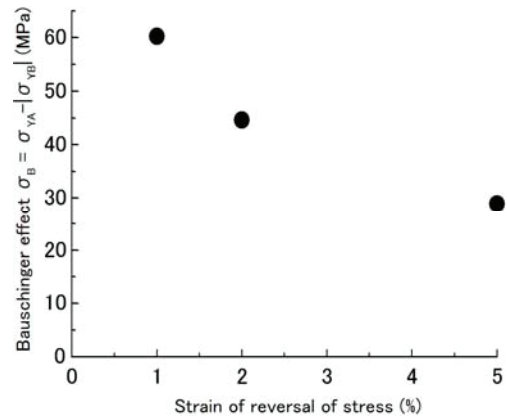


図6 バウシinger応力 σ_B と応力反転ひずみの関係

■ おわりに

島津精密万能試験機オートグラフ AG-Xplus およびバウシinger効果測定治具を用いることで、試験片を座屈させることなく鉄鋼平板試験片のバウシinger効果を評価することが可能です。