

薄板曲げ加工用サーボシステムの開発

機械システム課 金森直希 電子技術課 佐山利彦

1. 緒言

近年、サーボプレス機やサーボベンダーなどサーボ式塑性加工機が登場し、多様かつ精密な塑性加工ができるようになってきた。このような塑性加工機械は、様々な材質のより大きな（より小さな）ワークに対してより複雑な加工をより精度よく行うことが求められているが、加工誤差の低減が大きな課題となっている。加工誤差を十分に低減することができれば、加工機の NC（数値制御）化も期待できる。

そこで、本研究では、金属薄板の曲げ加工を行うサーボシステムを題材として取り上げ、サーボ制御による曲げ加工中に制御動作を補正することによって加工誤差を低減する制御手法の開発を目指した。本報告では、制御・信号処理ソフトを用いて、薄板の曲げ加工シミュレーションを行い、曲げ加工時に発生するスプリングバック量の推定、およびその推定量を用いて制御中のサーボ動作を補正する方法について検討した。

2. 対象とする加工システム

本研究で対象とした加工システムの概要を Fig. 1 に示す。下金型の上に置かれたワーク板が、押さえ金型によって押し付けられ固定された後、サーボ制御された曲げ金型が Fig. 1 の紙面下方へ移動することによって曲げ加工を実現する（しごき曲げではない）加工システムである。ワーク材を曲げた後、曲げ金型は上方へ戻り、押さえ金型は除荷される。このとき、ワーク板の弾性変形によりスプリングバックが発生する。ワーク板を所望の角度で曲げるためには、このスプリングバック量を材料の物性および大きさに合わせて予め見積もっておき、所望角度に見積量を加えたより深い角度で曲げてやる必要がある。本研究では、スプリングバック量の見積もりを加工動作中にオンラインで行おうとするものである。

3. 加工システムのモデル化

3.1 動特性モデルおよび制御モデル

スプリングバック量を加工動作中に推定し、その推定量を加工動作中に活用して加工終了時の最終的なスプリングバック量を低減する手法を検討する必要がある。そこで、加工中の曲げ金型およびワークの挙動をシミュレーションするために、動特性を Fig. 2 のようにモデル化した。

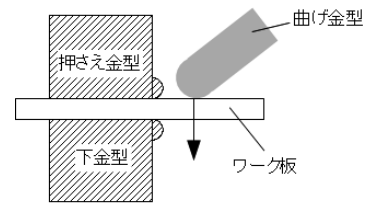


Fig. 1 対象とする曲げ加工の概略図

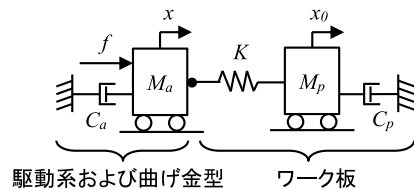


Fig. 2 動特性モデル

M_a および C_a は、それぞれ曲げ金型を含む駆動部の等価質量および等価粘性係数であり、 f は曲げ金型の駆動力である。 M_p はワーク板の質量、 C_p は計算を安定化するための仮想的な粘性係数、 K はワーク板の曲げ剛性である。 x は曲げ金型の変位、 x_0 はワーク板の平衡位置である。弾性域では $x_0=0$ として残留変形しないものとし、塑性域では x_0 および曲げ剛性 K を適宜変更することによりワークの塑性変形を模擬した。

弾性域におけるワーク板の曲げ剛性 K は、式(1)でモデル化した。

$$K = \frac{EWt^3}{4l^3(1-\nu^2)} \quad (1)$$

ここで、 E はワーク材のヤング率、 W は板幅、 t は板厚、 l は支点から曲げ金型接触点までの長さ、 ν はポアソン比である。

加工動作を模擬する制御システムのブロック図を Fig. 3 に示す。与えられた目標軌道 x_r に曲げ金型の変位 x を追従させる構造であるが、典型的な FA 用サーボコントローラの使用を想定した。すなわち、上位コントローラで設定された目標軌道と現在のの変位をもとに目標速度を生成し、その目標速度を速度制御器へ渡す方式とした。

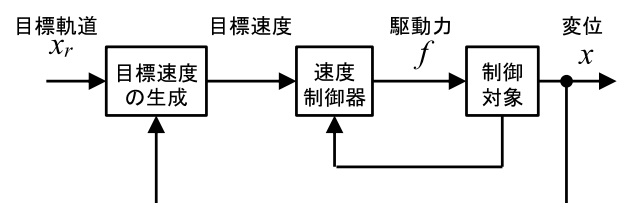
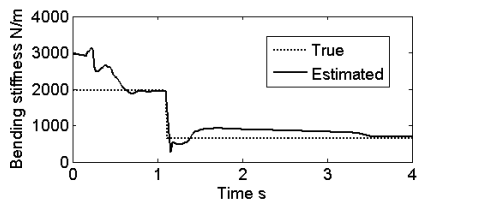


Fig. 3 制御ブロック図

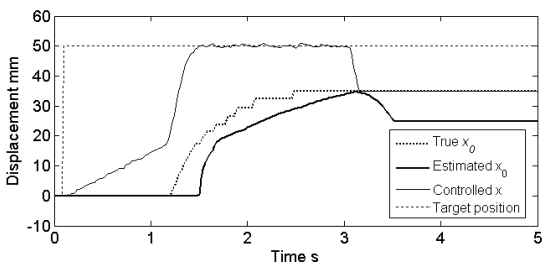
4. ワーク板の状態推定

加工中に、ワーク板の曲げ剛性 K および平衡点 x_0 を推定する必要がある。そこで、力センサの値を使わずに（力センサを別途追加することなく）加工中の曲げ金型の変位 x および駆動力指令値 f の値をもとに逐次的に K および x_0 の推定値を出力する状態推定器を作成した。作成した状態推定器を Fig. 3 の制御系に接続し、アルミ合金板の物性値を与え、 K および x_0 を推定するシミュレーションを行った。曲げ金型の目標変位 x_r は、シミュレーション開始後 $t=0.1s$ のとき50mmに設定され、 $t=3s$ のときに元の0mmに戻される。 $t < 1.1s$ では駆動系の最大速度を小さく制限しており、このとき弾性域での K を推定する。その後、 $1.1 \leq t < 3s$ では塑性域の推定モードに切り替わり、 K と x_0 を同時に推定する。シミュレーションにはMathworks社製MATLAB/Simulinkを用いた。

Fig. 4 に制御・推定の結果を示す。 $t < 1.1s$ では、弾性域での K が真値に近い値に収束した。 $1.1 \leq t < 3s$ では、塑性域での K および x_0 がおおよそ推定できた。スプリングバック量は x の値から約15mmであることがわかる。



(a) 曲げ剛性



(b) 平衡点

Fig. 4 ワーク板の状態推定結果

キーワード：金属薄板、曲げ加工、サーボ制御、スプリングバック、状態推定

5. スプリングバック低減制御

ワーク板の曲げ剛性 K および平衡点 x_0 の推定量を用いて曲げ金型の目標軌道を補正する目標値補正器を作成し、スプリングバックによる誤差を補償する制御シミュレーションを行った。Fig. 5 に制御ブロック図を、Fig. 6 に制御シミュレーション結果を示す。Fig. 6 より、ワークの変位を、目標値補正のない場合（Fig. 4(b)のControlled x）と比べて目標値付近に制御することができた。

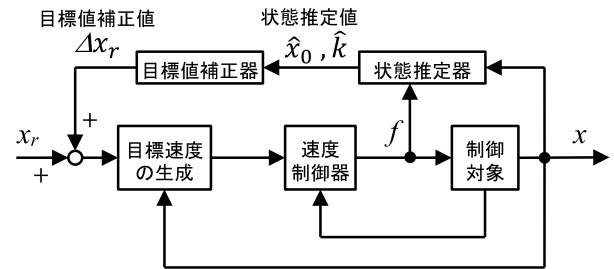


Fig. 5 加工誤差低減のための制御ブロック図

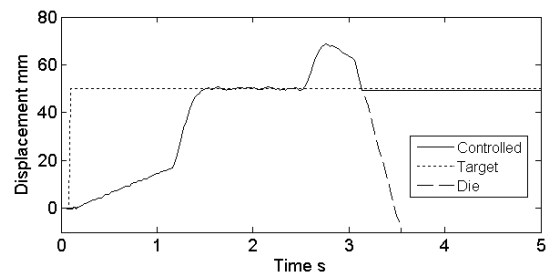


Fig. 6 スプリングバック誤差低減制御結果

4. 結言

加工中のワーク板の状態を推定する推定器およびその推定器による推定量を用いたスプリングバック誤差低減制御法を検討・試作し、制御・信号処理シミュレーションをした結果、スプリングバックによる加工誤差を低減できることがわかった。

Development of servo system for sheet metal bending

Mechanical System Section; Naoki KANAMORI and Electronic Engineering Section; Toshihiko SAYAMA

In sheet metal bending, development of a new control method is required for reducing the machining error by the servo control of the bending machine. A control method was investigated for reducing the springback errors by correcting the servo operation by estimating the state of the workpiece during machining plate. Results of the control simulations clearly showed the reduction of the machining error due to the springback.