

V 曲げ成形における成形条件がスプリングバックに与える影響

1. 緒言

近年、自動車の軽量化のために車体へのアルミニウム合金板及び高張力鋼板の適用が進んでいる¹⁾。これにより地球環境への負荷低減が期待できる。しかし上記材料は特にプレス成形後のスプリングバックが普通鋼板と比較して大きく、自動車の生産準備段階での金型の開発に多大なコスト・工数を要している。このことから、スプリングバックの抑制技術が強く要求されている。これまで、スプリングバックレスを利用したV曲げ加工技術²⁾やFEMシミュレーションを用いてスプリングバック量を事前に予測することによる金型開発における見込み技術³⁾の研究が行われているが、ボトミング時の板厚方向への加工や二度成形がスプリングバック抑制に与える影響の把握、二度成形によるスプリングバック抑制効果及びメカニズムの解明は十分に行われているとは言えない。そこで本研究ではスプリングバックが発生する主成形行程であるV曲げ成形に着目し、パンチの下死点における挙動を高精度に計測することで把握し、ボトミング時の板厚方向への成形量や二度成形、下死点におけるパンチ保持時間の各成形条件がスプリングバック抑制に与える影響について検討した。また、今後二度成形のメカニズムの検討やパンチ先端部形状の工夫によるスプリングバック抑制方策について成形シミュレーションを用いて検討を進めるために、本研究で行った実験の一部に成形シミュレーションを使用し、スプリングバック抑制メカニズムの把握を行ったので報告する。

2. 実験装置

実験装置はV曲げ試験機(油圧式, 100kN)を製作した。実験に使用した金型材質はSKD11とし、加工後の熱処理でHRC60~61とした。金型の主要寸法をFig.1に示す。パンチ下死点位置の制御はディスタンスブロックにより行うこととし、厚さを15.75mm~16.00mmまで0.05mm刻みで6種類使用した。また、パンチの下死点近傍における挙動を確認するためパンチとダイに渦電流式変位センサ(EX-210/422, KEYENCE社製, 分解能4μm)を片側3箇所、計6箇所に設置した。センサを取り付けた金型をFig.2に示す。

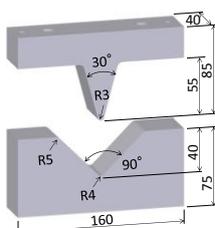


Fig.1 V-bending die and punch

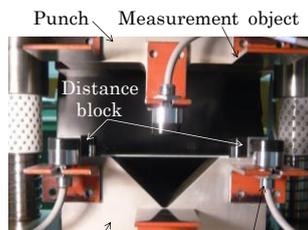


Fig.2 Installation of sensor on dies

日大生産工(院) ○石井 優輝 日大生産工 高橋 進

3. 供試材

供試材には5000系アルミニウム合金板(GC45-O, 住友軽金属社製)を用い、圧延方向を長手方向に取り、板厚1mmの板材から、長さ100mm、幅30mmに機械加工で製作した。供試材の機械的特性をTable 1に示す。

Table 1 Mechanical properties of test piece

Tensile strength /MPa	Yield stress /MPa	Elongation /%	n value	r value
280	140	32	0.31	0.70

4. 成形シミュレーション

成形シミュレーションには板成形解析ソフトStampack Ver6.2.4を使用した。モデルは対称性を考慮して1/4モデルとした。金型は4角形shell剛体要素(要素数:1800)、供試材は8節点6面体solid要素(要素数:7500)とし、摩擦係数は0.1を与えた。

5. 成形実験

以下に示す3種類の実験を行った。各実験ともに成形荷重はV曲げ試験機の油圧ポンプ容量を考慮し70kNとした。また実験は各条件3回行い、その平均を求めた。

5.1 板厚方向成形

ボトミング時にパンチ先端部により供試材を板厚方向に圧縮し曲げ成形を行った。このときの板厚方向に圧縮する板厚方向成形量を供試材板厚の1mmに対して0.00mm~0.25mmまで0.05mm刻みで6段階に変化させた。またパンチは下死点で約10s保持した。

5.2 二度成形

パンチを下死点で約10s保持した後、一旦除荷し、再び荷重を加え約10s保持することで二度の成形を行った。また、一度目と二度目の成形の間にパンチを供試材から離さず除荷することとした。これは、供試材からパンチを離すと供試材の位置が変化し、一度目と二度目でパンチ先端部の同じ位置で成形できない場合があるためである。また、二度成形実験での板厚方向成形量は前述の板厚方向成形実験と同様に6段階変化させた。比較対象は前記の板厚方向成形実験でのスプリングバック量(一度成形)とした。

5.3 下死点でのパンチ保持時間

パンチ先端部とダイのクリアランスは板厚と等しい1mmとし、板厚方向成形は行わずにパンチの下死点における保持時間を約0.2, 0.3, 0.5, 1, 5, 50, 100sと変化させボトミングを行った。このパンチ保持時間は実験後にセンサの計測値から算出を行った。これはV曲げ試験機のパンチの変位を手動で操作しているためである。

6. スプリングバック角度の評価方法

スプリングバック角度は、パンチ下死点で成形中の

供試材形状を撮影した画像と成形後の供試材をスキャナにより PC に取り込んだ画像を用い、それぞれの供試材の角度差から算出した。画像中の供試材角度の計測には画像解析ソフト ImageJ を使用した。

7. 成形結果及び考察

7.1 板厚方向成形

ボトミング時のパンチ先端部による板厚方向成形量とスプリングバック角度の関係と成形シミュレーションによる供試材曲げ部の長手方向の応力分布図を Fig.3 に示す。下死点における板厚方向成形量の増加とともにスプリングバック角度は減少する傾向が確認できた。これは板厚方向成形量を増加することで供試材曲げ部の板厚方向の応力分布が均一化し、スプリングバックが減ったためである。しかし本研究では板厚方向成形量 0.15mm 以降はスプリングバックの抑制効果はあまり認められなかった。

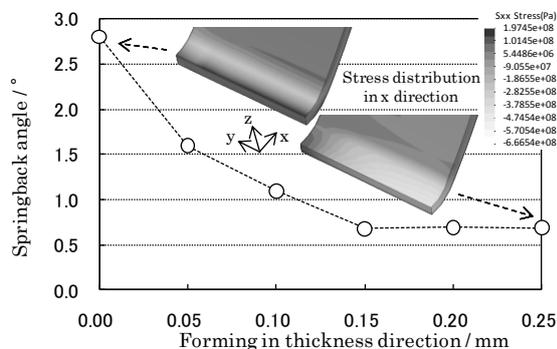


Fig.3 Relationship between forming in thickness direction and springback angle

7.2 二度成形

先の板厚方向成形実験と同じ条件において二度成形を行った場合の板厚方向成形量とスプリングバック角度の関係を Fig.4 に示す。二度成形の結果、一度成形である板厚方向成形実験と同様に板厚方向成形量の増加とともにスプリングバック角度が減少する傾向が確認できた。また、本研究では各板厚方向成形量において二度成形を行うことにより一度成形と比較して僅かではあるがスプリングバックの抑制効果が確認できた。一度目と二度目の成形におけるパンチ下死点位置については、計測データから変化は認められなかった。また一度目と二度目の成形の間は除荷したのみなので、供試材の移動もほぼ無いと考えられる。一度目と二度目の供試材の成形中角度についても計測の結果はほぼ同じであった。このことから一度目と二度目の下死点位置に変化はなかった。二度成形によるスプリングバック抑制メカニズムの解明を今後も検討する。

7.3 下死点でのパンチ保持時間

下死点でのパンチ保持時間とスプリングバック角度の関係を Fig.5 に示す。図より、保持時間の変化によるスプリングバック量の差はあまり認められなかった。この実験では渦電流式変位センサによるパンチの下死点近傍での挙動計測により、パンチの片当たりを確認した。そのためパンチが片当たり後、油圧が徐々に上昇してパンチ全面がディスタンスブロックに密着し荷重が設定値の 70kN に達したところを下死点とした。

この片当たりから完全に下死点に至るまでに約 2.2s 要した。この下死点近傍での成形時間のために、短い保持時間がスプリングバックに及ぼす影響の明確化が困難となった可能性がある。このことから今後はサーボプレス等を使用して、より高精度な下死点位置、保持時間制御による実験の検討を行う。

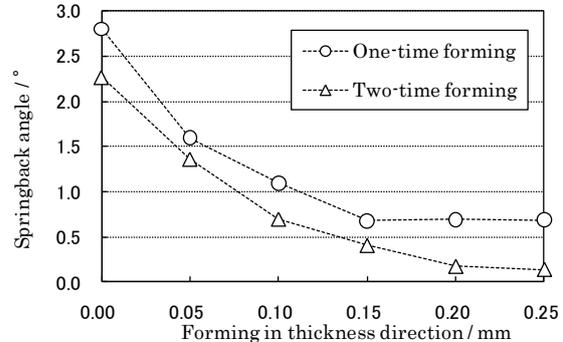


Fig.4 Effect of two-time forming for springback angle

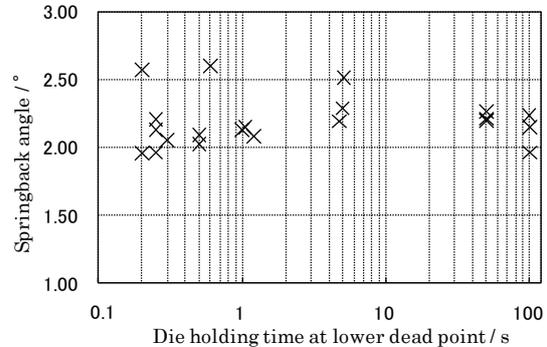


Fig.5 Relationship between die holding time at lower dead point and springback angle

8. 結言

本研究から以下の結論を得た。

- (1) ボトミング時の板厚方向成形量の増加に伴いスプリングバックが減少する傾向が確認できた。また、成形シミュレーションによりこのメカニズムを把握することができた。
- (2) 二度成形によるスプリングバック抑制効果を確認し、これは一度目と二度目の間にパンチ下死点位置の変化や供試材曲げ部の位置の変化が起こったことによるものではないことが確認できた。
- (3) パンチの下死点保持時間がスプリングバックに及ぼす影響は少ない結果となった。ただし、短時間の下死点保持の影響に関しては今後の検討課題である。

今後、成形シミュレーションの活用とサーボプレスを活用したパンチの変位制御の高精度化実験を併用して、更なるスプリングバック抑制方策の検討を行う。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京農工大学、桑原利彦教授には貴重な御助言を賜ったほか、実験装置の開発において御援助賜りました。ここに謝意を表します。

「参考文献」

- 1) 杉山隆司, 塑性と加工, **46-534**, (2005), 8-11
- 2) 小川秀夫, 塑性と加工, **47-541**, (2006), 56-60
- 3) 笹原孝利, 塑性と加工, **46-534**, (2005), 63-67