

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760115

研究課題名(和文) ホットスタンプにおける成形限界予測のためのシミュレーション援用材料試験法の開発

研究課題名(英文) Simulation of formability for hot stamping process

研究代表者

濱崎 洋 (HAMASAKI, HIROSHI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30437579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：高張力鋼板の温間単軸引張試験から、室温から973Kでは温度の上昇およびひずみ速度の低下に伴い流動応力が低下することを確認した。次に室温から923Kにおける温間V曲げ、U曲げ成形試験を実施し、温間でかつ低速で成形することでスプリングバックを低減できることを示した。また、V曲げ成形に比べU曲げ成形では温間成形時のスプリングバックが減少したが、これが金型内保持による応力緩和とそれに起因する曲げモーメントの低減が原因であることを解明した。最後に、温間繰返し曲げ試験を提案し、温間においても応力反転時のバウシンガー効果が発現することを確認した。

研究成果の概要(英文)：Warm temperature uniaxial tension test was conducted for high strength steel sheet. The decrease of flow stresses were found as the increase of temperature and the decrease of strain rate. V and U shape bending tests were conducted at warm temperature. From the forming tests, it was found that warm forming is effective for the reduction of springback deformation. Additionally, relaxation during holding in the die is very effective to reduce springback. Finally, cyclic bending experiment was proposed to observe Bauschinger effect at warm temperature. It was found that the Bauschinger effect appeared even at the warm temperature.

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：プレス成形 高張力鋼板 温間成形 数値シミュレーション スプリングバック

1. 研究開始当初の背景

自動車車体の高剛性化，車体軽量化を目的として，車体構造部品への高張力鋼板の使用率が増加している．高張力鋼板のプレス成形ではスプリングバックによる形状不良や割れが問題となり，成形法や金型の改善，サーボプレスの適用によりこれを解決してきた．しかし，980MPa 級，1180MPa 級と強度の高い鋼板が開発され，冷間での加工に限界が来ている．一方，鋼板を温間・熱間成形で加工することによりスプリングバックの低減と延性の向上が期待できるが，その効果の具体的な検討や，CAE 技術の開発が進んでいない．

2. 研究の目的

本研究では，温間プレス成形が高張力鋼板のスプリングバック低減にどの程度有効であるかを検証し，また，その CAE 高精度化のための材料モデル開発を目的としている．

3. 研究の方法

- (1) 高張力鋼板の温間単軸引張試験を実施し，応力 - ひずみ曲線の温度とひずみ速度依存性を調査した．
- (2) 高張力鋼板の室温から 923K における V 曲げおよび U 曲げ試験を実施し，温度とスプリングバック量の関係を調査した．
- (3) 高張力鋼板の繰返し曲げ試験を考案し，応力反転時のハウシinger 特性を調査した．

4. 研究成果

- (1) 図 1 に示す試験片により室温から 973K における引張試験を実施した．供試材は析出強化型の高張力鋼板である．

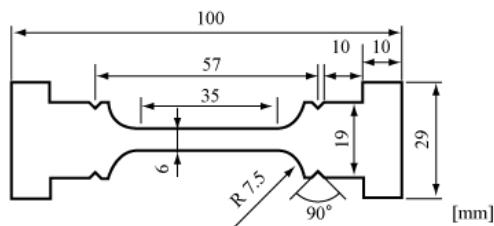


図 1 引張試験片形状

図 2 から 4 にそれぞれ公称ひずみ速度 0.001，0.01 および 0.1/s の試験から得られた応力 ひずみ曲線を示す．これらの結果から，本試験篇は温度の低下に伴い流動応力が低下し，また，ひずみ速度の上昇に伴い流動応力が上昇することが確認できた．特にひずみ速度依存性は温度が高くなるほど顕著であった．プレス成形時には応力が上昇するほどスプリングバックの駆動力となるモーメントが低下し，離型時の回復変形が減少する．そのため，873K 程度の温度において成形することで形状凍結性を著しく向上できると予想される．そこで温間の V 曲げおよび U 曲げ成形試験を実施して，成形後の形状を比較，検討した．

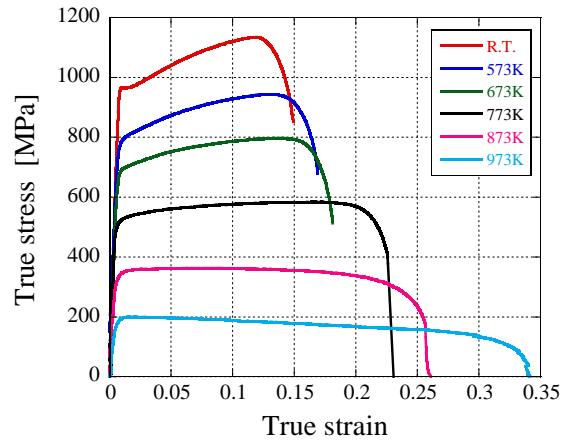


図 2 公称ひずみ速度 0.001/s の単軸引張試験から得られた応力 ひずみ曲線

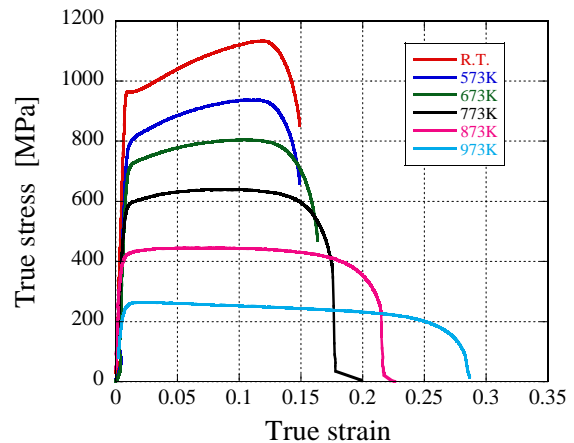


図 3 公称ひずみ速度 0.01/s の単軸引張試験から得られた応力 ひずみ曲線

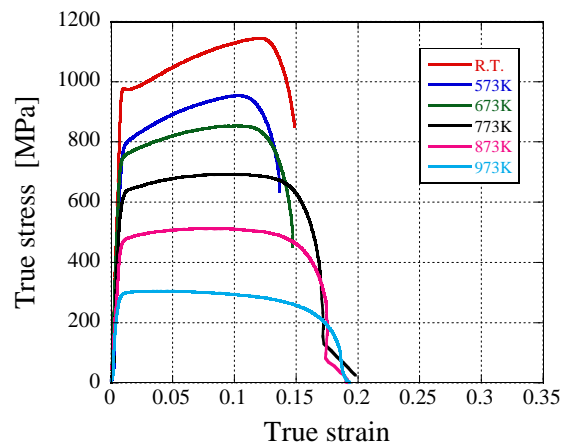


図 4 公称ひずみ速度 0.1/s の単軸引張試験から得られた応力 ひずみ曲線

(2) 温間・熱間 V 曲げおよび U 曲げ試験

図 5 に示す V 曲げおよび U 曲げ装置にて，室温から 923K における曲げ試験を実施し，

成形後の角度を計測することでスプリングバック量を調査した。成形時のパンチ速度は0.02 および 10mm/s とし ,成形速度の影響も調べた。

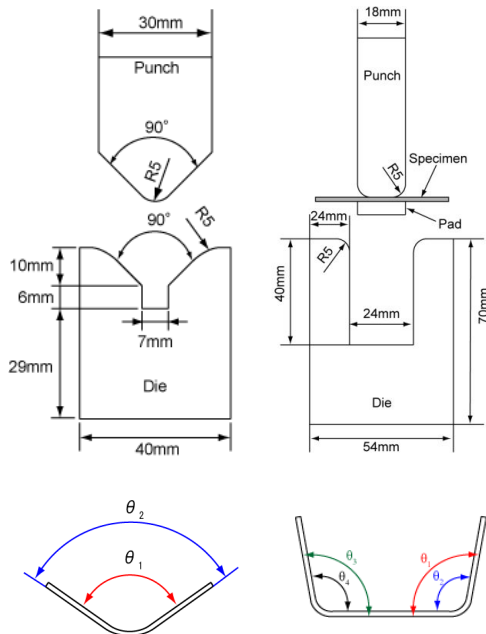


図5 V曲げおよびU曲げ試験装置の概略図

図6にパンチ速度10mm/sのV曲げ試験で得られた角度の変化を示す。まず室温から573Kでは曲げ角度が大きくなっている。これは常温に比べ温間では加工硬化特性が大きく変化したため、曲げ終了時の曲げ角度自体が変化したことが原因だと考えられる。573K以上では温度の上昇とともにスプリングバックが低減しており、温間加工の有効性が確認できた。

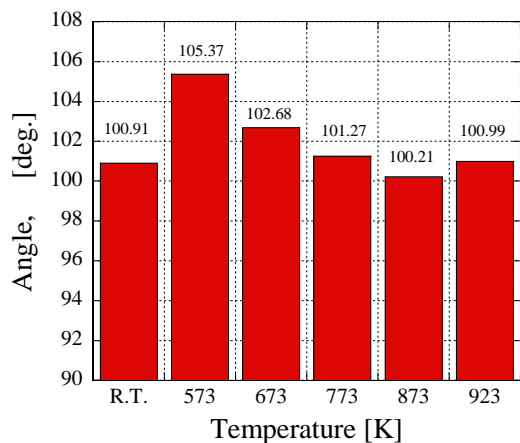


図6 パンチ速度10mm/sのV曲げ試験から得られた各温度での曲げ角度

図7にパンチ速度0.02 および 10mm/sのU曲げ試験から得られた曲げ角度を示す。V曲げ試験の時と同様に温度の上昇に伴いスプリングバック量は減少している。また、成形速度が低速の場合には高速成形時に比べ大幅にスプリングバック量が減少した。また、

低速成形の方が、高速成形に比べ、温度を上げるほど角度は小さくなっている。引張試験から得られる低速、高速変形時の流動応力の差は、曲げ試験で観察される速度と曲げ角度ほど大きくない。そこで、成形終了後、除荷前の保持時間を0, 5, 10, 20sとしてV曲げ試験を実施した。得られた結果を図8に示す。成形速度は10mm/sである。この結果から、保持時間0sの場合にスプリングバックは最大となり、5秒保持することで2.6°もスプリングバック角度が減少している。さらに保持時間を10, 20sと増加させてもその影響はほとんど見られないことが変わった。これは温間で成形する際には、成形後にわずかな時間金型内保持することで応力緩和が起こり、板内部のモーメントが減少したためであると考えられる。実際、保持時間とパンチ荷重の関係を計測すると図9のようになり、保持開始直後に荷重が大きく低下している。このことから、温間成形では変形時の流動応力低下に加え、金型内保持による応力緩和を利用することでスプリングバック量を低減できると考えられる。また、U曲げ成形では除荷時にも金型内で曲げが一定時間保持されるため応力緩和が起ったと考えられる。

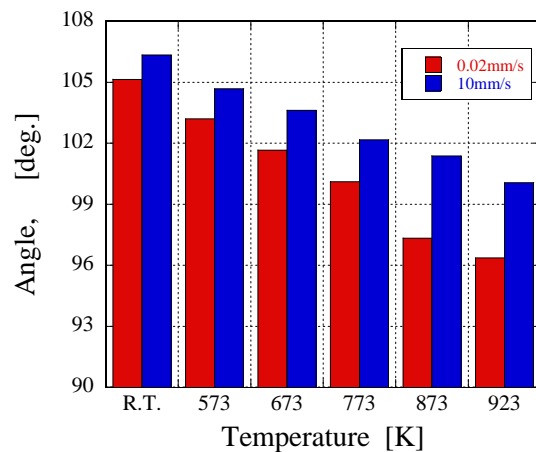


図7 パンチ速度0.02 および 10mm/sのU曲げ試験から得られた各温度での曲げ角度

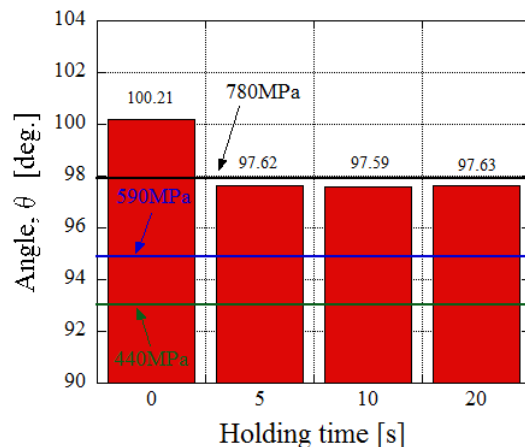


図8 873KのV曲げ試験から得られた曲げ角度と保持時間の関係

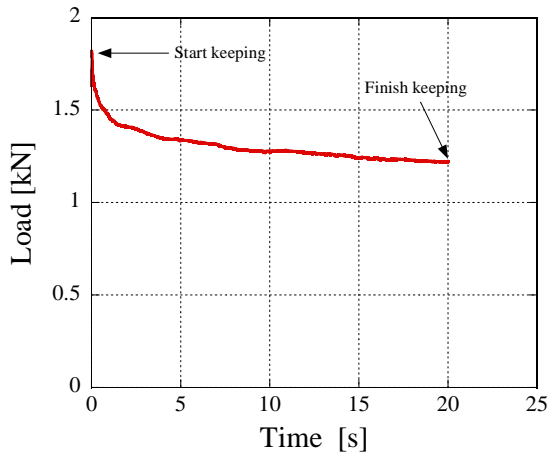


図9 873 のV曲げ試験における
保持時間と荷重の関係

(3) 図10に温間繰返し曲げ試験の概略図を示す。本試験では治具全体が電気炉内に収まり、等温状態での試験が可能となっている。この装置により室温から973Kにおける繰返し曲げ試験を実施し、荷重変位曲線を取得した。成形はパンチ速度0.1および1mm/sとした。図11および12にそれぞれパンチ速度0.1, 1mm/sの試験から得られた荷重変位曲線を示す。この図より、引張試験時の応力ひずみ曲線と同様に、温度の上昇に伴い成形荷重が低下し、負荷速度の増加とともに荷重が増加していることが確認できる。また、曲げ方向が反転すると、最初は弾性除荷がおこるが、その後すぐになだらかな非線形の曲線となっている。これは応力反転時の早期再降伏（バウシinger効果）を顕著に反映していると考えられる。特に絞り成形のように、板がダイ肩部での曲げ曲げ戻し変形を受ける場合にはバウシinger効果を考慮した材料モデルがスプリングバック予測に不可欠であることが知られており、本試験法を用いることで材料パラメータを決定し、プレス成形シミュレーションに使用することでシミュレーションの高精度化が期待できる。

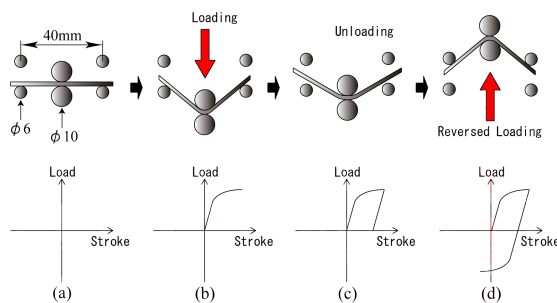


図10 温間繰返し曲げ試験の概略図

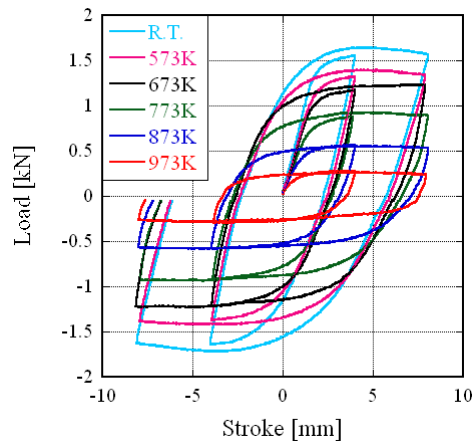


図11 負荷速度0.1mm/sの繰返し
曲げ試験より得られた荷重変位曲線

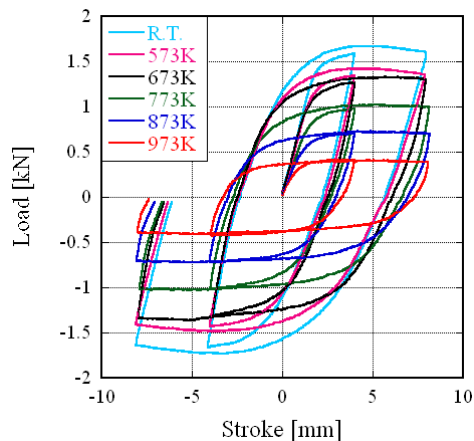


図12 負荷速度1mm/sの繰返し
曲げ試験より得られた荷重変位曲線

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

1. N. Saito, M. Fukahori, D. Hisano, Y. Ichikawa, H. Hamasaki, F. Yoshida, Elasto-Plasticity Property of High Strength Steel at Warm Temperature and Its Springback, Key Engineering Materials, 査読有, Vols. 535-536 2013 pp. 385-388.

〔学会発表〕(計 4件)

1. 市川祐也, 佐々木亮, 濱崎洋, 吉田総仁, 斎藤直子, 深堀貢, 980MPa級高張力鋼板の温間繰返し変形特性, 日本機械学会中国四国支部第52期総会・講演会, 2014年3月7日, 鳥取大学
2. 佐々木亮, 市川祐也, 濱崎洋, 吉田総仁, 980MPa級析出強化型熱延ハイテンの温間弾塑性挙動, 日本機械学会中国四国学生会第43回学生会卒業研究発表講演

- 会，2013年3月7日，高知工科大学
3. 齊藤直子，深堀貢，久野大輔，市川祐也，濱崎洋，吉田総仁：高張力鋼板の温間弾塑性特性とスプリングバック，平成24年度塑性加工春期講演会講演論文集，pp.49-50，2012年6月9日，金沢
 4. 市川祐也，久野大輔，濱崎洋，日野隆太郎，吉田総仁：高張力鋼板の温間繰返し変形挙動の観察，日本機械学会中国四国学生会第42回学生員卒業研究発表講演会，2012年3月7日，広島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱崎 洋 (HAMASAKI HIROSHI)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：30437579